

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

**FATORES DE INFLUÊNCIA NA DETERMINAÇÃO DA
COMPOSIÇÃO CORPORAL DE FRANGOS DE CORTE
OBTIDOS EM APARELHO DE DUPLO FEIXE DE RAIO X**

Nicole de Moraes Miranda

Jaboticabal - SP

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

**FATORES DE INFLUÊNCIA NA DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO
CORPORAL DE FRANGOS DE CORTE OBTIDOS EM APARELHO DE DUPLO
FEIXE DE RAIO X**

Nicole de Moraes Miranda

Orientador: Dr. Matheus de Paula Reis

Co-orientador: Prof^a. Dr^a. Nilva Kazue Sakomura

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

**JABOTICABAL – SP
1º Semestre/2022**

Ficha Catalográfica

M672f	Miranda, Nicole de Moraes Fatores de influência na determinação da composição corporal de frangos de corte obtidos em aparelho de duplo feixe de raio x / Nicole de Moraes Miranda. -- Jaboticabal, 2022 38 p. : tabs., fotos Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientadora: Matheus de Paula Reis Coorientadora: Nilva Kazue Sakomura 1. Aves. 2. Composição Corporal. 3. Nutrição Animal. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Certificado de aprovação

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: ZOOTECNIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: FATORES DE INFLUÊNCIA NA DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO
CORPORAL DE FRANGOS DE CORTE OBTIDOS EM APARELHO DE DUPLO
FEIXE DE RAIO X

ACADÊMICO: NICOLE DE MORAES MIRANDA

CURSO: ZOOTECNIA

ORIENTADOR (ES): DR. MATHEUS DE PAULA REIS
PROFª. DRª. NILVA KAZUE SAKOMURA

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

	(Nomes)	(Assinaturas)
Presidente	Dr. Matheus de Paula Reis	<u>Matheus de P. Reis</u>
Membro	Msc. Bruno Balbino Leme	<u>Bruno</u>
Membro	Msc. Ingrid Palloma T. Nóbrega	<u>Bruno Balbino Leme</u>

Jaboticabal 13.1 Maio 2022

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: / /

Prof. Dr. EDNEY PEREIRA DA SILVA
Chefe do Departamento de Zootecnia
Matrícula Nº 422823-6

Oferecimentos

Em primeiro lugar à Deus, pela minha vida, e por ter me ajudado a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

Aos meus pais Alexandra e José Miranda que sempre estiveram ao meu lado, movendo sempre o mundo para verem minha felicidade, meu futuro e graças aos esforços de vocês, hoje posso concluir o meu curso, vocês sempre serão meu porto seguro.

A minha avó Rita e bizavó Guia que sempre torceram, apoiaram e me confortaram nos momentos difíceis.

Ao meu namorado Luis, que nunca me deixou desistir e esteve comigo nos melhores e piores momentos, obrigado por ser meu companheiro sempre.

E a todos aquele que de algum modo acrescentaram na minha graduação e na realização e conclusão desse trabalho.

A vocês ofereço!

“ A persistência é o menor caminho do êxito”

(Charles Chaplin)

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde, força e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

A minha mãe, mulher da minha vida, que sempre esteve comigo, ajudando, apoiando e incentivando. A pessoa que mais me compreendeu e me amou de forma incondicional, me mostrando a força que a mulher e a família tem quando estamos juntos, espero ser metade da mulher que a senhora é, eu te amo mais que tudo no mundo!

Ao meu pai, meu herói, por sempre me apoiar, me auxiliar e me mostrar que temos que correr atrás dos nossos sonhos e nunca desistir deles. Como minha mãe diz, sou sua cópia e me orgulho demais disso, obrigada por todo o aprendizado e nunca ter medido esforços para me ajudar nas realizações das minhas conquistas, eu te amo muito!!

Ao meu irmão Thiago, que sempre me ajudou e me protegeu de tudo, acrescentando no meu amadurecimento e fez com que eu me tornasse a mulher que sou hoje, eu te amo!

A minha avó Rita, minha guerreira, por fazer parte da minha criação e ficar horas em ligações comigo me ajudando e ensinando a como morar sozinha, me dando amor, conselhos, puxões de orelha e receitas no qual vou levar para o resto da vida. Obrigada por sempre ser amorosa, atenciosa, preocupada e sempre me incentivar para eu não desistir nunca, eu te amo demais!

A minha estrelinha Guia, minha bisavó, por me mostrar a bondade e pureza de novo, viver e crescer com você, foi uma dádiva, espero ter sabido dar valor. Você sempre foi a minha força e sempre será meu maior exemplo de pessoa, eu te amo eternamente!

Ao meu namorado Luis, por me apoiar, me incentivar, me dar toda atenção, amor e carinho que preciso, por ser meu porto seguro na ausência dos meus pais. Obrigada por tudo, por me aguentar, foi uma fase bem estressante e com muita pressão, você foi essencial para me dar força para continuar sempre e nunca desistir, você ilumina os meus dias, te amo mil milhões.

Aos meu tios e tias que sempre me deram maior apoio e me incentivaram para lutar pelos meus objetivos e sonhos.

A Universidade Estadual Paulista- Faculdade de ciências agrárias e Veterinária de Jaboticabal (UNESP/FCAV) por toda estrutura, aprendizado e ajuda durante os 5 anos de graduação, e também a todos os funcionários.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional e pessoal

Ao meu Orientador Dr. Matheus de Paula Reis, por todo o aprendizado e orientação no desenvolvimento do meu trabalho de conclusão de curso e por estar ao meu lado em todas as etapas, tendo paciência e não medindo esforço para realização e finalização do mesmo.

A minha Co-orientadora Prof^a Dr^a Nilva Kazue Sakomura, pela oportunidade de estágio e por toda orientação durante esse período.

Ao Laboratório de Ciências Avícolas - LAVINESP e aos membros deste que me proporcionaram aprender tudo que sei hoje, e pelo auxílio nesse trabalho, em especial ao Bruno, Raully, Palloma, Guilherme, Lorota, Luís Filipe, e Freddy.

Aos meus amigos da minha cidade, Amanda, Pedro, Bruno, Douglas, Marina G, Mirelle, Nathalia, Vinicius, Álvaro, por sempre me incentivarem e fazerem os meus finais de semanas serem maravilhosos. Em especial as minhas melhores amigas Marina F e Renata, que sempre estiveram presentes, quando eu voltasse para casa, sempre me apoiando, me ouvindo, fazendo com que eu me sentisse bem, feliz e com as energias renovadas para voltar para a faculdade. Obrigada por me aturar por anos e sempre estarmos juntas, amo vocês!

Aos meus amigos de graduação Silviani, Isabella, Andrea, Jussara, Naiara, Daniel, Eric e José Valdo, por toda a ajuda em trabalhos, estudos, por todas as risadas e momentos, vocês foram essenciais.

A minha colega de quarto, graduação, trabalho, estágio e melhor amiga do peito Larissa, sou imensamente grata por tudo que vivemos juntas, sempre me ajudou com toda a minha graduação e a passar por essa etapa de forma leve. Obrigada por casa risada, conselho, discussão, festa, cuidado e principalmente por ser minha companheira, amo você!

À todos os meus colegas da turma de Zootecnia de 2017, por toda a troca de conhecimentos, amizade e companheirismo.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a minha formação acadêmica e pessoal.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 <i>Panorama Geral da Avicultura.....</i>	3
2.2 <i>A Técnica de Absorciometria por Duplo Feixe de Raio X (DXA).....</i>	6
2.3 <i>Utilização do DXA na Avicultura</i>	7
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3.1 <i>Local de Estudo.....</i>	11
3.2 <i>Animais e Manejo.....</i>	12
3.3 <i>Delineamento experimental</i>	12
3.4 <i>Composição estimada em aparelho de absorciometria por duplo feixes de raios X - DXA.....</i>	13
3.5 <i>Composição química.....</i>	14
3.6 <i>Análise dos Dados.....</i>	15
4. RESULTADOS.....	16
4.1 <i>Avaliação dos dados não transformados obtidos em aparelho DXA.....</i>	16
4.2 <i>Avaliação dos dados transformados obtidos em aparelho DXA.....</i>	17
5. DISCUSSÃO.....	18
6. CONCLUSÃO	22
7. RESUMO	22
8. SUMMARY	23
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1. INTRODUÇÃO

A carne de frango está entre as proteínas de origem animal mais consumidas do mundo (ABPA, 2020). Além de seu alto valor biológico e excelente custo-benefício, o panorama de alto consumo de carne de frango também se justifica por uma rápida evolução da indústria avícola. Esse cenário nem sempre foi assim, já que no início dos anos 90, o consumo da carne de frango no Brasil era de 13 kg/habitante ano. Devido a diversos fatores, como a seleção artificial, aliados a adoção de novas tecnologias na criação das aves, foi possível obter altos índices de eficiência alimentar, o que reduziu significativamente os custos de produção e, conseqüentemente, o valor da carne de frango ao consumidor final. Em 2019, o consumo de carne de frango no Brasil foi de aproximadamente 43 kg/habitante ano (ABPA, 2020), representando o aumento de 330%, em pouco mais de três décadas.

Para dar suporte ao aumento de produção e produtividade na indústria avícola, foi e é necessário o desenvolvimento de novas tecnologias que, por sua vez, são impulsionadas por pesquisas no campo da nutrição, sanidade, manejo e genética. Dessa forma, a busca por ferramentas que auxiliem os pesquisadores e contribuam com o avanço das pesquisas é constante. Nesse contexto, diversos trabalhos que envolvem estudos de nutrição e produção de aves utilizam como variável resposta a composição corporal (CALDAS et al, 2018; VARGAS et al., 2020; MELARÉ et al., 2020), já que essa análise é a base das principais técnicas utilizadas para determinar a deposição de nutrientes no corpo (AZEVEDO et al., 2021), cálculo da eficiência de utilização da energia e dos nutrientes (SAKOMURA et al., 2005; REIS et al., 2019) e até mesmo a modelagem do crescimento das aves (SAKOMURA et al., 2011).

Contudo, a avaliação da composição corporal geralmente se baseia em análises de determinação dos constituintes químicos do corpo da ave, envolvendo diversas etapas de preparação e análises laboratoriais. Após o abate e retirada das penas, a carcaça deve ser congelada para facilitar a serragem, moagem e evitar perda de material. Uma alíquota da amostra é enviada ao laboratório, onde é pré-seca e moída (SAKOMURA; ROSTAGNO, 2016). Somente após esses procedimentos a amostra estará pronta para iniciar as análises químicas, como, por exemplo, matéria seca, extrato etéreo e proteína bruta.

Uma alternativa viável para avaliação da composição corporal foi desenvolvida, na década de 80, chamada de *Dual Energy X-Ray Absorptiometry* – DXA (Absorciometria de

Duplos Feixes de Raio-X). Essa técnica, inicialmente, desenvolvida para a determinação do conteúdo mineral ósseo de pacientes humanos (SARTORIS; RESNICK, 1989), passou a ser utilizada amplamente na determinação da composição corporal de animais, em meados da década de 90 (LASKEY, 1996). A técnica do DXA utiliza duas fontes de raio X, com alta e baixa energia, permitindo a visualização e posterior determinação de três componentes, sendo eles o conteúdo mineral ósseo, a massa gorda e a massa magra do indivíduo (MESSINA et al., 2020).

Na indústria avícola, o DXA já é utilizado para avaliar a composição corporal da ave viva, possibilitando um acompanhamento das modificações no corpo do animal ao longo do tempo (ALVES et al., 2019; GONÇALVES et al., 2020). Uma grande vantagem na utilização do DXA é a redução de tempo e mão de obra, além de evitar o uso de reagentes químicos, quando comparado a técnica de quantificação dos constituintes químicos do corpo em laboratório. Para a utilização do equipamento em aves, é necessário padronizar a leitura, já que o DXA foi inicialmente desenvolvido para humanos. Dessa forma, algumas pesquisas já foram desenvolvidas com o intuito de padronizar a metodologia e possibilitar a utilização do DXA para frangos de corte (GONÇALVES et al., 2020), matriz de corte (SCHALLIER et al., 2019), frangas de reposição e aves de postura leve (ALVES et al., 2019).

É importante notar que a acurácia dos valores de massa magra e massa gorda produzidos no DXA dependem de várias etapas executadas antes, durante e após o processo de leitura. Este processo é composto de três etapas e cada uma possui grande influência no resultado final, sendo elas: 1) preparação do indivíduo; 2) posicionamento do indivíduo; e 3) processamento da imagem (MESSINA et al., 2020). De forma análoga, para padronizar as leituras de aves no DXA, as aves são submetidas a um jejum de, aproximadamente, 12 horas, posicionadas em decúbito dorsal com membros dobrados (Gonçalves et al., 2020) ou abertos (SCHALLIER et al., 2019, ALVES et al., 2019) e a imagem é avaliada seguindo as recomendações do fabricante.

Em estudos desenvolvidos com frangos de corte, o equipamento DXA é, geralmente, padronizado, utilizando uma ave por leitura, podendo estar viva (GONÇALVES et al., 2020) ou abatida (SCHALLIER et al., 2019). A leitura do grupo de aves pode ser interessante para reduzir a variação média entre as leituras, aumentando a predição e acurácia nos valores preditos de composição corporal. Acredita-se que não

existe diferença significativa entre a leitura obtida com indivíduo e o grupo de aves, mas essa hipótese precisa ser testada. Além disso, após o abate, as aves podem ser congeladas. Finalmente, o posicionamento das aves durante a leitura no DXA pode interferir nas medidas e precisa ser investigado, já que as aves devem ser congeladas na posição apropriada para a leitura no DXA, caso ela seja realizada após um período de armazenamento.

Dessa maneira, considerando as informações apresentadas e as lacunas ainda existentes sobre esse método, o objetivo desse trabalho foi padronizar as análises de composição corporal de grupos de frangos de corte abatidos utilizando o DXA, além de avaliar a influência da posição e do número de frangos de corte durante a leitura em aparelho de duplo feixes de raios X (DXA) nos resultados de composição corporal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama Geral da Avicultura

A avicultura consiste na criação doméstica ou comercial de aves, especialmente, para fins de obtenção de carne e ovos, e também de penas (BERTOLUCCI MURAD et al., 2015). O setor avícola é o de crescimento mais rápido e o mais flexível de todos os setores pecuários, sendo impulsionado pela forte demanda do mercado alimentício. Nesse contexto, ele expandiu-se, consolidou-se e globalizou-se nos, últimos anos, em países de todas as faixas de renda. Essa evolução tem sido acompanhada por mudanças estruturais no setor, caracterizadas pelo surgimento e ampliação de estabelecimentos agropecuários industriais e pela intensificação e concentração da atividade avícola (GERBER; OPIO; STEINFELD, 2007).

O consumo de carne de aves tem se expandido não apenas pelo crescimento da população mundial, mas também pelo aumento do consumo médio por pessoa, já que é uma proteína animal de baixo custo e de alto valor biológico. Como uma fonte acessível de proteína, a carne de frango está bem posicionada para substituir parte do mercado de outras proteínas, beneficiando-se de um preço mais baixo em relação às carnes suína e bovina (ABPA, 2021). A carne de frango é uma importante fonte de nutrientes como proteínas, lipídeos, vitaminas e minerais, sendo de fácil digestão

De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), em termos de consumo mundial de proteína animal, o grupo das aves apresenta uma das maiores demandas do mercado (ABPA, 2021). Além disso, as perspectivas para o comércio de carne de frango nos próximos 3-5 anos parecem positivas por várias razões. Dentre elas, a permanência de um comportamento favorável dos consumidores a este tipo de alimento incentiva um consumo maior desse produto. Dessa forma, todos os indicadores apontam para uma maior demanda nos próximos anos, o que pode levar a mais investimentos na produção de aves. Essa procura crescente contribui para a criação de um potencial para os produtores que desejam começar a exportar carne de qualidade para os consumidores de outros mercados, inclusive os chineses (ABPA, 2021).

No Brasil, as indústrias voltadas à criação de frangos configuram umas das mais avançadas categorias em nível global (VASCONCELOS et al., 2015). A estrutura predominante na produção de carne de frango nacional é a criação intensiva (SAKAMOTO et al., 2020). Fatores como o desenvolvimento e aplicação de pesquisas nutricionais acentuadas, reprodutores altamente aprimorados, manejo inteligente e controle sanitário foram aplicados com intuito de fornecer um frango de corte de alta qualidade, produzido a um custo cada vez mais baixo (VASCONCELOS et al., 2015). Assim sendo, benefícios e produtividade têm sido trazidos às linhagens mais adequadas às etapas da avicultura por meio dos avanços nas áreas da genética, sanidade e nutrição, além de melhorias nas condições ambientais, instalações e equipamentos de alta tecnologia (SAKAMOTO et al., 2020).

Os produtores de insumos também representam elos relevantes da cadeia e atuam como geradores de parte significativa dos ganhos de produtividade da avicultura (SAKAMOTO et al., 2020). Nesse cenário, nos últimos vinte anos, essa prática tornou-se relevante para a economia do país. Atualmente, a carne de frango brasileira é comercializada no mercado nacional e internacional em carcaça inteira e/ou partes com valor agregado. Os exportadores mais importantes são os países árabes, Ásia e África (NÄÄS et al., 2015). A versatilidade do frango é uma das suas mais importantes vantagens, principalmente, na riqueza culinária de vários países, como no Brasil, onde é produzida em condições de alto grau de especialização e atende aos mais altos padrões de qualidade. Considerando que o frango é uma das proteínas de carne de menor custo do mercado e de

grande versatilidade, é muito mais acessível quando comparada às demais fontes de proteínas de origem animal (VASCONCELOS et al., 2015).

Mudanças tecnológicas nas práticas produtivas também têm sido um dos principais impulsionadores do crescimento do setor avícola (MOTTET; TEMPIO, 2017). Isso porque, o desenvolvimento de novas tecnologias é responsável por dar suporte ao aumento de produção e produtividade na indústria. Um importante fator que deve ser considerado durante a elaboração de técnicas de avaliação do crescimento de frangos de corte, é a sua capacidade de avaliar com precisão as mudanças na composição corporal, uma vez que os resultados da análise desse índice podem ser usados para monitorar e avaliar os padrões de crescimento, melhoramento genético, tratamentos dietéticos, progressão de doenças crônicas e eficácia de intervenções médicas (DÄNICKE; HALLE; JEROCH, 1997; GONÇALVES et al., 2018).

Nesse sentido, ao longo dos anos, uma ampla variedade de técnicas tem sido estudada para a medição da composição corporal na avicultura. Dentre esses métodos, a técnica de abate comparativo é, amplamente, utilizada. No entanto, ela requer que o animal seja sacrificado para mensurar o conteúdo corporal de proteína, gordura, água e cinzas. Por isso, embora o abate comparativo produza medições confiáveis, não permite que elas sejam repetidas no mesmo animal ao longo do crescimento, diminuindo o valor de tal medição. Dessa maneira, métodos alternativos, que permitem estimativas *in vivo* da composição química, oferecem diversas vantagens na pesquisa animal, como o fornecimento de informações relativamente precisas sobre as mudanças na composição química ao longo do tempo dentro do mesmo animal, redução de custos relacionados a análises químicas e atende demandas atuais relacionadas à cuidados e uso ético de animais (GONÇALVES et al., 2018).

O método ideal deve ser rápido, preciso e minimamente invasivo (MITCHELL; SCHOLZ; PURSEL, 2003). Assim, metodologias como a ultrassonografia (FARHAT; CHAVEZ, 2001; GAYA et al., 2006), condutividade elétrica corporal total (FORTUN-LAMOTHE; LAMBOLEY-GAÜZÈRE; BANNELIER, 2002), análise de imagem de vídeo (CRAIGIE et al., 2012) e absorciometria por duplo feixe de raio (DXA) (MERCIER et al., 2006) foram amplamente testadas em diferentes pesquisas. A DXA, em especial, foi considerada uma das técnicas mais flexíveis para estimar a composição corporal em

animais de diferentes linhagens genéticas ou de diferentes categorias, uma vez que avalia o animal inteiro, não apenas partes do corpo (POMAR; KIPPER; MARCOUX, 2017).

2.2 A Técnica de Absorciometria por Duplo Feixe de Raio X (DXA)

O DXA é uma técnica desenvolvida para a medir a mineralização e densidade óssea em humanos, com a capacidade de determinar a composição corporal do indivíduo. Essa técnica tem como princípio a medição da transmissão de raios X de dupla energia (dois níveis de energia, baixo e alto) que cruzam o corpo e são atenuados de acordo com a composição, densidade e espessura dos tecidos corporais. Os primeiros *scanners* DXA foram introduzidos no final dos anos de 1980, impulsionados pela necessidade de medir com precisão e eficácia a densidade mineral óssea (DMO) em condições como a osteoporose e osteopenia, que passaram a constituir um problema de saúde significativo na população (SHIEL et al., 2018). Assim sendo, permitiam avaliar o risco de osteoporose de um paciente e monitorar os efeitos da terapia possibilitando que decisões terapêuticas fossem tomadas e a resposta ao tratamento fosse avaliada (SARTORIS; RESNICK, 1989).

No DXA, a fonte de raio X gera um feixe de raio X, que produz fótons em 2 níveis de energia transportados por energia eletromagnética (PIETROBELLI et al., 1996). Um detector de cintilação colimada se move simultaneamente no lado oposto do fluxo de medição. Conforme o feixe passa pelo membro ou osso, a saída de fótons é filtrada para produzir 2 picos distintos que diferenciam o tecido mole do osso, gerando valores de densidade óssea. Isso quer dizer que, à medida que os fótons atravessam os tecidos do indivíduo, ocorrem interações físicas que reduzem a intensidade do feixe (HESTER et al., 2004). A atenuação depende da energia dos fótons e da densidade e espessura dos tecidos humanos por onde passam. A medição da DMO por unidade de área é baseada na suposição de que o corpo é um modelo de dois compartimentos: mineral ósseo e tecido mole (músculo, gordura, pele e água), que possui uma densidade inferior (TOOMBS et al., 2012).

Um estudo realizado por Laskey (1996) indicou que a maioria dos instrumentos DXA mede o mineral ósseo em locais clinicamente importantes da coluna, quadril e antebraço. Além disso, sistemas mais especializados também realizam varreduras de corpo inteiro e podem ser usados para determinar a composição do osso e dos tecidos moles de todo o corpo e sub-regiões, como braços, pernas e tronco. A dose efetiva de raios X incorrida durante a varredura utilizando um DXA é muito pequena. Concluiu-se que o DXA é uma

técnica simples, segura e precisa, que pode inclusive ser usada por crianças e idosos. Isso a torna uma ferramenta importante não apenas para avaliação e tratamento da osteoporose, mas também para estudar como a composição dos tecidos moles muda em indivíduos saudáveis ou doentes (LASKEY, 1996).

Atualmente, o DXA é considerado o “padrão-ouro” para a avaliação de DMO e risco de fratura associado à osteoporose, além de ser uma ferramenta clínica valiosa na avaliação da composição corporal, devido à sua capacidade de avaliar segmentos corporais para massa magra e distribuições de massa gorda. Os dados coletados das varreduras de composição corporal segmentar melhoraram o conhecimento sobre desnutrição, crescimento, envelhecimento, obesidade e a eficácia das intervenções de tratamento médico (cirúrgico, farmacológico, dietético e exercício) (SHIEL et al., 2018). No entanto, essa técnica tende a ser considerada rotineira e automatizada, pouco otimizada e não exigindo laudo radiológico. Isso está longe de ser verdade, pois o DXA, assim como qualquer outra modalidade diagnóstica, requer indicação correta, metodologia criteriosa e interpretação precisa, o que só é possível com treinamento adequado e interação entre técnicos e radiologistas (CUMMING; BATES; BLACK, 2002).

A utilização do DXA é como uma das técnicas de imagem mais versáteis para avaliação de distúrbios ósseos metabólicos como osteoporose, sarcopenia e obesidade, pois apresenta diversas vantagens em relação à outras técnicas de imagem, como a dose de radiação muito baixa, sua precisão e simplicidade de uso. Além disso, os valores de massa gorda e massa magra por DXA mostram uma precisão muito boa em comparação com a tomografia computadorizada e com a ressonância magnética (MESSINA et al., 2020). Com base nos benefícios oferecidos por esse método, há alguns anos, essa tecnologia começou a ser utilizada para medir a composição corporal de animais, passando a ser amplamente aplicada nesse campo (SCHREIWEIS et al., 2005; MERCIER et al., 2006).

2.3 Utilização do DXA na Avicultura

As linhagens modernas de frangos de corte tiveram uma intensa seleção genética em relação ao rendimento de carcaça, em especial peito e coxas, e também em relação a composição corporal. Devido ao fato de que informações valiosas, sobre a composição corporal, dos atuais lotes de frangos e seus reprodutores de frango de corte, são proporcionadas para integradores. As alterações na composição corporal de frangos ou

reprodutores podem ser influenciadas por mudanças no ambiente, peso corporal, idade, programa de alimentação e perfil nutricional. No entanto, os processos mais utilizados para medir a composição corporal das aves são, em sua maioria, lentos e requerem uma grande quantidade de espaço de armazenamento. Isso é devido ao método de avaliação da corporal, que geralmente utiliza análises químicas para quantificar os componentes químicos do corpo em aves previamente abatidas. Por esse motivo, os dados de composição corporal de um lote não podiam ser utilizados para estudos em tempo real (SALAS et al., 2012).

Nesse contexto, a técnica alternativa do DXA se mostrou vantajosa, principalmente por sua característica não invasiva (SALAS et al., 2012), permitindo que a mesma ave seja estudada por um longo período, sem qualquer prejuízo para sua saúde ou desempenho, pois além de não invasiva, a dose de radiação por varredura é muito baixa. Ainda, o tempo necessário por varredura é curto se comparado ao tempo investido no preparo de uma amostra para análise química. A capacidade de avaliar a composição corporal com o DXA também dá ao pesquisador mais versatilidade, uma vez que mais animais podem ser avaliados, porque o tempo necessário na análise é consideravelmente menor (SALAS et al., 2012). O tempo de leitura médio de uma ave utilizando um equipamento DXA é de aproximadamente 5 minutos, levando em consideração o tempo de preparo do animal. Por outro lado, as avaliações químicas podem facilmente levar mais de uma semana, já que a preparação da amostra deve passar pelas etapas de abate, congelamento, moagem e pré-secagem. Somente após esses procedimentos as amostras estarão prontas para iniciar os ensaios químicos de matéria seca, proteína, gordura, cinzas, entre outras análises de interesse.

Um fator de grande relevância na avicultura que pode ser avaliado a partir do DXA está relacionado à obesidade. Nos animais, ela resulta de um desequilíbrio que ocorre quando mais energia alimentar (calorias) é consumida do que o corpo realmente necessita. O excesso de energia é armazenado principalmente em forma de gordura. Nesse sentido, ao longo dos anos, em resposta a uma crescente demanda mundial de consumidores, as empresas de melhoramento genético desenvolveram linhagens específicas de rápido crescimento e maior produção de carne. No entanto, ao fornecer uma ração com níveis baixos de proteína ou aminoácidos essenciais, já foi demonstrado que o animal aumenta o consumo de ração por unidade de peso corporal, culminando em excesso de energia ingerida, que é depositado como tecido gorduroso (AZEVEDO et al., 2021). Por isso,

durante os estudos do crescimento de frangos de corte, é importante ser capaz de avaliar com precisão as mudanças na composição corporal (DÄNICKE; HALLE; JEROCH., 1997).

Entretanto, as etapas utilizadas para a realização do DXA ainda não foram totalmente padronizadas, o que tem contribuído para discussões sobre sua acurácia. Existem poucos relatos na literatura sobre o uso dessa técnica para determinação da composição corporal em frangos (ANDREOTTI et al., 2004; KOLLING; KESSLER; RIBEIRO., 2005; GAYA, L. G. et al; TOLEDO et al., 2007; SALAS et al., 2012; DA SILVA et al., 2019). Além disso, existem diferenças entre os dispositivos DXA disponíveis no mercado, que são acompanhados por diferentes *softwares*. Portanto, os modelos de regressão das medições do DXA contra aqueles obtidos por análise química de carcaças, devem ser feitos para prever a composição corporal das aves, de forma que cada um venha a ter um modelo de dispositivo e o *software* (SWENNEN et al. 2004). Modelos de *software*, modos de varredura e posicionamento de indivíduos no dispositivo irão influenciar a leitura obtida. Portanto, é necessário calibrar modelos para cada situação de procedimentos e configurações (SCHOLZ et al. 2007).

Estudos como o realizado por Schallier et al. (2019), utilizaram um *scanner* de absorptometria de raios X de energia dupla (DXA), *Lunar Prodigy*, para validar essa técnica ao estimar a composição corporal de frangos de uma forma não invasiva, mostrando que as estimativas corrigidas por DXA podem avaliar a qualidade da carcaça sem sacrificar as aves. Assim, os autores concluem que o DXA permite estimar a composição corporal de matrizes e frangos de corte de forma não invasiva, permitindo estudos longitudinais por períodos mais longos de tempo, evitando, o sacrifício de aves (SCHALLIER et al., 2019).

Pomar, Kipper e Marcoux (2017), também indicam que o método DXA é uma ferramenta valiosa para fornecer medições precisas e reproduzíveis da composição corporal de animais monogástricos vivos e suas carcaças. Isso porque, esse método possui menor custo do que as técnicas tradicionais de abate, permite medidas repetidas no tempo, reduz os erros devido ao peso individual ou variação da composição e remove a influência do operador. Além disso, os animais podem ser escaneados rapidamente e as medidas composicionais estão disponíveis logo após a varredura. No entanto, a calibração é necessária para converter os valores do DXA para os verdadeiros valores químicos, pois deve-se considerar que os dispositivos DXA e seus *softwares* foram desenvolvidos

principalmente para medicina humana, de forma que os fatores que podem afetar a precisão das medições e as desvantagens dessa tecnologia devem ser conhecidos e controlados para minimizar um viés nos resultados da leitura (POMAR; KIPPER; MARCOUX, 2017).

Embora seja uma técnica relativamente nova e não exista um número significativo de estudos sobre sua aplicação na avicultura disponíveis na literatura científica, o DXA tem se mostrado eficiente nesse campo. Todavia, a existência de diferentes dispositivos de medição e *softwares* utilizados, a possibilidade de utilização de apenas um indivíduo ou grupos de aves e as divergências no posicionamento das aves durante a realização das análises, trazem diversas dúvidas quanto à precisão dessa técnica. Esses fatores tornam necessários mais estudos que busquem comparar essas diferentes abordagens para verificar a existência de diferenças significativas entre elas, possibilitando, dessa forma, auxiliar na redução de erros durante sua prática.

Uma das vantagens do DXA em relação ao método químico desenvolvido para medir a composição corporal das aves é o seu potencial para medir três componentes (gordura, massa magra e mineral óssea) independente do peso corporal. Os dispositivos DXA também são mais flexíveis do que o método químico para estimar a composição corporal em animais de diferentes linhagens genéticas (MITCHELL; ROSEBROUGH; CONWAY, 1997). Ainda, o DXA dispõe de baixo custo instrumental e operacional, alta resolução, baixa exposição à radiação, rápida velocidade de varredura (POMAR; KIPPER; MARCOUX, 2017), alta reprodutibilidade e minimiza o viés que pode decorrer como um efeito do operador (KIPPER et al., 2015).

Contudo, apesar de diversos dados fornecidos pela DXA estejam relacionados aos valores dos métodos químicos, eles não são idênticos, o que significa que alguns ajustes são necessários (POMAR; KIPPER; MARCOUX, 2017). Assim, ainda é essencial que mais comparações sejam amplamente realizadas entre o DXA e o método químico. Para que esta comparação seja amplamente aplicável a qualquer estudo de crescimento de longo prazo, seria essencial fazer essas comparações ao longo de todo um período de crescimento durante o qual as aves são submetidas a rações com teor de proteína variável, produzindo assim uma gama de conteúdo de lipídeos corporais nas aves em cada idade de amostragem (GONÇALVES et al., 2017).

Em relação ao posicionamento das aves no *scanner*, na literatura científica, diversos trabalhos realizados fazem a leitura do animal nesse equipamento em diferentes posições

(MITCHELL; ROSEBROUGH; CONWAY, 1997; BUYSE et al., 2003; SWENNEN et al., 2004; GONÇALVES et al., 2018; SCHALLIER et al., 2019). Buyse et al. (2003), avaliaram se a maneira como os frangos eram posicionados no aparelho (dorsal e ventral) influenciava a precisão do método. Os autores verificaram que não houve diferença significativa nos resultados, indicando que posicionar o animal de forma dorsal ou ventral não altera a precisão do DXA. Além disso, o posicionamento também não interagiu com a resolução do *scanner* utilizado (alta e baixa). Swennen et al. (2004) também obtiveram resultados semelhantes, no qual suas análises evidenciaram não haver qualquer efeito significativo do modo de varredura ou posição do frango na precisão das medidas DXA. Para essa questão, a literatura ainda é escassa, o que tornam trabalhos que visem elucidar essas questões ainda mais necessários.

Com referência ao número de indivíduos amostrados, acredita-se que a leitura de um grupo de animais ao invés de um único indivíduo possa ser mais vantajosa, pois irá reduzir a variação entre os indivíduos da população. Entretanto, não foram encontradas pesquisas disponíveis na literatura científica que realizaram a comparação entre essas abordagens a fim de identificar qual delas seria a mais favorável. Esse fato impossibilita com que conclusões sejam feitas em relação à essas metodologias e evidencia a necessidade de análises que busquem responder essa questão.

Portanto, a partir dessas incertezas que permeiam o emprego do DXA, todas essas questões abordadas aqui foram integradas ao objetivo dessa pesquisa, que visa padronizar as análises de composição corporal de grupos de frangos de corte abatidos utilizando o DXA, além de avaliar o efeito da posição da ave no momento da leitura sobre os resultados obtidos no equipamento. A partir dos resultados obtidos, espera-se contribuir para responder essas questões que transpassam a prática dessa técnica e colaborar de forma significativa para que o método seja aprimorado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local de Estudo

O estudo foi conduzido no Laboratório de Ciências Avícolas (LAVINESP), na Universidade Estadual Paulista (UNESP), no Departamento de Zootecnia situado na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Campus de Jaboticabal-SP, com a

aprovação do comitê de bioética de uso de animais da Universidade sob número de protocolo 4566/20.

3.2 Animais e Manejo

O estudo foi conduzido em galpão convencional de frangos de corte, no laboratório de ciências avícolas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP – Jaboticabal. No total, 40 pintos de corte machos da linhagem cobb500 foram obtidos de um incubatório comercial, e alimentados utilizando uma dieta seguindo as recomendações da linhagem (COBB, 2018) até os 37 dias de idade. As aves foram alocadas em box com dimensões de 1,5m x 3,0m, coberto com 15 cm de maravalha. Durante os 37 dias, as aves tiveram acesso livre à ração e água. Exaustores e placas humidificadoras controladas automaticamente foram utilizados para manter a temperatura, a umidade e a renovação do ar de acordo com as recomendações do manual da linhagem (COBB, 2018). A iluminação interna do galpão foi contínua durante os 7 primeiros dias após o alojamento das aves, reduzindo para 12 h de luz e 12 h de escuro nos dias posteriores. Os frangos foram vacinados no incubatório contra Marek e Gumboro. Aos 12 dias de idade as aves foram vacinadas contra Newcastle e aos 16 dias novamente contra Gumboro, ambos via água.

Aos 37 dias de idade, 12 aves foram selecionadas de acordo com o peso médio da parcela (mais ou menos 5% do peso médio da parcela). As aves selecionadas foram alojadas em box (1,5m x 3,0m) separado e mantidas em jejum de ração, tendo livre acesso à água. Após 12 horas de jejum, aos 38 dias de idade, as aves foram abatidas utilizando a câmara de CO₂. As análises de composição corporal foram realizadas no equipamento Discovery WiTM DXA (Hologic-QDR modelo 13.4.2., Marlborough, USA), calibrado previamente utilizando um composto (Phantom) de acrílico e alumínio (KELLY et al., 1998).

3.3 Delineamento experimental

O estudo foi elaborado para investigar fatores que podem influenciar os resultados de uma leitura no DXA. Dessa forma, utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC) para avaliar o efeito dos seguintes fatores: 1- posição da ave durante a leitura (membros abertos ou fechados); e 2- leitura individual ou em grupo de aves.

As variáveis resposta avaliadas foram divididas em dois grupos: 1- output do DXA sem transformação, que compreende massa gorda(g/ave), massa magra(g/ave), conteúdo mineral ósseo (CMO, g/ave) e densidade mineral óssea (DMO, g/cm²/ave); e 2- output do DXA transformados utilizando as equações propostas por Gonçalves et al. (2020), compreendendo as variáveis gordura (g/ave), proteína (g/ave), água (g/ave) e cinzas (g/ave). A comparação dos dados sem transformação foi feita utilizando um esquema fatorial (2 posições x 2 quantidades de aves), totalizando quatro tratamentos desbalanceados contendo 12 repetições para indivíduos e quatro repetições para o grupo de aves. Para os dados transformados, foi considerado o efeito de cinco tratamentos (1 – ave aberta individual, 2- ave aberta em grupo, 3- ave fechada individual, 4- ave fechada em grupo e 5- controle). O tratamento controle é referente ao resultado das análises químicas realizada em laboratório.

3.4 Composição estimada em aparelho de absorciometria por duplo feixes de raios X - DXA

Imediatamente após o abate as aves foram encaminhadas ao laboratório de densitometria óssea da UNESP. O equipamento DXA foi calibrado por um *phantom* da coluna vertebral e todas as leituras foram realizadas utilizando a opção *infant whole body* do aparelho. Para cada leitura, os dados de peso corporal e comprimento da ave foram inseridos ao software do aparelho. As aves foram posicionadas em decúbito dorsal em duas posições, membros abertos ou fechados (Figura 1).



Figura 1- Leitura realizada com o frango posicionado em decúbito dorsal, com membros abertos (imagem esquerda) e membros fechados (imagem direita). **Fonte:** Elaboração própria.

Seguindo os mesmos procedimentos descritos anteriormente, as aves foram escaneadas individualmente ou em grupos de três aves por leitura. Para a leitura do grupo de três aves, o peso vivo inserido ao software foi o resultado da soma dos pesos individuais e o comprimento foi medido após o posicionamento das três aves na mesa de leitura (Figura 2).



Figura 2- Frangos posicionados com os membros fechados, foi realizando a leitura individualmente (imagem esquerda) e leitura em grupo com 3 aves (imagem direita). **Fonte:** Elaboração própria

As variáveis resposta avaliadas foram divididas em dois grupos: 1- output do DXA sem transformação, que compreende massa gorda(g/ave), massa magra(g/ave), conteúdo mineral ósseo (CMO, g/ave) e densidade mineral óssea (DMO, g/cm²/ave); e 2- output do DXA transformado utilizando as equações propostas por Gonçalves et al. (2020), compreendendo as variáveis gordura (g/ave), proteína (g/ave), água (g/ave) e cinzas (g/ave).

3.5 Composição química

Após a leitura em DXA, as aves foram depenadas, pesadas e armazenadas a -20⁰ C para posterior processamento. O corpo livre de pena, congelado, foi dividido em partes menores utilizando uma serra elétrica e moído em moinho industrial. A amostra foi homogeneizada e uma alíquota, coletada em placa de petri, foi pesada e armazenada a -80⁰ C para subsequente pré-secagem. As amostras passaram por um processo de secagem a frio durante 72 horas a -80⁰ C e pressão de 10 ATM (Edwards SuperModulo, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA). Após a secagem as amostras foram pesadas e moídas em micro moinho. Todas as amostras foram analisadas para matéria seca, extrato etéreo, proteína

bruta e cinzas, seguindo as recomendações da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005). Para determinar a segunda matéria seca, as amostras foram colocadas em estufa a 105⁰ C durante 16 horas ou até atingir peso constante (método 920.39). A extração das gorduras foi realizada em éter de petróleo como solvente no extrator de gordura AnkomXT15 (ANKOM Technology, método 920.39). O conteúdo de nitrogênio medido pelo método de Kjeldahl (Foss Kjeltex 8400, método 2001.11) foi multiplicado por 6.25 para cálculo da proteína bruta. A quantificação das cinzas foi realizada por incineração da amostra em mufla a 600⁰ C durante 4 horas (método 942.05).

3.6 *Análise dos Dados*

Para avaliação dos dados obtidos, foi realizado a análise de homoscedasticidade e normalidade dos erros ao nível de 5% pelos testes Brown e Forsythe e Cramer-Von Mises, respectivamente. Cada repetição foi considerada uma unidade experimental e os dados foram submetidos a análise de modelo linear misto, utilizando o procedimento MIXED do programa estatístico SAS (Statistical Analysis Software). Foi considerado o efeito aleatório da ave por meio da opção RANDOM. Para avaliar o efeito da posição e do número de aves, foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$y = X\beta + Zu + \epsilon$$

em que, y é o vetor da variável resposta observada; β é o vetor de efeito fixo (posição ou quantidade de aves por leitura); u é o vetor de efeito aleatório (ave), ϵ é o vetor de erros aleatórios; X e Z são as estruturas das matrizes que relacionam a variável resposta aos efeitos fixos e aleatórios.

Em todos os testes, o nível de significância abaixo de 5% foi considerado estatisticamente diferente. Para a comparação dos dados sem transformação, as médias calculadas dos tratamentos (LSMean) foram comparadas utilizando o teste T de Student quando da existência de apenas dois tratamentos ou teste de Tukey quando da existência de quatro tratamentos. Além disso, na avaliação dos dados transformados, a opção Contrast dentro do procedimento MIXED foi utilizado para elaborar contrastes ortogonais e avaliar o efeito médio entre grupo de tratamentos (posição da ave e número de aves) e o efeito dos tratamentos em relação ao controle (análise química). A opção Estimate foi utilizada para estimar as diferenças entre as médias de tratamentos específicos ou as médias dos grupos de tratamentos.

4. RESULTADOS

4.1 Avaliação dos dados não transformados obtidos em aparelho DXA

Para os dados de composição corporal sem a transformação (Tabela 1), não houve interação significativa entre os fatores posição da ave e número de aves escaneadas. Entretanto, a posição da ave durante a leitura em equipamento DXA influenciou os valores estimados para todas as variáveis estudadas ($p < 0,05$). Com exceção da massa gorda, todos os valores estimados foram maiores para as aves escaneadas com os membros fechados ($p < 0,05$). A maior diferença foi observada para as variáveis massa gorda, no qual aves escaneadas com membros fechados apresentaram um valor 25% menor em relação as aves escaneadas abertas, e para a DMO, onde as aves escaneadas com os membros fechados apresentaram um valor 24% maior. Não houve efeito significativo do número de aves escaneadas para nenhuma resposta avaliada.

Tabela 1. Composição corporal estimada ($\pm$ o erro padrão da média) em leituras utilizando o equipamento DXA em frangos de corte posicionados com membros abertos ou fechados e escaneados individualmente ou em grupo de três aves.

Efeito		Massa Magra (g)	Massa Gorda (g)	CMO (g)	DMO (cm ²)
Posição	Amostra				
Aberto	Grupo	1900 $\pm$ 34,0	334 $\pm$ 17,3	29.9 $\pm$ 1,23	0.113 $\pm$ 0,004
Aberto	Indivíduo	1948 $\pm$ 19,7	306 $\pm$ 10,4	29.5 $\pm$ 0,714	0.118 $\pm$ 0,002
Fechado	Grupo	2081 $\pm$ 34,0	243 $\pm$ 17,3	31.0 $\pm$ 1,23	0.152 $\pm$ 0,004
Fechado	Indivíduo	2074 $\pm$ 19,7	267 $\pm$ 10,0	31.0 $\pm$ 0,714	0.153 $\pm$ 0,002
Fatores Principais					
Posição	Aberto	1924 $\pm$ 19,7 b	320 $\pm$ 10,1 a	29.7 $\pm$ 0,713 b	0.116 $\pm$ 0,002 b
	Fechado	2077 $\pm$ 19,7 a	255 $\pm$ 10,0 b	31.0 $\pm$ 0,713 a	0.152 $\pm$ 0,002 a
Amostra	Grupo	1990 $\pm$ 32,4	289 $\pm$ 13,5	30.4 $\pm$ 1,21	0.133 $\pm$ 0,003
	Indivíduo	2011 $\pm$ 18,7	287 $\pm$ 7,91	30.3 $\pm$ 0,701	0.136 $\pm$ 0,002
p-valor	Posição	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
	Amostra	0.621	0.914	0.915	0.434
	Interação	0.108	0.176	0.482	0.532

¹letras distintas na mesma coluna são estatisticamente diferentes pelo teste T de Student a 5% de probabilidade.

²CMO é o conteúdo mineral ósseo.

³DMO é a densidade mineral óssea.

4.2 Avaliação dos dados transformados obtidos em aparelho DXA

Os resultados de composição corporal transformados (Tabela 2) demonstram com maiores detalhes a diferença entre os fatores investigados, além da presença de um grupo controle (análise química) que permite avaliar qual fator mais aproxima se aproximou da composição da ave determinada em laboratório.

Tabela 2. Dados transformados da composição corporal determinada em laboratório (Controle) e estimada em leituras utilizando o equipamento DXA em frangos de corte de 38 dias posicionados com membros abertos ou fechados e escaneados individualmente ou em grupos de três aves.

Tratamento	Proteína (g)		Água (g)		Cinzas (g)		Lipídeo (g)	
Aberto + Indivíduo	309		1366		51.0		224	
Aberto + Grupo	333		1304		49.0		282	
Fechado + Indivíduo	331		1452		51.8		218	
Fechado + Grupo	368		1426		51.0		262	
Controle	366		1622		51.6		168	
p-valor	<0.0001		<0.0001		0.892		<0.0001	
Contrastes	p-valor	Estimativa	p-valor	Estimativa	p-valor	Estimativa	p-valor	Estimativa
Aberto x Fechado	<0.0001	-28.3	<.0001	-104	0.481	-1.43	0.060	13.0
Indivíduo x Grupo	<0.0001	-30.5	0.054	43.7	0.493	1.39	<.0001	-51.6
DXA x Químico	<0.0001	-30.3	<.0001	-235	0.603	-0.911	<.0001	78.3
Indivíduo x Químico	<0.0001	-45.5	<.0001	-214	0.902	-0.216	<.0001	52.5
Grupo x Químico	0.036	-15.1	<.0001	-257	0.478	-1.61	<.0001	104
Aberto x Químico	<0.0001	-44.5	<.0001	-288	0.423	-1.63	<.0001	84.8
Fechado x Químico	0.0133	-16.2	<.0001	-183	0.922	-0.197	<.0001	71.8
Aberto + Indivíduo x Químico	<0.0001	-56.5	<.0001	-257	0.757	-0.626	<.0001	55.6
Aberto + Grupo x Químico	0.0007	-32.4	<.0001	-318	0.361	-2.62	<.0001	114
Fechado + Indivíduo x Químico	<0.0001	-34.6	<.0001	-170	0.924	0.193	<.0001	49.5
Fechado + Grupo x Químico	0.797	2.28	<.0001	-196	0.837	-0.588	<.0001	94.2

Houve efeito significativo entre os tratamentos investigados para a proteína, água e lipídeo corporal. As cinzas corporais não apresentaram efeito significativo, indicando que essa variável resposta pode ser estimada pelo DXA independentemente da posição ou do número de aves utilizado durante a leitura. No total, foram elaborados 11 contrastes ortogonais, nos quais os sete primeiros apresentados na tabela demonstram a diferença média entre grupos de tratamentos, possibilitando avaliar o efeito dentro dos fatores posição (aberto ou fechado) e número de aves (indivíduo ou grupo), além das diferenças entre os resultados do DXA e de cada fator em relação às análises químicas. Os últimos

quatro contrastes foram elaborados para investigar o efeito específico de cada tratamento em relação a análise química.

Para a variável proteína corporal, os contrastes demonstram que existe diferença nos resultados de leitura realizada com aves na posição aberta e fechada e entre indivíduo ou grupo de aves, contudo, os dois primeiros contrastes da tabela 2 não identifica qual resultado mais se aproxima dos dados de composição quantificados em laboratório. O último contraste reportado na tabela 2 indica que para a leitura de aves na posição fechada e em grupo, não existe diferença significativa entre os resultados do DXA e a proteína quantificada quimicamente em laboratório. Nota-se que a maior diferença observada entre a leitura do DXA e a análise química ocorreu quando a ave foi posicionada aberta e individualmente, apresentando redução de aproximadamente 56,5 g no valor de proteína estimado pelo DXA, sendo estatisticamente diferente de zero.

Os resultados demonstram que a água corporal estimada entre indivíduos na posição aberta e fechada são diferentes ($p < 0,05$), mas não houve diferença com relação ao número de aves utilizado durante a leitura ($p > 0,05$). Entretanto, todas os demais contrastes apresentaram resultado significativo, demonstrando que existe diferença entre o resultado estimado pelo DXA e as análises químicas corporal, mas ao contrário da proteína, nenhum tratamento se igualou ao controle. A maior diferença entre a leitura no DXA e a análise química de água corporal foi observada nas leituras utilizando aves na posição aberta e em grupo. Nesta condição, o DXA subestimou os resultados de quantificação química de água corporal em 318 g.

Para os resultados de lipídeo corporal, não houve diferença significativa entre a leitura de aves na posição fechada e aberta, demonstrando que essa variável resposta não é afetada pela posição da ave no momento da leitura. Entretanto, todas as demais variáveis resposta foram afetadas, além da existência de diferença significativa entre os valores preditos pelo DXA e o lipídeo corporal quantificado quimicamente.

5. DISCUSSÃO

Baseado nas proposições anteriores e no experimento feito discute-se os resultados da pesquisa embasados na literatura sobre padronização do DXA para leituras de frango de corte abatido. Dessa forma, debate-se como o posicionamento da ave - aberta ou fechada –

influenciou no experimento e se o número de aves colocadas na digitalização tem influência nos resultados.

Isso porque o método DXA tem se mostrado, em diversas pesquisas, ao longo do tempo, um mecanismo satisfatório para mostrar a composição corporal precisa de animais vivos e suas carcaças (SWENNEN, 2004; SALAS et al, 2012; POMAR, KIPPER, MARCOUX, 2017; ;SEGURA et al, 2021. Esse método, além de ser mais barato que os métodos tradicionais de abate, permite que as medidas sejam analisadas repetidas vezes, no mesmo indivíduo, ao longo do tempo, reduzindo os erros de medição devido a variação entre os indivíduos. Dessa forma, DXA é uma técnica confiável para estimar composição corporal de frangos de corte de forma não invasiva, permitindo estudos longitudinais por períodos mais extensos de tempo, evitando o abate da ave. (SCHALLIER, 2019; SEGURA et al., 2021;).

Nesse trabalho investigou-se os fatores que podem influenciar os resultados de uma leitura no DXA. Considerando que essa técnica se caracteriza pela rapidez de como as medições são feitas e como os dados vão sendo organizados a cada digitalização. Um cuidado que deve ser feito ao utilizar a técnica é a calibração para que ocorra a conversão dos valores DXA para os valores químicos. Por isso, o cuidado de preparar as aves que foram produzidas em condições semelhantes as recomendadas no manual da linhagem cobb500 (COBB, 2018).

Além dos cuidados supramencionados, foi seguido a instrução de Horber et al, (1992) que explicava que o acompanhamento de um paciente individual deve sempre ser realizado utilizando o mesmo equipamento. Ademais, corroboramos com o autor quando foi padronizado o estado de hidratação e a ingestão alimentar que devem ser levados em consideração quando medidas de massa corporal magra são realizadas no mesmo paciente.

Ao considerar as variáveis avaliadas que foram divididas em dois grupos, conforme foi demonstrado, anteriormente, apreendeu-se que o output do DXA sem transformação, que compreende massa gorda(g/ave), massa magra(g/ave), conteúdo mineral ósseo (CMO, g/ave) e densidade mineral óssea (DMO, g/cm²/ave) aparece também nas análises de Salas et al. (2012), Swennen (2004) e Johnson et al. (2017). Já a transformação do output obtido com a leitura do DXA, que compreende as variáveis gordura (g/ave), proteína (g/ave), água (g/ave) e cinzas (g/ave) aparece também nas análises de Salas et al. (2012) e Schallier (2019).

Considerando que foi feita a proposição de investigar fatores que podem influenciar os resultados de uma leitura no DXA e utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC) para avaliar o efeito dos seguintes fatores: 1- posição da ave durante a leitura (membros abertos ou fechados); e 2- leitura individual ou em grupo de aves. Assim sendo, apresenta-se os resultados discutidos com base em outros trabalhos. Ressalva-se que nesse estudo foi considerada a comparação dos dados sem transformação, dos dados transformados e tratamento controle que é referente ao resultado das análises químicas realizadas em laboratório. Essa última proposição aparece também nos trabalhos de Mitchell, Rosebrough e Conway (1997) e Salas et al. (2012).

Ao considerar os dados não transformados (massa gorda(g/ave), massa magra(g/ave), conteúdo mineral ósseo (CMO, g/ave) e densidade mineral óssea), não houve influência significativa do fator posição da ave. O que corrobora com o trabalho de Swennen (2004) que ao medir a composição corporal de frangos in vivo, entendeu que as medidas não são influenciadas pela posição. Em contrapartida, o trabalho de Swennen (2004) indica que a forma como a varredura é feita, alta e baixa resolução, pode influenciar os resultados de conteúdo mineral ósseo e da densidade mineral óssea.

Os dados de composição corporal sem a transformação que foram apresentados na (Tabela 1) mostrou que não teve interação significativa entre os fatores posição da ave e número de aves escaneadas. A posição da ave durante a leitura em equipamento DXA influenciou todos os valores estimados de proteína (g), de água (g), de cinzas (g) e de lipídeo (g). Os três primeiros apresentaram maiores valores para as aves escaneadas com os membros fechados. O trabalho de Swennen (2004) apresentou os mesmos resultados, com exceção das cinzas que apresentou valores diminutos. É importante ressaltar que no trabalho de Swennen (2004), foram analisados frangos in vivo e frangos abatidos. Nesse caso, os resultados que apresentaram similaridades com os que foram aqui apresentados, foram nos frangos abatidos.

Conforme apreendeu-se no experimento feito existe diferença entre o resultado estimado pelo DXA e as análises químicas corporais. Esse resultado foi diferente do que o estudo de Salas et al., (2012) executou que concluiu que há alto grau de correlação para todas as variáveis, indicando que com a calibração adequada os valores de DXA podem ser usados para prever a composição corporal para essas aves (SALAS, C. et al., 2012). Evidentemente, a pesquisa feita por Salas et al., (2012) e a desenvolvida aqui são

diferentes, pois esses autores fizeram uma pesquisa para avaliar a absorciometria de raios X de dupla energia (DXA) como meio de mensuração da composição corporal em frangos de corte e matrizes de corte com intuito de apreender as melhores equações de regressão para análise com a absorciometria de raios X de dupla energia (DXA).

Nesse caso, os estudos são parecidos devido aos caminhos apresentados para pesquisa, visto que nos dois estudos analisaram-se variedade de pesos corporais e composição corporal e posteriormente, foi feita uma análise com as carcaças descongeladas para análise química; assim como as medidas obtidas dos exames de DXA foram comparados com a análise química de corpo inteiro para cada frango.

Outro estudo que acompanha essas comparações foi feito Mitchell, Rosebrough, Conway (1997) que pretendia fornecer uma visão mais extensa da avaliação do uso de DXA para a mensuração da composição corporal de frangos. Os resultados obtidos com o DXA para massa gorda e massa magra em galinhas foram comparados com os resultados obtidos por análises químicas (MITCHELL, ROSEBROUGH, CONWAY, 1997). Nesse estudo, foi observado concordância entre o resultado do DXA e a análise química de gordura corporal, obtido em galinhas pesando mais de 2.000 g. Em comparação com a pesquisa aqui desenvolvida também houve variação entre os valores preditos pelo DXA e o lipídeo corporal quantificado quimicamente.

Por fim, conforme foi demonstrado o posicionamento das aves causou alteração nos resultados das análises com a técnica DXA, porém existem poucos estudos que tratam especificamente, sobre esse ponto, Gonçalves (2017), explicou que obteve melhores resultados quando as aves estavam em posição fechada, porém esse ponto não foi explorado pela autora, o que se acrescenta a necessidade de mais estudos para avaliar fatores que afetam os resultados de uma leitura no DXA em frangos de corte. Assim sendo, os estudos utilizados para o embasamento teórico e prático desse trabalho apresentaram grandes similitudes com esse experimento, o que era esperado, devido ao próprio embasamento teórico e o acompanhamento do desenvolvimento científico do tema. A padronização proposta apresentou-se, portanto, de maneira satisfatória e embasada. No caso do posicionamento da ave para melhorar a proposta da padronização encontrou-se uma lacuna nos estudos científicos que esse trabalho contribuiu para preencher, mas também suscitou a necessidade de desenvolvimento de outros trabalhos com essa particularidade.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para os dados não transformados indicam que não existe diferença na leitura de frangos de corte individuais ou em grupos, contudo, houve diferença entre aves posicionadas com os membros fechados e abertos. Os dados obtidos após a transformação dos dados sugerem que a leitura da ave posicionada com os membros fechados e em grupos não se diferencia do grupo controle, com relação proteína corporal. Portanto, para avaliação da proteína corporal, recomenda-se a leitura de aves posicionadas na posição fechada e em grupo. Os resultados obtidos para as demais variáveis de composição corporal demonstraram diferenças entre os resultados transformados do DXA e o grupo controle, obtido por análise química em laboratório, o que sugere a necessidade de mais estudos para melhor elucidar a influência das equações utilizadas para a transformação dos resultados obtidos no DXA.

7. RESUMO

Objetivou-se avaliar a influência da posição e do número de frangos de corte durante a leitura em aparelho de duplo feixes de raios X (DXA) nos resultados de composição corporal. Foram utilizados 12 frangos de corte Cobb500 com 37 dias de idade, obtidos de um incubatório comercial e alimentos com uma dieta seguindo as recomendações da linhagem. No total, 40 aves foram alojadas em box com um dia de idade e tiveram acesso livre a ração e água durante o período de 37 dias. Após esse período, todas as aves foram pesadas para a seleção de 12 indivíduos com o peso vivo variando no máximo $\pm 5\%$ do peso médio do box experimental. Aos 38 dias, as aves foram abatidas e encaminhadas ao laboratório de imagem para a leitura no DXA. As variáveis respostas foram divididas em dois grupos denominados de, 1 – output do DXA, sem transformação, que inclui massa gorda e magra, conteúdo mineral e densidade óssea; e 2 – output do DXA transformados, que inclui as variáveis gordura, proteína, água e cinzas. Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado. Na comparação dos dados sem transformação foi utilizado um esquema fatorial (2 posições x 2 quantidades de aves), em quatro tratamentos desbalanceados contendo 12 repetições de uma ave e quatro repetições de três aves cada. Para os dados transformados, foram utilizados cinco tratamentos (1– ave aberta individual, 2- ave aberta em grupo, 3- ave fechada individual, 4- ave fechada em grupo e 5- controle). O grupo controle foi obtido com os resultados das

análises químicas das aves. Para os resultados sem transformação não houve interação significativa entre os fatores posição da ave e número de aves escaneadas. No entanto a posição da ave influenciou os valores de todas as variáveis estudadas, com exceção da massa gorda, todos foram maiores para as aves escaneadas com os membros fechados. As cinzas corporais não apresentaram efeito significativo independentemente da posição ou do número de aves. No caso da proteína corporal, existiu diferença nos dois fatores. Podemos observar que a maior diferença entre o DXA e a análise química ocorreu quando a ave foi posicionada aberta e individualmente, apresentando redução de 56.5 g no valor da proteína estimada pelo DXA. Os resultados da água corporal estimada entre indivíduos na posição aberta e fechada foram diferentes, mas não houve diferença com relação ao número de aves. A maior diferença na água corporal foi na posição aberta e em grupo. Com isso, o DXA subestimou os resultados de água corporal em 318 g. Nos resultados de lipídeo corporal, não houve diferença significativa entre aves na posição fechada e aberta. Entretanto, todas as demais variáveis resposta foram afetadas. Conclui-se que para avaliação da proteína corporal, recomenda-se a leitura de aves em posição fechada e em grupo. Os demais resultados demonstraram diferença entre os resultados transformados do DXA e as análises químicas, evidenciando a necessidade de mais estudos para melhorar a acurácia e precisão das equações utilizadas para a transformação dos resultados de composição corporal obtidos em aparelhos de duplo feixe de raios X.

Palavras-chave: DXA, proteína corporal, gordura corporal, avicultura.

8. SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the influence of the position and number of broilers during the reading in a double X-ray beam (DXA) device on body composition results. We used 12 Cobb500 broiler chicks at 37 days of age, obtained from a commercial hatchery and feed with a diet following the recommendations of the scan. In total, 40 birds were housed in a box with one day of age and had free access to feed and water during the period of 37 days. After this period, all birds were weighed for the selection of 12 individuals with live weight ranging in $\pm 5\%$ of the average weight of the experimental box. At 38 days, the birds were slaughtered and sent to the imaging laboratory for reading in DXA. The response variables were divided into two groups called, 1 – dxa output, without transformation, which includes fat and lean mass, mineral content, and bone density; and 2

– output of the processed DXA, which includes the variables fat, protein, water and ash. The treatments were distributed in a completely randomized design. In the comparison of the data without transformation, a factorial scheme (2 positions x 2 amounts of birds) was used in four unbalanced treatments containing 12 replicates of a bird and four replicates of three birds each. For the transformed data, five treatments were used (1- individual open bird, 2- group open bird, 3- individual closed bird, 4- group closed bird and 5-control). The control group was obtained with the results of the chemical analyses of the birds. For the results without transformation there was no significant interaction between the factors position of the bird and the number of birds scanned. However, the position of the bird influenced the values of all variables studied, except for the fat mass, all of which were higher for birds scanned with closed limbs. Body ash did not have a significant effect regardless of the position or number of birds. In the case of body protein, there was a difference in both factors. We can observe that the greatest difference between DXA and chemical analysis occurred when the bird was positioned openly and individually, with a reduction of 56.5 g in the protein value estimated by DXA. The results of the estimated body water among individuals in the open and closed position were different, but there was no difference in relation to the number of birds. The greatest difference in body water was in the open and group position. As a result, DXA underestimated body water results by 318 g. In the results of body lipid, there was no significant difference between birds in the closed and open position. However, all other response variables were affected. It is concluded that for evaluation of body protein, it is recommended to read birds in closed position and in groups. The other results showed a difference between the transformed results of DXA and chemical analyses, evidencing the need for further studies to improve the accuracy and accuracy of the equations used to transform the body composition results obtained in double X-ray beams.

Keywords: DXA, body protein, body fat, aviculture

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Mercados**. 2021. Disponível em: <http://abpa-br.org/category/mercados/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

ALVES, W. J., MALHEIROS, E. B., SAKOMURA, N. K., DA SILVA, E. P., DA SILVA VIANA, G., DE PAULA REIS, M., ... & SUZUKI, R. M. (2019). In vivo description of body growth and chemical components of egg-laying pullets. **Livestock Science**, 220, 221-229.

ANDREOTTI, Marcelo de Oliveira et al. Tempo de trânsito intestinal, desempenho, característica de carcaça e composição corporal de frangos de corte alimentados com rações isoenergéticas formuladas com diferentes níveis de óleo de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 4, p. 870-879, 2004

AZEVEDO JM, REIS MP, GOUS RM, LEME BB, DORIGAM JCP, SAKOMURA NK (2021) Response of broilers to dietary balanced protein. 1. Feed intake and growth. **Animal Production Science**.

BERTOLUCCI MURAD, Júlio César *et al.* Animais de pequeno porte 1: Avicultura. **Animais de pequeno porte 1**, BRASILIA, ano 2014, v. 1, n. 1, 27 nov. 2015. NT Editora, p. 36.

BUYSE, J. et al. Evaluation of dual-energy X-ray absorptiometry to determine the in vivo body composition of broilers. **Progress in Research on Energy and Protein Metabolism**, p. 477-480, 2003.

CALDAS, J. V., HILTON, K., BOONSINCHAI, N., ENGLAND, J. A., MAUROMOUSTAKOS, A., & COON, C. N. (2018). Dynamics of nutrient utilization, heat production, and body composition in broiler breeder hens during egg production. **Poultry science**, 97(8), 2845-2853.

CRAIGIE, C. R. et al. A review of the development and use of video image analysis (VIA) for beef carcass evaluation as an alternative to the current EUROP system and other subjective systems. **Meat Science**, v. 92, p. 307-318, 2012.

CUMMINGS, S. R.; BATES, D.; BLACK, D. M. Clinical use of bone densitometry: scientific review. **Jama**, v. 288, n. 15, p. 1889-1897, 2002.

DÄNICKE, S.; HALLE, I.; JEROCH, H. Evaluation of the non invasive TOBEC (total body electrical conductivity) procedure for prediction of chemical components of male broilers with special consideration of dietary protein level. **Archives of Animal Nutrition**, v. 50, n. 2, p. 137-153, 1997.

DA SILVA, Suelen Nunes et al. COMPOSIÇÃO CORPORAL DE FRANGOS DE CORTE FÊMEAS COM 21 DIAS ALIMENTADAS COM NÍVEIS DE QUIRERA DE ARROZ NA DIETA. **Science And Animal Health**, v. 7, n. 2, p. 147-156, 2019.

ELLIS KJ. Selected body composition methods can be used in field studies. *J Nutr* 2001; 131:1589S–1595S.

FARHAT, A.; CHAVEZ, E. R. Metabolic studies on lean and fat Pekin ducks selected for breast muscle thickness measured by ultrasound scanning. **Poultry Science**, v. 80, n. 5, p. 585-591, 2001.

FERNANDES, R. A. **Correlação entre Densidade Radiográfica-DR e Absorciometria por Raios-X de Duas Energias-DXA: Estudo “in vitro”**. 2019. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal – Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, São Paulo, 2019).

FORTUN-LAMOTHE, L.; LAMBOLEY-GAÜZÈRE, B.; BANNELIER, C. Prediction of body composition in rabbit females using total body electrical conductivity (TOBEC). **Livestock Production Science**, v. 78, p. 133-142, 2002.

GAYA, L. G. et al. Heritability and genetic correlation estimates for performance and carcass and body composition traits in a male broiler line. **Poultry science**, v. 85, n. 5, p. 837-843, 2006.

GERBER, P.; OPIO, C.; STEINFELD, H. Poultry production and the environment – a review. **Food and Agriculture**, p. 1-27, 2007.

GONÇALVES, Camila Angelica. Modelagem do crescimento, composição do corpo e das penas em frangos de corte. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal. 2017.

GONÇALVES CA, SAKOMURA NK, SARCINELLI MF, PACHECO LG, SOARES L, MELARÉ MC, ALVES WJ, GOUS RM (2020) In vivo assessment of body composition and growth potential of modern broiler using dual-energy X-ray absorptiometry. **Animal Production Science** 60, 1959–1968.

HESTER, P. Y. et al. Assessing Bone Mineral Density In Vivo: Dual Energy X-Ray Absorptiometry. **Poultry Science**, p. 215-221, 2004.

HORBER, F. F. et al. Impact of hydration status on body composition as measured by dual energy X-ray absorptiometry in normal volunteers and patients on haemodialysis. **The British journal of radiology**, v. 65, n. 778, p. 895-900, 1992.

JOHNSON, Maria S. et al. Validation of Dual-energy X-ray Absorptiometry to Predict Body Composition of Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 48, n. 1, p. 122-131, 2017.

KIPPER, M. et al. Évaluation de la technologie DXA pour étudier la composition des carcasses de porc et de ses coupes principales. **Journées Recherche Porcine**, v. 47, p. 31-36, 2015.

KOLLING, Ana Valeria; KESSLER, Alexandre de Mello; RIBEIRO, Andréa Machado Leal. Desempenho e composição corporal de frangos de corte alimentados com diferentes

níveis de proteína e de aminoácidos ou com livre escolha das dietas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 1, p. 98-103, 2005.

LASKEY, M. A. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. **Nutrition**, v. 12, n. 1, p. 45-51, 1996.

MELARÉ, M. C., SAKOMURA, N. K., REIS, M. D. P., PERUZZI, N. J., & GONÇALVES, C. A. (2019). Factorial models to estimate isoleucine requirements for broilers. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, 103(4), 1107-1115.

MERCIER, J. et al. The use of dual-energy X-ray absorptiometry to estimate the dissected composition of lamb carcasses. **Meat Science**, v. 73, p. 249-257, 2006.

MESSINA, C. et al. Body composition with dual energy X-ray absorptiometry: from basics to new tools. **Quantitative Imaging in Medicine and Surgery**, v. 10, n. 8, p. 1687, 2020.

MITCHELL, A. D.; ROSEBROUGH, R. W.; CONWAY, J. M. Body composition analysis of chickens by dual energy x-ray absorptiometry. **Poultry Science**, v. 76, n. 12, p. 1746-1752, 1997.

MITCHELL, A. D.; SCHOLZ, A. M.; PURSEL, V. G. Prediction of pork carcass composition based on cross-sectional region analysis of dual energy X-ray absorptiometry (DXA) scans. **Meat Science**, v. 63, p. 265-271, 2011.

MOTTET, A.; TEMPIO, G. Global poultry production: current state and future outlook and challenges. **World's Poultry Science Journal**, v. 73, p. 1-12, 2017.

NÄÄS, I. et al. Brazilian chicken meat production chain: a 10-year overview. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 17, n. 1, p. 87-94, 2015.

PIETROBELLI, A. et al. Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, v. 271, n. 6, p. E941-E951, 1996.

POMAR, Cândido; KIPPER, Marcos; MARCOUX, Marcelo. Uso da absorciometria radiológica de dupla energia na pesquisa nutricional de não ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, p. 621-629, 2017.

PROSZKOWIEC-WEGLARZ, M. et al. Characterization of the AMP-activated protein kinase pathway in chickens. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 143, n. 1, p. 92-106, 2006.

SAKAMOTO, K. S. et al. The challenges of animal welfare in modern Brazilian poultry farming. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 8, p. 131-135, 2020.

SAKOMURA, N. K., Longo, F. A., Oviedo-Rondon, E. O., Boa-Viagem, C., & Ferraudo, A. (2005). Modeling energy utilization and growth parameter description for broiler chickens. **Poultry Science**, 84(9), 1363-1369.

SAKOMURA, N. K., GOUS, R. M., MARCATO, S. M., & FERNANDES, J. B. K. (2011). A description of the growth of the major body components of 2 broiler chicken strains. **Poultry Science**, 90(12), 2888-2896.

SAKOMURA NK, ROSTAGNO HS (Eds) (2016) 'Métodos de Pesquisa em Nutrição de Monogástricos.' (Funep: Jaboticabal, Brazil).

SALAS, C. et al. Determinação da composição corporal de frangos medida por absorciometria de raios X de dupla energia. **International Journal of Poultry Science**, v. 11, n. 7, pág. 462, 2012.

SARTORIS, D. J.; RESNICK, D. Dual-energy radiographic absorptiometry for bone densitometry: current status and perspective. **American Journal of Roentgenology**, v. 152, n. 2, p. 241-246, 1989.

SCHALLIER, S. et al. Dual-energy X-ray absorptiometry is a reliable non-invasive technique for determining whole body composition of chickens. **Poultry Science**, v. 98, n. 6, p. 2652-2661, 2019.

SCHREIWEIS, M. A. et al. Validation of dual-energy X-ray absorptiometry in live White Leghorns. **Poultry Science**, v. 84, n. 1, p. 91-99, 2005.

SCHOLZ, A. M. et al. Two-site evaluation of the relationship between in vivo and carcass dual energy X-ray absorptiometry (DXA) in pigs. **Livestock Science**, v. 110, p. 1-11, 2007.

SEGURA, José et al. Previsões de carcaça e composição primária usando sistemas de visão de câmera (CVS) e tecnologias de absorciometria de raios X de dupla energia (DXA) em vacas maduras. **Alimentos**, v. 10, n. 5, pág. 1118, 2021.

SHIEL, F. et al. Dual energy X-ray absorptiometry positioning protocols in assessing body composition: A systematic review of the literature. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 21, n. 10, p. 1038-1044, 2018.

SWENNEN, Q. et al. Validation of dual-energy x-ray absorptiometry for determining in vivo body composition of chickens. **Poultry Science**, v. 83, p. 1348-1357, 2004.

TOLEDO, Ana Louise de et al. Níveis dietéticos de lisina digestível para frangos de corte machos no período de 1 a 11 dias de idade: desempenho e composição corporal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 4, p. 1090-1096, 2007.

TOOMBS, R. J. et al. The impact of recent technological advances on the trueness and precision of DXA to assess body composition. **Obesity**, v. 20, n. 1, p. 30-39, 2012.

VARGAS L, SAKOMURA NK, LEME BB, ANTAYHUA F, REIS M, GOUS R, FISHER C (2020) A description of the potential growth and body composition of two commercial broiler strains. **British Poultry Science** 61, 454–464 doi:10.1080/00071668.2020.1716300 .

VASCONCELOS, M. C. et al. Trajetória Tecnológica da Cadeia Produtiva do Frango de Corte no Brasil. **Iniciação científica CESUMAR**, v. 17, n. 1, p. 15-27, 2015.