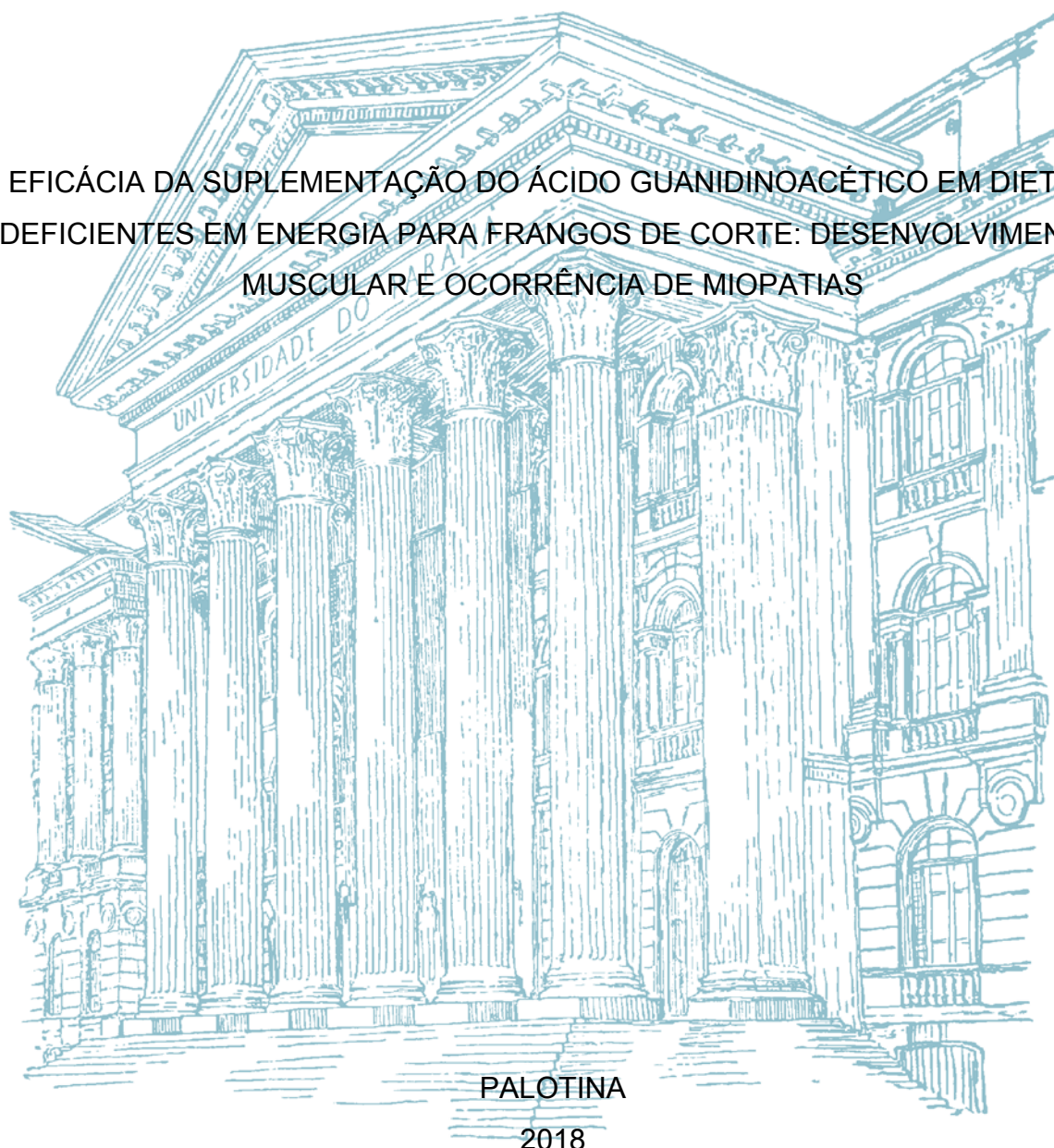


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GLAUBER SARTORI MAIER

EFICÁCIA DA SUPLEMENTAÇÃO DO ÁCIDO GUANIDINOACÉTICO EM DIETAS
DEFICIENTES EM ENERGIA PARA FRANGOS DE CORTE: DESENVOLVIMENTO
MUSCULAR E OCORRÊNCIA DE MIOPATIAS



PALOTINA

2018

GLAUBER SARTORI MAIER

EFICÁCIA DA SUPLEMENTAÇÃO DO ÁCIDO GUANIDINOACÉTICO EM DIETAS
DEFICIENTES EM ENERGIA PARA FRANGOS DE CORTE: DESENVOLVIMENTO
MUSCULAR E OCORRÊNCIA DE MIOPATIAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, área de concentração Produção Animal, linha de pesquisa em Nutrição e Produção Avícola, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Jovanir Inês Müller
Fernandes.

PALOTINA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M217 Maier, Glauber Sartori
Eficácia da suplementação do ácido guanidinoacético em dietas deficientes em energia para frangos de corte: desenvolvimento muscular e ocorrência de miopatias / Glauber Sartori Maier. -- Palotina, 2018
83f.

Orientadora: Jovanir Inês Müller Fernandes
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Programa de Pós-graduação em Ciência Animal.

1. Creatina. 2. Conversão alimentar. 3. *White striping*.
I. Fernandes, Jovanir Inês Müller. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDU 636.5



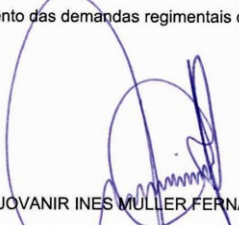
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR PALOTINA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA ANIMAL

TERMO DE APROVAÇÃO


Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA ANIMAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **GLAUBER SARTORI MAIER** intitulada: **EFICÁCIA DA SUPLEMENTAÇÃO DO ÁCIDO GUANIDINOACÉTICO EM DIETAS COM RESTRIÇÃO DE ENERGIA PARA FRANGOS DE CORTE**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Palotina, 28 de Fevereiro de 2018.


JOVANIR INES MULLER FERNANDES
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


RICARDO VIANNA NUNES
Avaliador Externo (UNIOESTE)


DAIANE GULLICH DONIN
Avaliador Externo (UFPR)

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Glauber Sartori Maier, filho de Idalino Maier e Salete Sartori Maier, nascido em Ampére - PR em 28/03/1982.

É formado em Medicina Veterinária pela Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor Palotina, no ano de 2006.

Tem o título de Especialista em Nutrição Animal, pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, no ano de 2013.

Trabalhou com Assessoria Técnica Veterinária nos estados do Mato Grosso e Paraná entre 2007 e 2008, até iniciar o trabalho (2008) na COASUL – Cooperativa Agroindustrial como Nutricionista Animal, onde trabalha atualmente.

A minha família, que sempre me deu suporte,
amor e educação, possibilitando ser o homem que sou hoje.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me proporcionar saúde, sabedoria, e por ter nascido em um lar abençoado.

Agradeço a minha professora e orientadora Dr.^a Jovanir I. M. Fernandes, pela oportunidade concedida, pelo tempo e principalmente pelas noites dedicadas em me ajudar, por todas as dúvidas sanadas e por todo o conhecimento repassado.

Aos meus pais Idalino e Salete, minha irmã Gláucia e meu sobrinho Othávio, por sempre terem me apoiado em tudo, por terem me ensinado desde cedo a ter princípios e por sempre terem me amado.

A minha namorada Audrey, por me amar, me aturar e por ser a pessoa feita para mim.

A todos os professores e funcionários da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, pois vocês são a Universidade.

A todos os colegas da Pós-Graduação do grupo LEA: Raquel, Jonas, Jean, Karen, Daianna, Anete, Jamile, Joice, Adrieli, Rovaldo e Fabrício, por toda a ajuda disponibilizada, dúvidas compartilhadas e amizades fortalecidas.

A todos os estagiários do LEA e alunos de iniciação científica: Heloisa, Elisângela, Eliana, Fernanda, Erika, Djiovane, Lucas Kind, Lucas, Jessiane, Anderson, Regina, Thais e Alexandra, que ajudaram na condução do experimento, manejo das aves e intermináveis coletas. Sem a dedicação, esforços e comprometimento de vocês, isto não seria possível.

A Coasul – Cooperativa Agroindustrial, por permitir me ausentar de minhas atividades para que este trabalho fosse concluído.

A empresa Evonik Brasil LTDA, por ter investido seus recursos nos estudos de interesse mútuo.

A todos que comigo conviveram neste tempo e acompanharam minha evolução pessoal e profissional, meu muito obrigado!

“O mundo não é um mar de rosas. É um lugar muito cruel e sórdido, e não importa o quão durão você seja, o mundo vai te bater até você ficar de joelhos e vai te manter assim permanentemente se você deixar. Nem você, nem eu, nem ninguém bate mais forte que a vida. Mas a questão não é quão forte você bate. A questão é o quanto você aguenta apanhar e continuar seguindo em frente; quanto você suporta e continua indo em frente. É disso que as vitórias são feitas! Agora, se você sabe o quanto você vale, então vá lá e reivindique. Mas você tem que estar disposto a suportar, e não apontar o dedo dizendo que você não está onde deveria estar por causa dele, dela, ou ninguém. Covardes fazem isso, e você não é covarde. Você é melhor que isso!”

Rocky Balboa

RESUMO

Dietas compostas com produtos de origem animal (creatina), quando suplementadas com ácido guanidinoacético (GAA), podem poupar arginina (Arg) e glicina (Gly). Os mesmos poderão ser utilizados mais eficientemente para a síntese proteica, o que pode diminuir a exigência destes aminoácidos na elaboração das dietas. O GAA é um aditivo alimentar, disponível comercialmente, mais eficaz em comparação à CREA (creatina) e Arg, porque é menos oneroso do que qualquer um destes compostos, quimicamente mais estável do que a CREA e pode poupar Arg e Gly. O objetivo deste trabalho foi avaliar a suplementação do ácido guanidinoacético em dietas baseadas em milho, farelo de soja e farinha de carne e seu possível efeito no desempenho zootécnico dos frangos de corte, assim como no rendimento dos cortes nobres, composição de carcaça e seu possível efeito nas miopatias *white striping* e *wooden breast*. Foram utilizados 1400 pintos de corte de um dia de idade, machos, da linhagem Cobb 500, distribuídos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco dietas, sete repetições e 40 aves por unidade experimental (12 aves/m²). As dietas foram compostas por: dieta controle (à base de milho, farelo de soja, farinha de carne); dieta controle + 0,06 % de GAA; dieta controle + 0,10 % de GAA; dieta controle + redução de 50kcal + 0,06 % de GAA; dieta controle + redução de 50kcal + 0,10 % de GAA. Os pesos das aves foram registrados com 7, 14, 21, 28, 35, 42 e 47 dias. O rendimento de carcaça e de cortes comerciais foi determinado aos 42 dias de idade. Foram abatidas 5 aves/unidade experimental para o cálculo de rendimento de carcaça, peito, coxas, asas e deposição de gordura abdominal. O músculo peitoral (*Pectoralis major*) direito de cada ave foi utilizado para análise de pH e cor. Para avaliação da perda de água por pressão, utilizou-se uma amostra de dois gramas do músculo do peito (0,5 cm) que foi pressionada com um peso de 10 kg entre duas placas de acrílico por cinco minutos, em seguida, pesada novamente. Para o cálculo da perda por cocção os filés de peito foram cozidos a 80°C por 60 min. Para avaliação da perda de líquido por descongelamento foi utilizado o músculo peitoral profundo. Aos 42 dias de idade, 175 aves foram abatidas, sendo 35 aves/tratamento, para avaliação macroscópica e microscópica de *white striping* e *wooden breast*. Os dados foram analisados pelo software SAS. Na primeira semana, observou-se uma melhor conversão alimentar para a dieta suplementada com 0,10% de GAA. As aves suplementadas com 0,06% de GAA apresentaram melhor conversão alimentar (período total). Não houve efeito das dietas sobre o peso da carcaça e os cortes comerciais, pH, perda de água por cocção, congelamento, pressão, gotejamento, luminosidade, índice de vermelho e amarelo. As dietas experimentais não influenciaram a ocorrência de lesões macroscópicas de *white striping* e *wooden breast* aos 46 dias de idade.

Palavras-chave: Creatina, conversão alimentar, *white striping*, *wooden breast*

ABSTRACT

Diets composed of products of animal origin (creatine), when supplemented with guanidinoacetic acid (GAA), can save arginine (Arg) and glycine (Gly). They may be used more efficiently for protein synthesis, which may decrease the requirement of these amino acids in the elaboration of diets. GAA is a food additive, commercially available, more effective compared to CREA (creatine) and Arg, because it is less onerous than any of these compounds, chemically more stable than CREA and can save Arg and Gly. The aim of this paper was to evaluate the supplementation of guanidinoacetic acid in diets based on maize, soybean bran and meat meal and its possible effect on the zootechnical performance of broiler chickens, as well as the yields of noble cuts, carcass composition and its possible effect on *white striping and wooden breast* myopathies. One thousand forty one-day-old broiler chickens were used, male, Cobb 500 lineage, distributed in a completely randomized experimental design, with five diets, seven repetitions and forty chickens per experimental unit (12 chickens/m²). The diets were composed by: control diet (based on maize, soybean bran and meat meal); control diet + 0,06 % of GAA; control diet + 0,10 % of GAA; control diet + reduction of 50kcal + 0,06 % of GAA; control diet + reduction of 50kcal + 0,10 % of GAA. The weights of the chickens were registered with 7, 14, 21, 28, 35, 42 and 47 days. Carcass yield and commercial cuts were determined at 42 days old. Five chickens per experimental unit were slaughtered for the calculation of carcass yield, breast, drumsticks, wings and deposition of abdominal fat. The right pectoral muscle (*Pectoralis major*) of each chicken was used for pH and color analyses. To evaluate the loss of water by pressure, a sample of two grams of the breast muscle (0.5 cm) was pressed down, with a weight of 10kg, between two acrylic plates for five minutes and weighed again. To calculate the cooking loss, the steak was cooked at 80°C for 60 min. To evaluate the loss of liquid by thawing, the deep pectoral muscle was used. At 42 days old, one hundred seventy five chickens were slaughtered, being thirty five chickens per treatment, for macroscopic and microscopic evaluation of *white striping* and *wooden breast*. *The SAS software evaluated the data*. During the first week, a better conversion feed was observed for the supplemented diet with 0.10% of GAA. The supplemented chickens with 0.06% of GAA performed a better food conversion (full time). There was no effect of diets on carcass weight, commercial cuts, pH, loss of water by cooking, freezing, pressure, drip, brightness and red and yellow index. The experimental diets did not influence the occurrence of macroscopic lesions of white striping and wooden breast at 46 days old.

Key-words: Creatine, food conversion, white striping, wooden breast

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FIGURA 1 - REAÇÃO DE FORMAÇÃO E METABOLIZAÇÃO DO GAA E CREA	17
FIGURA 2 - SISTEMA “SHUTTLE” DA CREATINA FOSFATO	18

CAPÍTULO II

FIGURA 1 - PREPARO DAS IMAGENS DE LÂMINAS CONTENDO AMOSTRAS DO MÚSCULO PECTORALIS MAJOR CORADAS POR TRICÔMIO DE MASSON PARA QUANTIFICAÇÃO DE TECIDO MUSCULAR, CONJUNTIVO E GORDURA. IMAGEM (A) APRESENTA O CONTRASTE EM AMARELO QUE REPRESENTA A FRAÇÃO DE MÚSCULO. IMAGEM (B) INDICA A PRESENÇA DO CONTRASTE ESTABELECIDO ENTRE A INFILTRAÇÃO DE FIBRAS COLÁGENAS EM MEIO AS FIBRAS MUSCULARES. IMAGEM (C) DESTACA O CONTRASTE ENTRE A GORDURA E AS DEMAIS ESTRUTURAS DO MÚSCULO.....	62
--	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E CALCULADA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS DOS FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO – FASE INICIAL (1 A 18 DIAS).	39
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E CALCULADA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS DOS FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO – FASE CRESCIMENTO (19 A 35 DIAS).	40
TABELA 3 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E CALCULADA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS DOS FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO – FASE ABATE (36 A 47 DIAS).	41
TABELA 4 - DESEMPENHO PRODUTIVO SEMANAL DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO CALÓRICA.	45
TABELA 5 - DESEMPENHO PRODUTIVO (POR FASE) DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO NUTRICIONAL.	47
TABELA 6 - PESOS ABSOLUTOS DE CARÇAÇA E CORTES COMERCIAIS DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO NUTRICIONAL.	48
TABELA 7 - PESOS RELATIVOS DE CARÇAÇA E CORTES COMERCIAIS DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO NUTRICIONAL.	48
TABELA 8 - VALORES DE pH E TEMPERATURA DO PEITO DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO NUTRICIONAL.	49
TABELA 9 - PERDAS (%) POR COCÇÃO, CONGELAMENTO, PRESSÃO E GOTEJAMENTO DE FILÉS DO PEITO DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO NUTRICIONAL.	49
TABELA 10 - VALORES DE LUMINOSIDADE (L*) E ÍNDICE DE VERMELHO (a*) E AMARELO (b*) (CIELAB COLOR SYSTEM) DOS FILÉS DO PEITO DE	

FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO NUTRICIONAL.	49
--	----

CAPÍTULO II

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E CALCULADA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS DOS FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO – FASE INICIAL (1 A 18 DIAS).	58
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E CALCULADA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS DOS FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO – FASE CRESCIMENTO (19 A 35 DIAS).	59
TABELA 3 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E CALCULADA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS DOS FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO – FASE ABATE (36 A 47 DIAS).	60
TABELA 4 - OCORRÊNCIA DE LESÕES MACROSCÓPICAS DE WHITE STRIPING EM FRANGOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM GAA COM E SEM REDUÇÃO CALÓRICA.	64
TABELA 5 - COMPOSIÇÃO DO TECIDO MUSCULAR (%) EM FIBRA MUSCULAR, COLÁGENO E GORDURA DO PEITO DE FRANGOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM GAA COM E SEM REDUÇÃO CALÓRICA.	65
TABELA 6 - OCORRÊNCIA DE LESÕES MACROSCÓPICAS DE WOODEN BREAST EM FRANGOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM GAA COM E SEM REDUÇÃO CALÓRICA.	65
TABELA 7 - OCORRÊNCIA DE LESÕES HISTOPATOLÓGICAS DE WOODEN BREAST EM FRANGOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM GAA COM E SEM REDUÇÃO CALÓRICA.	67
TABELA 8 - CONTAGEM E MENSURAÇÃO DAS FIBRAS MUSCULARES DO PEITO DE FRANGOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM GAA COM E SEM REDUÇÃO CALÓRICA.	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO LITERATURA	14
2.1	HISTOLOGIA E MORFOLOGIA DO TECIDO MUSCULAR	14
2.2	METABOLISMO ENERGÉTICO DA CREATINA NO TECIDO MUSCULAR.....	16
2.3	SUPLEMENTAÇÃO DE GAA EM DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE	19
2.4	ALTERAÇÕES MUSCULARES EM LINHAGENS DE ALTO RENDIMENTO DE CARNE	21
2.4.1	White Striping (Estriação Branca).....	23
2.4.2	Wooden Breast (Peito Amadeirado).....	25
	REFERÊNCIAS.....	27
3	OBJETIVOS.....	33
3.1	OBJETIVO GERAL.....	33
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
	CAPÍTULO I – ÁCIDO GUANIDINOACÉTICO EM DIETAS COM FARINHA DE CARNE E RESTRIÇÃO ENERGÉTICA: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO, RENDIMENTO DE CARCAÇA E QUALIDADE DA CARNE DE FRANGOS DE CORTE	34
	CHAPTER I - GUANIDINOACETIC ACID IN DIETS WITH MEAT MEAL AND ENERGY RESTRICTION: EVALUATION OF PERFORMANCE, CARCASS YIELD AND QUALITY OF BROILER CHICKEN	34
	1 INTRODUÇÃO	35
	2 MATERIAL E MÉTODOS	37
	3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
	4 CONCLUSÃO.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51
	CAPÍTULO II – EFEITO DO ÁCIDO GUANIDINOACÉTICO EM DIETAS COM RESTRIÇÃO CALÓRICA SOBRE A OCORRÊNCIA DE MIOPATIAS EM FRANGOS DE CORTE	54
	CHAPTER II - EFFECT OF GUANIDINOACTIC ACID IN DIETS WITH CALORIC RESTRICTION ON THE OCCURRENCE OF MYOPATHIES IN BROILER CHICKENS	54
	1 INTRODUÇÃO	55
	2 MATERIAL E MÉTODOS	57
	3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
	4 CONCLUSÃO.....	71
	REFERÊNCIAS.....	71
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

Atualmente cerca de quatro milhões de toneladas são exportadas anualmente, ou seja, quase um terço de tudo o que o Brasil produz, exporta para mais de 150 mercados internacionais. Nas granjas brasileiras, a excelência tecnológica em genética, manejo e ambiência garantiram saltos produtivos que colocaram o país como segundo maior produtor mundial de carne de frango, com uma produção de mais de 12 milhões de toneladas anuais (ABPA, 2016).

A composição do valor de venda de aves e suínos é suscetível a uma série de fatores de mercado, com destaque para as oscilações de preço dos grãos e cereais ao longo do ano. Dentre eles está a soja e o milho, que possuem elevada importância pelo amplo uso na fabricação de rações animais. Juntos representam a maior parte na composição do custo de produção de suínos e aves.

Dessa forma, os recentes aumentos nos custos da cadeia produtiva de aves e suínos em decorrência da alta nos preços dos ingredientes utilizados na alimentação animal demandam a adoção de estratégias nutricionais que resultem em melhor aproveitamento dos nutrientes com consequente aumento da eficiência produtiva. Portanto, o desafio atual da indústria avícola é uma produção mais eficiente a fim de diminuir os custos de produção (UBABEF, 2012).

Além disso, é importante ressaltar as restrições dos mercados consumidores sobre a dieta, ambiente, higiene e bem-estar que agregam custos e limitam ainda mais a rentabilidade da produção avícola. Associado a esse fato, as constantes mudanças nos hábitos de consumo e a crescente busca por segurança alimentar, têm forçado o setor a realizar alterações contínuas a fim de atender a demanda e a sensibilidade desses clientes que estão em busca de produtos agregados de alta qualidade e de valor nutricional (UBABEF, 2012).

A pressão pela indústria, produtores e consumidores por um frango de melhor eficiência produtiva e econômica resultou em intenso crescimento muscular (PETRACCI et al., 2012). O aparecimento de algumas miopatias tem desafiado a avicultura moderna, causando perdas por condenações de cortes, devido ao seu aspecto repugnante. Estrias brancas no peito, alteração referida como *white striping*, é caracterizada por linhas brancas visíveis, paralelas à direção das fibras musculares do peito, com variáveis proporções e espessuras, de etiologia ainda desconhecida (KUTTAPPAN et al., 2012a). Com o aumento na gravidade de *white striping*, o

percentual de gordura sofre acréscimo, apresentando característica histológica de adipogênese nos tecidos musculares acometidos. Já o *wooden breast* (peito amadeirado) é caracterizado por um endurecimento do músculo do peito tipicamente na parte proximal do filé, mas o endurecimento pode ser encontrado em todo o músculo, em casos mais graves. Há perda da característica poligonal das fibras, degeneração multifocal, necrose e proliferação de tecido conjuntivo (MUTRYN et.al., 2015).

Pesquisas recentes inferem que fatores nutricionais e de manejo podem estar associados com a incidência das miopatias. O ácido guanidinoacético (GAA) é um composto poupador de Arginina (Arg) e Glicina (Gly), pois é precursor direto da creatina (CREA). Metabolicamente, a CREA tem habilidade de ressintetizar adenosina tri-fosfato (ATP), isto é, fornecer energia quando ocorre intensa síntese de proteína muscular. A CREA ao perder seu grupamento fosfato libera energia que é utilizada para regenerar a adenosina difosfato (ADP) e fosfato inorgânico em ATP, isto é, a CREA fornece energia para a ressíntese do ATP. Cerca de 95% da CREA corporal está armazenada na musculatura esquelética (GREENHAFF, 1997).

Portanto, compostos guanidínicos são capazes de regular a homeostase e a captação muscular de glicose. A suplementação de ácido guanidinoacético (GAA) pode ser particularmente importante em dietas para linhagens de frangos de corte de rápido crescimento inicial devido a grande demanda de energia para o crescimento e o desenvolvimento muscular (BROSNAN et al., 2009).

2 REVISÃO LITERATURA

2.1 HISTOLOGIA E MORFOLOGIA DO TECIDO MUSCULAR

O desenvolvimento musculoesquelético das aves ocorre em dois períodos distintos. Primeiro, na fase embrionária, ocorre o estabelecimento do número de fibras musculares, quando um grande número de células precursoras começa a expressar genes músculo-específicos (CHRIST e BRAND-SABERI, 2002). Posteriormente, após a eclosão, ocorre a hipertrofia das fibras musculares, principalmente através do acréscimo de proteínas e núcleos originados da proliferação e fusão de células satélites (MOSS, 1968).

A composição química da carne sofre variações em função da fase de crescimento do músculo, da idade, da espécie animal, da nutrição e da condição sexual (FORREST et al., 1979). O efeito geral da alimentação e do nível nutricional sobre o crescimento dos animais produtores de carne se reflete na composição dos diversos músculos. A composição centesimal da carne magra apresenta em torno de 75% de água, 21 a 22% de proteína, 1 a 2% de gordura, 1% de minerais e menos de 1% de carboidratos (JUDGE et. al., 1989; LAWRIE, 1967).

Nas aves são identificados três tipos de fibras musculares, sendo estas classificadas de acordo com as suas características metabólicas e contráteis em: tipo I - contração lenta e oxidativa, tipo IIA - contração rápida e oxidativa e tipo IIB - contração rápida e glicolítica (BANKS, 1992; MACARI et. al., 1994). O músculo do peito (*pectoralis major*) é composto por fibras tipo IIB – glicolíticas de contração rápida; as asas (*latissimus dorsi*) têm a predominância de fibras do tipo I – oxidativas de contração lenta; e pernas (*sartorius*) com fibras do tipo I e IIB - oxidativas e glicolíticas (LECLERQ, 1998). As fibras do tipo I são pequenas com numerosas mitocôndrias e abundante pigmento mioglobina, o que lhes confere a cor vermelha. As fibras do tipo II são células musculares grandes que possuem baixa densidade de capilares, pequena quantidade de mioglobina e de mitocôndrias (cor branca), as fibras IIB são facilmente fatigáveis, com grande acúmulo de ácido lático. As fibras aeróbicas, por estarem associadas a processo contínuo de produção e consumo de energia, têm elevada troca de metabólitos e oxigênio, tendo pequena área. Já as fibras anaeróbicas, com reduzidas taxas de trocas metabólicas e de oxigênio,

apresentam maior área e, portanto, maior processo de hipertrofia (BANKS, 1992; MACARI et. al., 1994).

Cor, capacidade de retenção de água e textura são os principais atributos avaliados na carne para determinar sua qualidade. A cor é um dos fatores mais importantes na percepção do consumidor quanto à qualidade da carne, pois é uma característica que influencia tanto a escolha inicial do produto pelo consumidor como a aceitação no momento do consumo (FLETCHER, 1999). A cor observada na superfície das carnes é o resultado da absorção seletiva da luz pela mioglobina e por outros importantes componentes, como as fibras musculares e suas proteínas, sendo também influenciada pela quantidade de líquido livre presente na carne. Os parâmetros utilizados na avaliação da cor da carne baseiam-se no sistema colorimétrico denominado CIELab, sigla composta pelas iniciais da comissão que estabeleceu o sistema (The Commission Internationale de L'Eclairage, em 1976) e suas escalas de cor (luminosidade, representada por L^* , teor de vermelho, representado por a^* e teor de amarelo, representado por b^*) OLIVO et al. (2001).

A capacidade de retenção de água (CRA) expressa a habilidade da carne em reter parcial ou totalmente sua água durante aplicação de forças físicas externas, tais como corte, aquecimento, moagem ou pressão, e que, no momento da mastigação, traduz sensação de suculência ao consumidor (TOLDRÁ, 2003). É uma das propriedades funcionais mais importantes da carne, pois influencia seu aspecto, sua palatabilidade e está diretamente relacionada às perdas antes e durante o cozimento (BRESSAN, 1998). Quando músculo apresenta baixa retenção de água, a perda de umidade e a consequente perda de peso durante a estocagem são maiores, implicando em perdas do valor nutritivo através do exsudato liberado, resultando em uma carne mais seca e com menor maciez (DABÉS, 2001).

A textura da carne é determinada através de sua força de cisalhamento (BRESSAN, 1998). Força esta intimamente relacionada à quantidade de água intramuscular e, portanto, à capacidade de retenção de água da carne, de modo que quanto maior o conteúdo de água fixada no músculo, maior a maciez da carne (ANADÓN, 2002).

O declínio do pH é fundamental para que ocorra o processo de transformação do músculo em carne e qualquer variação no tempo e/ou taxas de declínio podem afetar consideravelmente as características físico-químicas e sensoriais da carne (FARIA, 2007). Embora o animal morra em questão de minutos

após a sangria, suas células continuam a metabolizar e a responder por horas após cessar a respiração. Durante este período, as células musculares continuam a utilizar a respiração aeróbica para produzir e consumir ATP (SAMS, 1999). Quando acaba o oxigênio celular, a célula passa a depender apenas do metabolismo anaeróbico (glicólise) para o atendimento de suas necessidades de ATP (LAWRIE, 1991). De acordo com SAMS (1999), o glicogênio é convertido em ácido láctico, produto final do metabolismo anaeróbico, que se acumula devido à falta de fluxo sanguíneo para removê-lo.

2.2 METABOLISMO ENERGÉTICO DA CREATINA NO TECIDO MUSCULAR

A creatina (CREA) foi descoberta em 1832 pelo cientista francês Michel Eugene Chevreul, que extraiu da carne um novo constituinte orgânico e assim o nomeou. Em 1847, Justus von Liebig, relatou um maior conteúdo desta substância em animais selvagens quando comparados a animais de cativeiro e fisicamente menos ativos (WILLIAMS et al., 1999).

O primeiro passo na síntese de CREA envolve a transferência reversível do grupo amidino da Arginina (Arg) para Glicina (Gly) a fim de formar GAA e ornitina em uma reação catalisada pela enzima arginina: glicina amidinotransferase (AGAT). Tal reação ocorre nos rins e posteriormente o GAA é transportado da corrente sanguínea para o fígado (BLOCH e SCHOENHEIMER, 1941). Em seguida (FIGURA 1), ocorre a transferência irreversível, de um grupo metil da metionina (Met) através da S-adenosilmetionina (SAM) para o GAA, reação catalisada pela enzima guanidinoacetato N-metiltransferase (GAMT), sintetizando finalmente S-adenosilhomocisteína (SAH) e CREA (WALKER, 1960; WILLIAMS et al., 2000).

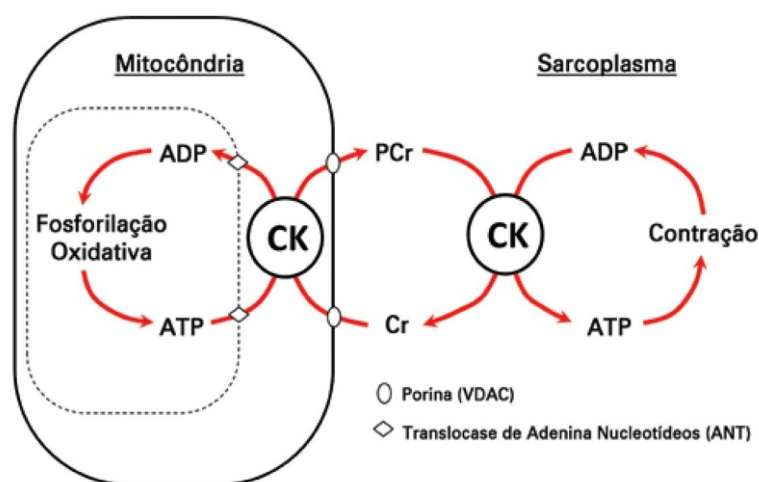
Nos mamíferos, a formação do GAA pela enzima AGAT ocorre nos rins e, portanto, o ácido guanidinoacético deve ser transportado pela corrente sanguínea para o fígado, onde ocorre o acoplamento do grupo metil da metionina. Diferentemente dos mamíferos, nas aves estas duas etapas ocorrem no mesmo órgão, o fígado. Possivelmente, esta seja a razão da CREA dietética induzir maiores respostas positivas em aves que em alguns mamíferos (WALKER, 1960).

fazer a manutenção da taxa de ressíntese de ADP/ATP, sendo importante no processo de contração muscular (WYSS e KADDURAH-DAOUK, 2000).

É provável que a exigência de creatina seja proporcionalmente maior nos animais em crescimento do que nos adultos, pois, além de substituir as perdas de creatina na forma de creatinina, pode ser necessário fornecer CREA aos tecidos em crescimento (MOUSAVI et al., 2013).

O intenso crescimento muscular das linhagens atuais de frangos de corte exige uma intensa demanda energética (PETRACCI et al., 2001). Animais com desenvolvimento muscular acelerado podem ter alterações na velocidade da glicólise, o que pode acarretar alterações nas características de qualidade da carne. Adicionalmente, aves submetidas ao estresse por calor usam mais rapidamente suas reservas de glicogênio, o que pode resultar em seu esgotamento *in vivo*, que por sua vez gera consequências negativas sobre as propriedades funcionais da carne (MCKEE e SAMS, 1997).

FIGURA 2 - SISTEMA “SHUTTLE” DA CREATINA FOSFATO



ADP: adenosina difosfato; CK: creatina quinase; PCr: fosfocreatina; ATP: adenosina trifosfato; Cr: creatina livre.

FONTE: Adaptado de GUIMARÃES-FERREIRA (2014).

Em contraste com fontes de origem animal, dietas exclusivamente vegetais são isentas de creatina. O fornecimento dessas dietas faz com que os aminoácidos Arg e Gly sejam utilizados para formar GAA, composto intermediário para a síntese de creatina. Por outro lado, dietas suplementadas com farinhas de origem animal, podem ser poupadoras desses aminoácidos (DILGER et al., 2013). Arg e Gly

poderão ser utilizados mais eficientemente para a síntese proteica, o que pode diminuir a exigência destes aminoácidos na elaboração das dietas, considerando que a Arg se encontra entre os aminoácidos limitantes em dietas a base de milho e soja para aves (DILGER et al., 2013). Assim, a suplementação de GAA em dietas deficientes em Arg poderia ter um efeito poupador que poderia ser utilizada mais eficientemente na síntese proteica especialmente no desenvolvimento muscular (EDWARDS JR. et al., 1958).

O GAA é um aditivo alimentar, disponível comercialmente, mais eficaz em comparação à CREA e Arg porque é menos oneroso do que qualquer um destes compostos, quimicamente mais estável do que a CREA e pode poupar Arg e Gly (BAKER, 2009).

Segundo Wu e Morris (1998) a Arg é ainda necessária para síntese de vários outros compostos importantes tais como ornitina, poliaminas, prolina, óxido nítrico (NO) e citrulina, além de glutamato e agmatina em mamíferos. A Arg é também considerada um potente secretagogo, aumentando a liberação na corrente sanguínea da insulina, hormônio do crescimento e fator de crescimento semelhante à insulina tipo 1 (IGF-I) (NEWSHOLME et al., 2005).

2.3 SUPLEMENTAÇÃO DE GAA EM DIETAS PARA FRANGOS DE CORTE

O ácido guanidinoacético exerce um papel fundamental junto ao metabolismo celular de energia. É o único precursor imediato da creatina em animais e seres humanos (BLOCH e SCHOENHEIMER, 1941). A CREA é uma reserva de energia chave nos tecidos animais e ajuda a evitar a depleção de ATP através do fornecimento imediato de fosfatos de alta energia para regenerar a molécula de ATP a partir de ADP (WYSS e KADDURAH-DAOUK, 2000). Nas células do corpo o ATP é a principal fonte de energia a qual é destinada ao crescimento e manutenção, em que o fosfato de creatina é metabolizado de forma mais rápida no músculo para geração de energia na forma de ATP (MOUSAVI et al., 2013).

A utilização do GAA na alimentação de animais na fase inicial é importante, pois nessa fase o metabolismo é acelerado, havendo enorme necessidade de deposição proteica e alta exigência em energia cardíaca, principalmente para aves que têm um acelerado crescimento inicial (ARAÚJO et al., 2010).

Para frangos de corte, a suplementação do GAA junto à ração, mostrou um aumento de maneira gradual na quantidade de Creatina muscular dos mesmos. Após o período de uma hora post-mortem, a quantidade de energia (ATP) nos músculos se encontrava maior quando comparados às aves que não receberam suplementação de GAA (LEMME et al., 2007a).

A suplementação de ácido guanidinoacético ou creatina pode restaurar a disponibilidade de creatina no organismo levando ao menor uso de arginina para esse fim, melhorando então o desempenho do animal (MICHIELS et al., 2012). Como a creatina é uma substância osmoticamente ativa, o aumento de sua concentração intracelular pode induzir um influxo de água para dentro da célula (WILLIAMS et al., 2000). Essa hidratação celular induzida pela suplementação de creatina pode aumentar a síntese proteica e diminuir a proteólise (VOLEK et al., 1997).

O GAA é mais estável, apresenta menor custo e possui alta biodisponibilidade, quando comparado à Arg e CREA, o que justifica sua utilização (BAKER, 2009).

Ringel et al. (2008) propuseram que o ácido guanidinoacético pode ter propriedades promotoras sobre o crescimento e eficiência alimentar quando adicionado em dietas à base de milho e farelo de soja em frangos de corte. Também relataram que o uso do GAA contribuiu significativamente com o melhor desempenho produtivo em dietas iniciais para pintos de corte, mesmo quando alimentados com dietas à base de milho e farelo de soja e adequadas em arginina.

Halle et al. (2006) encontraram efeitos inconsistentes sobre o desempenho produtivo e nenhum efeito da CREA nas doses de 0,05 e 0,1 % sobre os atributos de qualidade da carne. Bryant-Angeloni (2010) suplementou a dieta de frangos de corte com 0,12% de GAA e encontrou melhor desempenho mesmo com o nível adequado de Arg. O autor conclui que esta reposta foi devida ao efeito poupador de arginina, entretanto considera que mais estudos devem ser desenvolvidos para o melhor entendimento dos mecanismos envolvidos.

Ao testar os níveis de ácido guanidinoacético de 0,02%, 0,04% e 0,06%, Lemme et al., (2007b) observaram um aumento gradual no conteúdo de creatina muscular dos frangos e uma queda mais lenta de pH *post-mortem*, atribuindo esses resultados provavelmente à melhora no metabolismo energético celular.

Carvalho et al. (2013) avaliaram o desempenho e o rendimento de carcaça de frangos alimentados exclusivamente com dietas vegetais e dietas contendo farinha de sangue e farinha de carne e ossos com adição ou não de CREA. Aos 42 dias de idade os frangos de corte tiveram o ganho de peso melhorado com adição de CREA na ração juntamente com a inclusão de farinha de sangue, em comparação com o mesmo alimento sem CREA.

Em estudo conduzido por Araujo et al. (2013) os autores suplementaram o GAA em rações para matrizes pesadas e concluíram que o nível de 0,08% a 0,12% de GAA melhorou a fertilidade e a eclodibilidade dos ovos das matrizes pesadas.

O ácido guanidinoacético vem demonstrando alto potencial como aditivo para a alimentação de frangos de corte. Vários pesquisadores encontraram resultados positivos com a sua suplementação, tanto para índices zootécnicos, como para rendimento de carcaça.

Entretanto, é necessário estudar os efeitos metabólicos no organismo, uma vez que a metilação do GAA à CREA aumenta consideravelmente a demanda de metilação (STEAD et al., 2006), o que pode induzir ao acúmulo de homocisteína no sangue (SETOUE et al., 2008). Altos níveis de homocisteína nos tecidos de suínos, ratos e humanos têm demonstrado induzir à formação de espécies reativas de oxigênio (HUANG et al., 2001).

2.4 ALTERAÇÕES MUSCULARES EM LINHAGENS DE ALTO RENDIMENTO DE CARNE

Os avanços no crescimento e rendimento da carne de frango têm ocasionado alterações musculares. Dentre estas alterações as miopatias peitorais tem obtido grande enfoque nas pesquisas atuais. Estudos prévios sugerem a relação da ocorrência das miopatias peitorais com o aumento do peso do peito e com a idade da ave (BAUERMEISTER et al., 2009; KUTTAPPAN et al., 2009; MUDALAL et al., 2014).

A criação de frangos de corte para pesos de mercado maiores e em um curto período de tempo somado à crescente demanda por carne avícola por parte dos consumidores, resultou em maior crescimento da musculatura peitoral de frangos que do peso corporal (LILBUM, 1994). Esse resultado proveniente da seleção genética resultou em profundas alterações nas fibras musculares e estrutura

vascular do músculo esquelético das aves e conduziu a um aumento da incidência de problemas musculares (DRANSFIELD e SOSNICKI, 1999; HOVING-BOLINK et al., 2000). As miopatias trazem grandes perdas econômicas devido à condenação de carcaças e a rejeição pelo consumidor (BAILEY et al., 2015).

Adicionalmente, à medida que o diâmetro das fibras musculares aumenta, há diminuição concomitante na densidade capilar, pois como as fibras aumentam de comprimento e de diâmetro, os capilares que cercam as fibras são deslocados, limitando o fornecimento de oxigênio e a difusão na fibra muscular, induzindo à isquemia (JOINER et al., 2014).

O aparecimento de estrias brancas no peito, alteração referida como *white striping* (WS), é caracterizada por linhas brancas visíveis, paralelas à direção das fibras musculares do peito, com variáveis proporções e espessuras, de etiologia ainda desconhecida (KUTAPPAN et al., 2012a). À medida que a gravidade de *white striping* aumenta, o percentual de gordura, sofre acréscimo, apresentando característica histológica de adipogênese nos tecidos musculares acometidos. Já o *wooden breast* (WB) é caracterizado por um endurecimento do músculo do peito tipicamente na parte proximal do filé, mas o endurecimento pode ser encontrado em todo o músculo nos casos mais graves. Há perda da característica poligonal das fibras, degeneração multifocal, necrose e proliferação de tecido conjuntivo (SIHVO et al., 2014; MUTRYN et al., 2015).

Além do componente genético, fatores nutricionais, de manejo e até sanitários podem estar envolvidos na ocorrência das diferentes miopatias. Bailey et al., (2015) destacam que estes fatores podem contribuir com mais de 65% da variância da incidência de miopatias do músculo do peito.

Abasht et al. (2016) afirma que embora a etiologia exata do WB seja desconhecida atualmente, observaram em seus estudos informações importantes sobre caminhos metabólicos e bioquímicos envolvidos na patologia. Como alterações no metabolismo da glicose e alterações de ordem oxidativa nos músculos afetados. Seus resultados sugeriram que a suplementação de vitamina C poderia ajudar a diminuir a incidência de *wooden breast* nos frangos de corte modernos.

Bailey et al. (2015) analisaram duas linhagens de frango de corte e concluíram que há um forte componente não-genético envolvido na ocorrência de WS e WB. Uma criação adequada, incluindo características relacionadas à

produção, bem-estar e manejo são essenciais para alcançar um progresso equilibrado nas linhas de frangos de corte modernos.

World et al. (2017), apontaram a tecnologia de espectroscopia infravermelha (NIR), como sendo um bom método para detecção em tempo real de WB na linha de produção do frigorífico. Seus resultados mostraram que o NIR pode ser utilizado para aliviar os desafios que o WB representa para a indústria, pois o baixo teor de proteínas, característico da patologia, é claramente detectado. Sendo possível ordenar a carne de peito afetada para diferentes categorias de produtos.

2.4.1 *White Striping* (Estriação Branca)

A miopatia descrita como *White Striping* (WS) ou Estriação Branca, caracteriza-se por estrias brancas que ocorrem paralelamente ao sentido das fibras musculares. Ocorrem mais comumente nos músculos do peito, mas também podem ocorrer em alguns músculos da coxa. Estas estrias brancas estão causando preocupação na indústria de frangos de corte devido à rejeição pelos consumidores nos cortes mais acometidos, pois a aparência visual é um atributo importante na compra da carne crua (KUTTAPPAN et al., 2012a; KUTTAPPAN et al., 2012 b; KUTTAPPAN et al., 2013 b).

Dependendo da gravidade das lesões, elas podem ser classificadas como normais, moderadas ou severas. Os cortes de peito considerados normais não apresentam quaisquer linhas brancas, ao passo que cortes com linhas brancas < 1mm são consideradas moderadas e linhas > 1mm são consideradas severas (KUTTAPPAN et al., 2012a).

Os graus mais elevados de WS parecem estar associados a aves mais pesadas e com maior taxa de crescimento. Isso sugere que o aumento nas taxas de crescimento dos frangos de corte, acompanhado com a seleção de frangos de maior crescimento em menor tempo, poderiam produzir maior incidência destas lesões no mercado da carne (KUTTAPPAN et al., 2012b). Até o momento poucos estudos estão sendo conduzidos sobre as alterações sistêmicas que ocorrem em aves vivas acometidas com esta condição. O conhecimento sobre estas alterações pode ajudar a obter informações valiosas sobre a etiologia das alterações dos tecidos associados com as mesmas (KUTTAPPAN et al., 2013a).

Kuttappan et al. (2013b) avaliaram a histologia da condição e relataram que os graus mais elevados de WS estão associados a danos das fibras musculares. Além disso, WS é histologicamente caracterizada por lipidose localizada associada com miofibras necrosadas. Uma análise centesimal revelou uma maior quantidade de gordura, com diferenças no perfil de ácidos graxos de amostras severamente afetadas, quando comparados com amostras não afetadas (KUTTAPPAN et al., 2012 b). Pesquisas recentes demonstraram haver aumento dos escores de degeneração, necrose, lipidose e fibrose de acordo com o aumento do grau de estriação branca de normal para severo, associado á presença de áreas de regeneração (KUTTAPPAN et al., 2013c). Importante destacar, que apesar dos prejuízos econômicos resultantes, seja pelas perdas no abatedouro ou rejeição pelo consumidor, não há relação com condição infecciosa ou inflamatória.

Kuttappan et al. (2013a) compararam o perfil sorológico de frangos de corte com grau normal e severo de WS, e observaram diferenças em vários parâmetros hematológicos, incluindo o número total de leucócitos, sendo que, frangos com grau severo apresentaram elevados níveis séricos de creatina quinase, alanina transaminase, aspartato aminotransferase e lactato desidrogenase. Estes resultados sugerem que não há nenhuma condição infecciosa ou inflamatória sistêmica associada com um grau severo e que níveis elevados de enzimas do soro confirmam o dano muscular associado com a miopatia degenerativa.

Outro estudo comparando aves alimentadas com dietas de alta e baixa energia demonstrou que dietas mais energéticas apresentaram melhor conversão alimentar, maior peso vivo, maior peso de peito e porcentagem maior para grau severo de WS, em comparação a aves alimentadas com baixa energia. A maioria das aves alimentadas com dietas de baixa energia apresentaram tendências a escores normais para WS. Também foi constatado que houve aumento do tecido adiposo e diminuição do proteico, quando havia um aumento do escore de normal para severo (KUTTAPPAN et al., 2013a). Esse estudo demonstrou claramente a relação entre o maior rendimento de peito e melhor desempenho produtivo e a ocorrência de WS, além de sinalizar a importância da dieta na gravidade e ocorrência da síndrome.

2.4.2 *Wooden Breast* (Peito Amadeirado)

Uma nova miopatia muscular chamada de *wooden breast* (WB) surgiu na indústria avícola impactando significativamente a saúde e qualidade da carne de frangos de corte comerciais. Esta doença, descrita pela primeira vez na literatura por Sihvo et al. (2014), é caracterizada pelo endurecimento severo do músculo peitoral maior durante o crescimento das aves de corte comerciais. A detecção de casos graves de *wooden breast* pode ser realizada através da palpação manual dos músculos do peito. Publicações recentes apontaram taxas de incidência, efeitos na qualidade da carne, possíveis mecanismos biológicos e caminhos que contribuem com o aparecimento e evolução da doença, embora sua etiologia continue desconhecida (ABASHT et al., 2016).

A taxa de incidência de WB em frangos comerciais ainda não está bem documentada. No entanto, esta miopatia tem sido identificada como um defeito de qualidade emergente, apresentando até 50% de indivíduos afetados em alguns casos (OUWENS, 2014). Esta miopatia já foi encontrada em vários países ao redor do mundo, incluindo Estados Unidos, Finlândia, Itália e Brasil. O fardo econômico posto sobre a indústria avícola devido à incidência de peito amadeirado, provavelmente seja tão grande como as consequências das alterações musculares causadas pela WS, as quais causam redução significativa na estética da carne de frangos de corte (MUDALAL, 2014).

Mutryn et al. (2015), estabeleceram um perfil de expressão gênica característico em aves afetadas pelo *wooden breast*. A partir daí, verificou a probabilidade de vários fatores que contribuem para a doença, como a hipóxia muscular localizada, os danos do estresse oxidativo para o músculo afetado e o aumento dos níveis de cálcio intracelular. Também tem sido sugerido que o excesso de produção de decorina é outro fator que aumenta a dureza do músculo peitoral, potencialmente através de um aumento no “*crosslinking*” do colágeno (VELLEMAN e CLARCK, 2015). Alguns autores sugerem como causa, a hipótese de uma deficiência no metabolismo da glicose devido à expressão alterada de genes múltiplos (MUTRYN et al., 2015). Porém a maioria dos autores (MUDALAL, 2014; MUTRYN et al., 2015; VELLEMAN e CLARCK, 2015) sugere como hipótese contribuinte para o *wooden breast* a elevada taxa de crescimento. Também tem sido demonstrada que a alimentação de alta eficiência dos frangos de corte modernos,

que apresentam elevados rendimentos de peito, assim como rápido crescimento, é um fator predisponente ao aparecimento da miopatia (MUTRYN et al., 2015).

Comparações entre duas linhagens de corte comerciais mostrou que há maior incidência de miopatias em frangos de corte de linhagens selecionada para alto rendimento de carne de peito, em comparação com aves selecionadas para produção moderada de carne de peito (BAILEY et al., 2015).

Em um estudo com duas linhagens de frangos geneticamente distintas e uma linhagem de frangos comerciais, Abasht et al. (2016) analisaram e compararam 282 compostos conhecidos, onde foram encontradas diferenças significativas em 140 compostos entre o peito de aves afetadas e não afetadas pela WB e encontraram algumas variações na concentração de metabólitos nos tecidos. Entre elas, observaram redução de histidina derivada dos antioxidantes carnosina e anserina e aumento dos metabólitos glutatona reduzida (GSH) e glutatona oxidada (GSSH) indicando que na condição de WB há a exposição dos tecidos aos radicais livres. Além disso, os músculos afetados pela miopatia também apresentaram níveis reduzidos dos intermediários glicolíticos glicose 6-fosfato e frutose 6-fosfato, bem como de produtos finais de lactato e piruvato. Consistente com os metabólitos glicolíticos reduzidos, o músculo afetado mostrou uma significativa redução no conteúdo de glicogênio muscular.

Nos tecidos afetados, múltiplos ácidos graxos de cadeia longa, incluindo palmitato, palmitoetolato, estearato e oleato se acumularam (disponibilidade de lipídeos para a β -oxidação mitocondrial). Os níveis de catabólitos de fosfolipídeos glicerol 3-fosfato, glicerofosfoetanolamina e glicerofosforilcolina também foram maiores nos tecidos afetados, em comparação com os controles. Além disso, os tecidos afetados apresentaram maiores níveis de glicerol e monoacilglicerol.

Esses autores, também encontraram que produtos da oxidação lipídica, tais como 13-HODE e 9-HODE (metabólitos frequentemente indicativos da exposição a radicais livres) , bem como os eicosanóides 15-HEPE, 15-HETE e 15-KETE foram elevados nos tecidos afetados, podendo representar um mecanismo de compensação para atenuar a inflamação, uma vez que estes mediadores lipídicos têm mostrado exibir propriedades anti-inflamatórias.

Finalmente, os níveis de nucleotídeos e seus metabólitos relacionados foram significativamente diferentes entre as aves afetadas e não afetadas. Em comparação com os controles, os tecidos afetados apresentavam níveis mais elevados de

citidina, timidina, adenina, uridina e guanosina, porém, níveis mais baixos de seus metabólitos relacionados inosina 5'-monofosfato, adenosina 5'-difosfato, adenosina 5'-monofosfato e citidina-3'-monofosfato. Os tecidos afetados também apresentaram níveis mais altos de compostos de catabolismo de nucleotídeos, tais como hipoxantina, xantina, urato e uracila. Notavelmente, de 30 principais metabólitos importantes na diferenciação dos tecidos afetados e não afetados pela *wooden breast*, 7 estão envolvidas no metabolismo de nucleotídeos.

As análises deste estudo, permitiram definir biomarcadores da miopatia nas aves afetadas e revelaram grandes diferenças metabólicas entre aves afetadas e não afetadas, além de confirmar a deficiência no metabolismo da glicose, o que até o momento era considerado apenas uma hipótese (ABASHT et al., 2016).

REFERÊNCIAS

ABASHT, B.; MUTRYN M, F.; MICHALEK R. D.; LEE W.R. Oxidative Stress and Metabolic Perturbations in Wooden Breast Disorder in Chickens. **Plos One**, 2016.

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. Disponível em: <<http://abpabr.com.br/noticia/producao-de-carne-de-frango-totaliza-13146-milhoes-de-toneladas-em-2015-1545>> Acesso em 14 de novembro de 2017.

ANADÓN, H. L. S. Biological, nutritional and processing factors affecting breast meat quality of broilers. **Thesis** (Doctor of Philosophy in Animal and Poultry Sciences) – Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002.

ARAÚJO, L. F.; KIDD, M. T.; ARAÚJO, C. S. S.; BARBOSA, L. C. G. S. Impacto da nutrição de matrizes pesadas sobre o desenvolvimento da progênie. Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, CBNA, Campinas, **Anais**, p. 24 – 33, 2010.

ARAUJO, L. F.; RAMALHO, J. B.; RODRIGUEIRO, R. J. B.; ARAUJO, C. S. S.; REDEMACHER, M. Efeito do ácido guanidinoacético em matrizes pesadas e o desempenho das progênies. **Rev. Prod, Anim. – Avicultura**, 2013.

BAILEY, R. A.; WATSON, K. A.; BILGILI, S. F.; AVENDANO, S. The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines. **Poult Sci**, 94: 2870–2879, 2015.

BAKER, D. H. Advances in protein-amino acid nutrition of poultry. **Amino Acids** 37:29–41, 2009.

BANKS, W. J. Tecido muscular. In: **Histologia veterinária aplicada**. 2.ed. São Paulo: Manole. p.215-236, 1992.

BAUERMEISTER, L. J.; MOREY, A. U.; MORAN, E. T.; SINGH, M.; OWENS, C.M.; MCKEE, S. R. Occurrence of white striping in chicken breast fillets in relation to broiler size. **Poultry Science**, Champaign, v. 88, n. 33, 2009.

BRESSAN, M. C. **Efeitos dos fatores pré e pós-abate sobre a qualidade da carne de peito de frango**. Tese (Doutorado em tecnologia de alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

BLOCH, K.; SCHOENHEIMER, R. The biological precursors of creatine. **J. Biol. Chem.** 138, 167–194, 1941.

BROSNAN, J. T.; WIJEKOON, E. P.; WARFORD-WOOLGAR, L.; TROTTIER, N. L.; BROSNAN, M. E.; BRUNTON, J. A.; BERTOLO, R. F. P. Creatine synthesis is a major metabolic process in neonatal piglets and has important implications for amino acid metabolism and methyl balance. **J. Nutr.** 139:1292-1297, 2009.

BRYANT – ANGELONI, K. I. Dietary guanidinoacetic acid spares arginine and dietary l-homoserine spares threonine in the chick. **Master of Science in Animal Sciences** in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2010.

CARVALHO, C. M. C.; FERNANDES, E. A.; CARVALHO, A. P.; MACIEL, M. P.; CAIRES, R. M.; FAGUNDES, N. S. Effect of creatine addition in feeds containing animal meals on the performance and carcass yield of broilers. **Rev. Bras. de Cienc. Avic.** 15 (3): 169-286, 2013.

CHRIST, B.; BRAND-SABERI, B. Limb muscle development. **International Journal of Developmental Biology**, v.46, p.905-914, 2002.

DABÉS, A. C. Propriedades da carne fresca. **Revista Nacional da Carne**. São Paulo, v. 25, n. 288, p. 32-40, fev. 2001.

DILGER, R. N.; BRYANT-ANGEONI, K.; PAYNE, R, L.; LEMME, A.; PARSONS, C. M. Dietary guanidino acetic acid is an efficacious replacement for arginine for young chicks. **Poult. Sci.**, 92:171-177, 2013.

DRANSFIELD, E.; SOSNICKI, A. Relationship between muscle growth and poultry quality. **Poultry Science**, Champaign, v. 78, n. 5, p. 743-746, May, 1999.

EFSA - Scientific opinion of the Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP) on a request from the European Commission on the safety and efficacy of CreAmino (guanidinoacetic acid) as feed additive for chickens for fattening. **EFSA J.** 988:1–30, 2009.

EDWARDS JR, H. M.; YOUNG, R. J.; GILLIS, M. B. Studies on arginine deficiency in chicks. **J Nutr** 64:271-279, 1958.

FARIA, P. B. **Desempenho e qualidade de carcaça e carne de frangos criados em sistema alternativo**. Tese (Doutorado em ciências e tecnologia de alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

FEBBRAIO, M. A.; FLANAGAN, T. R.; SNOW, R. J.; ZHAO, S.; CAREY, M. F. Effect of creatine supplementation on intramuscular TCr, metabolism and performance during intermittent, supramaximal exercise in humans. **Acta Physiologica Scandinavica**, 155, 387-395, 1995.

FLETCHER, D. L. Broiler breast meat color variation, pH and texture. **Poultry Science**, Savoy, v. 78, p. 1323-1327, 1999.

FORREST, J. C.; ABERLE, E. D.; HEDRICK, H. B.; JEDGE, M. D.; MERKEL, R. A. **Fundamentos de ciencia de la carne**. Zaragoza: Acribia, 364 p, 1979.

GREENHAFF, P. L. The nutritional biochemistry of creatine. **J Nutr. Biochem.** 8, 610-618, 1997.

GUIMARÃES-FERREIRA, L. Papel do sistema da fosfocreatina na homeostase energética das musculaturas esquelética e cardíaca, **Einstein**. 12(1): 126-31, 2014.

HALLE, I.; HENNING, M.; KOHLER, P. Studies of the effects of creatine on performance of laying hens, on growth and carcass quality of broilers. **Landbauforschung Volkenrode**; 56:11–18, 2006.

HOVING-BOLINK, A. H.; KRANER, R. W.; KLONT, R. E.; GERRITSEN, C. L. M.; DE GREEF, K. H. Fibre area and capillary supply in broiler breast muscle in relation to productivity and ascites Meat **Sci.** n.56, p. 397-402, 2000.

HUANG, R. F.; HSU, Y. C.; LIN, H. L.; YANG, F. L. Folate depletion and elevated plasma homocysteine promote oxidative stress in ratlivers. **J Nutr** ; 131(1):33-8, 2001.

JOINER, K. S.; HAMLIN, A. C. G. A.; LIEN, A. R. J.; BILGILI, S. F. B. Evaluation of Capillary and Myofiber Density in the Pectoralis Major Muscles of Rapidly Growing, High-Yield Broiler Chickens During Increased Heat Stress. **Avian Diseases**, n.58, v.3, p.377-382, 2014.

JUDGE, M.; ABERLE, E.; FORREST, J. Principles of meat science. Iowa : **Kendal Hunt Publication**, 507p, 1989.

KUTTAPPAN, V. A.; BREWER, V. B.; CLARK, F. D.; MCKEE, S. R.; MEULLENET, J. F.; EMMERT, J. L.; OWENS, C. M. Effect of white striping on the histological and meat quality characteristics of broiler fillets. **Poultry Science**, Champagnain, v.88 (Suppl.1), n. 447 (Abstr.). 2009.

KUTTAPPAN, V. A.; LEE, Y., ERF, G. F.; MEULLENET, J. F.; OWENS, C. M. Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. **Poult. Sci.** 92:339–345, 2012a.

KUTTAPPAN, V. A.; BREWER, V. B.; WALDROUP, P. W.; OWENS, C. M. Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets. **Poult. Sci.** 91:2677–2685, 2012b.

KUTTAPPAN, V. A.; HUFF, G. R.; HUFF, W. E.; HARGIS, B. M.; APPLE, J. K.; COON, C.; OWENS, C. M. Comparison of hematologic and serologic profiles of

broiler birds with normal and severe degrees of white striping in breast fillets. **Poult. Sci.** 91:2677–2685, 2013a.

KUTTAPPAN, V. A.; BREWER, V. B.; MAUROMOUSTAKOS, A.; MCKEE, S. R.; EMMERT, J. L.; MEULLENET, J. F.; OWENS, C. M. Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. **Poult. Sci.** 92:811-819, 2013b.

KUTTAPPAN, V. A.; SHIVAPRASAD, H. L.; HARGIS, B. M.; CLARK, F. D.; MCKEE, S. R.; OWENS, C. M. Histopathological changes associated with white striping in broiler breast muscles. **Poult. Sci.** 92:331-338, 2013c.

LAWRIE, R. A. **Ciência de la Carne**. Zaragoza: Acribia, p. 380, 1967.

LAWRIE, R. A. **Meat science**. New York : Pergamon, p. 293, 1991.

LECLERQ, B. Specific effects of lysine on broiler production: comparison with threonine and valine. **Poultry Science**, Champaign, v. 77, p. 118 – 123, 1998.

LEMME, A. J.; TOSSENBERGER, J. Digestibility and availability of the creatine source guanidino acetic acid in broilers. **Poultry Science**, v.86, ed.1, p.153, 2007a.

LEMME, A.; RINGEL, J.; STERK, A.; YOUNG, J. F. Supplemental guanidino acetic acid affect energy metabolism of broiler. 16 th European Symposium on Poultry Nutrition. Strasbourg, França. **World Poultry Science Association**, 2007b.

LILBURN, M. Skeletal growth of commercial poultry species. **Poultry Science**, Champaign, v.73, p.897-903, 1994.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal: FUNEP, p. 296, 1994.

MCKEE, S. R.; SAMS, A. R. The effect of seasonal heat stress on rigor development and the incidence of pale, exudative turkey meat. **Poultry Science**, Champaign, n. 76, p. 1616-1620, 1997.

MICHIELS, J.; MAERTENS, L.; BUYSE, J.; LEMME, A.; RADEMACHER, M.; DIERICK, N. A.; DE SMET, S. Supplementation of guanidinoacetic acid to broiler diets: effects on performance, carcass characteristics, meat quality, and energy metabolism. **Poult Sci**; n. 91, p. 402-412, 2012.

MOSS, F. P. The relationship between the dimensions of the fibers and the number of nuclei during normal growth of skeletal muscle in the domestic fowl. **American Journal of Anatomy**, v. 122, p. 555-564, 1968.

MOUSAVI, S. N.; AFSAR, A.; LOTFOLLAHIAN, H. Effects of guanidinoacetic acid supplementation to broiler diets with varying energy contents. **Journal Appleid poultry Research**, V. 22, P. 47–54, 2013.

MUDALAL, S.; LORENZI, M.; SOGLIA, F.; CAVANI, C.; PETRACCI, M. Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. **Animal**. V. 9, p. 728–734, 2014.

- MUTRYN, M. F.; BRANNICK, E. M.; FU, W.; LEE, W. R.; ABASHT, B. Characterization of a novel chicken muscle disorder through differential gene expression and pathway analysis using RNA-sequencing. **BMC Genomics**; 16: 399, 2015.
- NEWSHOLME, P.; BRENNAN, L.; RUBI, B. New insights into amino acid metabolism, beta-cell function and diabetes. **Clinical Science**, v.108, p.185-194, 2005.
- OLIVO, R.; GUARNIERI, P. D.; SHIMOKOMAKI, M. Fatores que influenciam na cor de filés de peito de frango. **Revista Nacional da Carne**, v. 25, n. 289, p. 44- 49, 2001.
- OWENS, C. M., Identifying quality defects in poultry processing. **Watt Poult. USA**; 42–50, 2014.
- PETRACCI, M.; FLETCHER, D.L.; NORTHCUTT, J. K. The effect of holding temperature on live shrink, processing yield, and breast meat quality of broiler chickens. **Poult. Sci.**, Ithaca, v.80, p.670-675, 2001.
- PETRACCI, M., CAVANI, C. Muscle growth and poultry meat quality issues. **Nutrients** 4:1–12, 2012.
- RINGEL, J.; LEMME, A.; ARAUJO, L. F. The effect of supplemental guanidineacetic acid in Brazilian type broiler diets at summer conditions. **Poult. Sci.** 87(Suppl. 1):154, 2008.
- SAMS, A. R. Meat quality during processing. **Poultry Science**, Savoy, v. 78, p. 798-803, 1999.
- SETOUE, M.; OHUCHI, S.; MORITA, T.; SUGIYAMA, K. Hyperhomocysteinemia induced by guanidinoacetic acid is effectively suppressed by choline and betaine in rats. *Biosci. Biotechnol.* **Biochem.**, 72:1696–1703, 2008.
- SIHVO, H. K.; IMMONEN, K.; PUOLANNE, E. Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers. **Vet Pathol.** 51:619–23, 2014.
- STEAD, L. M.; BROSANAN, J. T.; BROSANAN, M. E.; VANCE, D. E.; JACOBS, R. L. Is it time to reevaluate methyl balance in humans. **Am. J. Clin. Nutr.** 83:5-10, 2006.
- TOLDRÁ, F. Muscle foods: water, structure and functionality. **Food Science Technology International**. V. 9, n. 3, p.173-177, 2003.
- UBABEF – União Brasileira de Avicultura. **Relatório anual**. (<http://abpa-br.com.br/files/publicacoes/41c30a0f46702351b561675f70fae077.pdf>), 2012.
- VELLEMAN, S. G.; CLARK, D. L. Histopathologic and Myogenic Gene Expression Changes Associated with Wooden Breast in Broiler Breast Muscles. **Avian Diseases**, v. 59, n. 3, p. 410–418, 2015.
- VOLEK, J. S.; BOETES, M. A.; BUSH, J. A.; PUTUKIAN, M.; SEBASTIANELLI, W. J.; KRAEMER, W. J. Response of testosterone and cortisol concentrations to

highintensity resistance exercise following creatine supplementation. **J strength cond res.** 97:765-770, 1997.

WALKER, J. B. Metabolic control of creatine biosynthesis. I. Effect of dietary creatine. **Journal of Biological Chemistry**, v.235, p.2357-2361, 1960.

WILLIAMS, M. H.; KREIDER, R. B.; BRANCH, J. D. Creatine - the power supplement. Champaign, IL ; Leeds, U.K. : **Human Kinetics**; p. 6-29, 1999.

WILLIAMS, M. H.; KREIDER, R. B.; BRANCH, J. D. **Creatina**, Manole, 2000.

WORLD, J. P.; VEISETH-KENT, E.; HOST, V.; LOVLAND, A. Rapid on-line detection and grading of wooden breast myopathy in chicken fillets by near-infrared spectroscopy. **Plos One**, 2017.

WU, G.; MORRIS S. M. JR., Arginine metabolism: nitric oxide and beyond. **Biochemical Jurnal**; 336:1-17, 1998.

WYSS, M.; KADDURAH-DAOUK, R. Creatine and creatinine metabolism. **Physiol Rev** 80: 1107–1213, 2000.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar a suplementação do ácido guanidinoacético em dietas baseadas em milho, farelo de soja e farinha de carne e seu possível efeito no desempenho zootécnico dos frangos de corte, assim como no rendimento dos cortes nobres, composição de carcaça e seu possível efeito nas miopatias *white striping* e *wooden breast*.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito do ácido guanidinoacético na conversão alimentar dos frangos de corte, ganho de peso diário, peso aos 21 e 42 dias de idade, assim como no rendimento de cortes nobres (peito e perna), composição de carcaça, qualidade da carne, cor, textura e capacidade de retenção de líquidos.
- Avaliar o efeito do ácido guanidinoacético na conformação das fibras musculares e possíveis influências nas miopatias *white striping* e *wooden breast*.

CAPÍTULO I – ÁCIDO GUANIDINOACÉTICO EM DIETAS COM FARINHA DE CARNE E RESTRIÇÃO ENERGÉTICA: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO, RENDIMENTO DE CARCAÇA E QUALIDADE DA CARNE DE FRANGOS DE CORTE

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da suplementação dietética de ácido guanidinoacético sobre o desempenho produtivo, rendimento e qualidade de cortes nobres de frangos de corte. Foram utilizados 1400 pintos de corte de um dia de idade, machos, da linhagem Cobb 500, distribuídos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco dietas, sete repetições e 40 aves por unidade experimental. As dietas experimentais foram compostas por dieta controle, dieta controle com 0,06% e 0,10% de GAA e dieta controle com 0,06% e 0,10% de GAA e redução de 50 kcal. A fonte de GAA foi o CREAMINO® (96% GAA). A suplementação com 0,10% de GAA apresentou melhor CA ($p<0,05$) na primeira semana, não havendo diferença para os outros índices avaliados. Na segunda semana as aves que receberam 0,06% de GAA e redução calórica apresentaram menor ($p<0,05$) peso vivo e menor ganho de peso. As que receberam 0,10% de GAA e redução calórica mantiveram o peso vivo e o ganho de peso. Houve efeito significativo das dietas sobre a conversão alimentar nas fases finais, de 1 a 35 dias, 1 a 42 dias e 1 a 47 dias. Não foram encontradas diferenças ($p<0,05$) para peso de carcaça, cortes nobres, gordura abdominal, perdas por cocção, congelamento, pressão, gotejamento e cor. A suplementação com GAA mostrou-se ser eficiente na melhora e/ou manutenção (redução calórica) da CA de frangos de corte.

Palavras-chave: Conversão alimentar, creatina, rendimento de carcaça, redução calórica.

CHAPTER I - GUANIDINOACETIC ACID IN DIETS WITH MEAT MEAL AND ENERGY RESTRICTION: EVALUATION OF PERFORMANCE, CARCASS YIELD AND QUALITY OF BROILER CHICKEN

ABSTRACT

This paper aims to evaluate the effect of dietary supplementation of guanidinoacetic acid on the productive performance, yield and quality of noble cuts of broiler chickens. One thousand four hundred one-day-old broiler chickens were used, male, Cobb 500 lineage, distributed in a completely randomized experimental design, with five diets, seven repetitions and forty chickens per experimental unit. The experimental diets were composed by control diet, with 0.06% and 0.10% of GAA, control diet with 0.06% and 0.10% of GAA and reduction of 50 kcal. The GAA source was CREAMINO® (96% GAA). The supplementation with 0.10% of GAA presented

better CA ($p < 0,05$) during the first week, there was no difference for the other indices evaluated. During the second week the chickens which received 0.06% of GAA and caloric reduction presented lower ($p < 0,05$) live weight and lower weight gain. The chickens, which received 0.10% of GAA and caloric reduction, maintained live weight and weight gain. There was a significant effect of the diets on feed conversion in the final stages, from 1 to 35 days, 1 to 42 days and 1 to 47 days. Differences were not found ($p < 0,05$) for carcass weight, noble cuts, abdominal fat, cooking loss, freezing, pressure, drip and color. The supplementation with GAA proved to be efficient in the improvement and/or maintenance (caloric reduction) of CA of broilers.

Key-words: Feed conversion, creatine, carcass yield, caloric reduction.

1 INTRODUÇÃO

Todos os processos das células envolvidas no crescimento e metabolismo requerem energia. Nas células, o trifosfato de adenosina (ATP), que é a principal fonte de energia, é usado para manutenção e crescimento. Particularmente, nas células musculares, a creatina (CREA) é utilizada para alimentar o processo de contração combinando-se com o fosfato e convertendo-se em fosfocreatina (PCr). A PCr é uma reserva rapidamente mobilizável de fosfato de alta energia para a formação de ATP (MOUSAVI et al., 2013), essencial para produzir rápidos e curtos surtos de energia (WILLIAMS et al., 2000). É provável que o requisito para a CREA seja proporcionalmente maior em animais em crescimento do que em manutenção, pois, além de substituir as perdas de creatina na forma de creatinina, precisa atender a demanda energética dos tecidos em crescimento (MOUSAVI et al., 2013), considerando que mais que 90% do *pool* de CREA corporal é encontrada no tecido muscular (WYSS e KADDURAH-DAOUK, 2000).

O primeiro passo na síntese de CREA envolve a transferência reversível do grupo amidino da Arginina (Arg) para Glicina (Gly) a fim de formar o ácido guanidinoacético (GAA) e ornitina em uma reação catalisada pela enzima arginina: glicina amidinotransferase. Em seguida ocorre a transferência irreversível, de um grupo metila da metionina (Met) através da S-adenosilmetionina (SAM) para o GAA, reação catalisada pela enzima guanidinoacetato N-metiltransferase (GAMT), sintetizando finalmente S-adenosilhomocisteína (SAH) e CREA (WALKER, 1960; WILLIAMS et al., 2000).

Em contraste com fontes de origem animal, dietas exclusivamente vegetais são isentas de CREA. O fornecimento dessas dietas faz com que os aminoácidos Arg e Gly sejam utilizados para formar GAA, composto intermediário para a síntese de CREA. Por outro lado, dietas suplementadas com farinhas de origem animal, podem ser poupadoras desses aminoácidos (DILGER et al., 2013).

Nesse sentido, Ringel et al. (2008) propuseram que o GAA pode ter propriedades promotoras sobre o crescimento e eficiência alimentar quando adicionado em dietas a base de milho e farelo de soja em frangos de corte. Também relataram que o uso do GAA contribuiu significativamente com o melhor desempenho produtivo em dietas iniciais para pintos de corte. Em concordância, Bryant-Angeloni (2010) suplementou a dieta de frangos de corte com 0,12% de GAA e encontrou melhor desempenho mesmo com o nível adequado de Arg.

Lemme et al. (2007a) adicionaram 0,02%, 0,04% e 0,06%, de GAA na dieta e observaram um aumento gradual no conteúdo de CREA muscular dos frangos e uma queda mais lenta de pH *post-mortem*, atribuindo esses resultados provavelmente a uma melhoria no metabolismo energético celular.

Carvalho et al. (2013) avaliaram o desempenho e o rendimento de carcaça de frangos alimentados exclusivamente com dietas vegetais e dietas contendo farinha de sangue e farinha de carne e ossos com adição ou não de CREA. Aos 42 dias de idade, a adição de CREA na ração juntamente com a inclusão de farinha de sangue resultou em maior ganho de peso em comparação com a dieta controle.

Em estudo conduzido por Araujo et al. (2013) os autores suplementaram o GAA em rações para matrizes pesadas e concluíram que o nível de 0,08% a 0,12% do GAA melhorou a fertilidade e a eclodibilidade dos ovos das matrizes pesadas. Halle et al. (2006) encontraram efeitos inconsistentes sobre o desempenho produtivo e nenhum efeito da CREA nas doses de 0,05 e 0,1 % sobre os atributos de qualidade de carne.

Murakami et al. (2014) observaram que a suplementação de GAA na dieta de matrizes de codorna de corte aumentou a disponibilidade de CREA nos ovos e no tecido muscular da progênie. Esses autores ainda observaram melhor ganho de peso e conversão alimentar da progênie aos 35 dias de idade.

Portanto, compostos guanidínicos podem ser capazes de regular a homeostase e a captação muscular de glicose. A suplementação de GAA pode ainda ser particularmente importante em dietas para linhagens de frangos de corte

de rápido crescimento inicial devido a grande demanda de energia para o crescimento e o desenvolvimento muscular (BROSNAN et al., 2009).

Entretanto, é necessário estudar os efeitos metabólicos no organismo, uma vez que a metilação do GAA à CREA aumenta consideravelmente a demanda de metilação (STEAD et al., 2006), o que pode induzir ao acúmulo de homocisteína no sangue (SETOUE et al., 2008). Altos níveis de homocisteína nos tecidos de suínos, ratos e humanos têm demonstrado induzir à formação de espécies reativas de oxigênio (HUANG et al., 2001).

O GAA é um aditivo alimentar, disponível comercialmente, mais eficaz em comparação à CREA e Arg, porque é menos oneroso do que qualquer um destes compostos, quimicamente mais estável do que a CREA e pode poupar Arg e Gly. Além disso, pode poupar energia, o que pode permitir reduções calóricas na dieta das aves. Dessa forma, os recentes aumentos nos custos da cadeia produtiva de aves e suínos em decorrência da alta nos preços dos ingredientes utilizados na alimentação animal demandam a adoção de estratégias nutricionais que resultem em melhor aproveitamento dos nutrientes com consequente aumento da eficiência produtiva. Portanto, o desafio atual da indústria avícola é uma produção mais eficiente a fim de diminuir os custos de produção (UBABEF, 2012).

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do GAA em dietas acrescidas de farinha de carne e com redução energética sobre o desempenho produtivo, rendimento de carcaça e qualidade da carne de frangos de corte de 1 a 47 dias de idade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Aviário Experimental da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina. Todos os procedimentos de criação dos animais e de coleta de material biológico foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais em Experimentação (Protocolo nº 11/2017).

Foram utilizados 1400 pintos de corte de um dia de idade, machos, da linhagem Cobb 500, distribuídos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco dietas, sete repetições e 40 aves por unidade experimental (12 aves/m²).

As dietas foram compostas por:

- Dieta Controle (à base de milho, farelo de soja, farinha de carne)
- Dieta Controle + 0,06 % de GAA
- Dieta Controle + 0,10 % de GAA
- Dieta Controle + redução de 50kcal + 0,06 % de GAA
- Dieta Controle + redução de 50kcal + 0,10 % de GAA

As exigências nutricionais foram baseadas nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos de 2011 e nas agroindústrias do Paraná. As matrizes nutricionais dos ingredientes para obtenção dos valores de aminoácidos e análises proximais foram obtidas através do serviço *Analytical Data Advanced* da empresa Evonik Brasil LTDA. Enquanto os valores de energia metabolizável (EM) foram obtidos através do Calculador das Tabelas Brasileiras de 2011. A fonte de GAA utilizada foi o CREAMINO® (96% ácido guanidinoacético; Evonik Brasil LTDA).

O programa de alimentação foi composto por 3 fases: Inicial (1 a 18 dias) (TABELA 1), Crescimento (19 a 35 dias) (TABELA 2) e Abate (36 a 46 dias) (TABELA 3). As aves receberam ração e água à vontade durante o período experimental.

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E CALCULADA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS DOS FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO – FASE INICIAL (1 A 18 DIAS).

Ingredientes	Controle	0,06% GAA	0,10% GAA	0,06% GAA – 50Kcal	0,10% GAA – 50kcal
Milho	55,780	55,780	55,780	55,780	55,780
Farelo de soja	34,830	34,830	34,830	34,830	34,830
Farinha de carne	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Óleo de soja	1,230	1,230	1,230	0,660	0,660
Calcário calcítico	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Fosfato bicálcico	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
Cloreto de sódio	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210
Bicarbonato de sódio	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310
DL-Metionina	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350
L-Lisina	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290
L-Treonina	0,110	0,110	0,110	0,110	0,110
Cloreto de colina	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057
Premix vitamínico mineral ¹	0,543	0,543	0,543	0,543	0,543
Caulim ² /GAA	0,100/0,0	0,040/0,060	0,0/0,100	0,610/0,060	0,570/0,100
Composição calculada					
kcal/kg (EM)	2950	2950	2950	2900	2900
Proteína bruta %	23,565	23,565	23,565	23,565	23,565
Cálcio %	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
Fósforo %	0,424	0,424	0,424	0,424	0,424
Metionina dig. %	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628
Met+Cis dig. %	0,927	0,927	0,927	0,927	0,927
Lisina dig. %	1,255	1,255	1,255	1,255	1,255
Treonina dig. %	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820
Triptofano dig. %	0,221	0,221	0,221	0,221	0,221
Valina dig. %	0,945	0,945	0,945	0,945	0,945
Isoleucina dig. %	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828
Leucina dig. %	1,632	1,632	1,632	1,632	1,632
Arginina dig. %	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400
Sódio %	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
Cloro %	0,228	0,228	0,228	0,228	0,228
Potássio %	0,904	0,904	0,904	0,904	0,904
Colina (total) mg/kg	1688	1688	1688	1688	1688

¹Composição do Premix vitamínico mineral (mg/kg): Manganês 120.000, Zinco 100.000, Ferro 70.000, Cobre 8.000, Iodo 1.000, Selênio 0.240, Vitamina A (UI) 12000, Vitamina D3 (UI) 3500, Vitamina E (UI) 30, Vitamina K 3, Riboflavina 8, Ácido Pantotênico 18, Niacina 40, B12 (mc/kg) 20, Biotina, Ácido Fólico 2.5, Tiamina 3, Piridoxina 5. Antioxidante

²Caulim: Substituído por GAA e/ou óleo de soja.

FONTE: O Autor (2018).

TABELA 2 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E CALCULADA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS DOS FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO – FASE CRESCIMENTO (19 A 35 DIAS).

Ingredientes	Controle	0,06% GAA	0,10% GAA	0,06% GAA – 50Kcal	0,10% GAA – 50kcal
Milho	62,000	62,000	62,00	62,000	62,000
Farelo de soja	28,910	28,910	28,910	28,910	28,910
Farinha de carne	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300
Óleo de soja	1,690	1,690	1,690	1,120	1,120
Calcário calcítico	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Fosfato bicálcico	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
Cloreto de sódio	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
Bicarbonato de sódio	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280
DL-Metionina	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
L-Lisina	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330
L-Treonina	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Cloreto de colina	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065
Premix vitamínico mineral ¹	0,535	0,535	0,535	0,535	0,535
Caulim ² /GAA	0,100/0,0	0,040/0,060	0,0/0,100	0,610/0,060	0,570/0,100
Composição calculada					
kcal/kg (EM)	3050	3050	3050	3000	3000
Proteína bruta %	20,996	20,996	20,996	20,996	20,996
Cálcio %	0,802	0,802	0,802	0,802	0,802
Fósforo %	0,384	0,384	0,384	0,384	0,384
Metionina dig. %	0,561	0,561	0,561	0,561	0,561
Met+Cis dig. %	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834
Lisina dig. %	1,122	1,122	1,122	1,122	1,122
Treonina dig. %	0,728	0,728	0,728	0,728	0,728
Triptofano dig. %	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191
Valina dig. %	0,847	0,847	0,847	0,847	0,847
Isoleucina dig. %	0,730	0,730	0,730	0,730	0,730
Leucina dig. %	1,492	1,492	1,492	1,492	1,492
Arginina dig. %	1,220	1,220	1,220	1,220	1,220
Sódio %	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210
Cloro %	0,235	0,235	0,235	0,235	0,235
Potássio %	0,801	0,801	0,801	0,801	0,801
Colina (total) mg/kg	1590	1590	1590	1590	1590

¹Composição do Premix vitamínico mineral: Antioxidante, sulfato de cobre 25%, sulfato de ferro 30%, sulfato de manganês 26.5%, sulfato de zinco 35%, premix selênio 2.5%, premix iodo 3.1%, niacina 99.5%, vitamina E 50%, pantetonato de cálcio 98%, riboflavina, vitamina A, vitamina K3, premix vitamina B1 30%.

²Caulim: Substituído por GAA e/ou óleo de soja.

FONTE: O Autor (2018).

TABELA 3 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E CALCULADA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS DOS FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO – FASE ABATE (36 A 47 DIAS).

Ingredientes	Controle	0,06% GAA	0,10% GAA	0,06% GAA – 50Kcal	0,10% GAA – 50kcal
Milho	63,970	63,970	63,970	63,970	63,970
Farelo de soja	26,910	26,910	26,910	26,910	26,910
Farinha de carne	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400
Óleo de soja	2,910	2,910	2,910	2,340	2,340
Calcário calcítico	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
Fosfato bicálcico	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070
Cloreto de sódio	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
Bicarbonato de sódio	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270
DL-Metionina	0,230	0,230	0,230	0,230	0,230
L-Lisina	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
L-Treonina	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Cloreto de colina	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Premix vitamínico mineral ¹	0,540	0,540	0,540	0,540	0,540
Caulim ² /GAA	0,100/0,0	0,040/0,060	0,0/0,100	0,610/0,060	0,570/0,100
Composição calculada					
kcal/kg (EM)	3150	3150	3150	3100	3100
Proteína bruta %	19,609	19,609	19,609	19,609	19,609
Cálcio %	0,690	0,690	0,690	0,690	0,690
Fósforo %	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337
Metionina dig. %	0,480	0,480	0,480	0,480	0,480
Met+Cis dig. %	0,743	0,743	0,743	0,743	0,743
Lisina dig. %	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002
Treonina dig. %	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655
Triptofano dig. %	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
Valina dig. %	0,785	0,785	0,785	0,785	0,785
Isoleucina dig. %	0,691	0,691	0,691	0,691	0,691
Leucina dig. %	1,430	1,430	1,430	1,430	1,430
Arginina dig. %	1,140	1,140	1,140	1,140	1,140
Sódio %	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201
Cloro %	0,228	0,228	0,228	0,228	0,228
Potássio %	0,756	0,756	0,756	0,756	0,756
Colina (total) mg/kg	1497	1497	1497	1497	1497

¹Composição do Premix vitamínico mineral: Antioxidante, sulfato de cobre 25%, sulfato de ferro 30%, sulfato de manganês 26.5%, sulfato de zinco 35%, premix selênio 2.5%, premix iodo 3.1%, niacina 99.5%, vitamina E 50%, pantetonato de cálcio 98%, riboflavina, vitamina A, vitamina K3, premix vitamina B1 30%.

²Caulim: Substituído por GAA e/ou óleo de soja.

FONTE: O Autor (2018).

Os boxes experimentais têm a dimensão de 3,32 m² de área disponível (descontado o espaço do balde). A temperatura ambiental foi mantida dentro da faixa de conforto térmico por meio de campânulas providas de lâmpadas do tipo alógenas, ventiladores, exaustores e placas de resfriamento controladas por um sistema automatizado. A cama utilizada foi de maravalha de primeiro uso.

As aves receberam água e alimento *ad libitum* durante todo o período experimental de 46 dias. Nos primeiros 4 dias, a água foi oferecida em bebedouros infantis e a partir do 5º dia de idade, por meio de bebedouro *nipple*. Até os 14 dias de idade as aves receberam 24 horas de luz, em função do sistema de aquecimento (lâmpada alógena de 300W). Após este período receberam 16 horas de luz e 8 horas de escuro diariamente até 21 dias de idade e posteriormente 14 horas de luz e 10 horas de escuro até o final do experimento.

Os pesos das aves foram registrados no início e final de cada fase alimentar. Foram pesadas todas as aves assim como os alimentadores de cada box, posteriormente foram calculados o ganho de peso e conversão alimentar (CA) corrigida para mortalidade.

O rendimento de carcaça e de cortes comerciais foi determinado aos 42 dias de idade das aves. Previamente, as aves foram identificadas e submetidas ao jejum alimentar por seis horas e abatidas por atordoamento com eletricidade e posterior sangria. Foram abatidas 5 aves/unidade experimental (35 aves por tratamento, com peso próximo a média de peso do box) para o cálculo de rendimento de carcaça, peito, coxas, asas e deposição de gordura abdominal.

Para o cálculo de rendimento de carcaça, foi considerado o peso da carcaça eviscerada quente, sem os pés, cabeça e gordura abdominal, em relação ao peso vivo que foi obtido individualmente antes do abate das aves. Para o rendimento dos cortes nobres, foi considerado o rendimento do peito inteiro com pele e ossos, das pernas (coxa e sobrecoxa com ossos e pele), dorso e asas com pele que foi calculado em relação ao peso da carcaça eviscerada. A gordura abdominal presente ao redor da cloaca, da bolsa cloacal, moela, proventrículo e dos músculos abdominais adjacentes foi retirada conforme descrito por Smith (1993). Em seguida, foi pesada e também calculada em relação ao peso da carcaça eviscerada.

O músculo peitoral (*Pectoralis major*) direito de cada ave foi identificado e mantido em temperatura ambiente por 15 minutos *Post-mortem* para as medidas do pH, através da introdução direta do eletrodo de vidro na região apical do músculo.

As medidas foram realizadas 1 hora (pH inicial) e 24 horas após o abate sob refrigeração de 0 ± 2 °C (pH final), sendo uma leitura em cada tempo. Nas mesmas amostras, foram realizadas as medidas de cor na face ventral do filé 24h *post mortem*, em três pontos diferentes de leitura na porção cranial, mediana e caudal de cada amostra, dispostas em uma superfície lisa de cor branca. A medida de cor foi realizada utilizando o colorímetro Minolta® modelo CR10. Os valores de luminosidade L^* , índice de vermelho a^* e índice de amarelo b^* foram expressos no sistema de cor CIELAB.

Para avaliar a perda de água por pressão, utilizou-se uma amostra de dois gramas do músculo peitoral (*Pectoralis major*), de cerca de 0,5 cm de espessura, pesada em balança semi-analítica, e então posicionada entre dois papéis filtro (Whatman nº1) e pressionada com um peso de 10 kg entre duas placas de acrílico por cinco minutos. Em seguida, pesada novamente para ser calculada a perda de água, segundo metodologia de Hamm (1960), adaptado por Wilhelm et al. (2010).

Para o cálculo da perda por cocção, utilizou-se a metodologia adaptada de LÓPEZ et al. (2011). O filé do músculo peitoral esquerdo foi pesado submetido à cocção dentro de sacos de polietileno através de banho-maria por 60 minutos a 80°C. Após a cocção, as amostras foram refrigeradas por 24 horas para posterior pesagem e obtenção do percentual de perda de água por cocção. A técnica foi conduzida de acordo com a metodologia modificada de Silva Sobrinho (1999).

O músculo peitoral profundo, supracoracóide (*supracoracoideus*) do lado esquerdo foi pesado e congelado e pesado novamente após 24 horas de descongelamento a 4 ± 2 °C para avaliação da perda de líquido por descongelamento.

Para a análise estatística, os dados foram verificados quanto à presença de valores discrepantes (“*outliers*”) e testaram-se as pressuposições de normalidade dos erros studentizados (teste de Cramer Von Mises) e de homogeneidade de variância (teste de Brown-Forsythe). Depois de constatada a não violação dessas pressuposições, os dados foram submetidos à análise de variância através do procedimento GLM do programa SAS (SAS Institute, 2002), em caso de diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira semana, observou-se melhor conversão alimentar (CA) ($p < 0,05$) para a dieta contendo 0,10% de GAA em relação às demais (TABELA 4). Para peso vivo, ganho de peso e consumo de ração, não houve efeito significativo ($p > 0,05$) entre os tratamentos.

O efeito do GAA sobre a conversão alimentar pode ser atribuído a sua eficiência em substituir ou poupar Arg dietética para pintainhos na fase inicial (BAKER, 2009; DILGER et al., 2013).

Durante a segunda semana, houve diferença em relação ao peso vivo e ao ganho de peso entre a dieta controle e a dieta suplementada com 0,06% de GAA e redução calórica. As aves que receberam a dieta suplementada com 0,06% de GAA e redução calórica apresentaram menor ($p < 0,05$) peso vivo e menor ganho de peso. Por outro lado, as aves que receberam a dieta com redução calórica e suplementação com 0,10% de GAA mantiveram o peso vivo e o ganho de peso quando comparado esses resultados zootécnicos.

Nas fases de 14 a 21 dias e 21 a 28 dias, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as dietas para nenhuma das variáveis analisadas.

Na quinta semana, as aves suplementadas com 0,06% de GAA apresentaram menor consumo de alimento ($p < 0,05$) apenas quando comparado com o consumo da dieta acrescida de 0,10% de GAA e redução calórica. Para as demais dietas, o desempenho produtivo foi semelhante. Nas duas últimas semanas, não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) (TABELA 4).

TABELA 4 - DESEMPENHO PRODUTIVO SEMANAL DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO CALÓRICA.

	Controle	0,06%GAA	0,10%GAA	0,06%GAA - 50Kcal	0,10%GAA - 50 Kcal	CV %	Valor de P
1 a 7 dias							
PV, g	190,86	190,38	194,02	190,25	191,44	2,46	0,5668
GP, g	144,40	143,47	147,85	143,54	144,26	3,32	0,4275
CR, g	152,85	152,97	150,56	152,94	154,43	2,97	0,6185
CA	1,059 ^a	1,067 ^a	1,019 ^b	1,065 ^a	1,071 ^a	2,66	0,0108
7 a 14 dias							
PV, g	473,74a	468,71ab	461,97ab	453,71b	462,80ab	2,57	0,0441
GP, g	279,72a	276,76ab	266,41ab	261,93b	269,80ab	3,84	0,0194
CR, g	354,65	342,38	348,96	341,25	353,35	5,26	0,5421
CA	1,268	1,238	1,309	1,304	1,310	4,04	0,0528
14 a 21 dias							
PV, g	872,07	878,10	849,85	850,73	880,61	3,46	0,1689
GP, g	404,04	415,95	391,89	397,49	418,77	5,86	0,1852
CR, g	581,62	575,06	563,20	554,22	580,70	2,60	0,1819
CA	1,441	1,384	1,442	1,395	1,387	3,96	0,1346
21 a 28 dias							
PV, g	1564,13	1529,63	1517,31	1506,95	1546,62	3,80	0,3858
GP, g	692,06	641,22	667,46	654,44	660,58	6,66	0,3039
CR, g	1033,75	960,94	997,54	962,92	987,38	5,11	0,0697
CA	1,496	1,500	1,497	1,475	1,496	3,46	0,9286
28 a 35 dias							
PV, g	2104,83	2078,22	2057,85	2008,71	2110,94	3,72	0,1174
GP, g	540,71	530,28	538,51	496,14	561,67	8,07	0,0992
CR, g	1053,06ab	1010,50b	1034,31ab	1018,99ab	1114,02a	5,93	0,0307
CA	1,951	1,910	1,924	2,066	1,988	5,71	0,0971
35 a 42 dias							
PV, g	2725,10	2713,47	2753,98	2649,96	2733,50	3,30	0,2724
GP, g	611,36	635,25	695,66	641,26	622,56	9,29	0,1069
CR, g	1237,76	1239,81	1302,17	1255,10	1230,65	6,40	0,4738
CA	2,039	1,960	1,871	1,961	1,987	5,98	0,1380
42 a 47 dias							
PV, g	3174,38	3260,90	3220,84	3145,81	3218,31	3,26	0,2981
GP, g	449,29	547,44	461,59	490,68	482,45	15,20	0,1466
CR, g	931,70	995,78	911,28	963,13	977,85	8,62	0,3261
CA	2,083	1,839	2,015	1,983	2,036	8,82	0,1286

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

FONTE: O Autor (2018).

Na TABELA 5, estão apresentados os resultados obtidos por fase. Para as fases de 1 a 14 dias, 1 a 21 dias e 1 a 28 dias não houve diferença significativa para nenhuma variável analisada. Entretanto, para as fases finais, de 1 a 35 dias, 1 a 42 dias e 1 a 47 dias, houve efeito significativo das dietas sobre a conversão alimentar. Considerando o período experimental de 1 a 35 dias, observou-se que as aves suplementadas com 0,06% de GAA apresentaram melhor conversão alimentar em relação ao consumo de dietas adicionadas de 0,06% e 0,10% de GAA e com redução calórica ($p < 0,05$).

Já para o período de 1 a 42 dias, as dietas suplementadas com 0,06 e 0,10 de GAA resultaram em melhor conversão alimentar ($p < 0,06$) quando comparada com as demais dietas. Por outro lado, considerando o período total de criação das aves, as dietas acrescidas de 0,06% ou 0,10% de GAA resultaram na melhor ($p < 0,05$) conversão alimentar em comparação com a dieta controle, entretanto foram semelhantes em relação as dietas com redução calórica. Resultados condizentes com os encontrados por Lemme, et al. (2007b) e Ringel et al. (2008). Esses autores encontraram melhora na CA com a suplementação de GAA, indicando uma melhora na eficiência da utilização de nutrientes e energia.

O efeito da suplementação de GAA no ganho de peso não foi significativo ao longo do experimento (TABELA 6). Estes resultados estão de acordo com Mousavi et al. (2013) e Lemme et al. (2007b), que relataram que as diferenças de ganho de peso aos 41 dias entre os níveis avaliados de suplementação de GAA e o grupo de controle não suplementado não eram significativos; e Lemme et al. (2007a) que também relataram que a suplementação dietética de GAA a 0,06% aumentou o ganho de peso de frangos de corte fêmeas aos 42 dias de idade, sem afetar significativamente o peso dos machos.

TABELA 5 - DESEMPENHO PRODUTIVO (POR FASE) DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO NUTRICIONAL.

	Controle	0,06%GAA	0,10%GAA	0,06%GAA - 50Kcal	0,10%GAA - 50 Kcal	CV %	Valor de P
1 a 14 dias							
GP, g	424,13	420,23	414,26	405,47	414,06	2,92	0,0730
CR, g	507,50	495,35	499,51	494,19	507,78	3,93	0,5598
CA	1,197	1,179	1,206	1,219	1,226	2,99	0,1449
1 a 21 dias							
GP, g	828,17	836,19	806,15	802,97	832,83	3,55	0,1212
CR, g	1089,12	1070,40	1062,72	1048,40	1088,49	3,33	0,1851
CA	1,315	1,281	1,318	1,306	1,307	2,11	0,1518
1 a 28 dias							
GP, g	1520,23	1477,41	1473,61	1457,41	1493,41	4,02	0,3699
CR, g	2122,87	2031,34	2060,25	2011,32	2075,86	3,81	0,1059
CA	1,397	1,375	1,398	1,381	1,390	1,93	0,4424
1 a 35 dias							
GP, g	2060,93	2007,69	2012,12	1953,55	2055,08	3,94	1,1081
CR, g	3175,93	3041,85	3094,56	3030,31	3189,88	4,09	0,0748
CA	1,541ab	1,515b	1,538ab	1,551a	1,553a	1,48	0,0318
1 a 42 dias							
GP, g	2672,29	2642,94	2707,77	2594,81	2677,64	3,54	0,2459
CR, g	4413,69	4281,65	4396,73	4285,41	4420,53	4,10	0,3872
CA	1,652ab	1,620b	1,623b	1,651ab	1,651ab	1,66	0,0576
1 a 47 dias							
GP, g	3121,58	3190,37	3169,37	3085,49	3160,09	3,41	0,3932
CR, g	5345,39	5277,43	5308,01	5248,54	5398,38	3,44	0,5860
CA	1,713 ^b	1,654 ^a	1,675 ^a	1,701 ^{ab}	1,709 ^{ab}	2,04	0,0158

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)
 FONTE: O Autor (2018).

Bryant-Angeloni (2010), encontrou resultados significativos no ganho de peso e conversão alimentar de animais suplementados com GAA. Abudabos et al. (2014) encontraram diferença significativa na conversão alimentar de animais suplementados com GAA de 0 a 10 dias e 11 a 22 dias, sendo que os animais suplementados com GAA obtiveram melhor conversão alimentar. O mesmo resultado foi encontrado para os dias 23 a 35, onde os animais suplementados com GAA também apresentaram melhora na conversão alimentar. Estes resultados estão de acordo com as observações de Stahl, et al. (2003), que encontraram melhora da conversão alimentar das semanas três para quatro com suplementação de

monohidrato de CREA. Eles ligaram essa melhora à hidratação muscular e aumento do ganho de peso, pois o GAA apresenta um papel significativo nos tecidos musculares do animal.

O peso absoluto de carcaça, de cortes comerciais e a deposição de gordura abdominal, assim como os referentes pesos relativos, não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as dietas avaliadas (TABELA 7).

Assim como encontrado por Mousavi et al. (2013), que não observou diferenças relacionadas com a suplementação nutricional de GAA e o nível de energia para o rendimento de carcaças e rendimentos de cortes comerciais.

Michiels et al. (2012), avaliaram quatro tratamentos (dieta com proteína animal, dieta vegetal, vegetal com 0,06% GAA e vegetal com 0,12% GAA). Também não encontrou diferenças significativas em rendimento de carcaça, pernas ou peito. Da mesma forma, Heger et al. (2014) não encontraram diferenças significativas no rendimento da carcaça e cortes comerciais de aves suplementadas com GAA e níveis de energia. Esses autores relataram um aumento no rendimento do peito apenas 0.3% (20,4 vs. 20,7%) quando comparadas as dietas suplementadas com GAA e a dieta controle.

TABELA 6 - PESOS ABSOLUTOS DE CARCAÇA E CORTES COMERCIAIS DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO NUTRICIONAL.

	Controle	0,06%GAA	0,10%GAA	0,06%GAA - 50Kcal	0,10%GAA - 50 Kcal	CV %	Valor de P
Carcaça, g	2641,77	2742,94	2709,31	2719,46	2679,54	8,87	0,4467
Peito, g	1057,86	1100,14	1076,51	1104,94	1066,03	11,78	0,4490
Coxas, g	809,03	839,91	834,91	832,97	821,74	9,21	0,4524
Asas, g	245,42	249,62	251,03	247,2	245,29	7,76	0,6590
Gordura, g	44,94	46,00	40,13	43,67	40,69	34,12	0,4084

FONTE: O Autor (2018).

TABELA 7 - PESOS RELATIVOS DE CARCAÇA E CORTES COMERCIAIS DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO NUTRICIONAL.

	Controle	0,06% GAA	0,10% GAA	0,06%GAA - 50Kcal	0,10%GAA - 50 Kcal	CV %	Valor de P
Carcaça, %	78,05	77,82	77,33	77,48	77,36	1,97	0,2143
Peito, %	39,97	40,06	39,67	40,54	39,73	5,37	0,4575
Coxas, %	30,64	30,63	30,84	30,67	30,68	4,58	0,9692
Asas, %	9,45	9,18	9,23	9,16	9,17	4,90	0,0391
Gordura, %	1,66	1,63	1,58	1,49	1,56	28,45	0,6177

FONTE: O Autor (2018).

Em relação às análises de qualidade da carne (TABELAS 8, 9 e 10) não houve efeito significativo ($p>0,05$) para o pH inicial e final (TABELA 8), perdas por cocção, congelamento, pressão e gotejamento (TABELA 9) e valores de luminosidade, índice de vermelho e amarelo do filé de peito dos frangos (TABELA 10).

TABELA 8 - VALORES DE PH E TEMPERATURA DO PEITO DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO NUTRICIONAL.

	Controle	0,06%GAA	0,10%GAA	0,06%GAA - 50Kcal	0,10%GAA - 50 Kcal	CV %	Valor de P
Ph inicial	6,48	6,46	6,42	6,45	6,43	2,37	0,3964
Temp. oC	27,07	26,6	27	26,92	27,21	6,29	0,6423
Ph final	5,98	6,03	6,00	6,01	6,03	2,95	0,7277
Temp., oC	13,64	12,32	13,41	12,95	13,3	17,46	0,1489

FONTE: O Autor (2018).

TABELA 9 - PERDAS (%) POR COCÇÃO, CONGELAMENTO, PRESSÃO E GOTEJAMENTO DE FILÉS DO PEITO DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO NUTRICIONAL.

	Controle	0,06%GAA	0,10%GAA	0,06%GAA - 50Kcal	0,10%GAA - 50 Kcal	CV %	Valor de P
Cocção	22,67	20,88	21,87	21,83	21,75	15,01	0,2735
Congelamento	5,18	5,79	6,25	6,42	6,87	42,29	0,0796
Pressão	8,35	9,46	9,8	9,86	8,86	32,59	0,1782
Gotejamento	3,34	3,37	3,33	3,57	3,2	50,34	0,9322

FONTE: O Autor (2018).

TABELA 10 - VALORES DE LUMINOSIDADE (L*) E ÍNDICE DE VERMELHO (A*) E AMARELO (B*) (CIELAB COLOR SYSTEM) DOS FILÉS DO PEITO DE FRANGOS SUPLEMENTADOS COM GAA, COM E SEM REDUÇÃO NUTRICIONAL.

	Controle	0,06%GAA	0,10%GAA	0,06%GAA - 50Kcal	0,10%GAA - 50 Kcal	CV %	Valor de P
L*	58,42	59,67	59,14	58,33	59,46	4,55	0,1331
a*	4,00	3,82	4,02	4,22	3,68	45,6	0,7663
b*	7,07	7,75	7,34	7,67	7,29	22,1	0,4027

FONTE: O Autor (2018).

Michiels et al. (2012), observaram que perda de água por pressão e a perda de água por cocção foi maior para a dieta vegetal suplementada com GAA, em comparação com as do tratamento sem GAA, mas não diferiram da dieta de origem animal.

Esser et al. (2015), entretanto, observaram que o fornecimento de dieta vegetal acrescida de GAA, Arg ou farinha de carne para frangos submetidos ao estresse por calor reduziu a perda por cocção dos filés.

A reserva energética muscular é muito importante na regulação do metabolismo (queda do pH) muscular *post mortem*. Animais com desenvolvimento muscular acelerado podem ter alterações na velocidade da glicólise, o que pode acarretar alterações nas características de qualidade da carne. Em situações de estresse por calor ou naquelas geradas por alta densidade de alojamento, piores condições de manejo ou sanitárias, as aves usam mais rapidamente suas reservas de glicogênio, o que pode resultar em seu esgotamento *in vivo*, que por sua vez gera consequências negativas sobre as propriedades funcionais das membranas celulares e com isso ocorre um maior extravasamento de água. Lemme et al. (2007a) suplementaram GAA nas rações dos frangos de corte e mostraram aumento gradual no conteúdo de CREA muscular. Uma hora *post mortem*, o conteúdo de ATP muscular foi significativamente maior quando comparado àqueles que não receberam GAA, provavelmente devido à melhoria no metabolismo energético celular.

Em concordância encontrou efeito positivo da suplementação de 0,12% de GAA sobre a concentração muscular de PCr e CREA total, assim como da relação PCr:ATP (DEGROOT, 2014), o que também prova a eficácia da suplementação de GAA para a melhora do metabolismo energético celular.

4 CONCLUSÃO

Na primeira semana, observou-se uma melhor conversão alimentar para a dieta suplementada com 0,10% de GAA.

As aves suplementadas com 0,06% de GAA apresentaram melhor conversão alimentar, considerando o período total de criação, que as suplementadas com as dietas adicionadas 0,06 e 0,10 de GAA e com redução calórica.

Não houve efeito das dietas sobre o peso da carcaça e os cortes comerciais, absolutos ou relativos.

As dietas experimentais não influenciaram a qualidade da carne (pH, perda de água por cocção, congelamento, pressão ou gotejamento e a luminosidade e índice de vermelho e amarelo) dos filés do peito dos frangos de corte.

REFERÊNCIAS

- ABUDABOS, A. M.; SALEH, F.; LEMME, A.; ZAKARIA, H. A. H. The relationship between guanidino acetic acid and metabolisable energy level of diets of performance of broiler chickens. **Ital. J. Anim. Sci.** 13:548–556, 2014
- ARAUJO, L. F.; RAMALHO, J. B.; RODRIGUEIRO, R. J. B.; ARAUJO, C. S. S.; REDEMACHER, M. Efeito do ácido guanidinoacético em matrizes pesadas e o desempenho das progênes. **Rev. Prod. Anim. – Avicultura**, 2013.
- BAKER, D. H. Advances in protein–amino acid nutrition of poultry. **Amino Acids**. 37(1):29–41, 2009.
- BRYANT – ANGELONI, K. I. Dietary guanidino acetic acid spa/res arginine and dietary l-homoserine spares threonine in the chick. **Master of Science in Animal Sciences in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign**, 2010.
- BROSNAN, J. T.; WIJEKOON, E. P.; WARFORD-WOOLGAR, L.; TROTTIER, N. L.; BROSNAN, M. E.; BRUNTON, J. A.; BERTOLO, R. F. P. Creatine synthesis is a major metabolic process in neonatal piglets and has important implications for amino acid metabolism and methyl balance. **J. Nutr.** 139:1292-1297, 2009.
- CARVALHO, C. M. C.; FERNANDES, E. A.; CARVALHO, A. P.; MACIEL, M. P.; CAIRES, R. M.; FAGUNDES, N. S. Effect of creatine addition in feeds containing animal meals on the performance and carcass yield of broilers. **Rev. Bras. de Cienc. Avic.** 15 (3): 169-286, 2013.
- DEGROOT, A. A. **Efficacy of dietary guanidine acetic acid in broiler chicks**. Thesis. Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Animal Sciences in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2014.
- DILGER, R. N.; BRYANT-ANGELONI, K.; PAYNE R. L.; LEMME A.; PARSONS, C. M. Dietary guanidino acetic acid is an efficacious replacement for arginine for young chicks. **Poult Sci** 92(1):171–177, 2013.
- ESSER, A. F. G. **Ácido guanidinoacético e arginina em frangos de corte submetidos ao estresse por calor no período pré-abate**. Tese (Programa de Pós Graduação em Ciência Animal) – Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Palotina, 2015.
- HALLE, I.; HENNING, M.; KOHLER, P. Studies of the effects of creatine on performance of laying hens, on growth and carcass quality of broilers. **Landbauforschung Volkenrode** 2006; 56:11–18, 2006.
- HAMM, R. Biochemistry of meat hydration. **Advances in Food Research**, Cleveland, v. 10, n. 2, p. 435-443, 1960.
- HEGER, J. J.; ZELENKA, V.; MACHANDER, C.; DE LA CRUZ, M.; LESTAK, and D. HAMPEL. **Effects of guanidinoacético acid supplementation to broiler diets with**

varying energy content. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 62:477–485, 2014.

HUANG, R. F.; HSU, Y. C.; LIN, H. L.; YANG, F. L. Folate depletion and elevated plasma homocysteine promote oxidative stress in rat livers. **J Nutr** ; 131(1):33-8, 2001.

LEMME, A.; RINGEL, J.; ROSTAGNO, H. S.; REDSHAW, M. S. Supplemental guanidino acetic acid improved feed conversion, weight gain, and breast meat yield in male and female broilers. pp 1-4 in Proc. XVI Eur. Symp. on **Poultry Nutrition**. **Strasbourg**, France, 2007a.

LEMME, A.; RINGEL, J.; STERK, A.; YOUNG, J. F. Supplemental guanidino acetic acid affect energy metabolism of broiler. 16 th European Symposium on Poultry Nutrition. Strasbourg, França. **World Poultry Science Association**, 2007b.

LÓPEZ, K. P.; SCHILLING, M. W.; CORZO, A. Broiler genetic strain and sex effects on meat characteristics, **Poultry Science**, v. 90, n. 5, p. 1105–1111, 2011.

MICHIELS, J.; MAERTENS, L.; BUYSE, J.; LEMME, A.; RADEMACHER, M.; DIERICK, N. A.; DE SMET, S. Supplementation of guanidinoacetic acid to broiler diets: Effects on performance, carcass characteristics, meat quality, and energy metabolism. **Poult. Sci.** 91:402–412, 2012.

MOUSAVI, S. N.; AFSAR, A.; LOTFOLLAHIAN, H. Effects of guanidinoacetic acid supplementation to broiler diets with varying energy contents. **The Journal of Applied Poultry Research** 22, 47–54, 2013.

MURAKAMI, A. E.; RODRIGUEIRO, R. J.; SANTOS, T. C.; OSPINA-ROJAS, I. C.; RADEMACHER, M. Effects of dietary supplementation of meat-type quail breeders with guanidinoacetic acid on their reproductive parameters and progeny performance, **Poultry Science**, v. 93, n. 9, p 2237–2244, 2014.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**. 9th rev. ed. National Academy Press. Washington, DC, USA, 1994.

RINGEL, J. A.; LEMME, L. F.; ARAUJO. The effect of supplemental guanidine acetic acid in Brazilian type broiler diets at summer conditions. **Poult. Sci.** 87(Suppl. 1):154, 2008.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. 2002. **User's guide**. Cary: SAS Institute, 525p

SETOUE, M.; OHUCHI, S.; MORITA, T.; SUGIYAMA, K. Hyperhomocysteinemia induced by guanidinoacetic acid is effectively suppressed by choline and betaine in rats. Biosci. Biotechnol. **Biochem.**, 72:1696–1703, 2008.

SMITH, M. O. Parts yield of broilers reared under cycling high temperatures. **Poultry Science**, v.72, p. 1146-1150, 1993.

STEAD, L. M.; BROSANAN, J. T.; BROSANAN, M. E.; VANCE, D. E.; JACOBS, R. L. Is it time to reevaluate methyl balance in humans. **Am. J. Clin. Nutr.** 83:5-10, 2006.

STAHL, C. A.; GREENWOOD, M. W.; BERG, E. P. Growth parameters and carcass quality of broilers fed a corn-soybean diet supplemented with creatine monohydrate. *Int. J. Poultry Sci.* 2:404-408, 2003.

TABELAS BRASILEIRAS PARA AVES E SUÍNOS. **Composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3ª edição. Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Zootecnia, 2011.

TABELAS BRASILEIRAS PARA AVES E SUÍNOS. **Composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4ª edição. Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Zootecnia, 2017.

UBABEF – União Brasileira de Avicultura. **Relatório anual**. (<http://abpa-br.com.br/files/publicacoes/41c30a0f46702351b561675f70fae077.pdf>), 2012.

WALKER, J. B. Metabolic control of creatine biosynthesis. Effect of dietary creatine. *Journal of Biological Chemistry*. V.235. p.2357-2361, 1960.

WILHELM, A. E.; MAGANHINI, M. B.; BLAZQUEZ, F. J. H.; IDA, E. I.; SHIMOKOMAKI, M. Protease activity and the ultrastructure of broiler chicken PSE (Pale, Soft, Exudative) meat. *Food Chem.* 119: 1201-1204, 2010.

WILLIAMS, M. H.; KREIDER, R. B.; BRANCH, J. D. **Creatina**, Manole, 2000.

WYSS, M.; KADDURAH-DAOUK. Creatine and creatinine metabolism. *Physiol. Rev.* 80:1107–1213, 2000.

CAPÍTULO II – EFEITO DO ÁCIDO GUANIDINOACÉTICO EM DIETAS COM RESTRIÇÃO CALÓRICA SOBRE A OCORRÊNCIA DE MIOPATIAS EM FRANGOS DE CORTE

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da suplementação dietética de ácido guanidinoacético sobre as miopatias white striping e wooden breast de frangos de corte. Foram utilizados 1400 pintos de corte de um dia de idade, machos, da linhagem Cobb 500, distribuídos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco dietas, sete repetições e 40 aves por unidade experimental. As dietas experimentais foram compostas por dieta controle, dieta controle com 0,06% e 0,10% de GAA e dieta controle com 0,06% e 0,10% de GAA e redução de 50 kcal. A fonte de GAA foi o CREAMINO® (96% GAA). As dietas experimentais não influenciaram a ocorrência de lesões macroscópicas de white striping e wooden breast aos 21 e 42 dias de idade. Os tratamentos com 0,06% GAA, com e sem redução calórica, não apresentaram grau severo de perivascularite/vascularite. A suplementação com 0,06% de GAA levou ao menor ($p<0,05$) número de fibras contadas (número/mm²) em relação aos demais tratamentos. O tratamento com 0,10 de GAA e redução calórica apresentou fibras de maior ($p<0,05$) diâmetro, em comparação com as outras dietas. A dieta de 0,06% de GAA resultou em menor ($p<0,05$) diâmetro em relação à mesma inclusão de GAA, mas com redução calórica. As dietas experimentais não influenciaram a ocorrência de lesões macroscópicas de white striping e wooden breast aos 46 dias de idade.

Palavras-chave: Fibras musculares, miopatias, perivascularite/vascularite, *white striping*, *wooden breast*.

CHAPTER II - EFFECT OF GUANIDINOACTIC ACID IN DIETS WITH CALORIC RESTRICTION ON THE OCCURRENCE OF MYOPATHIES IN BROILER CHICKENS

ABSTRACT

This paper aims to evaluate the effect of dietary supplementation of guanidinoacetic acid on the white striping and wooden breast myopathies of broiler chickens. One thousand four hundred one-day-old broiler chickens were used, male, Cobb 500 lineage, distributed in a completely randomized experimental design, with five diets, seven repetitions and forty chickens per experimental unit. The experimental diets were composed by control diet, with 0.06% and 0.10% of GAA,

control diet with 0.06% and 0.10% of GAA and reduction of 50 kcal. The GAA source was CREAMINO® (96% GAA). The experimental diets did not influence the occurrence of microscopic lesions of white striping and wooden breast at 21 and 42 days old. The treatment with 0.06% of GAA, with and without caloric reduction, did not present a severe degree of perivascularitis/vasculitis. The supplementation with 0.06% of GAA led to the lower ($p<0,05$) number of counted fibers (number/mm²) compared to other treatments. The treatment with 0.10% of GAA and caloric reduction presented fibers of larger ($p<0,05$) diameter, comparing to other diets. The 0.06% GAA diet resulted in lower ($p<0,05$) diameter compared to the same inclusion of GAA, but with caloric reduction. The experimental diets did not influence the occurrence of microscopy lesions of white striping and wooden breast at 46 days old.

Key-words: Muscle fibers, myopathies, perivascularitis/vasculitis, white striping, wooden breast.

1 INTRODUÇÃO

O uso da inovação e da tecnologia são os principais fatores responsáveis pela evolução dos genótipos dos frangos de corte, que melhoraram em ganho de peso, conversão alimentar e a composição de carcaça evoluiu para aves com maior rendimento de peito. Entretanto, a criação de frangos de corte para pesos de mercado maiores e em um curto período de tempo, contribuiu com o aumento da ocorrência das miopatias que trazem grandes perdas econômicas devido à condenação de carcaças e a rejeição pelo consumidor (BAILEY et al., 2015; GRIFFIN et al., 2018).

O aparecimento de estrias brancas no peito, alteração referida como *white striping*, é caracterizada por linhas brancas visíveis, paralelas à direção das fibras musculares do peito, com variáveis proporções e espessuras, de etiologia ainda desconhecida (KUTTAPPAN et al., 2012). Com o aumento na gravidade de *white striping*, o percentual de gordura sofre acréscimo, apresentando característica histológica de adipogênese nos tecidos musculares acometidos. Já o *wooden breast* é caracterizado por um endurecimento do músculo do peito tipicamente na parte proximal do filé, mas o endurecimento pode ser encontrado em todo o músculo, em casos mais graves. Há perda da característica poligonal das fibras, degeneração multifocal, necrose e proliferação de tecido conjuntivo (KUTTAPPAN et al., 2012).

Além do componente genético, fatores nutricionais, de manejo e até sanitários podem estar envolvidos na ocorrência das diferentes miopatias. Bailey et al. (2015) destacam que estes fatores podem contribuir com mais de 65% da variância da incidência de miopatias do músculo do peito.

O intenso crescimento muscular destas linhagens atuais de frangos de corte exige uma intensa demanda energética (PETRACCI et al., 2012). Animais com desenvolvimento muscular acelerado podem ter alterações na velocidade da glicólise, o que pode acarretar alterações nas características de qualidade da carne. Além disso, Dransfield e Sosnicki (1999) demonstraram que animais de rápido crescimento tem mais fibras musculares do que os animais de crescimento lento. Isso implica diretamente na densidade capilar, uma vez que à medida que o diâmetro das fibras musculares aumenta, há uma diminuição concomitante na densidade capilar, pois como as fibras aumentam de comprimento e de diâmetro, os capilares que cercam as fibras são deslocados, limitando o fornecimento de oxigênio e a difusão na fibra muscular, induzindo a uma isquemia (JOINER, 2014).

Em animais de intenso crescimento muscular, a demanda de ATP é muito grande e o fluxo sanguíneo pode não ser o suficiente para fornecer O₂ e nutrientes em quantidade suficiente para a produção do ATP necessário. Assim, a creatina é utilizada para alimentar o processo de contração combinando-se com o fosfato e convertendo-se em fosfocreatina (PCr). A PCr é uma reserva rapidamente mobilizável de fosfato de alta energia para a formação de ATP (MOUSAVI et.al., 2013), essencial para produzir rápidos e curtos surtos de energia (LEHNINGER et al., 2000; WILLIAMS et al., 2000), além de realizar o transporte de energia entre o sítio de produção e o local de seu consumo (WYSS e KADDURAH-DAOUK, 2000).

Para ocorrer a síntese de creatina, a arginina transfere um grupo guanidina para a glicina para formar o ácido guanidinoacético (GAA) e a síntese de creatina é completada por uma subsequente metilação por S-adenosil-metionina (SAM) (BLOCK e SCHOENHEIMER 1941; BORSOOK e DUBNOFF, 1945).

O GAA é um aditivo alimentar, que já é disponível comercialmente e é considerado mais eficaz em comparação à creatina, porque é menos oneroso e mais estável. Uma vez que o conteúdo de creatina no músculo depende da disponibilidade na dieta, a suplementação de GAA pode aumentar os estoques desse nutriente e amenizar a ocorrência de miopatias.

Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do ácido guanidinoacético em dietas com restrição calórica sobre a ocorrência de miopatias em frangos de corte.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Aviário Experimental da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina. Todos os procedimentos de criação dos animais e de coleta de material biológico foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais em Experimentação (Protocolo nº 11/2017).

Foram utilizados 1400 pintos de corte de um dia de idade, machos, da linhagem Cobb 500, distribuídos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco dietas, sete repetições e 40 aves por unidade experimental (12 aves/m²).

As dietas foram compostas por:

- Dieta Controle (à base de milho, farelo de soja, farinha de carne)
- Dieta Controle + 0,06 % de GAA
- Dieta Controle + 0,10 % de GAA
- Dieta Controle + redução de 50kcal + 0,06 % de GAA
- Dieta Controle + redução de 50kcal + 0,10 % de GAA

As exigências nutricionais foram baseadas nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos de 2011 e nas agroindústrias do Paraná. As matrizes nutricionais dos ingredientes para obtenção dos valores de aminoácidos e análises proximais foram obtidas através do serviço *Analytical Data Advanced* da empresa Evonik Brasil LTDA. Enquanto os valores de energia metabolizável (EM) foram obtidos através do Calculador das Tabelas Brasileiras de 2011. A fonte de GAA utilizada foi o CREAMINO® (96% ácido guanidinoacético; Evonik Brasil LTDA).

O programa de alimentação foi composto por 3 fases: Inicial (1 a 18 dias) (TABELA 1), Crescimento (19 a 35 dias) (TABELA 2) e Abate (36 a 46 dias) (TABELA 3).

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E CALCULADA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS DOS FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO – FASE INICIAL (1 A 18 DIAS).

Ingredientes	Controle	0,06% GAA	0,10% GAA	0,06% GAA – 50Kcal	0,10% GAA – 50kcal
Milho	55,780	55,780	55,780	55,780	55,780
Farelo de soja	34,830	34,830	34,830	34,830	34,830
Farinha de carne	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Óleo de soja	1,230	1,230	1,230	0,660	0,660
Calcário calcítico	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Fosfato bicálcico	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
Cloreto de sódio	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210
Bicarbonato de sódio	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310
DL-Metionina	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350
L-Lisina	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290
L-Treonina	0,110	0,110	0,110	0,110	0,110
Cloreto de colina	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057
Premix vitamínico mineral ¹	0,543	0,543	0,543	0,543	0,543
Caulim ² /GAA	0,100/0,0	0,040/0,060	0,0/0,100	0,610/0,060	0,570/0,100
Composição calculada					
kcal/kg (EM)	2950	2950	2950	2900	2900
Proteína bruta %	23,565	23,565	23,565	23,565	23,565
Cálcio %	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
Fósforo %	0,424	0,424	0,424	0,424	0,424
Metionina dig. %	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628
Met+Cis dig. %	0,927	0,927	0,927	0,927	0,927
Lisina dig. %	1,255	1,255	1,255	1,255	1,255
Treonina dig. %	0,820	0,820	0,820	0,820	0,820
Triptofano dig. %	0,221	0,221	0,221	0,221	0,221
Valina dig. %	0,945	0,945	0,945	0,945	0,945
Isoleucina dig. %	0,828	0,828	0,828	0,828	0,828
Leucina dig. %	1,632	1,632	1,632	1,632	1,632
Arginina dig. %	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400
Sódio %	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
Cloro %	0,228	0,228	0,228	0,228	0,228
Potássio %	0,904	0,904	0,904	0,904	0,904
Colina (total) MG/kg	1688	1688	1688	1688	1688

¹Composição do Premix vitamínico mineral (mg/kg): Manganês 120.000, Zinco 100.000, Ferro 70.000, Cobre 8.000, Iodo 1.000, Selênio 0.240, Vitamina A (UI) 12000, Vitamina D3 (UI) 3500, Vitamina E (UI) 30, Vitamina K 3, Riboflavina 8, Ácido Pantotênico 18, Niacina 40, B12 (mc/kg) 20, Biotina, Ácido Fólico 2.5, Tiamina 3, Piridoxina 5. Antioxidante

²Caulim: Substituído por GAA e/ou óleo de soja.

FONTE: O Autor (2018).

TABELA 2 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E CALCULADA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS DOS FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO – FASE CRESCIMENTO (19 A 35 DIAS).

Ingredientes	Controle	0,06% GAA	0,10% GAA	0,06% GAA – 50Kcal	0,10% GAA – 50kcal
Milho	62,000	62,000	62,00	62,000	62,000
Farelo de soja	28,910	28,910	28,910	28,910	28,910
Farinha de carne	5,300	5,300	5,300	5,300	5,300
Óleo de soja	1,690	1,690	1,690	1,120	1,120
Calcário calcítico	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
Fosfato bicálcico	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
Cloreto de sódio	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
Bicarbonato de sódio	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280
DL-Metionina	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
L-Lisina	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330
L-Treonina	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Cloreto de colina	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065
Premix vitamínico mineral ¹	0,535	0,535	0,535	0,535	0,535
Caulim ² /GAA	0,100/0,0	0,040/0,060	0,0/0,100	0,610/0,060	0,570/0,100
Composição calculada					
kcal/kg (EM)	3050	3050	3050	3000	3000
Proteína bruta %	20,996	20,996	20,996	20,996	20,996
Cálcio %	0,802	0,802	0,802	0,802	0,802
Fósforo %	0,384	0,384	0,384	0,384	0,384
Metionina dig. %	0,561	0,561	0,561	0,561	0,561
Met+Cis dig. %	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834
Lisina dig. %	1,122	1,122	1,122	1,122	1,122
Treonina dig. %	0,728	0,728	0,728	0,728	0,728
Triptofano dig. %	0,191	0,191	0,191	0,191	0,191
Valina dig. %	0,847	0,847	0,847	0,847	0,847
Isoleucina dig. %	0,730	0,730	0,730	0,730	0,730
Leucina dig. %	1,492	1,492	1,492	1,492	1,492
Arginina dig. %	1,220	1,220	1,220	1,220	1,220
Sódio %	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210
Cloro %	0,235	0,235	0,235	0,235	0,235
Potássio %	0,801	0,801	0,801	0,801	0,801
Colina (total) mg/kg	1590	1590	1590	1590	1590

¹Composição do Premix vitamínico mineral: Antioxidante, sulfato de cobre 25%, sulfato de ferro 30%, sulfato de manganês 26.5%, sulfato de zinco 35%, premix selênio 2.5%, premix iodo 3.1%, niacina 99.5%, vitamina E 50%, pantetonato de cálcio 98%, riboflavina, vitamina A, vitamina K3, premix vitamina B1 30%.

²Caulim: Substituído por GAA e/ou óleo de soja.

FONTE: O Autor (2018).

TABELA 3 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL E CALCULADA DAS DIETAS EXPERIMENTAIS DOS FRANGOS DE CORTE NO PERÍODO – FASE ABATE (36 A 47 DIAS).

	Controle	0,06% GAA	0,10% GAA	0,06% GAA – 50Kcal	0,10% GAA – 50kcal
Milho	63,970	63,970	63,970	63,970	63,970
Farelo de soja	26,910	26,910	26,910	26,910	26,910
Farinha de carne	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400
Óleo de soja	2,910	2,910	2,910	2,340	2,340
Calcário calcítico	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
Fosfato bicálcico	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070
Cloreto de sódio	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
Bicarbonato de sódio	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270
DL-Metionina	0,230	0,230	0,230	0,230	0,230
L-Lisina	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220
L-Treonina	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Cloreto de colina	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Premix vitamínico mineral ¹	0,540	0,540	0,540	0,540	0,540
Caulim ² /GAA	0,100/0,0	0,040/0,060	0,0/0,10 0	0,610/0,060	0,570/0,100
Composição calculada					
kcal/kg (EM)	3150	3150	3150	3100	3100
Proteína bruta %	19,609	19,609	19,609	19,609	19,609
Cálcio %	0,690	0,690	0,690	0,690	0,690
Fósforo %	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337
Metionina DIG. %	0,480	0,480	0,480	0,480	0,480
Met+Cis dig. %	0,743	0,743	0,743	0,743	0,743
Lisina dig. %	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002
Treonina dig. %	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655
Triptofano DIG. %	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
Valina dig. %	0,785	0,785	0,785	0,785	0,785
Isoleucina DIG. %	0,691	0,691	0,691	0,691	0,691
Leucina dig. %	1,430	1,430	1,430	1,430	1,430
Arginina dig. %	1,140	1,140	1,140	1,140	1,140
Sódio %	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201
Cloro %	0,228	0,228	0,228	0,228	0,228
Potássio %	0,756	0,756	0,756	0,756	0,756
Colina (total) mg/kg	1497	1497	1497	1497	1497

¹Composição do Premix vitamínico mineral: Antioxidante, sulfato de cobre 25%, sulfato de ferro 30%, sulfato de manganês 26.5%, sulfato de zinco 35%, premix selênio 2.5%, premix iodo 3.1%, niacina 99.5%, vitamina E 50%, pantetonato de cálcio 98%, riboflavina, vitamina A, vitamina K3, premix vitamina B1 30%.

²Caulim: Substituído por GAA e/ou óleo de soja.

FONTE: O Autor (2018).

Os boxes experimentais têm a dimensão de 3,32 m² de área disponível (descontado o espaço do balde). A temperatura ambiental foi mantida dentro da faixa de conforto térmico por meio de campânulas providas de lâmpadas do tipo alógenas, ventiladores, exaustores e placas de resfriamento controladas por um sistema automatizado. A cama utilizada foi de maravalha de primeiro uso.

As aves receberam água e alimento *ad libitum* durante todo o período experimental de 46 dias. Nos primeiros 4 dias, a água foi oferecida em bebedouros infantis e a partir do 5º dia de idade, por meio de bebedouro *nipple*. Até os 14 dias de idade as aves receberam 24 horas de luz, em função do sistema de aquecimento (lâmpada alógena de 300W). Após este período receberam 16 horas de luz e 8 horas de escuro diariamente até 21 dias de idade e posteriormente 14 horas de luz e 10 horas de escuro até o final do experimento.

Avaliação da ocorrência de *White Striping*

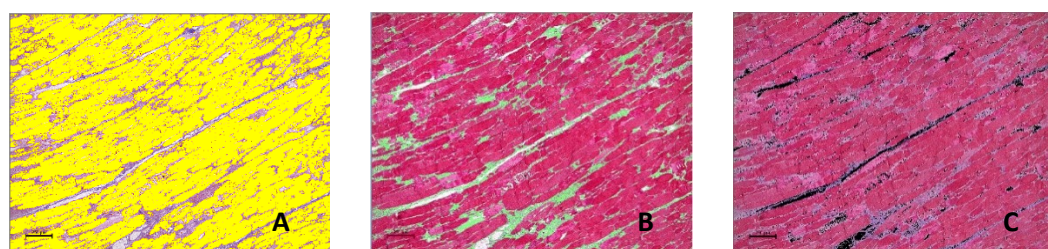
Aos 42 dias de idade, 175 aves foram abatidas, sendo 35 aves/tratamento. Previamente as aves foram identificadas e submetidas ao jejum alimentar por seis horas, abatidas por atordoamento com eletricidade e posterior sangria de acordo com a Instrução Normativa nº 3 de janeiro de 2000 (Regulamento Técnico de Métodos de Insensibilização para o Abate Humanitário de Animais de Açougue).

Caracterização macroscópica - Foram coletadas amostras do músculo *Pectoralis Major* de 5 aves/repetição (35 aves/tratamento) para classificação de severidade da ocorrência de WS. As estriações foram classificadas como normal (*score* 0) (peitos que não apresentam estrias brancas visíveis), moderada (*score* 1) (peitos contendo estrias com espessura <1mm porém visíveis na superfície muscular) e severa (*score* 2) (estrias esbranquiçadas, paralelas à fibra muscular, com espessura > 1mm e facilmente visíveis na superfície muscular), segundo a metodologia aplicada por Kuttappan et al. (2013a).

Caracterização microscópica: Foram retiradas amostras do músculo *Pectoralis Major* das 5 aves/repetição (35 aves/tratamento) utilizadas para a caracterização macroscópica, as quais foram fixadas em solução de formol tamponada e parafinadas. Os cortes foram orientados longitudinalmente, com oito micras de espessura e submetidos à coloração de Tricrômico de Masson (Código EP-11-20013, Easypath®, Erviegas) As imagens foram capturadas por meio de

câmera digital de alta resolução PRO SERIES da Mídia Cibertecnics, acoplada ao microscópio Olympus Bx 40, em aumento de 4 vezes. Para a leitura das imagens, foi utilizado um analisador de imagem computadorizado IMAGE PROPLUS 5.2 (Mídia Cibertecnics) com o objetivo de mensurar a proliferação de tecido conjuntivo (colágeno) e gordura entremeando os feixes musculares em relação a área total do corte capturado (FIGURA 1). Para tal, atribuiu-se uma cor para a estrutura mensurada a fim de estabelecer o contraste entre as demais estruturas e o cálculo do percentual de gordura, tecido conjuntivo e proteína muscular em relação a área total capturada.

FIGURA 1 - PREPARO DAS IMAGENS DE LÂMINAS CONTENDO AMOSTRAS DO MÚSCULO PECTORALIS MAJOR CORADAS POR TRICÔMIO DE MASSON PARA QUANTIFICAÇÃO DE TECIDO MUSCULAR, CONJUNTIVO E GORDURA. IMAGEM (A) APRESENTA O CONTRASTE EM AMARELO QUE REPRESENTA A FRAÇÃO DE MÚSCULO. IMAGEM (B) INDICA A PRESENÇA DO CONTRASTE ESTABELECIDO ENTRE A INFILTRAÇÃO DE FIBRAS COLÁGENAS EM MEIO AS FIBRAS MUSCULARES. IMAGEM (C) DESTACA O CONTRASTE ENTRE A GORDURA E AS DEMAIS ESTRUTURAS DO MÚSCULO.



FONTE: O Autor (2018).

Avaliação da Ocorrência de Wooden Breast

Caracterização macroscópica - Os peitos das mesmas aves foram utilizados para a caracterização de WB. Os peitos foram classificados de acordo com Cruz (2016), como: normal (*score* 0) (sem nenhuma área de dureza ou palidez); moderado leve (*score* 1) (ligeiramente afetado nas áreas cranial e / ou caudal); moderado severo (*score* 2) (moderadamente afetado em todo o músculo); e severo (*score* 3) (com hemorragia superficial e a presença de um exsudado estéril na superfície muscular).

Caracterização microscópica – Os blocos parafinados contendo amostras do peito das aves foram novamente cortados longitudinalmente e submetidos à coloração de Hematoxilina-eosina para caracterização histopatológica. Na análise histopatológica, foi determinada a ocorrência e intensidade de alterações

histopatológicas associadas com a ocorrência de WB: degeneração hialina/mionecrose, fibrose/infiltração adiposa, regeneração, infiltrado inflamatório, perivasculite/vasculite (SOGLIA et al., 2016; VELLEMAN e CLARK 2015; SIHVO et al., 2014). Na presença da alteração, a intensidade foi classificada em leve, moderada e severa.

Contagem e mensuração das fibras musculares

Das mesmas aves (35 aves/tratamento), foram coletadas amostras do músculo *Pectoralis major* direito, as quais foram mantidas à temperatura ambiente durante 15 minutos (KHAN, 1977). Depois de aparadas e reduzidas a fragmentos de aproximadamente 1 cm x 0,5 cm, as amostras foram embebidas em hexano e em seguida congeladas e armazenadas em botijão, contendo nitrogênio líquido até o processamento. Para o processamento do material colhido, os segmentos musculares foram transferidos para a câmara do criostato, utilizando-se para isto o adesivo OCT *Tissue TK*. Os segmentos foram orientados para a obtenção de cortes transversais das fibras, com oito micras de espessura e submetidos à coloração de Hematoxilina–Eosina para a avaliação da morfologia geral do tecido estudado e mensuração do diâmetro das fibras. A captura de imagens para análise morfométrica foi realizada por meio de câmera digital de alta resolução PRO SERIES da Mídia Cibertecnics, acoplada ao microscópio Olympus Bx 40. Foram capturadas três imagens do tecido muscular, por amostra, mensurada uma área contendo fibras musculares com a morfologia preservada e contadas e medidas todas as fibras musculares contidas nessa área. Para as medidas da fibra muscular, utilizou-se o método do menor diâmetro, conforme Dubowitz (1985). O número de fibras foi calculado pela contagem das fibras musculares por mm² de área de tecido muscular. Para a leitura das imagens foi utilizado um analisador de imagem computadorizado IMAGE PROPLUS 5.2, da Mídia Cibertecnics.

Para a análise estatística, os dados foram verificados quanto à presença de valores discrepantes (“outliers”) e testaram-se as pressuposições de normalidade dos erros studentizados (teste de Cramer Von Mises) e de homogeneidade de variância (teste de Brown-Forsythe). Depois de constatada a não violação dessas pressuposições, os dados foram submetidos à análise de variância através do procedimento GLM do programa SAS (SAS Institute, 2002), em caso de diferença

significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Para os dados da avaliação microscópica de lesões de *wooden breast*, utilizou-se o método de qui-quadrado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da ocorrência de lesões macroscópicas de *white striping* em frangos de corte suplementados com GAA com e sem redução calórica não mostrou efeito significativo dos tratamentos (TABELA 4). Não houve efeito ($p>0,05$) dos tratamentos sobre a composição, em percentual de tecido muscular, colágeno e gordura (TABELA 5).

De acordo com alguns estudos, a ocorrência de WS é mais frequente em machos do que em fêmeas (KUTTAPPAN et al., 2013a), os genótipos de alto rendimento apresentam maiores incidências que os genótipos de baixo rendimento (PETRACCI et al., 2012) assim como, taxas de crescimento mais altas também estão associadas a maior incidência de WS.

Entretanto, não há nenhuma associação entre as lesões no peito de frangos que caracteriza a WS com risco para a saúde no consumidor. O problema está na aparência do produto, que pode influenciar negativamente a escolha do consumidor (GUISSO et al., 2016), além dos prejuízos para os abatedouros. A inclusão desses cortes afetados pela WS pode ainda impactar a qualidade final do produto processado. Kuttappan et al. (2013a) relataram que o aumento no teor de gordura e colágeno associado a diminuição do teor de proteína podem impactar na funcionalidade das proteínas, resultando em maiores perdas no cozimento e na absorção da marinada durante o processamento desses filés.

TABELA 4 - OCORRÊNCIA DE LESÕES MACROSCÓPICAS DE WHITE STRIPING EM FRANGOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM GAA COM E SEM REDUÇÃO CALÓRICA.

	Controle	0,06% GAA	0,10% GAA	0,06%GAA - 50Kcal	0,10%GAA - 50 Kcal	CV %	Valor de P
Normal	0	0	0	0	0	-	-
Moderada, %	68,57	62,86	65,71	62,86	74,28	0,627	23,35
Severa, %	31,43	37,14	34,28	37,14	25,71	0,627	47,11

Normal: peitos que não apresentam estrias brancas visíveis, moderada: peitos contendo estrias com espessura <1mm porém visíveis na superfície muscular e severa: estrias esbranquiçadas, paralelas à fibra muscular, com espessura > 1mm e facilmente visíveis na superfície muscular (Kuttappan et al., 2013).

FONTE: O Autor (2018).

TABELA 5 - COMPOSIÇÃO DO TECIDO MUSCULAR (%) EM FIBRA MUSCULAR, COLÁGENO E GORDURA DO PEITO DE FRANGOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM GAA COM E SEM REDUÇÃO CALÓRICA.

	Controle	0,06% GAA	0,10% GAA	0,06%GAA 50Kcal	0,10%GAA - 50 Kcal	CV %	Valor de P
Fibra muscular, %	92,00	92,35	92,19	90,48	91,57	7,17	0,7708
Colágeno, %	3,94	4,07	4,14	5,20	4,37	97,55	0,7443
Gordura, %	4,06	3,58	3,67	4,32	4,07	77,22	0,8420

FONTE: O Autor (2018).

A inclusão de GAA ou a redução calórica não interferiu ($p>0,05$) com a ocorrência de WB (TABELA 6). No presente trabalho, apesar de não haver diferença estatística entre os tratamentos, observou-se uma incidência alta da miopatia WB. Todas as aves abatidas apresentaram lesões macroscópicas de WB, sendo que 13,71% apresentavam lesões leves, 49,14% moderadas e 37,14% apresentavam lesões consideradas severas.

TABELA 6 - OCORRÊNCIA DE LESÕES MACROSCÓPICAS DE WOODEN BREAST EM FRANGOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM GAA COM E SEM REDUÇÃO CALÓRICA.

	Controle	0,06% GAA	0,10% GAA	0,06%GAA - 50Kcal	0,10%GAA - 50 Kcal	CV %	Valor de P
Normal, %	0	0	0	0	0	-	-
Leve, %	11,43	8,57	20	8,57	20,00	138,71	0,622
Moderada, %	51,42	40,00	57,14	57,14	40,00	51,17	0,516
Severa, %	37,14	51,42	22,85	34,28	40,00	65,84	0,314

Normal: sem nenhuma área de dureza ou palidez, Leve: ligeiramente afetado nas áreas cranial e ou caudal, moderado: moderadamente afetado em todo o músculo e severo: com hemorragia superficial e a presença de um exsudado estéril na superfície muscular.

FONTE: O Autor (2018).

Os registros da ocorrência de WB são recentes. A miopatia é restrita ao músculo do peito (*Pectoralis major*) e caracteriza-se por apresentar áreas pálidas e aumento de rigidez (SIHVO et al., 2014) e em graus mais severos, pode ser vista a olho nu uma extensa área pálida, rígida e ondulada, de característica viscosa com pequenas hemorragias. As lesões microscópicas associadas a ocorrência de WB são compatíveis com processos inflamatórios e de regeneração, de acordo com o grau de severidade. Além disso, a WB pode estar associada com WS (BAUERMEISTER et al., 2009; SIHVO et al., 2014).

As miopatias, a exemplo da WB, são identificadas visualmente na inspeção na sala de cortes dos abatedouros e a indústria desqualifica carnes com estes defeitos, alcançando em média 1% nas condenações diárias no frigorífico por esta alteração. Entretanto, como já confirmado para a WS, não há comprometimento das

carcaças com miopatias quanto à qualidade microbiológica ou saúde sistêmica das aves afetadas (AMARAL, 2014), apenas a questão visual do produto que pode ser causa de rejeição pelo consumidor.

A etiologia ou fatores de risco para WB ainda são desconhecidos. É possível que envolva o descompasso entre o aumento no diâmetro das miofibras, taxa de crescimento e a vascularização dos músculos, gerando um ambiente de hipóxia e consequentemente desencadeando a degeneração muscular (VELLEMAN e CLARK, 2015). Uma variante do vírus da bronquite infecciosa foi descrita causando miopatia peitoral e resposta de linfócitos CD4+ em frangos de corte, porém os casos de WB são relacionados a um infiltrado quase exclusivamente de linfócitos CD3 (SIHVO; IMMONEN; PUOLANNE, 2014).

Além disso, pode estar associada à atuação das células satélites que estarão formando as células miogênicas e posteriormente as fibras musculares. Essas células ficam em quiescência por longos períodos e só se tornariam ativas quando houvesse lesões, e que poderiam atuar de forma regenerativa (YIN, PRICE e RUDNICKI, 2013).

Considerando a inclusão de 0,10% de GAA, independentemente da restrição calórica, observou-se que a incidência de lesões macroscópicas de score moderado para severo chegou a 80%, enquanto que a inclusão de 0,06% de GAA foi associada a uma incidência de 91,42%, também, independentemente da restrição calórica. Já o consumo da dieta controle resultou numa incidência de 88,56% (TABELA 6). Essas observações podem auxiliar no entendimento dos resultados obtidos para a avaliação microscópica dessas lesões. Na TABELA 7 está descrita a incidência de lesões microscópicas.

TABELA 7 - OCORRÊNCIA DE LESÕES HISTOPATOLÓGICAS DE WOODEN BREAST EM FRANGOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM GAA COM E SEM REDUÇÃO CALÓRICA.

	Controle	0,06% GAA	0,10% GAA	0,06%GAA - 50Kcal	0,10%GAA - 50 Kcal	Valor de P
Degeneração hialina/mionecrose						
Normal, %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Leve, %	22,86	45,71	42,86	54,29	28,57	0,2011
Moderada, %	51,43	45,71	34,29	31,43	54,29	0,5020
Severa, %	25,71	5,71	20,00	14,29	17,14	0,3280
Valor de P	0,0003	0,0001	0,0017	0,0001	0,0001	
Fibrose/infiltração adiposa						
Normal, %	2,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,4060
Leve, %	48,57	65,71	60,00	57,14	57,14	0,9200
Moderada, %	40,00	31,43	34,29	34,29	37,14	0,9800
Severa, %	8,57	0,00	2,86	8,57	5,71	0,4360
Valor de P	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	
Regeneração						
Normal, %	0,00	0,00	2,86	0,00	0,00	0,4060
Leve, %	74,29	62,86	68,57	77,14	71,43	0,9630
Moderada, %	11,43	34,29	22,86	17,14	22,86	0,3270
Severa, %	14,29	0,00	2,86	5,71	5,71	0,1350
Valor de P	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	
Infiltrado inflamatório						
Normal, %	8,57	2,86	11,43	0,00	2,86	0,1991
Leve, %	68,57	71,43	80,00	85,71	77,14	0,9315
Moderada, %	20,00	22,86	2,86	8,57	17,14	0,1468
Severa, %	2,86	0,00	2,86	5,71	2,86	0,7358
Valor de P	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	
Perivasculite/vasculite						
Normal, %	34,29	25,71	42,86	45,71	28,57	0,5578
Leve, %	48,57	57,14	42,86	40,00	57,14	0,7742
Moderada, %	8,57	14,29	8,57	11,43	8,57	0,9261
Severa, %	8,57	0,00	2,86	2,86	5,71	0,4461
Valor de P	0,0009	0,0001	0,0002	0,0003	0,0001	

FONTE: O Autor (2018).

Não houve efeito significativo ($p > 0,05$) dos tratamentos sobre a ocorrência e severidade de lesões sugestivas de WB (TABELA 7). Para degeneração hialina, fibrose, regeneração e infiltrado inflamatório, as maiores frequências ($p < 0,05$) foram encontradas em escores moderados e graves. Para a inflamação perivascular, as frequências foram maiores ($p < 0,05$) para ausência e escores suaves; a frequência ainda permaneceu semelhante ($p > 0,05$) entre os tratamentos.

As lesões microscópicas observadas neste estudo consistem, resumidamente, de degeneração hialina, necrose, regeneração, fibrose, infiltrado adiposo e vasculite/perivasculite, achados consistentes com os descritos por outros autores para caracterizar *wooden breast* (SOGLIA et al., 2016). O desenvolvimento destas lesões no tecido muscular é dependente da intensidade, natureza e tempo de exposição à injúria inicial. A presença destes achados no tecido muscular é

característica de processos degenerativos polifásicos multifocais, ou seja, o estímulo iniciador da degeneração age continuamente ou repetidamente sobre o tecido muscular. Lesões desta natureza são características de miopatias nutricionais ou genéticas (COOPER; VALENTINE, 2007). Um estudo que simulou deficiência de selênio em frangos em crescimento não encontrou diferença na ocorrência de *wooden breast* (WB) entre grupos alimentados com dieta deficiente deste mineral ou com níveis normais (SIHVO et al., 2017). VELLEMAN e CLARK (2015) afirmam que uma maior expressão da proteína decorina levou ao desenvolvimento de WB com intensa fibrose em uma linhagem de frangos de corte.

Com exceção dos casos descritos que apresentaram vasculite e/ou perivasculite linfocítica, o infiltrado inflamatório foi constituído sobretudo por macrófagos e granulócitos, que são atraídos para os locais de necrose, portanto a presença destas células não indica uma miosite como processo inicial.

As lesões de WB provavelmente iniciam-se com degeneração e necrose muscular logo aos 10 dias de vida, seguidas do infiltrado inflamatório, adiposo, fibrose e da flebite/periflebite linfocítica, com tendência de agravamento destas lesões à medida que a idade avança, porém não é incomum que lesões características de estágios mais tardios, como vasculite, sejam observadas em aves jovens e mesmo na ausência de mionecrose (SIHVO; IMMONEN; PUOLANNE, 2014; SIHVO et al., 2017).

Nota-se que a maior parte dos casos que apresentaram vasculite/perivasculite linfocítica eram também aqueles com o infiltrado inflamatório e necrose mais intensos, assim como também foram comuns casos com degeneração intensa e que não apresentavam o infiltrado linfocítico associado aos vasos sanguíneos; algo semelhante foi descrito por Sihvo et al., (2017). Estes autores verificaram que o infiltrado linfocítico é exclusivamente associado a vênulas, por vezes podendo obliterar o lúmen ou se situar de forma excêntrica ao vaso, o que foi corroborado por este trabalho.

As lesões microscópicas de WB são inespecíficas e a avaliação histológica isoladamente não é suficiente para estabelecer tal diagnóstico, porém autores concordam que a presença de mionecrose e flebite linfocítica são marcantes na doença, ainda que não se saiba se a flebite é primária no desenvolvimento das demais lesões ou secundária.

A contagem e a medida do diâmetro das fibras musculares foi avaliada. Os resultados estão demonstrados na TABELA 8. Para a contagem das fibras musculares (número/mm²), a suplementação com 0,06% de GAA levou ao menor ($p<0,05$) número de fibras contadas em relação aos demais tratamentos. Já para a medida do diâmetro, o tratamento com 0,10 de GAA e redução calórica, observou-se o maior ($p<0,05$) diâmetro, em comparação com as outras dietas. A dieta de 0,06% de GAA resultou no menor ($p<0,05$) diâmetro em relação à mesma inclusão de GAA, mas com redução calórica.

TABELA 8 - CONTAGEM E MENSURAÇÃO DAS FIBRAS MUSCULARES DO PEITO DE FRANGOS DE CORTE SUPLEMENTADOS COM GAA COM E SEM REDUÇÃO CALÓRICA.

	Controle	0,06% GAA	0,10% GAA	0,06%GAA - 50Kcal	0,10%GAA - 50 Kcal	CV %	Valor de P
Número (n/mm ²)	8,24a	7,22b	7,94a	7,91a	8,33a	18,98	0,0001
Diâmetro, µm	115,48cb	115,06c	116,48cb	117,59b	120,36a	5,44	0,0001

FONTE: O Autor (2018).

A avaliação da morfometria das fibras musculares foi feita a partir de amostras coletadas dos mesmos peitos utilizados na avaliação da ocorrência de WS e WB. Assim, esses resultados podem ser associados aos processos patológicos descritos.

Em resposta à lesão, o músculo esquelético é submetido a um processo de degeneração e regeneração que ocorre no tecido em níveis celulares e moleculares, resultando na remodelação, fase final da reparação. Na fase de regeneração do tecido muscular lesionado, ocorre a fagocitose dos restos celulares e a regeneração das fibras musculares por ação das células satélite (SIHVO et al., 2014). Nessa fase, há uma redução em diâmetro e somente quando a fase final de remodelação está completa, as fibras musculares crescem em diâmetro através do aumento da síntese proteica (CHARGE e RUDNICKI, 2004). Esses resultados podem indicar diferentes fases de reparação em função da suplementação com GAA ou da restrição calórica. O percentual de aves com regeneração da fibra muscular (TABELA 7) foi maior no tratamento com 0,06% de GAA, o que pode explicar o menor diâmetro das fibras musculares (TABELA 8).

Em relação ao menor número de células, o resultado é controverso. Como o número de células é contado na área do tecido capturada, por haver um processo regenerativo envolvido, o número de células pode estar reduzido, assim como o diâmetro. Essa hipótese explicaria a maior taxa de regeneração associada à

redução do número e menor diâmetro das fibras musculares observados para as aves que foram suplementadas com 0,06% de GAA.

Zambonelli et al. (2017) demonstraram haver aumento na expressão dos genes envolvidos na resposta contra o acúmulo de espécies reativas como o peróxido de hidrogênio e oxigênio reativo em peitos acometidos tanto por WS como por WB. Esses autores argumentam que a presença de um agente estressante oxidante, possivelmente levaria a uma condição de hipóxia muscular. Por outro lado, eles encontraram alteração no metabolismo da glicose, com aumento da síntese da enzima lactato desidrogenase, responsável pela conversão de piruvato em lactato, porém não houve aumento do pH, o que não ocorre em situações de hipóxia.

A energia no tecido muscular é armazenada na forma de PCr e glicogênio. O ciclo do ácido cítrico, que ocorre no interior das mitocôndrias, desempenha papel central nos mecanismos metabólicos de obtenção de energia das células. Na presença de oxigênio, a degradação do glicogênio muscular se dá via glicólise aeróbica, onde o ácido pirúvico produz acetil-COA (GUYTON, 1998). Já na ausência de oxigênio, a degradação do glicogênio muscular ocorre via glicólise anaeróbica e leva à formação de ácido láctico a partir do piruvato, reduzindo o pH muscular.

Nos frangos de corte, o músculo peitoral, de cor branca, tem predominantemente fibras de contração rápida e glicolítica e, histologicamente, apresenta-se com pequena densidade de capilares sangüíneos e contém pequeno número de mitocôndrias (MACARI et al., 1994). Sendo assim, o musculo peitoral dos frangos de corte, necessita de um grande aporte de energia, ou seja, a CREA, que é convertida no metabolismo em creatinina para gerar ATP e ADP.

Dessa forma, há diferenças na concentração intracelular de creatina nos vários tipos de fibras musculares. Músculos constituídos por fibras predominantemente brancas (glicolíticas) como as que compõem a musculatura do peito (*pectoralis major* e *pectoralis minor*) contêm 31% mais creatinina que o músculo *flexor longo* do hálux da perna, músculo com predominância de fibras vermelhas (oxidativo).

A hipótese da suplementação de GAA nas dietas, seria o fornecimento de energia para a fibra muscular, evitando essas alterações no metabolismo da glicose, em situações de hipóxia, que, acredita-se ser recorrente em animais de taxas de crescimento muscular tão aceleradas como observado nas atuais linhagens de frangos de corte. Além disso, a redução de oxigênio disponível em instalações com

dificuldade de renovação de ar, o problema pode ser agravado, pois as reservas de glicogênio são utilizadas ainda mais rápido, e, portanto, são dependentes da velocidade de ressíntese de ATP pelo ADP, via sistema CREA e PCr, resultando em esgotamento *in vivo*.

Apesar dessas miopatias estarem correlacionadas a genética, uma vez que a sua ocorrência mostrou uma herdabilidade variando de 0,338 (BAILEY et al., 2015) a 0,65 (ALNAHHAS et al., 2016), fatores nutricionais e ambientais podem interferir na ocorrência e intensidade das lesões. Em trabalhos futuros, recomenda-se a suplementação de GAA associada a elevados níveis de antioxidantes como uma tentativa de intervenção no metabolismo glicolítico do peito de linhagens de alto rendimento e com isso amenizar as lesões decorrentes da ocorrência de WS e WB. Outra possibilidade de esclarecimento dos fatores relacionados à ocorrência é o desenvolvimento de estudos em diferentes condições ambientais, envolvendo altitude, temperatura ambiente e concentração de gases e amônia nas instalações avícolas.

É importante considerar as repercussões das mudanças de longo prazo resultantes dos 50 anos de seleção de características quantitativas para aumento do rendimento do peito. As perdas econômicas substanciais resultantes das miopatias musculares recentes proporcionam uma oportunidade para a indústria reavaliar as atuais estratégias de seleção e apontar soluções, focadas na otimização do crescimento em vez de maximizá-lo (GRIFFIN et al., 2018). Tais considerações são fundamentais para garantir um futuro sustentável para a indústria, em termos econômicos, ambientais e sociais.

4 CONCLUSÃO

As dietas experimentais não influenciaram a ocorrência de lesões macroscópicas de *white striping* e *wooden breast* aos 46 dias de idade.

REFERÊNCIAS

ALNAHHAS, N.; BERRI, C.; CHABAULT, M.; CHARTRIN, P.; BOULAY, M.; BOURIN, M. C.; LE BIHAN-DUVAL, E. Genetic parameters of white striping in relation to body weight, carcass composition, and meat quality traits in 2 broiler lines

divergently selected for the ultimate pH of the pectoralis major muscle. **BMC Genet.** 17:61. 2016.

AMARAL, P. C. **Indicadores de processo inflamatório sistêmico e de lesão muscular de frangos de corte acometidos pela miopatia dorsal cranial.** p. 64. Mestrado em Bioexperimentação UPF. 2014.

BAILEY, R. A.; WATSON, K. A.; BILGILI, S. F.; AVENDANO, S. The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines. **Poult Sci.** 94: 2870–2879, 2015.

BLOCH, K.; SCHOENHEIMER, R. The biological precursors of creatine. **J. Biol. Chem.** 138, 167–194, 1941.

BUCKINGHAM, M.; BAJARD, L.; CHANG, T.; DAUBAS, P.; HADCHOUEL, J.; MEILHAC, S.; MONTARRAS, D.; ROCANCOURT, D.; RELAIX, F. The Formation of Skeletal Muscle: From somiteto limb. **J. Anat.**, v.202, p.59-68, 2003.

CHARGE, S. B.; RUDNICKI, M. A. Cellular and molecular regulation of muscle regeneration. **Physiol Rev.** p. 209-238, 2004.

COOPER, B. J.; VALENTINE, B. A. Muscle and Tendon. In: JUBB, K. V. F.; KENNEDY, P. C.; PALMER, N. C. **Pathology of domestic animals.** 6. ed. St. Louis: Elsevier. Cap. 3. p. 164-249, 2007.

CRUZ, R, F, A. **Prevalência de White striping e wooden breast em frangos de corte suplementados com níveis crescentes de lisina na fase de crescimento ou final.** Rio Grande, Lume repositório digital, 2016.

DRANSFIELD, E.; SOSNICKI, A. Relationship between muscle growth and poultry quality. **Poultry Science**, Champaign, v. 78, n. 5, p. 743-746, May, 1999.

DUBOWITZ, V. Normal muscle. In: Muscle Biopsy: **A Practical Approach.** 2ª Ed. Bailliere Tindall London, Cap. 03: 41-81, 1985.

GRIFFIN, J. R.; MORAES, L.; WICK, M.; LILBURN, M. S. Onset of white striping and progression into wooden breast as defined by myopathic changes underlying Pectoralis major growth. Estimation of growth parameters as predictors for stage of myopathy progression, **Avian Pathology**, 47:1, 2-13. 2018.

GUISO, C. A. Avaliação sensorial visual: White Striping. In: V Congresso e Feira Brasil Sul de Avicultura, Suinocultura e Laticícios. **Anais.** Porto Alegre - RS, 2016.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Fisiologia Humana e Mecanismos das Doenças.** Tradução: Charles Alfred Esbérard et al. 6ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.

JOINER, K. S.; HAMLIN, A. C. G. A.; LIEN, A. R. J.; BILGILI, S. F. B. Evaluation of Capillary and Myofiber Density in the Pectoralis Major Muscles of Rapidly Growing, High-Yield Broiler Chickens During Increased Heat Stress. **Avian Diseases**, n.58, v.3, p.377-382, 2014.

KHAN, M. A. The histoenzymology of striated muscle fibres an overview. *Cellular Molecular Biology*, v. 22, p. 383-93, overview. **Cellular Molecular Biology**, v.22, p.383-93, 1977.

KUTTAPPAN, V. A., LEE Y., ERF G. F., MEULLENET J. F., OWENS C. M. Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. **Poultry Science**, v. 91, p. 1240-1247, 2012.

KUTTAPPAN, V. A.; SHIVAPRASAD, H. L.; SHAW, D. P.; VALENTINE, B. A.; HARGIS, B. M.; CLARK, F. D.; MCKEE, S. R.; OWENS, C. M. Pathological changes associated with white striping in broiler breast muscles. **Poultry Science**, v. 92, p. 331-338, 2013a.

KUTTAPPAN, V. A.; HUFF, G. R.; HUFF, W. E.; HARGIS, B. M.; APPLE, J. K.; COON, C.; OWENS, C. M. Comparison of hematologic and serologic profiles of broiler birds with normal and severe degrees of white striping in breast fillets. **Poult. Sci.** 91:2677–2685, 2013b.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal: FUNEP, p. 296, 1994.

MOUSAVI, S. N.; AFSAR, A.; LOTFOLLAHIAN, H. Effects of guanidinoacetic acid supplementation to broiler diets with varying energy contents. **The Journal of Applied Poultry Research** 22, 47–54, 2013.

PETRACCI, M.; CAVANI, C. Muscle growth and poultry meat quality issues. **Nutrients** 4:1–12, 2012.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. 2002. **User's guide**. Cary: SAS Institute, 525p.

SIHVO, H. K; IMMONEN, K; PUOLANNE, E. Myodegeneration with Fibrosis and Regeneration in the Pectoralis Major Muscle of Broilers. **Veterinary Pathology**, n51, v 3, 2014.

SIHVO, H. K.; LINDÉN, J.; AIRAS, N.; IMMONEN, K.; VALAJA, J.; PUOLANNE, E. Wooden Breast Myodegeneration of Pectoralis Major Muscle Over the Growth Period in Broilers. **Veterinary Pathology**, v. 54, n. 1, p. 119–128, 20 jan. 2017.

SOGLIA, F.; MUDALAL, S.; BABINI, E.; NUNZIO, M. D.; MAZZONI, M.; SIRRI, F.; CAVANI, C.; PETRACCI, M. Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. **Poultry Science** 95:651–659, 2016.

TABELAS BRASILEIRAS PARA AVES E SUÍNOS. **Composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3ª edição. Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Zootecnia, 2011.

TABELAS BRASILEIRAS PARA AVES E SUÍNOS. **Composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4ª edição. Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Zootecnia, 2017.

VELLEMAN, S. G.; CLARK, D. L. Histopathologic and Myogenic Gene Expression Changes Associated with Wooden Breast in Broiler Breast Muscles. **Avian Diseases**, v. 59, n. 3, p. 410–418, 2015.

WILLIAMS, M. H.; KREIDER, R. B.; BRANCH, J. D. **Creatina**, Manole. 2000.

WYSS, M.; KADDURAH-DAOUK, R. Creatine and creatinine metabolism. **Physiol Rev** 80: 1107–1213, 2000.

YIN, H.; PRICE, F.; RUDNICKI, M. A. Satellite Cells and the Muscle Stem Cell Niche. **American Physiological Society**, Ottawa, v. 93, p.23-67, 2013.

ZAMBONELLI, P.; ZAPPATERRA, M.; SOGLIA, F.; PETRACCI, M.; SIRRI, F.; CAVANI, C.; DAVOLI, R. Detection of differentially expressed genes in broiler pectoralis major muscle affected by White Striping – Wooden Breast myopathies. **Poultry Science** 95:2771–2785. 2017.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com mercados cada vez mais exigentes quanto à qualidade dos produtos e diante de situações cada vez mais desafiadoras, principalmente do ponto de vista econômico, a agroindústria é sempre pressionada a evoluir, alcançando patamares inimagináveis até poucos anos.

Junto com os ganhos produtivos conquistados, vieram também alguns problemas, como as miopatias *white striping* e *wooden breast* que estão causando grandes prejuízos para a cadeia avícola. Pois causam o descarte de parte ou totalidade do seu corte mais nobre (peito) já limpo na linha de produção do frigorífico.

Todas as tecnologias que tragam melhoras, seja no desempenho ou na qualidade da carcaça dos frangos de corte, devem ser consideradas.

Como é o caso do Ácido Guanidinoacético (GAA), que apresentou melhora na conversão alimentar, tanto na primeira semana, quanto no ciclo completo, de animais suplementados, mesmo recebendo dietas compostas com proteína de origem animal (farinha de carne e ossos) e consequentemente com creatina (CREA).

Nas fases onde não houveram diferenças significativas, os tratamentos suplementados com GAA mantiveram seus resultados, mesmo nos tratamentos com redução de 50 kcal, indicando uma melhora no metabolismo energético.

As dietas experimentais não influenciaram a ocorrência de lesões macroscópicas de *white striping* e *wooden breast* aos 46 dias de idade.

As lesões microscópicas de WB são inespecíficas e a avaliação histológica isoladamente não é suficiente para estabelecer tal diagnóstico. A suplementação com GAA não mostrou efeitos relevantes nas miopatias WS e WB. Novos estudos com diferentes doses e associação de produtos são necessários, pois estas miopatias seguem sem uma solução efetiva.

REFERÊNCIAS

ABASHT, B.; MUTRYN M, F.; MICHALEK R. D.; LEE W.R. Oxidative Stress and Metabolic Perturbations in Wooden Breast Disorder in Chickens. **Plos One**, 2016.

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. Disponível em: <<http://abpabr.com.br/noticia/producao-de-carne-de-frango-totaliza-13146-milhoes-de-toneladas-em-2015-1545>> Acesso em 14 de novembro de 2017.

ABUDABOS, A. M.; SALEH, F.; LEMME, A.; ZAKARIA, H. A. H. The relationship between guanidino acetic acid and metabolisable energy level of diets of performance of broiler chickens. **Ital, J. Anim. Sci.** 13:548–556, 2014

ALNAHHAS, N.; BERRI, C.; CHABAULT, M.; CHARTRIN, P.; BOULAY, M.; BOURIN, M. C.; LE BIHAN-DUVAL, E. Genetic parameters of white striping in relation to body weight, carcass composition, and meat quality traits in 2 broiler lines divergently selected for the ultimate pH of the pectoralis major muscle. **BMC Genet.** **17:61. 2016.**

AMARAL, P. C. **Indicadores de processo inflamatório sistêmico e de lesão muscular de frangos de corte acometidos pela miopatia dorsal cranial.** p. 64. Mestrado em Bioexperimentação UPF. 2014.

ANADÓN, H. L. S. Biological, nutritional and processing factors affecting breast meat quality of broilers. **Thesis** (Doctor of Philosophy in Animal and Poultry Sciences) – Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002.

ARAÚJO, L. F.; KIDD, M. T.; ARAÚJO, C. S. S.; BARBOSA, L. C. G. S. Impacto da nutrição de matrizes pesadas sobre o desenvolvimento da progênie. Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, CBNA, Campinas, **Anais**, p. 24 – 33, 2010.

ARAUJO, L. F.; RAMALHO, J. B.; RODRIGUEIRO, R. J. B.; ARAUJO, C. S. S.; REDEMACHER, M. Efeito do ácido guanidinoacético em matrizes pesadas e o desempenho das progênies. **Rev. Prod, Anim. – Avicultura**, 2013.

BAILEY, R. A.; WATSON, K. A.; BILGILI, S. F.; AVENDANO, S. The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines. **Poult Sci**, 94: 2870–2879, 2015.

BAKER, D. H. Advances in protein–amino acid nutrition of poultry. **Amino Acids**. 37:29–41, 2009.

BANKS, W. J. Tecido muscular. In: **Histologia veterinária aplicada**. 2.ed. São Paulo: Manole. p.215-236, 1992.

BAUERMEISTER, L. J.; MOREY, A. U.; MORAN, E. T.; SINGH, M.; OWENS, C.M.; MCKEE, S. R. Occurrence of white striping in chicken breast fillets in relation to broiler size. **Poultry Science**, Champaign, v. 88, n. 33, 2009.

BLOCH, K.; SCHOENHEIMER, R. The biological precursors of creatine. **J. Biol. Chem.** 138, 167–194, 1941.

BRESSAN, M. C. **Efeitos dos fatores pré e pós-abate sobre a qualidade da carne de peito de frango**. Tese (Doutorado em tecnologia de alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

BROSNAN, J. T.; WIJEKOON, E. P.; WARFORD-WOOLGAR, L.; TROTTIER, N. L.; BROSNAN, M. E.; BRUNTON, J. A.; BERTOLO, R. F. P. Creatine synthesis is a major metabolic process in neonatal piglets and has important implications for amino acid metabolism and methyl balance. **J. Nutr.** 139:1292-1297, 2009.

BRYANT – ANGELONI, K. I. Dietary guanidino acetic acid spa/res arginine and dietary l-homoserine spares threonine in the chick. **Master of Science in Animal Sciences** in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2010.

BUCKINGHAM, M.; BAJARD, L.; CHANG, T.; DAUBAS, P.; HADCHOUEL, J.; MEILHAC, S.; MONTARRAS, D.; ROCANCOURT, D.; RELAIX, F. The Formation of Skeletal Muscle: From somiteto limb. **J. Anat.**, v.202, p.59-68, 2003.

CARVALHO, C. M. C.; FERNANDES, E. A.; CARVALHO, A. P.; MACIEL, M. P.; CAIRES, R. M.; FAGUNDES, N. S. Effect of creatine addition in feeds containing animal meals on the performance and carcass yield of broilers. **Rev. Bras. de Cienc. Avic.** 15 (3): 169-286, 2013.

CHARGE, S. B.; RUDNICKI, M. A. Cellular and molecular regulation of muscle regeneration. **Physiol Rev.** p. 209-238, 2004.

CHRIST, B.; BRAND-SABERI, B. Limb muscle development. **International Journal of Developmental Biology**, v.46, p.905-914, 2002.

COOPER, B. J.; VALENTINE, B. A. Muscle and Tendon. In: JUBB, K. V. F.; KENNEDY, P. C.; PALMER, N. C. **Pathology of domestic animals**. 6. ed. St. Louis: Elsevier. Cap. 3. p. 164-249, 2007.

CRUZ, R. F. A. **Prevalência de White striping e wooden breast em frangos de corte suplementados com níveis crescentes de lisina na fase de crescimento ou final**. Rio Grande, Lume repositório digital, 2016.

DABÉS, A. C. Propriedades da carne fresca. **Revista Nacional da Carne**. São Paulo, v. 25, n. 288, p. 32-40, fev. 2001.

DEGROOT, A. A. **Efficacy of dietary guanidine acetic acid in broiler chicks**. Thesis. Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Animal Sciences in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2014.

DILGER, R. N.; BRYANT-ANGEONI, K.; PAYNE, R. L.; LEMME, A.; PARSONS, C. M. Dietary guanidino acetic acid is an efficacious replacement for arginine for young chicks. **Poult. Sci.**, 92:171-177, 2013.

DRANSFIELD, E.; SOSNICKI, A. Relationship between muscle growth and poultry quality. **Poultry Science**, Champaign, v. 78, n. 5, p. 743-746, May, 1999.

DUBOWITZ, V. Normal muscle. In: Muscle Biopsy: **A Practical Approach**. 2ª Ed. Bailliere Tindall London, Cap. 03: 41-81, 1985.

EFSA - Scientific opinion of the Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP) on a request from the European Commission on the safety and efficacy of CreAmino (guanidinoacetic acid) as feed additive for chickens for fattening. **EFSA J.** 988:1–30, 2009.

ESSER, A. F. G. **Ácido guanidinoacético e arginina em frangos de corte submetidos ao estresse por calor no período pré-abate**. Tese (Programa de Pós Graduação em Ciência Animal) – Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Palotina, 2015.

EDWARDS JR, H. M.; YOUNG, R. J.; GILLIS, M. B. Studies on arginine deficiency in chicks. **J Nutr** 64:271-279, 1958.

FARIA, P. B. **Desempenho e qualidade de carcaça e carne de frangos criados em sistema alternativo**. Tese (Doutorado em ciências e tecnologia de alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

FEBBRAIO, M. A.; FLANAGAN, T. R.; SNOW, R. J.; ZHAO, S.; CAREY, M. F. Effect of creatine supplementation on intramuscular TCr, metabolism and performance during intermittent, supramaximal exercise in humans. **Acta Physiologica Scandinavica**, 155, 387-395, 1995.

FLETCHER, D. L. Broiler breast meat color variation, pH and texture. **Poultry Science**, Savoy, v. 78, p. 1323-1327, 1999.

FORREST, J. C.; ABERLE, E. D.; HEDRICK, H. B.; JEDGE, M. D.; MERKEL, R. A. **Fundamentos de ciencia de la carne**. Zaragoza: Acribia, 364 p, 1979.

GREENHAFF, P. L. The nutritional biochemistry of creatine. **J Nutr. Biochem.** 8, 610-618, 1997.

GRIFFIN, J. R.; MORAES, L.; WICK, M.; LILBURN, M. S. Onset of white striping and progression into wooden breast as defined by myopathic changes underlying Pectoralis major growth. Estimation of growth parameters as predictors for stage of myopathy progression, **Avian Pathology**, 47:1, 2-13. 2018.

GUIMARÃES-FERREIRA, L. Papel do sistema da fosfocreatina na homeostase energética das musculaturas esquelética e cardíaca, **Einstein**. 12(1): 126-31, 2014.

GUSSO, C. A. Avaliação sensorial visual: White Striping. In: V Congresso e Feira Brasil Sul de Avicultura, Suinocultura e Laticícios. **Anais**. Porto Alegre - RS, 2016.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Fisiologia Humana e Mecanismos das Doenças**. Tradução: Charles Alfred Esbérard et al. 6ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.

HALLE, I.; HENNING, M.; KOHLER, P. Studies of the effects of creatine on performance of laying hens, on growth and carcass quality of broilers. **Landbauforschung Volkenrode**; 56:11–18, 2006.

HAMM, R. Biochemistry of meat hydration. **Advances in Food Research**, Cleveland, v. 10, n. 2, p. 435-443, 1960.

HEGER, J. J.; ZELENKA, V.; MACHANDER, C.; DE LA CRUZ, M.; LESTAK, and D. HAMPEL. **Effects of guanidinoacético acid supplementation to broiler diets with varying energy content**. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 62:477–485, 2014.

HOVING-BOLINK, A. H.; KRANER, R. W.; KLONT, R. E.; GERRITSEN, C. L. M.; DE GREEF, K. H. Fibre area and capillary supply in broiler breast muscle in relation to productivity and ascites Meat **Sci**. n.56, p. 397-402, 2000.

HUANG, R. F.; HSU, Y. C.; LIN, H. L.; YANG, F. L. Folate depletion and elevated plasma homocysteine promote oxidative stress in ratlivers. **J Nutr** ; 131(1):33-8, 2001.

JOINER, K. S.; HAMLIN, A. C. G. A.; LIEN, A. R. J.; BILGILI, S. F. B. Evaluation of Capillary and Myofiber Density in the Pectoralis Major Muscles of Rapidly Growing, High-Yield Broiler Chickens During Increased Heat Stress. **Avian Diseases**, n.58, v.3, p.377-382, 2014.

JOINER, K. S.; HAMLIN, A. C. G. A.; LIEN, A. R. J.; BILGILI, S. F. B. Evaluation of Capillary and Myofiber Density in the Pectoralis Major Muscles of Rapidly Growing, High-Yield Broiler Chickens During Increased Heat Stress. **Avian Diseases**, n.58, v.3, p.377-382, 2014.

JUDGE, M.; ABERLE, E.; FORREST, J. Principles of meat science. Iowa : **Kendal Hunt Publication**, 507p, 1989.

KHAN, M. A. The histoenzymology of striated muscle fibres an overview. Cellular Molecular Biology, v. 22, p. 383-93, overview. **Cellular Molecular Biology**, v.22, p.383-93, 1977.

KUTTAPPAN, V. A.; LEE Y., ERF G. F., MEULLENET J. F., OWENS C. M. Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. **Poultry Science**, v. 91, p. 1240-1247, 2012.

KUTTAPPAN, V. A.; BREWER, V. B.; CLARK, F. D.; MCKEE, S. R.; MEULLENET, J. F.; EMMERT, J. L.; OWENS, C. M. Effect of white striping on the histological and meat quality characteristics of broiler fillets. **Poultry Science**, Champagnain, v.88 (Suppl.1), n. 447 (Abstr.). 2009.

KUTTAPPAN, V. A.; BREWER, V. B.; MAUROMOUSTAKOS, A.; MCKEE, S. R.; EMMERT, J. L.; MEULLENET, J. F.; OWENS, C. M. Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. **Poult. Sci.** 92:811-819, 2013b.

KUTTAPPAN, V. A.; BREWER, V. B.; WALDROUP, P. W.; OWENS, C. M. Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets. **Poult. Sci.** 91:2677–2685, 2012b.

KUTTAPPAN, V. A.; HUFF, G. R.; HUFF, W. E.; HARGIS, B. M.; APPLE, J. K.; COON, C.; OWENS, C. M. Comparison of hematologic and serologic profiles of broiler birds with normal and severe degrees of white striping in breast fillets. **Poult. Sci.** 91:2677–2685, 2013a.

KUTTAPPAN, V. A.; HUFF, G. R.; HUFF, W. E.; HARGIS, B. M.; APPLE, J. K.; COON, C.; OWENS, C. M. Comparison of hematologic and serologic profiles of broiler birds with normal and severe degrees of white striping in breast fillets. **Poult. Sci.** 91:2677–2685, 2013b.

KUTTAPPAN, V. A.; LEE, Y., ERF, G. F.; MEULLENET, J. F.; OWENS, C. M. Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. **Poult. Sci.** 92:339–345, 2012a.

KUTTAPPAN, V. A.; SHIVAPRASAD, H. L.; HARGIS, B. M.; CLARK, F. D.; MCKEE, S. R.; OWENS, C. M. Histopathological changes associated with white striping in broiler breast muscles. **Poult. Sci.** 92:331-338, 2013c.

KUTTAPPAN, V. A.; SHIVAPRASAD, H. L.; SHAW, D. P.; VALENTINE, B. A.; HARGIS, B. M.; CLARK, F. D.; MCKEE, S. R.; OWENS, C. M. Pathological changes associated with white striping in broiler breast muscles. **Poultry Science**, v. 92, p. 331-338, 2013a.

LAWRIE, R. A. **Ciência de la Carne**. Zaragoza: Acribia, p. 380, 1967.

LAWRIE, R. A. **Meat science**. New York : Pergamon, p. 293, 1991.

LECLERQ, B. Specific effects of lysine on broiler production: comparision with threonine and valine. **Poultry Science**, Champaing, v. 77, p. 118 – 123, 1998.

LEMME, A. J.; TOSSENBERGER, J. Digestibility and availability of the creatine source guanidino acetic acid in broilers. **Poultry Science**, v.86, ed.1, p.153, 2007a.

LEMME, A.; RINGEL, J.; ROSTAGNO, H. S.; REDSHAW, M. S. Supplemental guanidino acetic acid improved feed conversion, weight gain, and breast meat yield in male and female broilers. pp 1-4 in Proc. XVI Eur. Symp. on **Poultry Nutrition**. Strasbourg, France, 2007a.

LEMME, A.; RINGEL, J.; STERK, A.; YOUNG, J. F. Supplemental guanidino acetic acid affect energy metabolism of broiler. 16 th European Symposium on Poultry Nutrition. Strasbourg, França. **World Poultry Science Association**, 2007b.

LILBURN, M. Skeletal growth of commercial poultry species. **Poultry Science**, Champaign, v.73, p.897-903, 1994.

LÓPEZ, K. P.; SCHILLING, M. W.; CORZO, A. Broiler genetic strain and sex effects on meat characteristics, **Poultry Science**, v. 90, n. 5, p. 1105–1111, 2011.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal: FUNEP, p. 296, 1994.

MCKEE, S. R.; SAMS, A. R. The effect of seasonal heat stress on rigor development and the incidence of pale, exudative turkey meat. **Poultry Science**, Champaign, n. 76, p. 1616-1620, 1997.

MICHIELS, J.; MAERTENS, L.; BUYSE, J.; LEMME, A.; RADEMACHER, M.; DIERICK, N. A.; DE SMET, S. Supplementation of guanidinoacetic acid to broiler diets: effects on performance, carcass characteristics, meat quality, and energy metabolism. **Poult Sci**; n. 91, p. 402-412, 2012.

MOSS, F. P. The relationship between the dimensions of the fibers and the number of nuclei during normal growth of skeletal muscle in the domestic fowl. **American Journal of Anatomy**, v. 122, p. 555-564, 1968.

MOUSAVI, S. N.; AFSAR, A.; LOTFOLLAHIAN, H. Effects of guanidinoacetic acid supplementation to broiler diets with varying energy contents. **The Journal of Applied Poultry Research** 22, 47–54, 2013.

MUDALAL, S.; LORENZI, M.; SOGLIA, F.; CAVANI, C.; PETRACCI, M. Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. **Animal**. V. 9, p. 728–734, 2014.

MURAKAMI, A. E.; RODRIGUEIRO, R. J.; SANTOS, T. C.; OSPINA-ROJAS, I. C.; RADEMACHER, M. Effects of dietary supplementation of meat-type quail breeders with guanidinoacetic acid on their reproductive parameters and progeny performance, **Poultry Science**, v. 93, n. 9, p 2237–2244, 2014.

MUTRYN, M. F.; BRANNICK, E. M.; FU, W.; LEE, W. R.; ABASHT, B. Characterization of a novel chicken muscle disorder through differential gene expression and pathway analysis using RNA-sequencing. **BMC Genomics**; 16: 399, 2015.

NEWSHOLME, P.; BRENNAN, L.; RUBI, B. New insights into amino acid metabolism, beta-cell function and diabetes. **Clinical Science**, v.108, p.185.194, 2005.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**. 9th rev. ed. National Academy Press. Washington, DC, USA, 1994.

OLIVO, R.; GUARNIERI, P. D.; SHIMOKOMAKI, M. Fatores que influenciam na cor de filés de peito de frango. **Revista Nacional da Carne**, v. 25, n. 289, p. 44- 49, 2001.

OWENS, C. M., Identifying quality defects in poultry processing. **Watt Poult.** USA; 42–50, 2014.

PETRACCI, M., CAVANI, C. Muscle growth and poultry meat quality issues. **Nutrients** 4:1–12, 2012.

PETRACCI, M.; FLETCHER, D.L.; NORTHCUTT, J. K. The effect of holding temperature on live shrink, processing yield, and breast meat quality of broiler chickens. **Poult. Sci.**, Ithaca, v.80, p.670-675, 2001.

RINGEL, J. A.; LEMME, L. F.; ARAUJO. The effect of supplemental guanidine acetic acid in Brazilian type broiler diets at summer conditions. **Poult. Sci.** 87(Suppl. 1):154, 2008.

SAMS, A. R. Meat quality during processing. **Poultry Science**, Savoy, v. 78, p. 798-803, 1999.

SETOUE, M.; OHUCHI, S.; MORITA, T.; SUGIYAMA, K. Hyperhomocysteinemia induced by guanidinoacetic acid is effectively suppressed by choline and betaine in rats. *Biosci. Biotechnol.* **Biochem.**, 72:1696–1703, 2008.

SIHVO, H, K; IMMONEN, K; PUOLANNE, E. Myodegeneration with Fibrosis and Regeneration in the Pectoralis Major Muscle of Broilers. **Veterinary Pathology**, n51, v 3, 2014.

SIHVO, H. K.; LINDÉN, J.; AIRAS, N.; IMMONEN, K.; VALAJA, J.; PUOLANNE, E. Wooden Breast Myodegeneration of Pectoralis Major Muscle Over the Growth Period in Broilers. **Veterinary Pathology**, v. 54, n. 1, p. 119–128, 20 Jan. 2017.

SMITH, M. O. Parts yield of broilers reared under cycling high temperatures. **Poultry Science**, v.72, p. 1146-1150, 1993.

SOGLIA, F.; MUDALAL, S.; BABINI, E.; NUNZIO, M. D.; MAZZONI, M.; SIRRI, F.; CAVANI, C.; PETRACCI, M. Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. **Poultry Science** 95:651–659, 2016.

STAHL, C. A.; GREENWOOD, M. W.; BERG, E. P. Growth parameters and carcass quality of broilers fed a corn-soybean diet supplemented with creatine monohydrate. *Int. J. Poultry Sci.* 2:404-408, 2003.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. 2002. **User's guide**. Cary: SAS Institute, 525p

STEAD, L. M.; BROSANAN, J. T.; BROSANAN, M. E.; VANCE, D. E.; JACOBS, R. L. Is it time to reevaluate methyl balance in humans. **Am. J. Clin. Nutr.** 83:5-10, 2006.

TABELAS BRASILEIRAS PARA AVES E SUÍNOS. **Composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3ª edição. Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Zootecnia, 2011.

TABELAS BRASILEIRAS PARA AVES E SUÍNOS. **Composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4ª edição. Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Zootecnia, 2017.

TOLDRÁ, F. Muscle foods: water, structure and functionality. **Food Science Technology International**. V. 9, n. 3, p.173-177, 2003.

UBABEF – União Brasileira de Avicultura. **Relatório anual**. (<http://abpa-br.com.br/files/publicacoes/41c30a0f46702351b561675f70fae077.pdf>), 2012.

VELLEMAN, S. G.; CLARK, D. L. Histopathologic and Myogenic Gene Expression Changes Associated with Wooden Breast in Broiler Breast Muscles. **Avian Diseases**, v. 59, n. 3, p. 410–418, 2015.

VOLEK, J. S.; BOETES, M. A.; BUSH, J. A.; PUTUKIAN, M.; SEBASTIANELLI, W. J.; KRAEMER, W. J. Response of testosterone and cortisol concentrations to highintensity resistance exercise following creatine supplementation. **J strength cond res**. 97:765-770, 1997.

WALKER, J. B. Metabolic control of creatine biosynthesis. Effect of dietary creatine. **Journal of Biological Chemistry**. V.235. p.2357-2361, 1960.

WILHELM, A. E.; MAGANHINI, M. B.; BLAZQUEZ, F. J. H.; IDA, E. I.; SHIMOKOMAKI, M. Protease activity and the ultrastruture of broiler chicken PSE (Pale, Soft, Exudative) meat. **Food Chem**. 119: 1201-1204, 2010.

WILLIAMS, M. H.; KREIDER, R. B.; BRANCH, J. D. **Creatina**, Manole. 2000.

WILLIAMS, M. H.; KREIDER, R. B.; BRANCH, J. D. Creatine - the power supplement. Champaign, IL ; Leeds, U.K. : **Human Kinetics**; p. 6-29, 1999.

WORLD, J. P.; VEISETH-KENT, E.; HOST, V.; LOVLAND, A. Rapid on-line detection and grading of wooden breast myopathy in chicken fillets by near-infrared spectroscopy. **Plos One**, 2017.

WU, G.; MORRIS S. M. JR., Arginine metabolism: nitric oxide and beyond. **Biochemical Jurnal**; 336:1-17, 1998.

WYSS, M.; KADDURAH-DAOUK, R. Creatine and creatinine metabolism. **Physiol Rev** 80: 1107–1213, 2000.

YIN, H.; PRICE, F.; RUDNICKI, M. A. Satellite Cells and the Muscle Stem Cell Niche. **American Physiological Society**, Ottawa, v. 93, p.23-67, 2013.

ZAMBONELLI, P.; ZAPPATERRA, M.; SOGLIA, F.; PETRACCI, M.; SIRRI, F.; CAVANI, C.; DAVOLI, R. Detection of differentially expressed genes in broiler pectoralis major muscle affected by White Striping – Wooden Breast myopathies. **Poultry Science** 95:2771–2785. 2017.