

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DESENVOLVIMENTO DOS MÚSCULOS DO PEITO E DOS
OSSOS DO MEMBRO PÉLVICO EM CODORNAS
EUROPEIAS E JAPONESAS

Autor: Christian D. Nichele Figueroa
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Tatiana Carlesso dos Santos

MARINGÁ
Estado do Paraná
Julho - 2016

DESENVOLVIMENTO DOS MÚSCULOS DO PEITO E DOS
OSSOS DO MEMBRO PÉLVICO EM CODORNAS
EUROPEIAS E JAPONESAS

Autor: Christian D. Nichele Figueroa
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Tatiana Carlesso dos Santos

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá- Área de concentração Produção Animal.

MARINGÁ
Estado do Paraná
Julho - 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

F475d Figueroa, Christian Douglas Nichele, 1981-
Desenvolvimento dos músculos do peito e dos ossos do membro pélvico em codornas européias e japonesas / Christian Douglas Nichele Figueroa. -- Maringá, 2016.

xvi, [112] f. : figs., tabs.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Tatiana Carlesso dos Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2016.

1. Codorna (*Coturnix coturnix*)- Crescimento. 2. Equação de Gompertz. 3. Codorna (*Coturnix coturnix*) - Músculo. 4. Codorna (*Coturnix coturnix*) - Ossos. 5. Codorna (*Coturnix japonica*)- Crescimento. 6. Codorna (*Coturnix japonica*) - Músculo. 7. Codorna (*Coturnix japonica*) - Ossos. I. Santos, Tatiana Carlesso dos, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. III. Título.

CDD 23.ed. 636.6

GVS-003680



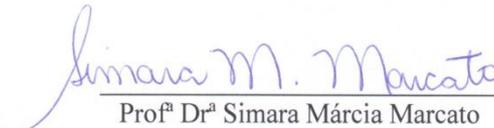
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**DESENVOLVIMENTO DOS MÚSCULOS DO
PEITO E DOS OSSOS DO MEMBRO PÉLVICO
EM CODORNAS EUROPEIAS E JAPONESAS**

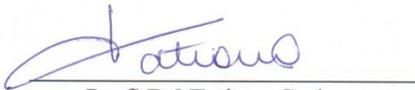
Autor: Christian Douglas Nichele Figueroa
Orientadora: Prof^ª Dr^ª Tatiana Carlesso dos Santos

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal

APROVADA em 15 de julho de 2016.


Prof^ª Dr^ª Simara Márcia Marcato


Prof^ª Dr^ª Fernanda Losi
Alves de Almeida


Prof^ª Dr^ª Tatiana Carlesso
dos Santos
(Orientadora)

A Deus, por ser meu guia e minha força.

Aos meus pais, Laércio Figueroa e Ana Audete Nichele
pelo amor, incentivo e confiança,
por nunca deixarem de acreditar em mim.

Ao meu irmão, Willian G. Nichele Figueroa,
pela amizade e incentivo e a
minha namorada Kathia Machado
pelo amor, incentivo e confiança.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre presente em minha vida, me alentando e renovando minhas forças nos momentos de difíceis.

Aos meus pais, Laércio e Ana que sempre me apoiaram em todos os momentos, e por serem exemplo de honestidade, determinação perseverança.

Ao meu irmão, Willian, por sempre me apoiar.

À minha namorada, Kathia, por sempre acreditar na minha capacidade.

À minha orientadora, Tatiana Carlesso dos Santos, pela confiança depositada, apoio, orientação e conhecimentos transmitidos.

Aos professores Alice E. Murakami, Carlos Antonio Lopes de Oliveira, Daiane de Oliveira Greiser, Eliane Gasparino, Fernanda Losi Alves de Almeida, Leandro Dalcin Castilha, Lillian Cristina Vessoni Iwaki, Liogi Iwaki Filho, Mariliani Chicarelli da Silva e Simara Márcia Marcato.

Aos colegas do grupo de pesquisa: Flavia Kleszcz da Cruz, Guilherme Augusto Craveiro, Isabele Naemi Kaneko, Kassiana Germani, Lidiane Staub, Lucas Bonagurio, Rafaela Machado, Rodrigo Andrade Basaglia por toda ajuda e apoio nas análises.

Aos colegas Aline Mayra, Angélica Khatlab, Caroline Espejo Stanquevis, Eline Maria Finco, Erica Grecco, Ivan Camilo Ospina, Jessica Monteschio, Kaliane Oliveira,

Laura Marcela Diaz Huepa, Leonardo Zanetti, Lucas Antonio Costa Esteves, Máira Diaz, Marcelise Regina Fachinello, Marianne Boyd, Marília Figueiredo, Monica Merenda, Rodrigo Sakurada, Silvia Leticia, Suellen Scheibel e Tainara Prestes Perine.

Aos funcionários do LANA, Augusto e Osvaldo, pelo auxílio nas análises laboratórios. Aos funcionários do COMCAP, Amanda, Suzana e Natalia pela atenção para a utilização dos aparelhos. Aos funcionários do laboratório de biologia, do departamento de ciências morfológicas, Maria dos Anjos e Maria Eudires, pelo auxílio nas análises laboratórios. Aos residentes da clinica de radiologia do departamento de odontologia da universidade estadual de Maringá, Renata e Tamara, pela atenção para a utilização dos aparelhos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo, que possibilitou a realização do mestrado.

BIOGRAFIA

Christian D. Nichele Figueroa, filho de Laércio Figueroa e Ana Audete Nichele Figueroa, nasceu em Maringá-PR, no dia 01 de novembro de 1981.

Em dezembro de 2006, concluiu a graduação em Medicina Veterinária pelo Centro Universitário de Maringá.

Em março de 2014, iniciou no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, em nível de Mestrado, na Universidade Estadual de Maringá, concentrando seus estudos na área de Produção Animal, Nutrição de Monogástricos.

No dia 15 de julho de 2016, submeteu-se à banca para defesa da Dissertação.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUÇÃO.....	1
II. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Tecido Muscular Estriado Esquelético.....	3
2.1.1. Miogênese.....	4
2.1.2. Tipos de fibras musculares.....	6
2.1.3. <i>Turnover</i> proteico associado aos tipos de fibra.....	8
2.1.4. Qualidade da carne associada aos tipo de fibra.....	9
2.2. Tecido Ósseo.....	10
2.2.1. Desenvolvimento ósseo (Ossificação).....	12
2.3. Curvas de Crescimento.....	16
2.4. Referências Bibliográficas.....	19
III. OBJETIVOS GERAIS.....	24
3.1. Objetivos Específicos.....	24
IV. Desenvolvimento morfológico dos músculos do peito em codornas europeias e japonesas.....	26
Resumo.....	26
Abstract.....	27

Introdução.....	28
Material e Métodos.....	30
Resultados.....	35
Discussão.....	50
Conclusão.....	59
Referências.....	60
V. Desenvolvimento dos ossos longos em codornas europeias e japonesas.....	64
Resumo.....	64
Abstract.....	65
Introdução.....	66
Material e Métodos.....	67
Resultados.....	73
Discussão.....	90
Conclusão.....	96
Referências.....	97
VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
VII. APÊNDICE.....	103

LISTA DE TABELAS

	Página
IV. Desenvolvimento morfológico dos músculos do peito em codornas europeias e japonesas	
Tabela 1. Estimativas dos parâmetros da equação de Gompertz para o peso da ave, peso do peito, peso do músculo peitoral e peso do músculo supracoracoide de codornas europeias e japonesas.....	36
Tabela 2. Médias para peso relativo do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide e diâmetro e quantidade das fibras do tipo IIa e IIb dos músculos peitoral e supracoracoide em codornas europeias e japonesas.....	43
Tabela 3. Médias dos músculos peitoral e supracoracoide, peso relativo, diâmetro e frequência das fibras do tipo IIa e IIb no teste Tukey (P<0,05) em codornas europeias e japonesas aos 35 dias.....	45
Tabela 4. Médias das variáveis peso da ave, peso do peito, peso relativo do peito, pH, CRA (capacidade de retenção de água), cor (L* a* e b*) aos 35 dias submetidas ao teste Tukey.....	50
V. Desenvolvimento dos ossos longos em codornas europeias e japonesas	
Tabela 1. Parâmetros estimados através das equações de Gompertz dos ossos fêmur, tibiotarso e tarsometatarso de codornas europeias e japonesas.....	77
Tabela 2. Médias de densidade óssea na escala Hounsfield, resistência à quebra, área de secção transversal e espessura do disco epifisário dos ossos fêmur, tibiotarso e tarsometatarso, em codornas europeias e japonesas.....	87

Tabela 3. Médias do percentual de minerais nos ossos tibiotarso, em codornas europeias e japonesas.....	89
---	----

LISTA DE FIGURAS

	Página
IV. Desenvolvimento morfológico dos músculos do peito em codornas europeias e japonesas	
Figura 1. Curva de crescimento e taxa de crescimento da ave e do peito segundo as estimativas e derivadas da equação de Gompertz.....	38
Figura 2. Cortes histológicos transversais ao comprimento das fibras musculares do m. peitoral em codornas europeias aos 7(A-C) e 35(D-F) dias. Notar a diferença no diâmetro das fibras IIa e IIb e a disposição destas nos feixes musculares com as IIa centrais. Histoquímica de NADH-TR (A, B; D, E), HE (C, F). Barra B-C, E-F=30 um, A, D= 60um.....	42
Figura 3. Cortes histológicos transversais ao comprimento das fibras musculares do m. supracoracoide em codornas europeias aos 14(A-C) e 35(D-F) dias. Notar a diferença no diâmetro das fibras IIa e IIb e a disposição destas nos feixes musculares com as IIa centrais. Histoquímica de NADH-TR (A, B; D, E), HE (C, F). Barra B-C, E-F=30 um, A, D= 60um.....	42
Figura 4. Gráfico de desdobramento das variáveis peso relativo do peito, diâmetro das fibras do tipo IIa do músculo peitoral, diâmetros das fibras do tipo IIa e IIb e a quantidade das fibras do tipo IIb do músculo supracoracoide de codornas europeias e japonesas que apresentaram interação.....	44
Figura 5. Gráfico do desdobramento da interação ente tipo de codorna e sexo para diâmetro da fibra do tipo IIb dos músculos peitoral e supracoracoide aos 35 dias no teste Tukey. Letras maiúsculas	

distintas diferem entre tipo ($P < 0,05$) e letras minúsculas distintas diferem entre sexo ($P < 0,05$).....	46
Figura 6. Gráfico do desdobramento da interação entre tipo de codorna e sexo para quantidade das fibras do tipo IIb do músculos peitoral aos 35 dias no teste Tukey. Letras maiúsculas distintas diferem entre tipo ($P < 0,05$) e letras minúsculas distintas diferem entre sexo ($P < 0,05$).....	47
Figura 7. Gráfico do desdobramento da interação ente tipo de codorna e sexo para frequência das fibras do tipo IIa e IIb dos músculos peitoral e supracoracoide aos 35 dias no teste Tukey. Letras maiúsculas distintas diferem entre tipo ($P < 0,05$) e letras minúsculas distintas diferem entre sexo ($P < 0,05$).....	48
V. Desenvolvimento dos ossos longos em codornas europeias e japonesas	
Figura 1. Gráfico das estimativas da equação de Gompertz para as variáveis peso da ave e peso, comprimento, índice de Seedor, volume, diâmetro da diáfise e espessura da diáfise do fêmur de codornas europeias e japonesas.....	78
Figura 2. Gráfico das estimativas da equação de Gompertz para as variáveis peso, comprimento, índice de Seedor, volume, diâmetro da diáfise, espessura da diáfise e percentual de cinzas do tibiotarso de codornas europeias e japonesas.....	79
Figura 3. Gráfico das estimativas da equação de Gompertz para as variáveis peso, comprimento, índice de Seedor, volume, diâmetro da diáfise e espessura da diáfise do tarsometatarso de codornas europeias e japonesas.....	80
Figura 4. Gráfico das taxas de crescimento das variáveis peso, comprimento, índice de Seedor e volume dos ossos fêmur, tarsometatarso e tibiotarso de codornas europeias e japonesas.....	84
Figura 5. Gráfico das taxas de crescimento das variáveis diâmetro e espessura dos ossos fêmur, tarsometatarso e tibiotarso de codornas europeias e japonesas.....	85
Figura 6. Gráfico da taxa de crescimento da variável percentual de cinzas do tibiotarso de codornas europeias e japonesas.....	85
Figura 7. Desdobramento da interação da densidade óssea dos ossos do fêmur, tibiotarso e tarsometatarso, da interação da área de secção transversal dos ossos do fêmur e tibiotarso e da interação do percentual de fósforo na matéria seca dos ossos tibiotarso de codornas europeias e japonesas.....	88

TABELAS DO APÊNDICE

	Página
Tabela 1. Valores de L.....	104
Tabela 2. Médias para peso da ave, do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide em codornas europeias e japonesas.....	105
Tabela 3. Taxas de crescimento da ave, do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide das codornas europeias e japonesas.....	106
Tabela 4. Médias para peso do osso (g), índice de Seedor, volume ósseo (mm ³), comprimento (mm), diâmetro da diáfise (mm) e espessura da diáfise (mm) do osso fêmur.....	107
Tabela 5. Taxas de crescimento do osso fêmur de acordo com a idade das codornas europeias e japonesas.....	108
Tabela 6. As médias para o peso do osso (g), índice de Seedor, volume ósseo (mm ³), comprimento (mm), diâmetro da diáfise (mm), espessura da diáfise (mm) e percentual de cinzas do osso tibiotarso.....	109
Tabela 7. Taxas de crescimento do osso tibiotarso de acordo com a idade das codornas europeias e japonesas.....	110
Tabela 8. As médias para o peso da ave (g) e para peso do osso (g), índice de Seedor, volume ósseo (mm ³), comprimento (mm), diâmetro da diáfise (mm) e espessura da diáfise (mm) do osso tarsometatarso.....	111
Tabela 9. Taxas de crescimento do tarsometatarso de acordo com a idade das codornas europeias e japonesas.....	112

RESUMO

Objetivou-se estudar o crescimento dos músculos do peito e dos ossos longos do membro pélvico em codornas europeias e japonesas. No Experimento I foram descritos o crescimento e as taxas de crescimento do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide, seu desenvolvimento morfológico e a qualidade da carne. Foram utilizados embriões com 13 e 15 dias de incubação, pintinhos na eclosão e codornas com 4, 7, 10, 14, 21, 28 e 35 dias (n=60). A qualidade da carne foi avaliada aos 35 dias em machos e fêmeas (n=30), europeias e japonesas. As variáveis foram avaliadas através da equação de Gompertz. As codornas europeias foram mais precoces, em relação à japonesa, com taxa de crescimento máxima aos 16 e 19 dias, respectivamente. Em relação ao crescimento muscular, ambos os tipos de codornas mostraram taxa máxima de crescimento do peito aos 21 dias. O músculo supracoracoide apresentou maior taxa de crescimento em relação ao músculo peitoral, embora o músculo peitoral tenha representado maior parte do peso do peito. O diâmetro das fibras musculares dos tipos IIa e IIb, classificadas através da técnica histoquímica Nicotinamida adenina dinucleotídeo-Tetrazolio Redutase dos músculos peitoral e supracoracoide de ambas as codornas aumentaram ao longo dos dias de crescimento, demonstrando que os maiores aumentos foram das fibras pertencentes ao músculo peitoral. A frequência das fibras do tipo IIa e IIb, nos músculos peitoral e supracoracoide, diferiram entre as codornas, apresentando comportamento quadrático crescente, em função da idade. A quantidade de fibras do tipo IIb do músculo supracoracoide apresentou interação entre o tipo e a idade, com comportamento quadrático decrescente. Codornas europeias apresentaram maior valor para peso relativo do peito e maior valor de L* (intensidade de

luminosidade). As codornas japonesas apresentaram maior valor para a^* (intensidade de vermelho), caracterizando músculos mais escuros. Quanto ao sexo, codornas machos apresentaram maior valor de b^* (intensidade de amarelo). Para pH e capacidade de retenção de água dos músculos do peito não houve efeito significativo de sexo ou tipo de codornas. No Experimento II, objetivou-se descrever o crescimento e as propriedades morfométricas, biomecânicas, bromatológicas, histológicas e químicas dos ossos longos (fêmur, tibiotarso e tarsometatarso) de codornas europeias e japonesas, do final da incubação até o 35º dia pós-eclosão. Foram utilizados embriões com 13 e 15 dias de incubação, pintinhos na eclosão e codornas com 4, 7, 10, 14, 21, 28 e 35 dias ($n=60$). Os ossos foram pesados e submetidos à tomografia computadorizada de feixe cônico para determinação da densidade óssea na escala Hounsfield, volume e análises morfométricas de comprimento, espessura e diâmetro da diáfise. Foi determinado o índice de Seedor, a força de quebra, a área de secção transversal, a matéria mineral e a percentagem de cálcio, fósforo e magnésio. No tibiotarso esquerdo, foi determinada a espessura da cartilagem epifisária. Os valores de peso da ave e peso, comprimento, índice de Seedor, volume e espessura e diâmetro da diáfise dos ossos avaliados e matéria mineral do tibiotarso ajustaram-se às curvas de Gompertz. Para fêmur e tibiotarso as variáveis apresentaram diferenças quanto à taxa e peso a maturidade e período em que a taxa foi máxima, indicando crescimento distinto entre os ossos. Já o tarsometatarso apresentou peso à maturidade diferente. Com a derivada de equação de Gompertz observou-se que, nas codornas europeias, o crescimento do tibiotarso acontece primeiro em relação à espessura da diáfise e, após, em comprimento. O inverso ocorreu em codornas japonesas. Para a densidade óssea, a área de secção transversal houve interação entre os tipos de codornas e a idade, com comportamento cúbico, sendo que em codornas europeias os ossos foram mais densos. A resistência óssea aumentou linearmente no fêmur e tibiotarso e teve comportamento quadrático crescente no tarsometatarso com a idade. O percentual de magnésio, e a espessura da cartilagem epifisária apresentaram efeito cúbico ao longo da idade. O percentual de cálcio não apresentou diferenças significativas. Conclui-se que codornas possuem desenvolvimento dos músculos do peito distintos e crescimento do osso tarsometatarso similar, no entanto, o fêmur e tibiotarso apresentam maiores diferenças no crescimento, principalmente nos primeiros dias pós-eclosão.

Palavras-chave: *Coturnix*, crescimento, Gompertz, músculo, ossos.

ABSTRACT

The objective was to study the development of breast muscles and the long bones of the hindlimb in European and Japanese quails. In Experiment I the growth and growth rates of breast and their muscles were described, as their morphological development and meat quality. Embryos with 13 and 15 days of incubation were used, of quail chicks at hatch and at 4, 7, 10, 14, 21, 28 and 35 days ($n = 60$). The meat quality was evaluated at 35 days for male and female ($n = 30$), European and Japanese quails. The variables were evaluated by Gompertz equation. The European quails were precocious in relation to Japanese, with maximum growth rate at 16 and 19 days, respectively. However, regarding muscle growth, both types of quails showed maximum growth rate to the breast at day 21. The supracoracoideus muscle showed higher growth rate compared to the pectoral muscle, although the pectoral muscle has represented most of the breast weight. The diameter of muscle fiber type IIa and IIb, classified with the NADH-TR technique, of the pectoral muscles and supracoracoideus in both quails increased over the days of age, showing that the largest increases were the fibers belonging to the pectoral muscle. The frequency of muscle fiber type IIa and IIb of the pectoral and supracoracoideus muscles differed between the quails increasing with quadratic behavior, depending on age. The amount of muscle fibers type IIb in supracoracoideus muscle showed interaction between the type and days of age, with decreasing quadratic behavior. European quails had higher relative breast weight and higher L^* (lightness index). Japanese quail showed higher value for a^* (red intensity), featuring darker muscles. Regarding gender, male quails showed higher value of b^* (yellow intensity). For pH and water retention capacity of the chest muscles there was no significant effect

of sex or type of quails. In Experiment II the objective was to describe the growth and morphometric properties, biomechanics, bromatological, histological and chemical characteristics of the long bones (femur, tibiotarsus and tarsometatarsus) in European and Japanese quail, at the end of the incubation to 35 days of age. Embryos with 13 and 15 days of incubation were used, of quail chicks at hatch and at 4, 7, 10, 14, 21, 28 and 35 days ($n = 60$). The bones were weighed and submitted to a computed tomography cone beam to determine the bone density in Hounsfield scale, volume and morphometric analysis as length, thickness and diameter of the shaft. After that the Seedor index was determined, the breaking strength, the cross sectional area, the mineral content, and the percentage of calcium, phosphorus and magnesium. In the left tibiotarsus the thickness of epiphyseal cartilage was determined. The variables weight of the quails and weight, length, Seedor index, volume, thickness and diameter of the shaft of the assessed bone and mineral matter of tibiotarsus were adjusted to Gompertz curves. For the femur and tibiotarsus the variables showed differences in the rate and weight at maturity and period in which the rate was highest, indicating distinct growth of the bones. However tarsometatarsus presented different weight to maturity. With the derivative of Gompertz equation it was observed that in the European quails the growth of tibiotarsus happens first in relation to the thickness of diaphyseal and after in length. The opposite occurred in Japanese quails. For bone density, cross-sectional area there was interaction between the types of quails and days of age, with cubic behavior, and in European quail bones showed to be more dense than Japanese. The bone strength increased linearly in the femur and tibiotarsus and had increasing quadratic behavior in tarsometatarsus with age. The percentage of magnesium and the thickness of the epiphyseal cartilage had a cubic effect over age. Calcium percentage showed no significant differences. We conclude that European and Japanese quails have a different development of chest muscles and that the growth of tarsometatarsus bone showed similarities compared between European and Japanese quails, however, the femur and tibiotarsus have major differences in growth, especially in the 1st days post-hatching.

Key Words: *Coturnix*, growth, Gompertz, muscle, bone.

I. INTRODUÇÃO

A coturnicultura tem apresentado um forte desenvolvimento no Brasil e, ao longo dos anos, muitas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de tornar a cadeia produtiva mais eficiente. A criação de codornas tem vantagens competitivas sobre outras espécies de aves, como a maturidade sexual precoce, o intervalo curto entre gerações, a taxa de crescimento rápido e a elevada capacidade de reprodutiva (Narinc et al., 2013). Na parte produtiva, as exigências estruturais são pequenas, os custos de produção são relativamente baixos e, por serem aves pequenas, a produção de dejetos é menor, quando comparada com outros tipos de criação, o que a torna menos agressiva ao meio ambiente (Móri et al., 2005).

As codornas são aves da ordem dos galináceos, da família *Phasianidae* e gênero *Coturnix*. Segundo o *BirdLife International* (2015) existem seis espécies conhecidas, *Coturnix coturnix*, *Coturnix japonica*, *Coturnix coromandelica*, *Coturnix delegorguei*, *Coturnix pectoralis* e *Coturnix novaezelandiae*.

O Brasil é o quinto maior produtor de codornas do mundo e o segundo em produção de ovos. O efetivo de codornas ao final de 2013 foi de 18,172 milhões de aves com um aumento de 10,6% em relação ao ano anterior. O maior produtor é a região sudeste com 76,1%; seguido pela região sul, nordeste, centro-oeste e norte com 11,1%; 8,2%; 4,0% e 0,6% respectivamente. Em comparação com o ano anterior a região sul reduziu o alojamento de codornas, sobretudo nos estados de Santa Catarina e no Paraná. Já a região Sudeste aumentou seu efetivo, principalmente no estado de São Paulo (IBGE, 2015).

As codornas criadas comercialmente no país são para a produção de ovos e de carne. A codorna japonesa (*Coturnix coturnix japonica*), de origem asiática, possui aptidão para produção de ovos, já as europeias (*Coturnix coturnix coturnix*) são destinadas tanto para ovos quanto para carne (Bertechini, 2010). Na maior parte das regiões, a carne de codorna é considerada exótica e pela baixa oferta no mercado apresenta elevado preço (Bertechini, 2010). No entanto, este mercado possui um importante potencial de crescimento, pelo fato da carne de codorna representar um produto de alta qualidade, pela sua composição química com características de odor, sabor e maciez de alta aceitação pela população em geral (Murakami et al., 2007).

As codornas europeias em comparação as japonesas exibem maior crescimento em todas as idades, apresentando a maior taxa de crescimento aos 27 dias, desta forma aos 35 dias, o peso das codornas europeias é de aproximadamente 25 vezes o peso inicial (Silva et al., 2012).

Em relação às codornas japonesas, estas começam a postura entre 50 a 60 dias, com aproximadamente 115 - 125g de peso corporal, podendo chegar a até 160g (Arora e Samples, 2011), e apesar de sua aptidão ser para a produção de ovos, as codornas japonesas têm uma posição importante na produção comercial, visto que em muitos países do Extremo Oriente e da Ásia são utilizadas também para a produção de carne (Narinc, 2010). No Brasil é comum a oferta de carne de codornas japonesas para atender a demanda de mercados consumidores específicos, porque a espécie *Coturnix japonica* é a mais difundida no país (Oliveira e Escocard, 2010).

Ao longo do tempo, as aves comerciais destinadas tanto para produção de ovos quanto para a produção de carne vêm sendo desenvolvidas para cada vez mais aumentarem sua produção. Diferentes linhagens podem diferir em vários aspectos, como peso à maturidade, composição e taxas de deposição dos nutrientes, de modo que são esses aspectos que podem afetar a forma de crescimento das aves (Gous et al., 1999).

O crescimento é caracterizado pelo aumento do peso corporal ao longo do tempo, sendo o maior volume atribuído decorrente ao aumento dos músculos. Entretanto, para que isso ocorra, as aves devem estar preparadas para suportar essa deposição muscular e os ossos compõem o sistema de suporte para os músculos e, portanto, necessitam se desenvolver mais rápido para suportar o crescimento. Este desenvolvimento ósseo

ocorre em um perfeito sincronismo entre o tecido muscular e o adiposo (Gonzales e Sartori, 2002). Contudo, o tecido ósseo permanece o elo mais fraco nas aves com altas taxas de produção de ovos ou no suporte de carcaças cada vez mais pesadas, em animais cada vez mais jovens e nas aves de produção (Applegate e Lilburn, 2002). A mesma importância deve ser dada ao crescimento muscular e a caracterização dos tipos de fibras musculares. Fibras musculares oxidativas possuem um maior potencial para a síntese e para a degradação proteica, quando em comparação com fibras de baixo perfil oxidativo. Isto sugere que as fibras oxidativas têm uma taxa relativamente elevada de *turnover* proteico, o que pode limitar entre outros fatores, a hipertrofia nestas fibras (Wessel et al., 2010).

A fim de entender e descrever o desenvolvimento e crescimento dos ossos longos e do músculo peitoral é preciso elaborar modelos matemáticos que sejam capazes de prever o que as diferentes condições ambientais em relação ao tempo podem influenciar no desempenho das aves (Gous et al., 1999).

Apesar do desenvolvimento do tecido ósseo e muscular de aves de produção ser muito estudado e discutido nas indústrias e instituições de pesquisa ainda existe uma escassez de informações pertinentes, para a elaboração de programas de maior eficiência produtiva.

II. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Tecido Muscular Estriado Esquelético

A compreensão do crescimento e desenvolvimento do tecido muscular estriado esquelético é muito importante para a produção animal, já que ele compõe cerca de 40% do peso vivo de uma ave, além de corresponder a 80% de todo tecido muscular em geral e conter cerca de metade de toda proteína no organismo. Ele é fundamental para diversas funções orgânicas como a respiração, a manutenção da postura, a termogênese, além do processo complexo que ocorre em perfeito sincronismo com o desenvolvimento ósseo, que garante todo suporte e proteção para o desenvolvimento e crescimento (Gonzales e Sartori, 2002).

O tecido muscular estriado esquelético é formado principalmente por células denominadas células musculares ou fibras musculares, especializadas em contração. As

fibras musculares esqueléticas são células longas e cilíndricas, multinucleadas com os núcleos localizados na periferia, abaixo da membrana plasmática, que se estendem por todo o comprimento da fibra (Guyton e Hall, 2002). A disposição paralela e ordenada das miofibrilas é responsável pelas estriações transversais, decorrentes da organização das proteínas contráteis de bandas claras e escuras. Esta disposição de unidades idênticas constitui a unidade contrátil da fibra muscular, sarcômeros (Silva et al., 2005).

As miofibrilas são compostas por dois tipos de miofilamentos: a actina e a miosina que, na presença de ATP, são responsáveis pela contração muscular. A miosina é o filamento grosso e principal componente da banda A. A actina, por sua vez, é o filamento fino e se origina na linha Z. Como resultado dessa disposição, tem-se que a banda I é formada somente por filamentos finos, a banda A é formada por filamentos finos e grossos, e a banda H somente por filamentos grossos. Na região lateral da banda A, os filamentos finos e grossos se interdigitam (Junqueira e Carneiro, 2004).

2.1.1. Miogênese

Durante a miogênese as fibras musculares esqueléticas são originárias do mesoderma paraxial que se segmenta nos somitos do embrião. A miogênese ocorre quando as células dos somitos, que estão comprometidas com a formação do tecido muscular, denominadas células precursoras miogênicas, diferenciam-se em mioblastos.

Os mioblastos migram para áreas específicas de desenvolvimento, e iniciam um processo de proliferação. Quando os mioblastos saem do ciclo celular, alinham-se com outras células, formando fibras celulares imaturas denominadas de miotubos. A formação dos miotubos ocorre em dois eventos temporalmente distintos. No início, ocorre a formação dos miotubos primários, que apresentam núcleos centrais e miofibrilas na região periférica (Velleman, 2007). Os miotubos primários servem de apoio para posterior formação dos miotubos secundários, a partir da fusão de miotubos primários com mioblastos adjacentes. Após, ocorre a separação dos miotubos primários e secundários, formando fibras primárias e secundárias, respectivamente. Neste momento, há uma migração dos núcleos para a periferia das células e a ocupação total do sarcoplasma pelas miofibrilas (Silva et al, 2005).

O controle molecular da miogenese tem sido amplamente estudado em aves. Dentre as moléculas envolvidas neste controle, estão os fatores de transcrição da família MyoD cujo papel é determinante na diferenciação do tecido muscular esquelético. Os fatores de regulação miogênica são conhecidos como MRF's (*myogenic regulatory factors*): e compreendem a MyoD, myf-5, miogenina e MRF4 (Velleman, 2001).

As células somáticas do mesoderma recebem sinais que induzem a expressão de genes específicos, como MyoD e o myf-5 tornando-as comprometidas em formar mioblastos que proliferam e são capazes de sintetizar proteínas específicas do tecido muscular. Posteriormente há a expressão de miogenina e MRF4 que controlam a diferenciação dos mioblastos em miotubos (Silva e Carvalho, 2007; Redfeldt et al., 2010).

Durante todo processo miogênico, alguns mioblastos não se fundem e permanecem quiescentes entre a membrana plasmática e a lâmina basal da fibra muscular. Essas células são denominadas mioblastos indiferenciados ou células satélites (Hawke e Garry, 2001). Quando estimuladas, essas células proliferam e se fundem com fibras musculares já existentes, sintetizando proteínas específicas, que aumentam o volume das fibras musculares através da formação de novos sarcômeros. Este processo é conhecido como hipertrofia muscular (Silva e Carvalho, 2007) e só acontece após a eclosão da ave.

Em aves, a miogenese ocorre em dois períodos distintos. O primeiro ocorre na fase embrionária, quando um grande número de células precursoras expressa genes músculos-específicos, tornando-se mioblastos comprometidos em formar fibras musculares, processo denominado hiperplasia; nesse período, o número final de fibras é estabelecido (Christ e Brand-Saberi, 2002). No segundo período de miogênese, no pós-eclosão, ocorre o acréscimo de proteínas a partir da incorporação de núcleos das células satélites, em proliferação, a uma fibra existente, processo denominado hipertrofia (Sklan et al., 2003).

De modo geral, o número de fibras está relacionado com alterações no padrão de crescimento em diferentes tipos de linhagens. Linhagens de crescimento rápido têm mais fibras musculares, em um mesmo músculo, do que linhagens de crescimento lento (Gosnak et al., 2010), enquanto aves selecionadas para a produção de carne possuem

fibras maiores, quando comparadas com aves selecionadas para produção de ovos (Dransfield e Sosnicki, 1999).

Algumas linhagens de codornas, selecionadas para ganho de peso, apresentam uma maior massa muscular acompanhada por um período hiperplásico maior do que codornas não selecionadas, causado por uma expressão tardia de marcadores miogênicos. Este atraso pode ser relacionado com um longo período de proliferação dos mioblastos, contribuindo, assim, para uma maior número de fibras e maior massa muscular (Choi et al., 2013).

2.1.2. Tipos de fibras musculares

Os músculos são formados por fibras musculares individuais de diferentes tamanhos, densidades numéricas e de diferentes características bioquímicas e fisiológicas (McKee, 2003). As fibras são classificadas com base na fonte primária de energia e na velocidade de contração.

As fibras do tipo I, também chamadas de *slow oxidative* (SO), apresentam menor diâmetro, grande quantidade de lipídios, mitocôndrias e mioglobina. A contração dessas fibras é lenta e seu metabolismo é oxidativo. Por sua vez, as fibras do tipo IIb, *fast glycolytic* (FG), possuem maior área, menor número de mitocôndrias, reduzido teor de lipídios e mioglobina, contração rápida e metabolismo glicolítico. As fibras intermediárias, IIa, *fast oxidative glycolytic* (FOG), apresentam características metabólicas e contráteis com valores intermediários, metabolismo oxidativo e glicolítico, além de contração rápida (Banks, 1992). As fibras do tipo I e IIa são adaptadas para o metabolismo aeróbio, tendo como fonte de ATP a via oxidativa, sendo a última, no entanto, de contração rápida. Já as fibras do tipo IIb obedecem à via glicolítica como fonte de ATP (Dubowitz e Brooke, 1973; Dransfield e Sosnicki, 1999; McKee, 2003).

Na literatura, cinco tipos de fibras foram descritos nos músculos das aves. Três são de contração lenta (os tipos I, IIIa e IIIb), enquanto que duas são fibras de contração rápida (dos tipos IIa e IIb) (Dubowitz e Brooke, 1973). As fibras do tipo III são específicas das aves e têm a característica de serem multiplamente inervadas. Essas

fibras permanecem contraídas a maior parte do tempo, como nos músculos plantar e o grande dorsal (McKee, 2003; Gosnak et al., 2010).

Com relação ao tipo de fibra muscular, notou-se que o peito de frangos de corte exibe um maior número e maior tamanho de fibras musculares compostas quase inteiramente pelo tipo IIb, em comparação com aves poedeiras. No entanto, enquanto os músculos da coxa e sobre-coxa são formados por miofibras vermelhas, intermediárias e brancas, dos tipos I, IIa e IIb, respectivamente (Gonzales e Sartori, 2002). Em relação às codornas, considerando que, o músculo peitoral é mais oxidativo e composto por fibras do tipo IIa e IIb, devido ao seu comportamento de vôo, as linhagens de codornas para ganho de peso exibiram uma maior percentagem de fibras do tipo IIb, em comparação com a linha de codornas não selecionadas (Choi et al., 2014).

Em pesquisa realizada por Scheuermann et al. (2004), os autores concluíram que aves provenientes de linhagens com aptidão para corte, como os frangos de corte por exemplo, apresentaram quantidade de duas vezes maior em número de fibras musculares do tipo IIb no músculo peitoral quando comparadas com aves com aptidão para postura, galinhas poedeiras.

Em codornas europeias e japonesas, as fibras do tipo IIa localizam-se no interior dos feixes musculares do músculo peitoral, formando grupos de fibras que são cercados por fibras maiores do tipo IIb (Choi e Kim, 2009). Os mesmo autores sugerem que esses músculos esqueléticos podem ter uma distribuição única de fibras, em que as fibras do tipo I e IIa são agrupados em conjuntos cercados por fibras do tipo IIb. Esse padrão de fibras do músculo peitoral nas codornas é semelhante ao padrão observado no pombo, em que se observa fibras vermelhas, I e ou IIa, cercados por fibras brancas, IIb de maior diâmetro (Rosser et al., 1998).

Nas espécies voadoras, o músculo peitoral é composto exclusivamente de fibras de contração rápida e perfil glicolítico/oxidativo, tipo IIa. Essa maior proporção de fibras do tipo IIa no músculo peitoral maior sugere uma adaptação evolutiva para sustentação de altas frequências de contração associadas ao voo em pequenas aves. As fibras do tipo IIb realizam rápidas contrações, no entanto, fadigam rapidamente e são predominantes no músculo peitoral de espécies não migratórias (Welch e Altshler, 2009).

2.1.3. *Turnover* proteico associado aos tipos de fibra

A importância do tipo de fibra para o crescimento muscular em animais de produção como aves, suínos e ovinos tem sido bastante estudada. Pesquisas relataram um aumento intenso no número de fibras rápidas dos músculos destes animais, embora não tenham mostrado uma verdadeira relação de causa e efeito entre o tipo de fibra e o crescimento muscular (Grant e Gerrard, 1998).

O crescimento muscular depende do equilíbrio entre a síntese e a degradação das proteínas no músculo, ou seja, da relação entre o anabolismo e catabolismo, respectivamente. A fim de determinar qual tipo do metabolismo de proteína muscular exerce maior efeito, várias espécies são utilizadas, como aves de crescimento rápido e de crescimento lento. Essas comparações têm sugerido que um maior desenvolvimento muscular depende mais da diminuição da degradação das proteínas do que do aumento na síntese de proteínas (Tesseraud et al., 2000).

Fibras musculares oxidativas possuem um maior potencial para a síntese e para a degradação proteica, quando em comparação com fibras de baixo perfil oxidativo. Isto sugere que as fibras oxidativas têm uma taxa relativamente elevada de *turnover* proteico, o que pode limitar a hipertrofia nestas fibras. Uma vez que fibras musculares têm capacidade limitada para hipertrofia e para a capacidade oxidativa, ao mesmo tempo, isso pode implicar em uma concorrência entre o catabolismo e o anabolismo. Essa concorrência é decorrente das interações entre as vias de sinalização envolvidas tanto na síntese quanto na degradação das proteínas estruturais e metabólicas. Os estímulos que regulam estas vias estão relacionados com a atividade muscular como cálcio intracelular, fatores de crescimento, vitaminas, fatores associados com níveis de energia e de oxigênio celulares, tais como a hipoxia entre outros (Wessel et al., 2010).

Segundo Choi et al. (2013), codornas selecionadas para produção de carne e codornas não selecionadas apresentaram quantidades de DNA muscular em torno de 10,3 e 4,0 vezes, respectivamente entre o período de 4 a 15 dias pós-eclosão no músculo peitoral. Em relação a tamanho do músculo peitoral o aumento foi de 33 e 12,9 vezes entre os períodos de 4 a 15 dias, para codornas selecionadas para produção de carne e codornas não selecionadas respectivamente. Estas diferenças no conteúdo de DNA e no peso dos músculos peitorais indicam uma diferença de potencial de hipertrofia. Na

mesma pesquisa, através da área de secção transversal, os autores concluíram que o crescimento das fibras do tipo IIb foi duas vezes maior que o do tipo IIa, em ambos os tipos de codornas.

2.1.4. Qualidade da carne associada aos tipos de fibra

As fibras musculares são estruturas dinâmicas que alteram suas características decorrentes de variações como idade, hormônios e dieta. O crescimento do músculo é associado à hipertrofia das fibras e da diferenciação das fibras do tipo IIa para o tipo IIb, ou seja, os tipos de fibras musculares de um dado músculo podem sofrer modulação, alterando seu fenótipo do perfil oxidativo para o glicolítico/oxidativo e para o glicolítico e vice-versa. Esta mudança fenotípica pode proporcionar diferenças nas características da carne como pH, cor e capacidade de retenção de água (CRA) (Dransfield e Sosnicki, 1999).

Em relação à cor, carnes com maiores percentagens de fibras vermelhas, alto perfil oxidativo, possuem maiores concentração de mioglobina, conseqüentemente, possuem coloração mais vermelha, maior para a^* e menor L^* quando analisadas por Berri et al. (2001).

Bonni et al. (2010) avaliaram coloração e pH em codornas japonesas em duas idades distintas, com 8 semanas e 8 meses. Os autores constataram que codornas mais jovens apresentaram valores mais elevados de luminosidade L^* e menores valores para a^* , quando comparadas com aves mais velhas. Os autores explicam que a carne de codorna, assim como carne de frango, pato e outras carnes, tornam-se mais escuras e avermelhadas com o aumento da idade, principalmente pelo fato de haver um avanço nas concentrações de mioglobina no músculo.

Fletcher (1999) avaliou três colorações em filés de peito de frango de corte classificados como pálido, normal e escuro. Segundo o autor, filés pálidos tinham significativamente maiores valores de luminosidade e eram menos avermelhados, continham menos pigmentos totais, mioglobina, ferro e pH elevado. Os filés escuros continham significativamente mais pigmento total, mioglobina, ferro, maior pH e eram mais avermelhados.

Quanto maior a quantidade de fibras glicolíticas menor é o potencial de redução da glicólise. Essas fibras são caracterizadas com alta quantidade de glicogênio (Genchev et al., 2010), que no momento do abate são rapidamente convertidas em lactato e conseqüentemente, diminuindo o pH (Van Laack et al., 2000).

Do abate até o início do *rigor mortis*, o pH varia da neutralidade, 7,2 diminuindo a 6,02 - 6,41. Após 20 min. post-mortem o pH varia entre 6,2 - 6,3 (Genchev et al., 2010). Existe uma correlação entre pH muscular e cor da carne. Maiores valores de pH muscular estão associados a carnes mais escuras, enquanto que os valores de pH inferiores estão associados com carnes mais claras. Codornas mais velhas apresentam maiores valores de pH comparadas com codornas mais jovens. Ainda assim baixos valores de pH diminuem a CRA e a maciez da carne (Bonni et al., 2010).

A qualidade da carne depende de propriedades como CRA, cor e pH. O tecido muscular contém cerca de 75% de água, mas apenas 15% estão ligados às proteínas. A outra parte é mantida pela estrutura espacial das proteínas como "água livre". Assim sendo a CRA é elevada imediatamente após o abate, antes do *rigor mortis* e, posteriormente, a resolução do *rigor mortis* a CRA é reduzida. Na carne de codornas japonesas a CRA varia de 28-29% a 31,5-33,9% (Genchev et al., 2010).

Em relação ao rendimento, Abreu et al. (2014), mostraram que codornas abatidas com 35 dias de idade, apresentaram rendimento de carcaça resfriada e rendimento de peito de 77,94 e 27,73 %, respectivamente. Em relação ao sexo, os machos apresentaram maiores médias para as características de rendimento de carcaça quente, rendimento de carcaça resfriada e rendimento de peito. Oliveira e Escocard (2010) avaliaram o peso corporal e o rendimento de carcaça em codornas japonesas machos nos períodos de 35 e 49 dias. Obtiveram peso médio de 114,20 e 97,35 para as aves de 49 e 35 dias. O peso de peito foi de 30,11g e 23,38 g para 49 e 35 dias, com valores de rendimento de 26,36 e 23,98%, respectivamente. Esses resultados evidenciaram que houve deposição de tecido muscular no peito das codornas entre os 35 e 49 dias de idade.

2.2. Tecido Ósseo

O osso é um tecido multifuncional de suporte, responsável pela sustentação da musculatura esquelética, dando às aves condições para o crescimento e desenvolvimento (Pizauro Jr., 2002). Seu crescimento é dinâmico e modificado estruturalmente em resposta a estresses internos e externos ao longo da vida, tais como fatores fisiológicos, nutricionais e físicos (Rath et al., 2000).

O tecido ósseo é composto por uma matriz extracelular orgânica e inorgânica e por uma fração celular. A matriz orgânica, também chamada de osteóide, é composta por colágeno do tipo I, proteoglicanos e uma pequena quantidade de lipídios. Já a matriz inorgânica refere-se à fase mineral e corresponde aproximadamente 69% do peso do osso e é constituída predominantemente pelos cristais de hidroxiapatita (HAP). A fração celular é composta pelos osteócitos, osteoclastos e os osteoblastos (Banks, 1992).

Os ossos são aproximadamente constituídos por 70% de minerais, 22% de proteínas e 8% de água. A matriz orgânica está composta por 95% de colágeno do tipo I, e 5% por proteoglicanas e proteínas do tipo não colagenosas (Pizauro Jr., 2002). As células que compõem o tecido ósseo, apesar de compor apenas 2% de todo o tecido, são responsáveis pela sua formação e manutenção ao longo do desenvolvimento (Pizauro Jr., 2002). As células osteoprogenitoras estão localizadas em tecidos conjuntivos perivasculares e no endóstio e perióstio. São responsáveis pela formação dos pré-osteoblastos e dos osteoblastos (Banks, 1992; Arroteia e Pereira, 2005).

Os osteoblastos são células formadoras de tecido ósseo que sintetizam e regulam a mineralização da matriz orgânica através da síntese e secreção de glicoproteínas, proteoproteínas e do colágeno do tipo I (Pizauro Jr., 2002). Esta atividade secretora dos osteoblastos é sincronizada e compreende duas fases. A primeira fase compreende a síntese e secreção de protocólageno, um material orgânico, que é polimerizado para fora da célula, orientando-se de forma ordenada. A orientação das fibras colágenas pode ser por influência do osteoblasto. Esta fase termina com a formação do osteóide, matriz orgânica não mineralizada. As células produzem cerca de $2\mu\text{m}^3$ por dia e essas camadas vão se acumulando até que a espessura de 10 a $15\mu\text{m}$ seja evidente. Por sua vez, a segunda fase compreende a mineralização da camada do osteóide. Os íons de cálcio que estão armazenados nas mitocôndrias dos osteoblastos são liberados das células e reagem com o colágeno. A mineralização inicial corresponde à metade da capacidade da matriz.

A mineralização progressiva do osteóide é responsável pela característica ordenada e pelas lâminas do osso maduro (Banks, 1992).

Os osteócitos são osteoblastos que ficaram aprisionados dentro da matriz extracelular e são responsáveis pela manutenção da matriz óssea (Arroteia e Pereira, 2005). Em relação aos osteoclastos, são células móveis gigantes multinucleadas de origem hemopoiética, pertencendo à família dos monócitos-macrófagos, e são responsáveis pela reabsorção do tecido ósseo e da cartilagem ossificada (Pizauro Jr., 2002). Os osteoclastos possuem mecanismos celulares capazes de dissolver minerais ósseos e de digerir a matriz orgânica (Granjeiro e Taga, 2005).

O cálcio (Ca) e o fósforo (P) são elementos essenciais envolvidos em muitos processos biológicos e desempenham papéis importantes no desenvolvimento e na mineralização dos ossos. São os elementos mais abundantes no corpo, com 99% e 80% de cálcio e fósforo, respectivamente, e são armazenados nos ossos em forma de cristais de hidroxiapatita (Underwood e Suttle, 1999; Standford, 2006). Já o magnésio (Mg) tem funções essenciais no metabolismo das células e no desenvolvimento ósseo, tendo suas ações intimamente ligadas ao cálcio e ao fósforo (Shastak e Rodehutsord, 2015). Considerando as relações destes elementos minerais, é importante reconhecer que grande percentagem de cálcio (Ca), fósforo (P) e magnésio (Mg) estão localizados nos ossos, bem como que esses elementos minerais podem ser mobilizados quando necessário para uso em eventos metabólicos do tecido corporal. O osso, portanto, serve como um grande reservatório destes elementos minerais (Jacobson et al., 1972; Henry e Benz, 1995).

2.2.1. Desenvolvimento ósseo (Ossificação)

A ossificação é um processo realizado pelos osteoblastos e pode ocorrer de duas diferentes formas: intramembranosa e endocondral. A ossificação intramembranosa ocorre a partir de um tecido mesenquimal vascularizado. Neste processo, as células mesenquimais se diferenciam em células osteoprogenitoras, que, por sua vez, diferenciam-se em osteoblastos que secretam matriz orgânica, chamada de osteóide. Este osteóide se calcifica formando tecido ósseo (Arroteia e Pereira, 2005).

A ossificação endocondral ocorre em tecido pouco vascularizado e, principalmente, em ossos longos. Na região em que haverá formação óssea no embrião, forma-se um molde de cartilagem hialina que será posteriormente substituído por tecido ósseo (Gartner e Hiatt, 2003). O processo de ossificação endocondral é uma forma eficiente de construir um novo osso ao longo de um modelo cartilaginoso pré-existente, bem como de permitir que ela cresça em comprimento. No entanto, a principal característica deste processo representa também a sua limitação, uma vez que ele não é capaz de moldar uma forma não previamente delimitada por cartilagem hialina, ou quando a placa de crescimento já retraiu (Sharir et al., 2011).

A ossificação e a diferenciação do disco epifisário começam durante o desenvolvimento embrionário e, nas aves com maior taxa de crescimento, ocorrem dias antes da eclosão e alguns dias pós-eclosão (Shim e Pesti, 2011).

Uma característica da ossificação endocondral é a organização espacial dos condrócitos dentro da placa de crescimento. Eles exibem uma série de estágios de maturação bem definidos, que se distinguem por alterações na taxa de proliferação e pela síntese das proteínas que formam a matriz extracelular. Estes acontecimentos conduzem a síntese de condrócitos hipertróficos de uma matriz à mineralização e consequente substituição por osso, através da ação de osteoclastos e osteoblastos (Farquharson e Jefferies, 2000).

Esses acontecimentos são compreendidos em cinco zonas de células cartilaginosas; zona de cartilagem em repouso (1), os condrocitos não se dividem, tendo ela como principal função manter o disco epifisário à epífise (Banks, 1992).

A zona de cartilagem em proliferação (2), que se constitui de um aglomerado de células progenitoras, é onde ocorre o alongamento do osso, através da adição de novos condrocitos que foram deslocados para baixo no processo de substituição óssea. Esses condrocitos produzidos morrem na zona hipertrófica, mantendo, assim, uma distância constante entre a zona em proliferação e metáfise (Van Der Eerden et al., 2003). Estas células hipertróficas e degeneradas concentram cálcio e fósforo nas suas periferias, em vesículas ricas em fosfato de cálcio amorfo, criando um ambiente rico em cálcio que é utilizado para compor a matriz orgânica (Suttle, 2010).

A zona de cartilagem seriada (3) é a região onde podem ser observadas várias características celulares, como o aumento progressivo do tamanho das células e a

disposição delas em colunas, além da intensa fase de síntese e secreção da matriz, onde também começa a aparecer a fosfatase alcalina.

Na zona de cartilagem hipertrófica (4), o tamanho dos condrocitos aumenta e a substância intercelular fica reduzida. A matriz cartilaginosa que separa as colunas de condrocitos se calcifica formando a zona de cartilagem calcificada (5) (Banks, 1992). Nesta zona, a hidroxiapatita acumula numa zona em torno da calcificação provisória, em que os condrocitos que sofreram apoptose são substituídos por uma matriz aparentemente desorganizada e, em grande parte, inorgânica de osso trabecular (Suttle, 2010).

A taxa de crescimento longitudinal do osso é controlada por fatores biomecânicos e mediadores de crescimento, que interagem para regular as atividades dos condrocitos da placa de crescimento. A proliferação de condrocitos, síntese e degradação da matriz, assim como as mudanças no tamanho dos condrocitos, são atividades essenciais muito bem coordenadas, a fim de propiciar alterações rápidas durante o crescimento ósseo (Farquharson e Jefferies, 2000).

O crescimento do osso em largura é realizado por meio da atividade das células osteoprogenitoras, presentes no periósteo, que se proliferam e diferenciam-se em osteoblastos. Essas células começam a secretar matriz óssea sobre a superfície do osso. Durante o crescimento, a atividade dos osteoblastos é acompanhada pela atividade dos osteoclastos, o que possibilita que o processo de remodelagem ocorra (Suttle, 2010).

Afonso-Torres et al. (2009), em pesquisa realizada com embriões de frangos de corte, provenientes de matrizes com idades diferentes, constataram que não houve interação significativa entre dias de incubação e idade da matriz em relação ao peso absoluto e relativo, ao diâmetro e ao comprimento dos ossos do fêmur e tibiotarso. Segundo os autores, o peso dos ossos acompanhou o crescimento do embrião, corroborando que matrizes mais velhas põem ovos mais pesados e, conseqüentemente, pintainhos maiores. Entretanto, os autores verificaram que o maior peso dos ossos em embriões provenientes de matrizes com idade avançada deveu-se a um maior diâmetro, ao invés do comprimento. Concluíram, assim, que ossos de maior diâmetro possuem uma maior resistência à quebra. Contudo, notaram, também, que esse efeito de maior crescimento relativo dos ossos de pintainho maiores é perdido ao longo do desenvolvimento da ave.

Yair et al. (2012) analisaram o fêmur e tibiotarso em frangos de corte do 14º dia de incubação até o 7º dia pós-eclosão e constataram um aumento no comprimento de 2,7 vezes nestes ossos. Desta forma o crescimento dos ossos, se relacionou ao crescimento do animal, se adaptando as modificações em suas propriedades morfológicas, resistindo ao rápido aumento de cargas aplicadas devido à rápida taxa de crescimento da musculatura esquelética. A massa muscular desempenha um potencial de força, sendo uma carga aplicada ao esqueleto, assumindo ser um estresse interno importante para os processos de modelação e remodelação óssea.

Applegate e Lilburn (2002), em estudo realizado com frangos de corte, apuraram diferenças entre os ossos tibiotarso e fêmur, a partir do nascimento. O valor relativo do comprimento do fêmur em relação ao peso vivo alcançou o valor máximo em 35 dias de idade, enquanto que o valor do tibiotarso continuou a aumentar ao longo do estudo. Diferenças na largura dos dois ossos em função do peso vivo não foram significativas durante o experimento. Os autores concluíram que o fêmur e o tibiotarso apresentam diferentes padrões de crescimento e desenvolvimento no período de abate comercial. Sugerem, ainda, que, em virtude da mineralização na região da diáfise do fêmur ter sido menor do que no tibiotarso, o fêmur pode ser a chave para anormalidades esqueléticas dos ossos longos durante o período de crescimento final em frangos de corte. Ainda assim, o fêmur não deve apenas responder a alterações relativas ao peso corporal, mas sim a mudanças na conformação, que influenciam a forma como a parte superior do corpo é apresentada ao eixo esquelético inferior.

Estudo realizado sobre o efeito da microgravidade simulada sobre a morfologia e composição no desenvolvimento do fêmur e tibiotarso, em codornas japonesas fêmeas, a partir de 3 a 56 dias de idade, demonstrou um efeito negativo sobre a maioria das características morfológicas dos ossos, como menor peso e comprimento, menores percentuais de cálcio, fósforo, e magnésio e menores valores de resistência a ruptura quando comparadas aos ossos do tratamento controle (Krobanek et al., 2005).

A maturidade óssea pode ser definida como a finalização do desenvolvimento estrutural e da mineralização, provendo o osso de resistência mecânica. A maturação é um processo que envolve muitos diferentes complexos moleculares e alterações bioquímicas nos ossos, que conduzem à realização das propriedades físicas e biomecânicas ideais. Em aves de crescimento rápido, o desenvolvimento e a maturidade

dos ossos não acompanham o ritmo de crescimento, gerando excesso de carga física e predispondo o osso à deformidade e fragilidade (Rath et al., 2000).

Para entender a relação entre o crescimento, a maturidade e a idade, Rath et al. (2000) compararam as alterações morfológicas, a composição e as propriedades mecânicas dos ossos de poedeiras entre 5 e 55 semanas de idade. Verificaram que parâmetros alométricos, biomecânicos e bioquímicos demonstraram resultados significativos. O peso, o comprimento e o diâmetro tiveram alcance máximo a 25 semanas de idade, enquanto que o teor de minerais, a densidade e a resistência à ruptura de ossos não atingiram o máximo até 35 semanas de idade. As alterações no teor de cinzas de osso foram pequenas, porém significativas entre 25 e 35 semanas de idade. Estes resultados indicam que o alcance da maturidade ou dos potenciais físicos e funcionais máximos do osso leva mais tempo do que o próprio processo de desenvolvimento e crescimento.

2.3. Curvas de Crescimento

Cada linhagem animal possui uma curva diferente de crescimento, a qual deve ser analisada em condições ideais ou não limitantes. Diferentes linhagens e sexos podem diferir em vários aspectos, como peso à maturidade, composição e taxas de deposição dos nutrientes corporais, de modo que esses aspectos afetam as características da curva de crescimento (Gous et al., 1999).

As curvas de crescimento podem ser classificadas como modelos dinâmicos, empíricos e determinísticos, ou seja, para uma determinada idade (t) é obtida apenas uma resposta, representada pelo peso médio esperado de uma linhagem para a idade (t) (Tholon e Queiroz, 2009).

Segundo Freitas (2005), existem várias aplicações das curvas de crescimento na produção animal, dentre elas, destacam-se: 1) resumir em três ou quatro parâmetros, as características de crescimento da população, pois alguns parâmetros dos modelos não-lineares utilizados possuem interpretação biológica; 2) avaliar o perfil de respostas de tratamentos ao longo tempo; 3) estudar as interações de respostas das sub-populações ou tratamentos com o tempo; 4) identificar em uma população os animais mais pesados em idades mais jovens.

As aplicações de equações não-lineares na curva de crescimento fornecem um conjunto de parâmetros que podem ser usados para descrever os padrões de crescimento ao longo do tempo (Al-Samarai, 2015), sendo capazes de prever as exigências nutricionais, determinando os efeitos de diferentes programas nutricionais e condições ambientais sobre o desempenho das mesmas (Gous et al., 1999). As curvas de crescimento são ajustadas por polinômios descritos por funções logarítmicas e podem ser divididas em três fases: a primeira, log positiva, a segunda, log negativa, e a terceira, estacionária. As duas primeiras definem o crescimento exponencial, sendo crescente e decrescente, respectivamente (Tholon e Queiroz, 2009).

Dentre os modelos não lineares utilizados para descrever curvas de crescimento, destacam-se os modelos: Logístico, Brody, Robertson, Richards, Bertalanffy e Gompertz, onde as diferenças estão na variação do parâmetro de inflexão (m). Este parâmetro determina a posição de inflexão da curva, também reflete o grau da curvatura sigmóide e estabelece a proporção do peso assintótico atingido no ponto de inflexão (Mignon-Grasteau e Beaumont, 2000).

Para utilização do modelo não linear, a escolha deve ser baseada na possibilidade de interpretação biológica dos parâmetros, qualidade do ajuste e as possíveis dificuldades computacionais (Fitzhugh Jr. e Taylor, 1976). A função de Gompertz é apropriada para descrever o crescimento das aves e também a deposição de nutrientes na carcaça, como forma de prever o crescimento e a deposição dos nutrientes, relacionando sempre o peso à idade (Marcato et al., 2008).

Segundo Fialho (1999), a diferença da curva de Gompertz entre os outros modelos propostos é que para Gompertz a massa corporal inicial é sempre maior que zero. Isto presume que o animal já nasce com algum peso. O peso corporal, parâmetro (P_m), propende a atingir um valor máximo após alcançado um tempo infinito, podendo ser excedido a partir dos reais. A curva de Gompertz sobrepõe em torno do ponto de inflexão, onde a taxa de crescimento é máxima, sendo o parâmetro t^* (idade) quando a taxa é máxima. O parâmetro B indica a taxa de crescimento relativo em g/dia por (g), no ponto onde o crescimento é máximo. Maiores valores de B , ao redor do ponto de inflexão, indicam aumento na taxa onde o crescimento máximo, acarretando um crescimento inicial e final mais lento. No entanto, menores valores de B estabelecem que o crescimento seja mais distribuído ao longo do tempo. A equação de Gompertz

(1825) e a derivada da equação de Gompertz segundo Fialho (1999) é expressa através do peso corporal em função da idade:

$$P_t = P_m \times \exp^{**}(-\exp^{**}(-B(t-t^*)))$$

$$TC = P_m \times B (\exp^{**}(-\exp^{**}(-B(t-t^*)))) \times (\exp(-b(t-t^*))).$$

Em que: P_t = peso (g) da ave ou parte da carcaça da ave ao tempo t , expresso em função do P_m ; P_m = peso (g) à maturidade do animal; b = taxa de maturidade (por dia); t^* = tempo (dias) em que a taxa de crescimento é máxima (ponto de inflexão); TC = taxa de crescimento (g/dia).

A coturnicultura tem representado importante segmento da produção animal, porém ainda não há um material genético selecionado como ocorre em outras aves de produção. Lotes mistos têm sido utilizados para a produção de carne, assim como aves de postura ao final do ciclo produtivo. A importância econômica das codornas europeias e japonesas justifica melhores estudos sobre seu crescimento. Sendo assim, dois experimentos foram desenvolvidos para avaliar o comportamento de variáveis ósseas e musculares em codornas europeias e japonesas.

2.4. Referências Bibliográficas

- Abreu, L. R. A.; Boari, C. A.; Pires, A. V.; Pinheiro, S. R. F.; Oliveira, R. G.; Oliveira, K. M.; Gonçalves, F. M.; Oliveira, F. R. 2014. Influência do sexo e idade de abate sobre rendimento de carcaça e qualidade da carne de codornas de corte. *Revista Brasileira de Saúde Produção Animal* 15:131-140.
- Alfonso-Torres, K. A.; Gargaglioni, L. H.; Pizauro, J. M.; Faria Filho, D. E.; Furlan, R. L.; Macari, M. 2009. Breeder age and bone development in broiler chicken embryos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecina* 61:219-226.
- Al-Samarai, F. R. 2015. Growth curve of commercial broiler as predicted by different nonlinear functions. *American Journal of Applied Scientific Research* 1:6-9.
- Applegate, T. J.; Lilburn, M. S. 2002. Growth of the femur and tibia of a commercial broiler line. *Poultry Science* 81:1289–1294.
- Arora, K. L.; Samples, O. 2011. Role of body weight on reproductive and physiological traits in Japanese quail layers (*Coturnix japonica*). *International Journal of Poultry Science* 10:640-643.
- Arrotéia, K. F. Pereira, L. A. V. 2005. Osteoblastos. p.34-67. In: Carvalho, H. F.; Collares-Buzato, C. B. *Células Uma abordagem multidisciplinar*. ed. Manole, Barueri-Sp.
- Banks, W. J. 1992. *Histologia Veterinária Aplicada*. 2^a ed. Manole, São Paulo-SP.
- Berri, C.; Wacrenier, N.; Millet, N.; Le Bihan-Duval, E. 2001. Effect of selection for improved body composition on muscle and meat characteristics of broilers from experimental and commercial lines. *Poultry Science* 80:833-838.
- Bertechini, A. G. 2010. Situação atual e perspectivas para a coturnicultura no Brasil. p.9-14. In: *Anais do 4º Simpósio Internacional de Coturnicultura*, Lavras.
- BirdLife International. 2015. The BirdLife checklist of the birds of the world. Available at: <<http://www.birdlife.org/datazone/userfiles/file/Species/Taxonomy/BirdLife>> Accessed on: Jan. 10, 2016.
- Boni, I.; Nurul, H.; Noryati, I. 2010. Comparison of meat quality characteristics between young and spent quails. *International Food Research Journal* 17:661-666.
- Breazile, J. E. 1996. *Fisiologia do Músculo Esquelético*. In: *Dukes Fisiologia dos animais domésticos*. 11^a ed. Guanabara Koogan S.A. Rio de Janeiro.
- Choi, Y. M.; Kim, B. C. 2009. Muscle fiber characteristics myofibrillar protein isoforms, and meat quality. *Livestock Science* 122:105-118.

- Choi, Y. M.; Sarah, D.; Shin, S.; Wick, M. P.; Kim, B. C.; Lee, K. 2013. Comparative growth performance in different Japanese quail lines. Part 1: The effect of muscle fiber DNA content and morphology. *Poultry Science* 92:1870–1877.
- Choi, Y. M.; Suh, Y.; Shim, S.; Lee, K. 2014. Skeletal muscle characterization of Japanese quail line selectively bred for lower body weight as an avian model of delayed muscle growth with hypoplasia. *Journal Plos One* 9(4).
- Christ, B.; Brand-Saberi, B. 2002. Limb muscle development. *International Journal of Developmental Biology* 46:905-914.
- Dransfield, E.; Sosnicki, A. A. 1999. Relationship between muscle growth and poultry meat quality. *Poultry Science* 78:743-746.
- Dubowitz, V.; Brooke, M. H. 1973. *Muscle biopsy: a modern approach*. Saunders. London.
- Farquharson, C.; Jefferies, D. 2000. Chondrocytes and longitudinal bone growth: the development of tibial dyschondroplasia. *Poultry Science* 79:994-1004.
- Fialho, F. B. 1999. Interpretação da curva de crescimento de Gompertz. Comunicado técnico 237. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia-SC.
- Fitzhugh Jr, H. A.; Taylor St, C. S. 1976. Genetic analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Science* 42:1036-1051.
- Fletcher, D. L. 1999. Broiler breast meat color variation, pH, and texture. *Poultry Science* 78:1323–1327.
- Freitas, A. R. 2005. Curvas de crescimento na produção animal. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34:786-795.
- Gartner, P. L.; Hiatt, J. L. 2003. *Tratado de Histologia em cores*. 2ª ed. Guanabara-Koogan. Rio de Janeiro.
- Genchev, A.; Ribarski, S.; Zhelyaskov, G. 2010. Physicochemical and technological properties of Japanese quail meat. *Trakia Journal of Sciences* 8:86-94.
- Gonzales, E.; Sartori, J. R. 2002. Crescimento e metabolismo muscular. p.279-297. In: *Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte*. 2ª ed. Funep, Jaboticabal.
- Gosnak, R.; Erzen, D. I.; Holcman, A.; Skorjanck, D. 2010. Effects of divergent selection for 8-week body weight on postnatal enzyme activity pattern of 3 fiber types in fast muscles of male broilers (*Gallus gallus domesticus*). *Journal of Poultry Science* 89:2651-2659.
- Gous, R. M.; Moran Jr., E. T.; Silborn, H. R.; Bradford, G. D.; Emmans, G. C. 1999. Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. *Poultry Science* 78:812–821.

- Granjeiro, J. M.; Taga, R. 2005. Osteoclastos. p.50-67. In: Células; uma abordagem multidisciplinar. ed Manole, Barueri-Sp.
- Grant, A. L.; Gerrard, D. E. 1998. Cellular and molecular approaches for altering muscle growth and development. *Canadian Journal of Animal Science* 78:493–502.
- Guyton, A. C.; Hall, J. E. 2002. Tratado de fisiologia médica. 10ª ed, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Hawke, T. J.; Garry, D. J. 2001. Myogenic satellite cells: physiology to molecular biology. *Journal applied physiology* 91:534-551.
- Henry, P. R.; Benz, S. A. 1995. Magnesium bioavailability. p.195-228. In: Bioavailability of nutrients for animals: Amino acids, minerals, and vitamins. Academic Press limited, London.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2013/ppm_2013.pdf 2015.
- Jacobson, D. R.; Hemken, R. W.; Button, F. W.; Hatton, R. H. 1972. Magnesium and Potassium Interrelationships. *Journal of Dairy Science* 55:935-944.
- Krobanek, P.; Baranovska, M.; Jurani, M.; Arnikova, B. 2005. Influence of simulated microgravity on leg bone development in japanese quail chicks. *Acta Veterinaria Brno* 74:475-481.
- Marcato, S. M.; Sakomura, N. K.; Fernandes, J. B. K.; Siqueira, J. C.; Dourado, L. R. B.; Freitas, E. R. 2010. Crescimento e deposição de nutrientes nos órgãos de frangos de corte de duas linhagens comerciais. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39:1082-1091.
- McKee, S. 2003. Muscle fiber types in broilers and their relationship to meat quality - Department of Poultry Science - Auburn University.
- Mignon-Gasteau, S.; Beaumont, C. 2000. Les courbes de croissance chez les oiseaux. *INRA, Production Animales* 13:337-348.
- Móri, C.; Garcia, E. A.; Pavan, A. C.; Piccinin, A.; Pizzolante, A. C. 2005. Desempenho e rendimento de carcaça de quatro grupos genéticos de codornas para produção de carne. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34:870-876.
- Murakami, A. E.; Garcia, E. R. M.; Souza, L. M. G. 2007. Composição e características organolépticas da carne de codornas. p.22-31. In: Anais do 3º Simpósio Internacional de Coturnicultura, Lavras.
- Narinc, D.; Aksoy, T.; Karaman, E.; Aygun, A.; Firat, M.Z.; Uslu, M. K. 2013. Japanese quail meat quality: Characteristics, heritabilities, and genetic correlations with some slaughter traits. *Poultry Science* 92:1735-1744.

- Narinc, D.; Karaman, E.; Aksoy, T. 2010. Estimation of genetic parameters for carcass traits in Japanese quail using Bayesian methods. *South African Journal of Animal Science* 9:501-507.
- Oliveira, N. T. E.; Escocard, C. P. S. 2010. Avaliação do peso corporal e de características de carcaça de machos de codornas japonesas por idade de abate. *Agrarian Dourados* 3:78-83.
- Pizauto Jr, J. M., 2002. Estrutura e função do tecido ósseo. p.247-266. In: *Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte*. 2^a ed. Funep, Jaboticabal.
- Qiao, M.; Fletcher, D. L.; Smith, D. P.; Northcutt, J. K. 2001. The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. *Poultry Science* 80:676-680.
- Rath, N. C.; Huff, G. R.; Huff, W. E.; Balog, J. M. 2000. Factors regulating bone maturity and strength in poultry. *Poultry Science* 7:1024-1032.
- Rehfeldt, C.; Te Pas, M. F. W.; Wimmers, K.; Brameld, J. M.; Nissen, P. M.; Berri, C.; Valente, L. M. P.; Power, D. M.; Picard, B.; Stickland, N. C.; Oksbjerg, N. 2010. Advances in research on the prenatal development of skeletal muscle in animals in relation to the quality of muscle-based food. I. Regulation of myogenesis and environmental impact. *Animal* 5:703-717.
- Rosser, B. W. C.; Wick, M.; Waldbiling, D. M.; Wright, D. J.; Farar, C. M.; Bandman, E. 1998. Expression of myosin heavy chain isoforms during development of domestic pigeon pectoralis muscle. *International Journal of Developmental Biology* 42:653-661.
- Scheuermann, G. N.; Bilgili, S. F.; Tuzun, S.; Mulvaney, D. R. 2004. Comparison of chicken genotypes: Myofiber number in pectoralis muscle and myostatin ontogeny. *Poultry Science* 83:1404-1412.
- Sharir, A.; Stern, T.; Rot, R.; Shahar, R.; Zelzer, E. 2011. Muscle force regulates bone shaping for optimal load-bearing capacity during embryogenesis. *Development* 138:3247-3259.
- Shastak, Y.; Rodehutsord, M. 2015. A review of the role of magnesium in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal* 71:125-138.
- Shim, M. Y.; Pesti, G. M. 2011. Effects of incubation temperature on the bone development of broilers. *Poultry Science* 90:1867-1877.
- Silva, M. D. P.; Dal Pai, V.; Carvalho, R. F. 2005. Célula Muscular estriada esquelética. p.83-94. In: *Células: Uma abordagem multidisciplinar*: Ed. Manole, Barueri.
- Silva, J. H. V.; Jordão Filho, J.; Costa, F. G. P.; Lacerda, P. B.; Vargas, D. G. V.; Lima, M. R. 2012. Exigências nutricionais de codornas. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 13:775-790.

- Silva, M. D. P.; Carvalho, R. F. 2007. Mecanismos celulares e moleculares que controlam o desenvolvimento e crescimento celular. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36:21-31.
- Sklan, D. D.; Heifetz, S.; Halevy, O. 2003. Heavier chicks at hatch improves marketing body weight by enhancing skeletal muscle growth. *Poultry Science* 82:1778-1786.
- Standford, M. 2006. Calcium metabolism. p. 141–151. In: *Clinical avian medicine*. Ed Spix Publishing, Palm Beach, FL.
- Suttle, N. F. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*, 4th Edition.
- Tesseraud, S.; Chagneau, A. M.; Grizard, J. 2000. Muscle protein turnover early development in chickens divergently selected for growth rate. *Poultry Science* 79:1465-1471.
- Tholon, P.; Queiroz, S. A. 2009. Modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento em aves, aplicados ao melhoramento genético animal. *Ciência Rural* 39:2261-2269.
- Underwood, E. D.; Suttle, N. F. 1999. Calcium. p.67-104. In: *Mineral nutrition of livestock*. CAB international, Washington.
- Van Laack, R. L. J. M.; Liu, C. H.; Smith, M. O.; Loveday, H. D. 2000. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poultry Science* 79:1057-1061.
- Velleman, S. G. 2001. Role of the extracellular matrix in muscle growth and development. *Journal of Animal Science* 80:8-13.
- Velleman, S. G. 2007. Muscle development in the embryo and hatchling. *Poultry Science* 86:1050-1054.
- Welch Jr., W. C.; Altshuler, D. L. 2009. Fiber type homogeneity of the flight musculature in small birds. *Comparative Biochemistry and Physiology* 152:324-331.
- Wessel, T. V.; Haan, A.; Laarse, W. J. V.; Jaspers, R. T. 2010. The muscle fiber type–fiber size paradox: hypertrophy or oxidative metabolism. *European Journal of Applied Physiology* 110:665-694.
- Yair, R.; Uni, Z.; Shahar, R. 2012. Bone characteristics of late-term embryonic and hatchling broilers: Bone development under extreme growth rate. *Poultry Science* 91:2614-2620.

III. OBJETIVOS GERAIS

Estudar o desenvolvimento e crescimento dos músculos do peito e dos ossos longos do membro pélvico em codornas europeias e japonesas.

3.1. Objetivos Específicos

Experimento I:

- Estudar o desenvolvimento do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide em codornas europeias e japonesas através das variáveis peso vivo, peso do peito, peso dos músculos em codornas europeias e japonesas, dos 13 dias de incubação aos 35 dias de vida.
- Ajustar as curvas de crescimento através das equações de Gompertz do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide ao longo da idade.
- Determinar as taxas de crescimento do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide através das curvas de Gompertz ao longo da idade.
- Classificar as fibras musculares através da técnica histoquímica de NADH-TR, determinar sua quantidade, frequência e diâmetro nos músculos peitoral e supracoracoide em codornas europeias e japonesas, dos 7 aos 35 dias.
- Avaliar a qualidade da carne do peito por meio de análise da capacidade de retenção de água, pH e colorimetria aos 35 dias em codornas europeias e japonesas.

Experimento II:

- Avaliar o crescimento do fêmur, tibiotarso e tarsometatarso através da equação de Gompertz para o peso, comprimento, índice de Seedor, volume, espessura da diáfise e diâmetro da diáfise dos 13 dias de incubação até os 35 dias pós-eclosão em codornas europeias e japonesas;
- Ajustar as curvas de crescimento para peso, comprimento, índice de Seedor, volume, espessura da diáfise, diâmetro da diáfise e matéria mineral do fêmur, tibiotarso e tarsometatarso ao longo da idade;
- Definir as taxas de crescimento do peso, comprimento, Índice de Seedor, volume, espessura da diáfise, diâmetro da diáfise e matéria mineral do fêmur, tibiotarso e tarsometatarso ao longo da idade através das curvas de Gompertz ao longo da idade;
- Determinar a densidade mineral na escala Hounsfield, resistência óssea, área de secção transversal e a espessura da cartilagem epifisária do fêmur, tibiotarso e tarsometatarso em codornas europeias e japonesas;
- Estimar a porcentagem de cálcio, de fósforo e de magnésio no tibiotarso de codornas europeias e japonesas.

IV. Desenvolvimento morfológico dos músculos do peito em codornas europeias e japonesas

RESUMO: Objetivou-se avaliar o crescimento e as taxas de crescimento do peito e dos seus músculos, bem como seu desenvolvimento morfológico e a qualidade da carne em codornas europeias e japonesas do final da incubação até o 35º dia pós-eclosão. Foram utilizados embriões com 13 e 15 dias de incubação, pintinhos na eclosão e codornas com 4, 7, 10, 14, 21, 28 e 35 dias (n=60). A qualidade da carne foi avaliada aos 35 dias em machos e fêmeas (n=30), europeias e japonesas. As variáveis das codornas europeias e japonesas foram avaliadas através da equação de Gompertz. As codornas europeias foram mais precoces, em relação às japonesas, com taxa de crescimento máxima aos 16 e 19 dias, respectivamente. No entanto, em relação ao crescimento muscular, ambos os tipos de codornas mostraram taxa máxima de crescimento do peito aos 21 dias. O músculo supracoracoide apresentou maior taxa de crescimento em relação ao músculo peitoral, embora o músculo peitoral tenha representado maior parte do peso do peito. O diâmetro das fibras musculares do tipo IIa e IIb, classificadas através do NADH-TR, dos músculos peitoral e supracoracoide de ambas as codornas aumentaram ao longo dos dias de crescimento, demonstrando que os maiores aumentos foram das fibras pertencentes ao músculo peitoral. A frequência das fibras do tipo IIa e IIb, nos músculos peitoral e supracoracoide, diferiram entre as codornas, apresentando comportamento quadrático crescente, em função da idade. A quantidade de fibras do tipo IIb do músculo supracoracoide apresentou interação entre o tipo e a idade, com comportamento quadrático decrescente. Codornas europeias apresentaram maior valor para peso relativo do peito e maior valor de L* (índice de luminosidade). As codornas japonesas apresentaram maior valor para a* (intensidade de vermelho), caracterizando músculos mais escuros. Quanto ao sexo, codornas machos apresentaram maior valor de b* (intensidade de amarelo). Para pH e capacidade de retenção de água dos músculos do peito não houve efeito significativo de sexo ou tipo de codornas.

Palavras chave: *Coturnix*, crescimento, Gompertz, músculo, NADH-TR.

IV. Morphological development of the breast muscles in European and Japanese quails

ABSTRACT: The objective was to evaluate the growth and breast growth rates and its muscles, the morphological development and the quality of meat in European and Japanese quails at the end of the incubation until the 35th day after hatching. Embryos with 13 and 15 days of incubation of quail chicks at hatch and at 4, 7, 10, 14, 21, 28 and 35 days (n = 60) were used. The meat quality was evaluated at 35 days for male and female (n = 30), European and Japanese quails. The variables of European and Japanese quails were evaluated by Gompertz equation. The European quails were precocious in relation to Japanese, with maximum growth rate at 16 and 19 days, respectively. However, regarding muscle growth, both types of quails showed maximum growth rate to the breast at day 21. The supracoracoideus muscle showed higher growth rate compared to the pectoral muscle, although the pectoral muscle has represented most of the breast weight. The diameter of muscle fiber type IIa and IIb, classified with the NADH-TR technique, of the pectoral muscles and supracoracoideus in both quails increased over the days of age, showing that the largest increases were the fibers belonging to the pectoral muscle. The frequency of muscle fiber type IIa and IIb of the pectoral and supracoracoideus muscles differed between the quails increasing with quadratic behavior, depending on age. The amount of muscle fibers type IIb in supracoracoideus muscle showed interaction between the type and days of age, with decreasing quadratic behavior. European quails had higher relative breast weight and higher L* (lightness index). Japanese quails showed higher value for a* (red intensity), featuring darker muscles. Regarding gender, male quails showed higher value of b* (yellow intensity). For pH and water retention capacity of the chest muscles there was no significant effect of sex or type of quails.

Key Words: *Coturnix*, growth, Gompertz, muscle, NADH-TR.

Introdução

A coturnicultura tem se tornado cada vez mais uma atividade de interesse econômico no país, que ostenta a posição de quinto maior produtor de codornas e o segundo em produção de ovos do mundo (IBGE, 2015). Nos criatórios comerciais, são utilizados dois tipos de codornas, a japonesa (*Coturnix coturnix japonica*), de origem asiática, que possui aptidão para produção de ovos, e a europeia (*Coturnix coturnix coturnix*), destinada para produção de ovos e carne (Bertechini, 2012). Em muitos países do Extremo Oriente e da Ásia, as codornas japonesas são utilizadas tanto para a produção de carne quanto para produção de ovos (Narinc, 2010). No Brasil, as codornas japonesas, que são destinadas para a produção de carne, são usualmente machos que foram erroneamente sexados e fêmeas em final de postura (Oliveira et al., 2005). No entanto, esta prática ocupa uma posição importante na produção comercial, sendo comum esta oferta para atender a demanda de mercados consumidores (Oliveira e Escocard, 2010).

As codornas europeias e japonesas diferem em muitos aspectos, como no peso à maturidade, na taxa de crescimento, na composição corporal e nas taxas de deposição de nutrientes. Essas variáveis alteram as características da curva de crescimento em condições normais (Gous et al., 1999), levando as aves a expressarem seus diferentes fenótipos. Segundo Tesseraud et al. (2000), a maior taxa de crescimento muscular depende mais de uma diminuição da degradação das proteínas do que um aumento na síntese proteica.

Nos músculos das aves, assim como nos mamíferos, podem ser encontrados três tipos básicos de fibras musculares, que são classificadas de acordo com suas

características metabólicas e contráteis: fibras do tipo I, de contração lenta e metabolismo oxidativo; fibras do tipo IIa, de contração rápida e metabolismo oxidativo e glicolítico e fibras do tipo IIb, de contração rápida e metabolismo glicolítico (Banks, 1992).

O peito das codornas é composto pelos músculos peitoral e supracoracoide, que são compostos pelas fibras musculares dos tipos IIa e IIb (Choi e Kim, 2009). Em codornas japonesas, selecionadas para ganho de peso, a proporção de fibras do tipo IIa e IIb é de 43,6 e 56,6%, respectivamente, e, em codornas japonesas não selecionadas, a proporção é de 79,7 e 20,03 % para fibras do tipo IIa e IIb respectivamente no músculo peitoral (Choi et al., 2013). Em patos o músculo peitoral é composto também por fibras do tipo IIa e IIb em proporções de 73,3 e 26,7 % respectivamente. Já em frangos de corte, o músculo peitoral é composto totalmente por fibras do tipo IIb (Musfiroh et al., 2013).

O peito das aves é considerado, na maioria dos mercados consumidores, como corte de maior valor agregado, estando diretamente relacionado ao peso de abate (Sakomura et al., 2011). Diante disso o perfil glicolítico/oxidativo dos músculos que compõem o peito pode acarretar diferenças nas características da carne como pH, cor e capacidade de retenção de água (CRA) (Dransfield e Sosnicki, 1999). Desta forma objetivou-se descrever as curvas de crescimento, através das equações de Gompertz, de codornas europeias e japonesas para peso vivo, assim como descrever o crescimento dos músculos peitoral e supracoracoide, além de determinar a frequência das fibras do tipo IIa e IIb dos músculos peitoral e supracoracoide e também a relação na qualidade da carne em codornas europeias e japonesas, machos e fêmeas aos 35 dias de idade.

Material e Métodos

Aves e delineamento experimental

O experimento foi realizado no Setor de Avicultura da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e foi aprovado pelo CEUA - Comissão de Ética para uso de animais da Universidade Estadual de Maringá, registro N° 1237250914. Foram coletados ovos férteis de matrizes de codornas europeias e japonesas, no período da tarde em três dias consecutivos e armazenados em sala refrigerada a 21°C.

Os ovos foram pesados individualmente e selecionados para incubação, descartando ovos trincados, sujos, com formato irregular ou sem cor e selecionados por peso a 5% da média obtida de 11,80 g para codornas europeias e 9,79 g para codornas japonesas. Os ovos foram incubados em incubadora automática industrial com 60% de umidade e 37,4°C, com viragem automática. Decorridas 348 horas de incubação, os ovos foram transferidos para a câmara de eclosão, com uma temperatura de 37,0°C e umidade de 70%.

Após a eclosão, os pintainhos foram alojados em três unidades experimentais de (2,80 x 1,40m) de 50 codornas. Água e ração foram fornecidas à vontade e o programa de alimentação foi dividido em duas fases: a inicial de 1 a 21 dias de idade (2,900 Kcal/Kg EM; 25,00% PB) e a de crescimento, de 22 a 35 dias de idade (3,050 Kcal/Kg EM; 21,00% PB), segundo Silva e Costa (2009) e Rostagno et al. (2011) a base de milho e farinha de soja. O desempenho zootécnico foi monitorado semanalmente com o intuito de manter a normalidade dos animais. Foram utilizadas campânulas a gás como fonte de aquecimento durante os 10 primeiros dias. Foi adotado um programa contínuo

de luz durante os primeiros dez dias e, o restante do período experimental, com 23 horas de luz/dia.

Para as análises de peso vivo e morfométricas dos músculos peitoral e supracoracoide foram utilizados embriões nos períodos de 312 horas (13 dias), 360 horas (15 dias) e 420 horas (eclosão) e codornas nos períodos de 4, 7, 10, 14, 21, 28 e 35 dias. Durante a incubação, tanto para codornas europeias quanto para japonesas, foram retirados seis ovos das incubadoras, os quais foram quebrados e os embriões sacrificados por deslocamento cervical. Os embriões foram pesados e os músculos do peito dissecados e pesados. Nos pintainhos e nas codornas, as aves foram anestesiadas com tiopental sódico (10mg/kg) associado à lidocaína por meio de injeção intraperitoneal e, depois de comprovada a anestesia por imobilidade e ausência de reação a estímulos palpebral e corneal, foram sacrificadas por deslocamento cervical. As aves foram pesadas e os músculos peitoral e supracoracoide foram dissecados e pesados. Os pesos relativos (rel) ou percentuais dos músculos peitoral e supracoracoide foram calculados a partir do peso do músculo dissecado (sem osso) dividido pelo peso vivo das aves multiplicado por 100 ($\text{peso rel (\%)} = (\text{peso músculo}/\text{peso da ave}) \times 100$).

Caracterização dos tipos de fibras musculares

Para as análises histológicas, amostras do músculo peitoral foram coletadas a partir do 7º dia pós-eclosão e do músculo supracoracoide a partir do 14º dia pós-eclosão. Os fragmentos musculares foram dissecados por meio de um corte transversal perpendicular à orientação das fibras tanto no músculo peitoral (7, 10, 14, 21, 28, 35 dias) quanto músculo supracoracoide (14, 21, 28, 35 dias) segundo Scheuermann et al. (2004), na porção média do músculo.

As amostras foram imediatamente congeladas em n-Hexana, previamente resfriada a -70 °C em nitrogênio líquido (Chayen et al., 1969) e acondicionadas em nitrogênio líquido. Os fragmentos musculares congelados foram cortados em micrótomo criostato a -26 °C com 10 micrômetros de espessura, orientados no sentido transversal das fibras musculares. Para verificação da qualidade das amostras e do método de congelamento, os cortes foram corados em hematoxilina e eosina (HE). Para a identificação e classificação dos tipos de fibras musculares, os cortes foram submetidos à pela técnica histoquímica de Nicotinamida adenina dinucleotídio-Tetrazólio Redutase (NADH-TR), utilizada para avaliação do metabolismo oxidativo-glicolítico (Dubowitz e Brooke 1973). As fibras foram classificadas em IIa (*rápida/oxidativa/glicolítica*) e IIb (*rápida/glicolítica*). Para a contagem das fibras, estabelecimento das frequências (%) aos 35 dias e obtenção do menor diâmetro dos tipos de fibras, 10 imagens digitais foram obtidas em cada ave em diferentes cortes. Cada imagem representou a área de 0,59 mm². Todas as células presentes foram contadas desprezando as que estavam em contato com as bordas direita e inferior. As imagens foram capturadas através de microscópio óptico com câmera acoplada utilizando-se o software de medidas Motic®.

Qualidade da carne

Para análise da qualidade de carne, foram utilizadas 30 codornas europeias e 30 codornas japonesas, sendo 15 machos e 15 fêmeas com 35 dias de vida. As aves foram submetidas a seis horas de jejum para completo esvaziamento do conteúdo do trato gastrointestinal, recebendo somente água à vontade. As aves foram sacrificadas por deslocamento cervical e, depois, feito o sangramento. Posteriormente, a pele foi retirada

com as penas, sem contato com água. Em seguida o peito foi dissecado para as análises de pH, capacidade de retenção de água (CRA) e cor.

A análise da capacidade de retenção de água (CRA) foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Nakamura e Katok (1985). Logo após abate, um fragmento do músculo peitoral esquerdo de 1g foi embrulhado em papel filtro e centrifugado a 1500 rpm, durante quatro minutos. As amostras foram pesadas após a centrifugação e secas em estufa a 70°C por 12 horas. Após este período, as amostras secas foram novamente pesadas. O cálculo para determinar a CRA em porcentagem foi obtido pela diferença do peso da amostra de carne após centrifugação e o peso da amostra após secagem, sendo essa diferença dividida pelo peso inicial da amostra crua e posteriormente multiplicada por 100.

A determinação do pH foi realizada diretamente no músculo peitoral esquerdo das aves, com auxílio de um pHmetro TESTO®, 15 minutos *post-mortem* e 24 horas após o abate, onde foram mantidas refrigeradas a 4°C. O ponto de incisão do eletrodo foi aferido na porção média da parte interna do músculo peitoral.

A avaliação da coloração da carne do peito foi determinada utilizando-se colorímetro da marca KONICA MINOLTA® modelo CR300. Foram avaliadas as características L* (luminosidade - nível de escuro a claro), a* (intensidade de vermelho/verde) e b* (intensidade de amarelo/azul), com três repetições por ponto, em três diferentes regiões da parte externa do músculo peitoral (superior, médio e inferior) aos 15 min *post mortem*, de acordo com a metodologia proposta por Honikel (1998).

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise estatística utilizando-se o programa *Statistical Analysis System* (SAS, 2001). Os dados foram analisados por análise de variância e as médias foram testadas pelo teste Tukey a 5% de significância. Foi realizada análise de regressão em função do tempo (dias) e determinadas as diferenças entre os tipos de codornas, com nível de 5% de significância, através de modelos lineares generalizados. Os dados que não apresentaram distribuição normal, como a frequência das fibras musculares, foram analisados pelo PROC GENMOD do SAS (2001), utilizando-se distribuição binomial, com função de ligação LOGIT, sendo $\text{LOGIT} = \exp(\beta) / 1 + \exp(\beta)$.

A partir das estimativas de peso dos músculos, observadas nos tipos de codornas, foram elaboradas as curvas de crescimento, utilizando a equação de Gompertz (Gompertz, 1825), segundo Fialho (1999), conforme abaixo:

$$P_t = P_m \cdot \exp^{**}(-\exp^{**}(-b(t-t^*))),$$

Em que: P_t = peso (g) da ave ou parte da carcaça da ave ao tempo t , expresso em função do P_m ; P_m = peso (g) à maturidade do animal; b = taxa de maturidade (por dia); t^* = tempo (dias) em que a taxa de crescimento é máxima (ponto de inflexão). Os modelos foram ajustados para descrever o peso da ave, do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide (g). Foram ajustados oito modelos de desenvolvimento para codornas europeias e japonesas para avaliar as diferenças dos parâmetros das curvas de crescimento. O primeiro modelo utilizado foi completo, sem nenhuma alteração dos parâmetros das curvas (M_1). Os modelos (M_2), (M_3) e (M_4) apresentaram diferenças em apenas um parâmetro, sendo eles o t^* , B e o P_m respectivamente. Os modelos (M_5), (M_6) e (M_7) apresentaram diferenças em dois parâmetros sendo P_m e B , P_m e t^* e B e t^* , respectivamente. O modelo (M_8) apresentou igualdade em todos os parâmetros P_m ,

B e t^* . A escolha do melhor modelo foi através do teste da razão de verossimilhança com aproximação pela estatística qui-quadrado, proposto por Regazzi e Silva (2004).

As taxas de crescimento (g/dia) foram calculadas por meio da derivada da equação de Gompertz (Fialho, 1999). As equações de Gompertz usadas para descrever o crescimento tiveram seus dados ajustados separadamente para linhagem, utilizando o pacote estatístico computacional SAS (2001). Para as variáveis analisadas desde a incubação, os dias pós-eclosão foram considerados como sequenciais e assim o primeiro dia pós-eclosão foi considerado como dia 18 e o dia 35 como 52. Os valores dos parâmetros foram convertidos para dias reais pós-eclosão.

Resultados

O crescimento das codornas europeias e japonesas foi descrito do 13^o dia de incubação até o 35^o dia pós-eclosão. Durante esse período, foram acompanhados o peso das aves, do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide, assim como o peso relativo dos mesmos. A partir do 7^o dia pós-eclosão, foi possível separar os músculos peitoral e supracoracoide e foram determinados o peso, o peso relativo, a quantidade, o diâmetro e a frequência (análise apenas aos 35 dias) das fibras musculares dos tipos IIa e IIb nos mesmos. Na idade de abate, aos 35 dias, as aves foram sexadas e os músculo do peito foram avaliados quanto ao peso e peso relativo, quantidade, diâmetro e frequência das fibras musculares, assim como alguns parâmetros da qualidade da carne, como pH, capacidade de retenção de água (CRA) e colorimetria em função dos sexos da aves.

Para determinar as curvas de crescimento foram utilizadas as equações de Gompertz. As variáveis de peso vivo e peso do peito e dos músculos peitoral e

supracoracoide se ajustaram às equações propostas, utilizando o modelo (M₇), no qual os valores de peso à maturidade (Pm), em gramas, foram distintos entre as codornas europeias e japonesas e a taxa de crescimento (B) e o tempo (t*), em dias, foram os mesmos (Tabela 1 e Figura 1). Para as variáveis estudadas, as codornas europeias e japonesas diferiram, sendo que as codornas europeias apresentaram valores maiores em todas as variáveis.

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros da equação de Gompertz para o peso da ave, peso do peito, peso do músculo peitoral e peso do músculo supracoracoide de codornas europeias e japonesas.

	Modelo	Pm (g)		B		t* (dias)	
		Eur.	Jap.	Eur.	Jap.	Eur.	Jap.
Ave (g)	M ₇	275,5	147,1	0,07	0,07	34,9(17,9d) ¹	34,9(17,9d) ¹
Peito (g)	M ₇	66,73	31,13	0,07	0,07	39,2(22,2d)	39,2(22,2d)
M. peitoral (g)	M ₇	54,14	25,66	0,06	0,06	23,55	23,55
M. supracoracoide (g)	M ₇	15,92	8,02	0,08	0,08	21,44	21,44

Pm = Valores a maturidade; B = Taxa de maturidade; t* = Tempo em que a taxa de crescimento é máxima, ¹(dias reais pós-eclosão)

O músculo supracoracoide representou 25% do peso do peito e a sua taxa de maturidade foi aproximadamente 25% maior que a do músculo peitoral, com dois dias a menos para alcançar à maior taxa de crescimento. Já o músculo peitoral representou aproximadamente 75% do peso do peito. A taxa de maturidade do músculo peitoral foi 33% menor que a do músculo supracoracoide, com dois dias a mais para alcançar a maior taxa de crescimento.

O músculo supracoracoide apresentou maior taxa de crescimento em relação ao músculo peitoral, indicando maior precocidade, tanto em codornas europeias, quanto em

japonesas (Figura 1). O músculo peitoral representou maior peso em relação ao peso do peito, apresentando desenvolvimento mais tardio.

Através da derivação das equações de Gompertz, segundo Fialho (1999), para as mesmas variáveis, foram obtidas as taxas de crescimento, em (g) por dia, de acordo com a idade das codornas (Figura 1). As codornas europeias e japonesas apresentaram taxa máxima de crescimento aos 18 dias de idade com 6,85 e 3,66 g/dia respectivamente. Do momento em que a taxa de crescimento foi máxima até os 35 dias de idade, as codornas japonesas e europeias apresentaram redução na taxa de crescimento de 40 e 36,9%.

Em relação ao crescimento do músculo peitoral, a taxa de crescimento para as codornas europeias e japonesas ocorreu aos 23 dias pós-eclosão e, em relação aos 35 dias, tanto as codornas europeias quanto as japonesas, apresentaram uma redução da deposição proteica no músculo de 17%. Já no músculo supracoracoide a taxa de crescimento para as codornas europeias e japonesas também ocorreu aos 21 dias pós-eclosão e em relação aos 35 dias tanto as codornas europeias quanto as japonesas apresentaram uma redução da deposição proteica no músculo de 32%.

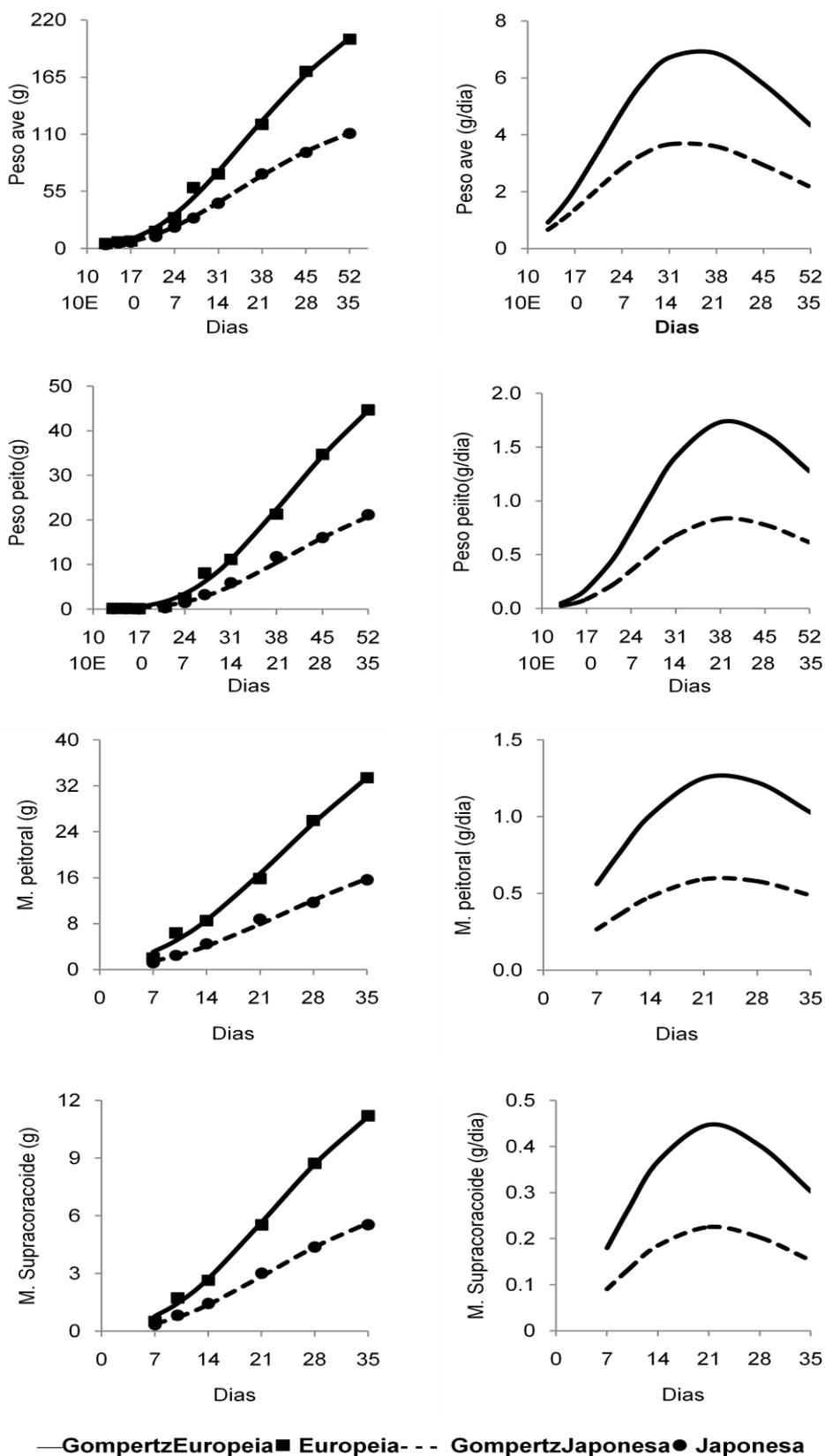


Figura 1. Curva de crescimento e taxa de crescimento da ave e do peito segundo as estimativas e derivadas da equação de Gompertz.

As variáveis que não se ajustaram nas equações de Gompertz, peso relativo do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide, diâmetro e quantidade das fibras do tipo IIa e IIb dos músculos peitoral e supracoracoide, foram analisadas através de ANOVA e da análise de regressão (Tabela 2) e aquelas que apresentaram interações estão representadas na Figura 3. O peso relativo do peito apresentou interação cúbica entre os tipos de codornas e os dias ($P < 0,05$), sendo que as codornas europeias apresentaram peso relativo do peito maior (22%) que as codornas japonesas (19%).

Nos cortes histológicos transversais das amostras dos músculos peitoral e supracoracoide, das codornas europeias e japonesas, submetidos à reação NADH-TR, foram identificados dois tipos de fibras: IIa e IIb. As fibras do tipo IIa mostraram intensa reação em relação às fibras do tipo IIb, com coloração escura, caracterizada pelas altas concentrações da enzima mitocondrial NADH-TR. As fibras do tipo IIb mostraram fraca reação, em relação às fibras do tipo IIa, com coloração clara caracterizada pelas baixas concentrações da enzima mitocondrial NADH-TR.

Foram observadas fibras de menor diâmetro (IIa) e de maior capacidade oxidativa localizaram-se no centro dos feixes musculares e as fibras de maior diâmetro (IIb) e menor capacidade oxidativa na periferia dos feixes musculares. Esse comportamento foi similar para ambos os tipos de codornas e músculos (Figuras 2 e 3). As fibras do tipo IIa do músculo peitoral apresentaram interação entre os tipos e os dias para a variável diâmetro ($P < 0,05$) com comportamento cúbico (Tabela 2). O diâmetro das fibras do tipo IIa, observado em codornas europeias e japonesas, aumentou em 3,01 e 2,81 vezes, respectivamente aos 35 dias pós-eclosão em relação ao 7º dia e o maior aumento no diâmetro das fibras foram entre os dias 21 aos 28 dias para codornas europeias e japonesas (Figura 4).

Houve interação entre os tipos de codorna e os dias para a variável diâmetro das fibras do tipo IIa e IIb do músculo supracoracoide ($P < 0,05$). As duas variáveis apresentaram comportamento significativo, quadrático crescente. Em relação às fibras do tipo IIa observou-se que em codornas europeias e japonesas o aumento do diâmetro em relação aos 14 dias foi de 1,69 e 1,59 vezes, respectivamente. Entretanto, as médias do diâmetro observadas para as codornas europeias para os dias 14 e 21 foram de 16,04 e 16,75 μm , demonstrando que a partir do 21º dia pós-eclosão o crescimento foi intenso. Em codornas japonesas, as médias dos diâmetros observados demonstraram que o crescimento foi acelerado a partir do 14º dia até o 28º dia pós-eclosão onde foram observadas médias de 20,01 e 21,86 μm , para o 28º e 35º dia. O diâmetro das fibras do tipo IIb aumentaram 1,66 e 1,47 vezes do 14º até o 35º dia em codornas europeias e japonesas, respectivamente (Figura 4).

Em comparação às fibras do tipo IIa e IIb dos músculos peitoral e supracoracoide de codornas europeias e japonesas, observou-se que as fibras do músculo supracoracoide foram maiores em diâmetro em todas as idades, quando comparadas as fibras do músculo peitoral. Em codornas europeias as fibras do tipo IIa do músculo supracoracoide foram 1,17 vezes maiores que as mesmas fibras no músculo peitoral aos 35 dias de idade. Em codornas japonesas esse valor foi de 1,15 vezes (Figura 4).

As fibras do tipo IIb do músculo supracoracoide em codornas europeias apresentaram diâmetro de 1,29 vezes maior que as mesmas fibras no músculo peitoral. Em relação às codornas japonesas, as fibras do tipo IIb do músculo supracoracoide apresentaram 1,21 maior diâmetro que as mesmas fibras no músculo peitoral (Figura 4).

Em relação à quantidade de fibras por área, houve interação para entre os tipos e os dias para as fibras do tipo IIb do músculo supracoracoide ($P < 0,05$). O comportamento observado foi quadrático decrescente.

A variável diâmetro das fibras do tipo IIb do músculo peitoral apresentou efeito isolado para os dias ($P < 0,05$) com comportamento linear, sendo que do 7º para 35º dia as fibras aumentaram 2,35 e 2,04 vezes nas codornas europeias e japonesas, respectivamente. Para a quantidade de fibras musculares, observou-se efeito isolado em relação aos dias para as fibras do tipo IIa e IIb do músculo peitoral e do tipo IIa do músculo supracoracoide ($P < 0,05$). Foram observados comportamentos quadráticos decrescente para quantidade de fibras do músculo peitoral e linear decrescente para as fibras do tipo IIb do músculo supracoracoide. Nas codornas europeias como nas japonesas a quantidade de fibras musculares diminui em relação aos dias em virtude do aumento do diâmetro.

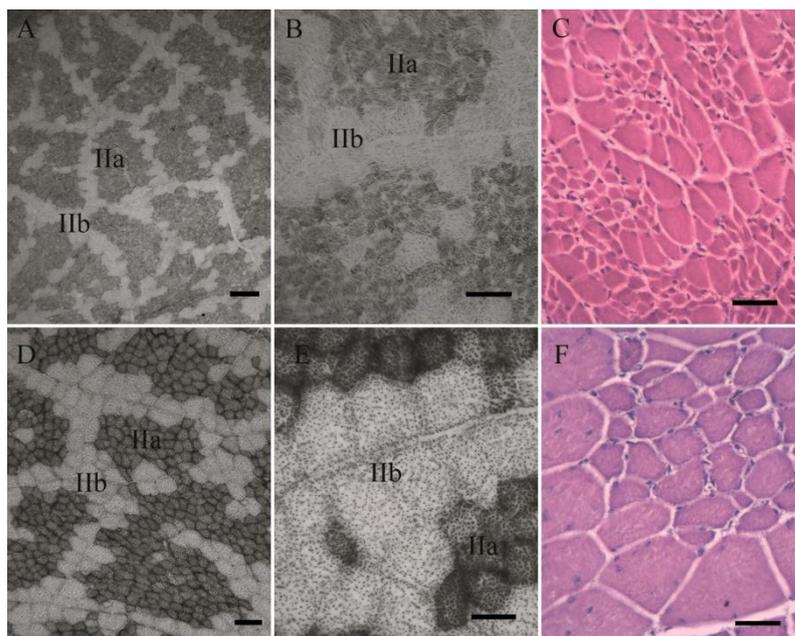


Figura 2. Cortes histológicos transversais ao comprimento das fibras musculares do músculo peitoral em codornas europeias aos 7(A-C) e 35(D-F) dias. Notar a diferença no diâmetro das fibras IIa e IIb e a disposição destas nos feixes musculares, com as fibras IIa centrais. Histoquímica de NADH-TR (A, B; D, E), HE (C, F). Barra B-C, E-F=30 um, A, D= 60um.

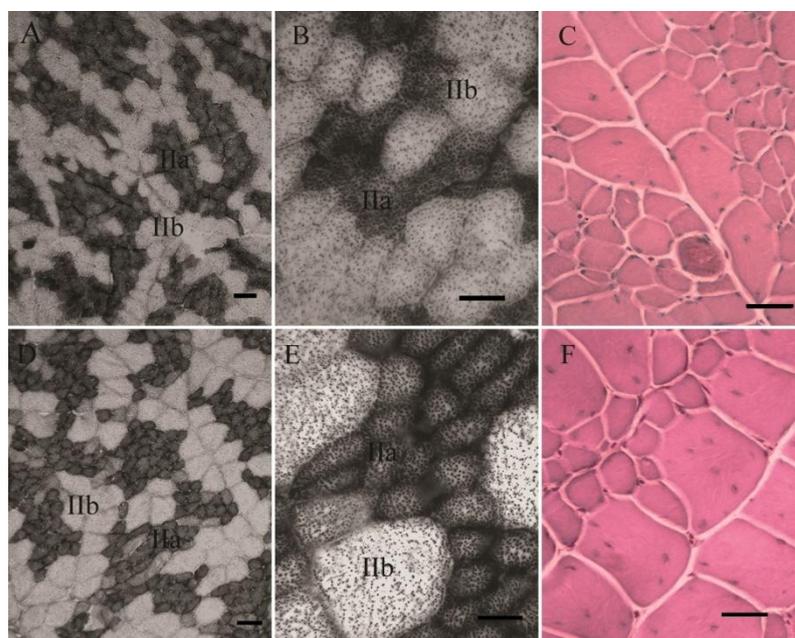


Figura 3. Cortes histológicos transversais ao comprimento das fibras musculares do músculo supracoracoide em codornas europeias aos 14(A-C) e 35(D-F) dias. Notar a diferença no diâmetro das fibras IIa e IIb e a disposição destas nos feixes musculares, com as fibras IIa centrais. Histoquímica de NADH-TR (A, B; D, E), HE (C, F). Barra B-C, E-F=30 um, A, D= 60um.

Tabela 2. Médias para peso relativo do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide e diâmetro e quantidade das fibras do tipo IIa e IIb dos músculos peitoral e supracoracoide em codornas europeias e japonesas.

Dias	Total		Músculo peitoral				Músculo supracoracoide				
	Peso % Peito	% Peso	Diam. IIa	Diam. IIb	Qtd. IIa	Qtd. IIb	% Peso	Diam. IIa	Diam. IIb	Qtd. IIa	Qtd. IIb
Europeia											
13E(13)*	3,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15E(15)	2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17E(17)	1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4(21)	3,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7(24)	8,33	79,33	7,67	17,70	1787	411	20,67	-	-	-	-
10(27)	14,00	78,83	10,80	23,37	1093	228	21,17	-	-	-	-
14(31)	15,50	76,00	11,25	28,02	1097	148	24,00	16,04	32,32	359	184
21(38)	17,92	74,08	13,36	30,19	753	143	25,92	16,75	37,31	300	151
28(45)	20,25	74,67	20,44	38,37	311	109	25,33	22,52	43,82	178	109
35(52)	22,00	74,92	23,09	41,70	299	42	25,08	27,21	53,86	126	72
Japonesa											
13E(13)*	3,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15E(15)	2,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17E(17)	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4(21)	2,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7(24)	7,33	77,33	6,62	17,70	1910	435	22,67	-	-	-	-
10(27)	11,33	75,00	7,54	20,27	1633	324	25,00	-	-	-	-
14(31)	13,67	76,00	10,88	21,4	1116	254	24,00	13,71	29,60	376	266
21(38)	16,58	74,58	11,72	27,65	1057	164	25,42	15,60	35,73	384	162
28(45)	17,33	72,58	17,73	32,38	550	102	27,42	20,01	39,44	263	131
35(52)	19,00	73,83	18,88	36,13	453	128	26,17	21,86	43,72	213	119
ANOVA											
CV (%)	15,91	2,37	12,01	12,80	20,94	33,92	7,16	10,05	10,01	29,08	23,00
R ²	0,93	0,48	0,90	0,82	0,90	0,76	0,48	0,75	0,74	0,60	0,70
Tipo	0,154	0,007	0,022	0,024	0,037	0,215	0,007	0,011	0,008	0,007	0,010
Dias	<,0001	<,0001 ²	0,024	<,0001 ⁴	<,0001 ⁵	0,001 ⁶	<,0001 ⁷	<,0001	<,0001	<,0001 ¹⁰	0,012
Tipovs Dias	0,003 ¹	0,447	0,024 ³	0,065	0,232	0,665	0,447	0,016 ⁸	0,002 ⁹	0,454	0,002 ¹¹

(*)Dias utilizados nas análises de regressão da variável peso relativo do peito. E=embrião;

Diam=diâmetro (um); Qtd.=quantidade.

Efeito isolado;

²Euro $y=82,5061-0,5825x+0,010x^2$; Japo $y=81,2654-0,5825x+0,010x^2$ ($R^2=0,46$);

⁴Euro $y=15,7347+0,7435x$; Japo $y=11,5232+0,7435x$ ($R^2=0,80$);

⁵Euro $y=2341,5692-110,0121x+1,4216x^2$; Japo $y=2585,3086-110,0121x+1,4216x^2$ ($R^2=0,90$);

⁶Euro/Japo $y=601,1068-33,7636x+0,5691x^2$ ($R^2=0,73$)

⁷Euro $y=17,4938+0,5825x-0,0104x^2$; Japo $y=18,7345+0,5825x-0,0104x^2$ ($R^2=0,46$);

¹⁰Euro $y=501,8285-10,6779x$; Japo $y=576,7073-10,6779x$ ($R^2=0,56$);

Efeito interação;

¹Euro $y=-0,51737-0,26678x+0,03847x^2-0,00048x^3$; Japo $y=-0,0161-0,335x+0,03847x^2-0,00048x^3$ ($R^2=0,93$);

³Euro $y=10,155-0,6407x+0,0613x^2-0,00092x^3$; Japo $y=9,6613-0,7361x+0,0613x^2-0,00092x^3$ ($R^2=0,90$);

⁸Euro $y=10,8843+0,1529x+0,0088x^2$; Japo $y=12,8222-0,0337x+0,0088x^2$ ($R^2=0,74$);

⁹Euro $y=21,5732+0,5572x+0,0098x^2$; Japo $y=27,3900+0,1385x+0,0098x^2$ ($R^2=0,74$);

¹¹Euro $y=253,437-4,5734x-0,0176x^2$; Japo $y=575,0883-28,679x+0,4494x^2$ ($R^2=0,70$).

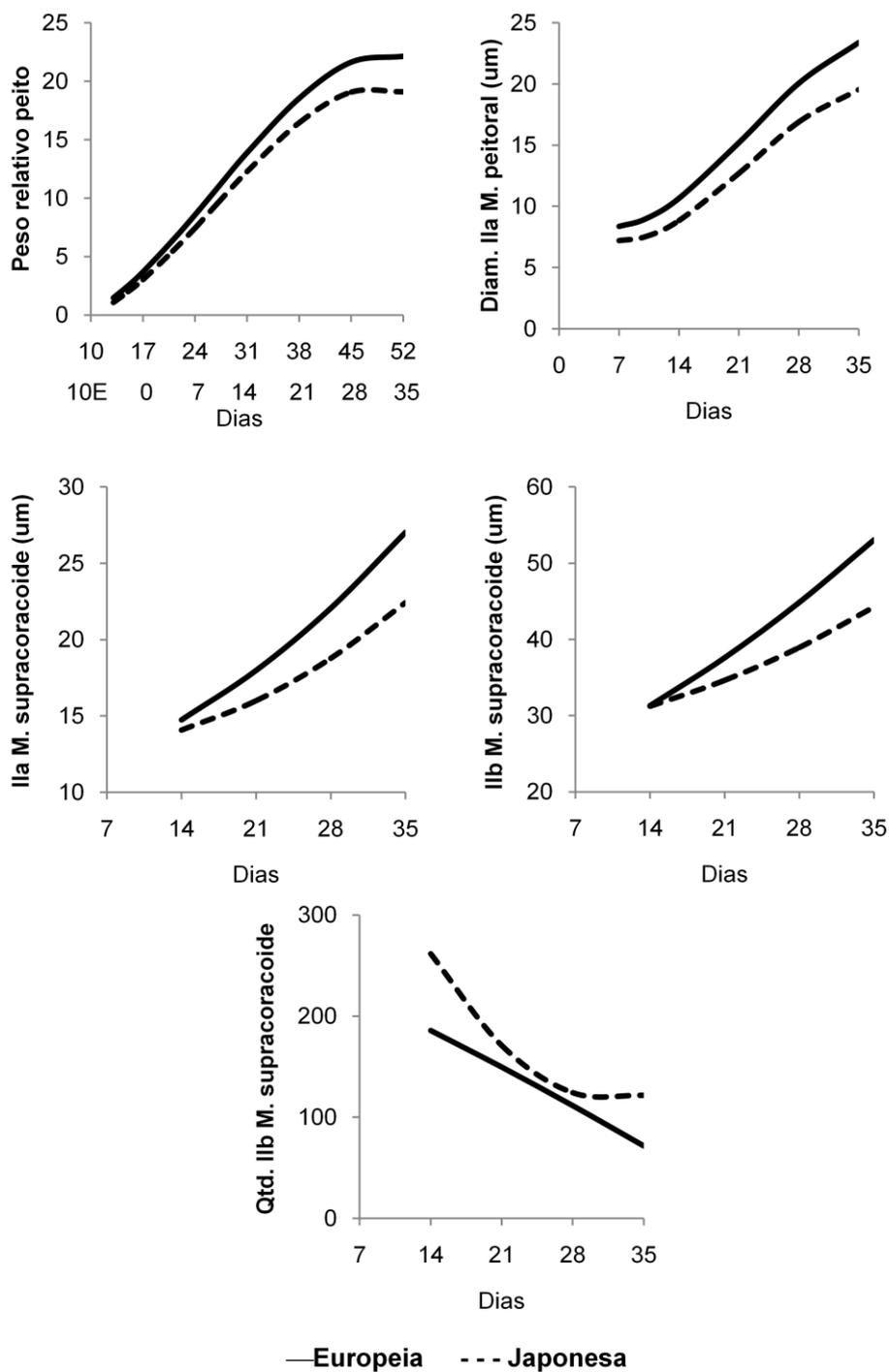


Figura 4. Gráfico de desdobramento das variáveis peso relativo do peito, diâmetro das fibras do tipo IIa do músculo peitoral, diâmetros das fibras do tipo IIa e IIb e a quantidade das fibras do tipo IIb do músculo supracoracoide de codornas europeias e japonesas que apresentaram interação.

As médias para o peso e peso relativo dos músculos peitoral e supracoracoide, diâmetro e frequência das fibras do tipo IIa e IIb estão apresentadas na Tabela 3. Avaliando o músculo peitoral em codornas europeias e japonesas, machos e fêmeas, observou-se interação entre os tipos de codorna e o sexo, para as variáveis diâmetro e quantidade das fibras do tipo IIb e frequência das fibras do tipo IIa e IIb ($P < 0,05$). Já para o músculo supracoracoide houve interação para a variável diâmetro das fibras do tipo IIb e frequência das fibras do tipo IIa e IIb ($P < 0,05$) (Tabela 3).

Tabela 3. Médias dos músculos peitoral e supracoracoide, peso relativo, diâmetro e frequência das fibras do tipo IIa e IIb no teste Tukey ($P < 0,05$) em codornas europeias e japonesas aos 35 dias.

	Tipo		Sexo		ANOVA				
	Europeia	Japonesa	Macho	Fêmea	EP	CV	Tipo	Sexo	TipovsSexo
M. Peitoral	33,44 ^a	15,63 ^b	26,38 ^a	22,7 ^b	1,96	10,55	<,0001	0,002	0,094
% M. Peitoral	74,91	73,83	74,83	73,91	0,29	1,81	0,063	0,112	0,458
Diam. IIa (um)	23,17 ^a	18,87 ^b	20,65	21,40	0,68	9,92	0,001	0,427	0,656
Diam. IIb (um)	41,12	36,13	40,92	36,33	1,44	10,63	0,578	0,015	0,006
QtdIIa	299 ^b	453 ^a	386	383	30,76	29,38	0,010	0,649	0,685
QtdIIb	92	128	108	116	8,40	24,64	0,038	0,553	0,021
Freq. IIa (%)	75,41	78,07	78,53	74,90	1,85	10,28	0,146	0,064	<,0001
Freq. IIb (%)	24,59	21,93	21,47	25,10	1,85	33,46	0,146	0,064	<,0001
M. Supracoracoide	11,19 ^a	5,53 ^b	8,84 ^a	7,88 ^b	0,62	10,47	<,0001	0,014	0,072
% M. Supracoracoide	25,08	26,16	25,16	26,08	0,29	5,27	0,063	0,112	0,458
Diam. IIa (um)	27,21 ^a	21,86 ^b	24,43	24,65	0,80	12,33	0,003	0,861	0,621
Diam. IIb (um)	53,86	43,72	49,69	48,12	1,45	9,61	<,0001	0,493	0,042
QtdIIa	126 ^b	213 ^a	160	180	13,02	29,05	0,004	0,327	0,951
QtdIIb	72 ^b	119 ^a	97	95	6,55	21,02	<,0001	0,803	0,099
Freq. IIa (%)	63,70	64,06	62,57	65,17	1,27	9,61	0,704	0,006	0,028
Freq. IIb (%)	36,29	35,93	37,42	34,82	1,27	9,86	0,704	0,006	0,028

Tukey ($P \leq 0,05$); Diam. = diâmetro (um); Freq.(%) = Frequência

No músculo peitoral, as fibras do tipo IIb das codornas europeias machos apresentaram maior diâmetro em comparação com o mesmo tipo de fibras nas codornas machos japonesas e fêmeas europeias. No entanto, não houve diferenças significativas entre as codornas japonesas machos e fêmeas e europeias fêmeas ($P < 0,05$). No músculo supracoracoide, as codornas japonesas machos apresentaram menor diâmetro da fibra do tipo IIb em relação as machos e fêmeas de codornas europeias, entretanto não diferiu significativamente das codornas japonesas fêmeas ($P < 0,05$) (Figura 5).

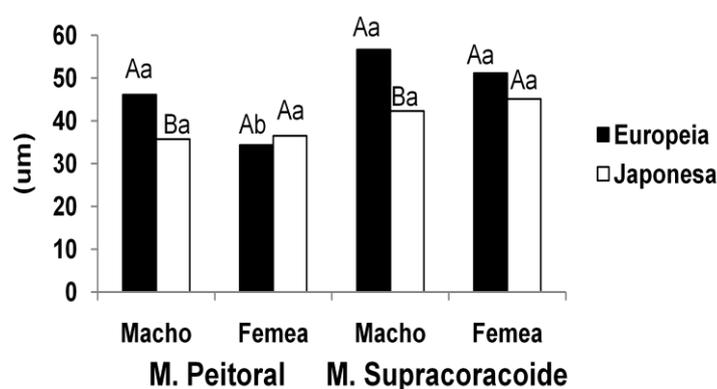


Figura 5. Gráfico do desdobramento da interação entre tipo de codorna e sexo para diâmetro da fibra do tipo IIb dos músculos peitoral e supracoracoide aos 35 dias no teste Tukey. Letras maiúsculas distintas diferem entre tipo ($P < 0,05$) e letras minúsculas distintas diferem entre sexo ($P < 0,05$).

Para a variável quantidade de fibras do tipo IIb do músculo peitoral, em relação ao tipo de codornas e o sexo, observou-se que a quantidade de fibras na área analisada, para cada ave, foi menor em machos de codornas europeias quando comparamos com os machos de codornas japonesas. Quando a comparação foi feita entre o sexo não houve diferença significativa, o mesmo quando se refere a machos e fêmeas de codornas japonesas ($P < 0,05$) (Figura 6).

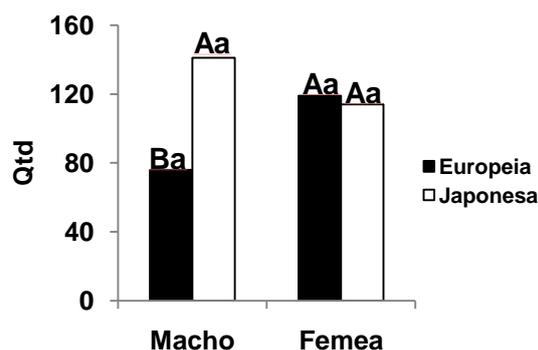


Figura 6. Gráfico do desdobramento da interação entre tipo de codorna e sexo para quantidade das fibras do tipo IIb do músculos peitoral aos 35 dias no teste Tukey. Letras maiúsculas distintas diferem entre tipo ($P < 0,05$) e letras minúsculas distintas diferem entre sexo ($P < 0,05$).

Em relação à frequência dos tipos de fibras observada do músculo peitoral, verificou-se que machos das codornas europeias demonstraram maior frequência de fibras do tipo IIa em relação as fêmeas do mesmo tipo e em relação às codornas japonesas machos, não diferindo de codornas japonesas fêmeas. Os machos de codornas japonesas apresentaram menor frequência em relação às fêmeas do mesmo tipo ($P < 0,05$), comportamento este que é diferente entre as codornas europeias. Em relação à frequência das fibras do tipo IIb, os machos de codornas europeias demonstraram menor frequência em relação as codornas japonesas machos e codornas europeias fêmeas, no entanto não diferem das codornas japonesas fêmeas ($P < 0,05$) (Figura 7).

No músculo supracoracoide o comportamento da frequência das fibras do tipo IIa e IIb foi diferente do observado no músculo peitoral. A frequência da fibra IIa apenas difere para os machos de codornas europeias e japonesas, haja visto que é maior nas codornas europeias machos ($P < 0,05$), não havendo diferenças entre as fêmeas, nem entre as fêmeas em relação aos machos. Para as fibras do tipo IIb as fêmeas de codornas

japonesas apresentaram menor frequência quando comparadas aos machos do mesmo tipo. Este comportamento não foi observado em relação às codornas europeias (Figura 7).

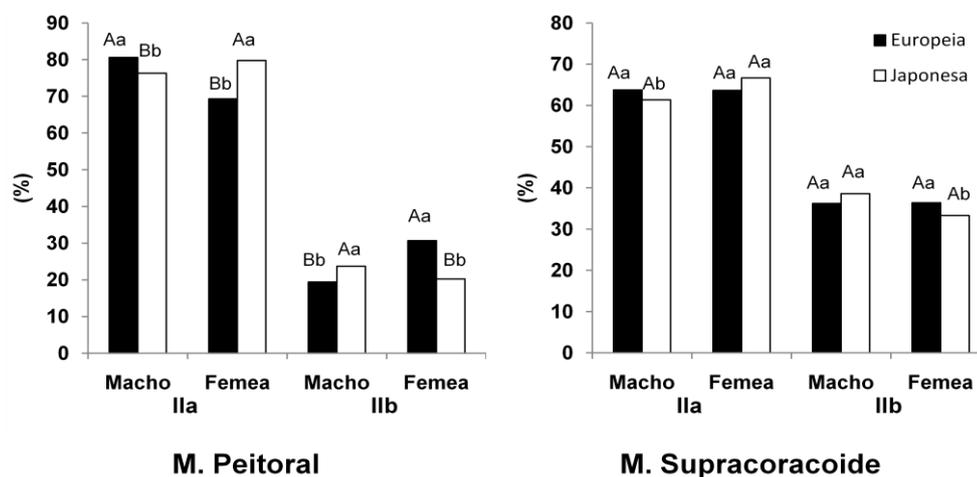


Figura 7. Gráfico do desdobramento da interação ente tipo de codorna e sexo para frequência das fibras do tipo IIa e IIb dos músculos peitoral e supracoracoide aos 35 dias no teste Tukey. Letras maiúsculas distintas diferem entre tipo ($P < 0,05$) e letras minúsculas distintas diferem entre sexo ($P < 0,05$).

As frequências das fibras musculares (Tabela 3) nos músculos, peitoral e supracoracoide diferiram entre os tipos e entre os sexos. No músculo peitoral das codornas europeias, os machos apresentaram maior frequência das fibras do tipo IIa e menor do tipo IIb em relação às fêmeas do mesmo sexo. Já em codornas japonesas ocorreu o inverso, sendo os machos com menor frequência de fibras do tipo IIa e maior do tipo IIb. Foram observadas diferenças significativas para codornas europeias e japonesas em relação às variáveis peso do músculo peitoral, quantidade e diâmetro de fibras do tipo IIa. Também foram observadas diferenças para o peso do músculo supracoracoide, quantidade das fibras do tipo IIa e IIb e diâmetro das fibras do tipo IIa ($P < 0,05$).

Em codornas europeias o peso dos músculos peitoral e supracoracoide foram aproximadamente o dobro do observado nas codornas japonesas. As codornas japonesas apresentaram o diâmetro das fibras do tipo IIa de 80% do diâmetro das mesmas fibras nas codornas europeias. Observou-se também que codornas japonesas apresentaram as maiores quantidades, caracterizando-se por 33% a mais de fibras do tipo IIa do músculo peitoral.

As codornas japonesas denotaram 40% e 39% a mais na quantidade de fibras do tipo IIa e IIb do músculo supracoracoide respectivamente. Em referência aos sexos, houve diferenças para a variável peso dos músculos peitoral e supracoracoide ($P < 0,05$). A diferença entre os sexos, apesar de também terem apresentado diferenças significativas, foram menores que quando comparadas em relação aos tipos de codornas.

Os dados de análise de qualidade da carne aos 35 dias estão descritos na Tabela 4. Não houve efeito significativo para a interação entre o tipo e o sexo das codornas para as variáveis analisadas. O tipo de codorna influenciou ($P < 0,05$) o peso da ave, peso e peso relativo do peito e os espaços de cor L^* e a^* , sendo que as codornas europeias apresentaram maiores valores para peso e peso relativo de peito.

Em relação ao espaço de cor L^* , codornas europeias apresentaram um valor de L^* maior no peito conferindo a sua carne cor mais clara em relação à carne de codornas japonesas. No que se refere o espaço a^* , codornas japonesas por apresentarem maiores valores, possuem sua carne mais escura em relação às codornas europeias. Os espaços de cor L^* e a^* salientam que codornas europeias apresentam carnes mais claras que as codornas japonesas.

Já o sexo teve efeito isolado sobre o peso relativo do peito, sendo que machos apresentaram maior peito proporcionalmente que as fêmeas e para o espaço de cor b*.

Não foram observadas diferenças significativas para pH 20 minutos e 24 horas após o abate e para capacidade de retenção de água.

Tabela 4. Médias das variáveis peso da ave, peso do peito, peso relativo do peito, pH, CRA (capacidade de retenção de água), cor (L* a* e b*) aos 35 dias submetidas ao teste Tukey.

	Tipo		Sexo		ANOVA				
	Europeia	Japonesa	Macho	Fêmea	SEM	CV	Tipo	Sexo	TipovsSexo
Ave (g)	202,03 ^a	115,48 ^b	159,45	158,06	6,231	13,35	<,0001	0,801	0,672
Peito (g)	55,22 ^a	29,14 ^b	43,19	41,17	1,896	15,52	<,0001	0,237	0,523
Peito (%)	27,30 ^a	25,15 ^b	26,73 ^a	25,72 ^b	0,235	5,25	<,0001	0,006	0,891
pH20	6,04	5,98	6,02	6,00	0,028	1,72	0,131	0,486	0,693
pH24	5,89	5,84	5,86	5,88	0,014	1,52	0,105	0,562	0,600
CRA	27,85	26,94	27,14	27,65	0,280	7,13	0,114	0,368	0,266
L*	38,78 ^a	36,74 ^b	37,3	38,23	0,298	5,49	0,001	0,089	0,615
a*	13,74 ^b	16,41 ^a	15,4	14,75	0,296	12,56	<,0001	0,189	0,271
b*	-1,28	-1,21	-1,48 ^a	-1,02 ^b	0,101	-6,08	0,736	0,023	0,183

Tukey (P<0,05) Letras ≠ em linha.

Discussão

Os dados de peso, peso do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide foram avaliados através da equação de crescimento de Gompertz. A utilização deste modelo foi devido à importância fisiológica dos parâmetros (Pm, B e t*), que reproduzem as curvas de crescimento nos diferentes tipos de codornas. O parâmetro estimado pela equação de Gompertz (Pm, peso a maturidade) apresentado, indicaram que o peso das aves, do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide foram maiores em codornas europeias. O peso à maturidade se relaciona com o peso final, peso adulto ou assintótico. Os valores obtidos para o peso à maturidade em codornas europeias e

japonesas foram de 276,5 e 147,5 g respectivamente. Raji et al. (2014) encontraram valores de 153,11 g para o peso à maturidade de codornas japonesas utilizando estimativas feitas pela equação de Gompertz. Narinc et al. (2010) também encontraram valores de 233,12 g para codornas japonesas. Greiser (2012) encontrou valores de 274,56 e 369,34 g para machos e fêmeas respectivamente em codornas com aptidão para corte e 143,71 e 215,48 g para machos e fêmeas em codornas japonesas. Esta diferença pode estar relacionada ao crescimento que, apesar de ser uma característica hereditária, está relacionada a vários fatores, como os ambientais, atividades motoras, idade, sexo, doenças e tipo de músculo, que influenciam diretamente na expressão das características morfológicas (Redfeldt et al., 2010) podendo promover diferentes pesos à maturidade.

O peso à maturidade, o peso final e a taxa de crescimento foram maiores em codornas europeias, o que permite maior precocidade ao abate quando comparadas com as codornas japonesas (Bonafe, 2008).

Em relação à taxa de crescimento (B), codornas europeias e japonesas apresentaram os mesmos valores (0,07), esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Narinc et al. (2013) que, trabalhando com codornas japonesas, encontraram 0,075. Greiser (2012) observou que os machos de codornas de corte apresentaram maiores de 0,079 e fêmeas de 0,061, já as codornas japonesas apresentaram valores de 0,083 e 0,057 para machos e fêmeas respectivamente.

O parâmetro t^* foi representado graficamente como o ponto onde ocorre a inflexão da curva, ou seja, onde a taxa de crescimento é máxima, fazendo com que a curva altere o comportamento de côncava para convexa, correspondendo à idade de crescimento máximo (Kessler et al., 2000). A taxa de crescimento obtida para codornas

europeias e japonesas foram iguais para os dois tipos de codornas em relação às variáveis estudadas.

O conhecimento das alterações nos parâmetros que ocorreram no peso das codornas europeias e japonesas, bem nos músculos peitoral e supracoracoide, são de grande importância quando se depara com aves produzidas para corte. O peito representa 27 e 25 % do peso das codornas europeias e japonesas, respectivamente que influencia diretamente no tempo de engorda e no momento do abate (Sakomura et al., 2001).

Derivando a equação de Gompertz (Fialho, 1999) para o peso da ave, observou-se que a taxa de crescimento em codornas europeias e japonesas foi de 6,85 e 3,66 g/dia aos 18 dias respectivamente. Narinc et al. (2013), trabalhando com codornas japonesas, encontraram taxa máxima de crescimento semelhante, de 3,66 g/dia, entretanto esse resultado ocorreu aos 17 dias de idade. Du Preez e Sales (1997), utilizando equações de Gompertz, determinaram a curva de crescimento para codornas europeias, os autores observaram um rápido crescimento até aos 21 dias de idade e, após esse período, a taxa de crescimento passou a ser decrescente. Greiser (2012) observou maiores crescimento aos 14 e 21 para machos e fêmeas respectivamente, para condornas para corte e para postura. No entanto, resultados distintos foram encontrados por Silva e Costa (2009), onde a taxa de crescimento máxima encontrada para codornas japonesas e europeias foi atingida por volta dos 27 dias de idade.

Em relação ao peito, o peso à maturidade (W_m) foi maior para as codornas europeias que japonesas, no entanto, o mesmo ponto de inflexão da curva (t^*) foi observado para ambas. Greiser et al., (2015) observaram que codornas de corte apresentaram os maiores pesos a maturidade em relação as de postura.

Observou-se que o ponto de inflexão do peito foi alcançado cinco dias depois do ponto de inflexão do peso da ave e que os valores de pesos relativos, de peito e dos músculos peitoral e supracoracoide foram maiores em codornas europeias. No entanto, os valores para peso relativo do peito em codorna europeias e japonesas no período de incubação indicam que no 15º e 17º dia de incubação a ave utiliza proteína do peito como fonte de energia, corroborando com os resultados de Yair et al. (2012), que sugeriram que em frangos de corte, devido a alta taxa metabólica de crescimento que acontece entre o 19º e 21º dia a aves utilizam importantes reservas de nutrientes como.

A análise histoquímica mostrou que em grupos as fibras do tipo IIa se localizam no interior de feixes musculares e são cercados por fibras do tipo IIb nos músculos peitoral e supracoracoide tanto para codornas europeias quanto para codornas japonesas. Este padrão observado foi semelhante ao padrão proposto por Rosser et al. (1998) em pombos, demonstrando as fibras oxidativas, vermelhas e de menor diâmetro são cercados por fibras glicolíticas, brancas e de maior diâmetro. Outros relatos semelhantes foram propostos por Choi e Kim (2009), que sugeriram que muitos músculos esqueléticos tem uma única distribuição de fibras, onde as fibras do tipo I e IIa são agrupados e rodeadas por fibras do tipo IIb. Resultados semelhantes foram descritos por Choi et al. (2013) em codornas japonesas.

Em espécies voadoras, como as codornas europeias e japonesas, o tipo de fibras predominantes no músculo peitoral são as fibras do tipo IIa. Esta maior proporção das fibras do tipo IIa sugeriu uma adaptação evolutiva para que as aves pudessem sustentar a alta frequência de contrações referentes às práticas do voo. As fibras do tipo IIb, devido ao seu perfil glicolítico, são fibras de contração forte e rápida, porém, extremamente suscetíveis à fadiga (Welch Jr. e Altshuler, 2009). Os mesmos autores

estudando uma espécie de colibri (*Calypteanna*), encontraram no músculo peitoral um predomínio de fibras do tipo IIa, indicando que essas fibras são mais adequadas para sustentar as altas frequências e contrações durante o vôo.

O aumento do peso dos músculos peitoral e supracoracoide das codornas europeias e japonesas ocorreu concomitantemente com o aumento do diâmetro das fibras do tipo IIa e IIb. A quantidade de fibras musculares do tipo IIa e IIb observadas aos sete dias de idade não diferem entre codornas europeias e japonesas, indicando que o crescimento nas codornas ocorreu através do processo de hipertrofia, descartando que os maiores pesos verificados sejam resposta de um aumento do número de fibras musculares.

Oshima et al. (2007) descreveram que galos machos reprodutores com aptidão para carne possuem maior peso do músculo peitoral aos 7 e 35 dias, comparado com galos machos reprodutores com aptidão para postura, não havendo diferenças entre o diâmetro das fibras do tipo IIb nos mesmos períodos. Entretanto, as 30 semanas de idade o peso do músculo peitoral em galos macho reprodutores com aptidão para carne foi 85% maior e o diâmetro das fibras tipo IIb foram de 26% menor, comparados com os galos machos reprodutores com aptidão para postura. Desta forma, sendo o músculo peitoral em galos composto basicamente por fibras do tipo IIb, os autores sustentaram a hipótese de que os maiores pesos do músculo peitoral em galos com aptidão para carne são precedentes de grande populações com diâmetro relativamente menor de fibras do tipo IIb. Scheuermann et al. (2004) concluíram que galinhas poedeiras Leghorns possuem maior densidade de fibras musculares do tipo IIb por mm^2 no entanto o número de fibras musculares em frangos de corte é o dobro do observado em galinhas poedeiras.

Após o nascimento das aves, o crescimento muscular é acompanhado por um crescimento transversal e longitudinal das fibras musculares, caracterizando a hipertrofia (Gosnak et al., 2010). A hiperplasia ocorre na fase embrionária quando o número de fibras musculares é definido (Christ e Brand-Saberi, 2002). Observa-se, assim, que aves selecionadas para a produção de carne apresentam fibras com maiores diâmetros quando comparadas com aves selecionadas para produção de ovos (Dransfield e Sosnicki, 1999), o que justifica a diferença no peso à maturidade do peito entre codornas europeias e japonesas. Algumas linhagens de aves, caracterizadas por um crescimento rápido, possuem mais fibras musculares do que linhagens caracterizadas por um crescimento lento (McFarland, 1999).

O peso dos músculos, diâmetro e a quantidade das fibras do tipo IIa, avaliados nesta pesquisa, demonstraram uma tendência positiva referente entre diâmetro, quantidade e o peso do músculo peitoral em codornas europeias e japonesas. As codornas europeias, aos 35 dias, possuem menor quantidade de fibras do tipo IIa no entanto, maior diâmetro em relação às codornas japonesas. O peso do músculo peitoral e o diâmetro das fibras do tipo IIa foram maiores para as codornas europeias aos 35 dias de idade, representando mais que o dobro do peso do músculo observado e com 18% a mais no diâmetro da fibra comparado com codornas japonesas. Quando se compara machos e fêmeas, o peso nos machos é 13% maior que em fêmeas e não há diferenças no diâmetro das fibras. Estas diferenças também são observadas no músculo supracoracoide.

Em referência às taxas de crescimento do músculo peitoral em codornas europeias e japonesas, obtidas através de equação de Gompertz, observou-se que o maior crescimento do músculo (g/dia) aconteceu nos períodos de 21 a 28 dias concomitante ao

maior crescimento em diâmetro das fibras do tipo IIa e IIb. Em codornas europeias o diâmetro da fibra do tipo IIa aumentou de 13,60 para 20,44 um e do tipo IIb de 30,19 para 38,37 um. Em codornas japonesas, o diâmetro da fibra do tipo IIa aumentou de 11,72 para 17,73 um e do tipo IIb de 27,65 para 32,38 um.

Os maiores pesos aferidos nesta pesquisa entre as codornas europeias e japonesas foram em razão do aumento do diâmetro das fibras tipo IIa e IIb, sendo que o diâmetro das fibras do tipo IIa contribuíram para o maior peso dos músculos nas codornas europeias, com os maiores pesos e diâmetros das fibras. Segundo Choi et al. (2013), codornas japonesas que são selecionadas para maior peso corporal apresentaram maior quantidade de fibras do tipo IIb e menor quantidade de fibras do tipo IIa, quando comparadas com a linhagem que não foram selecionadas para ganho de peso. O que sugere que fibras do tipo IIb tem maior relação com o volume dos músculos peitorais.

Para os dados de análise de qualidade da carne observaram-se diferenças para as variáveis de peso da ave, peso do peito e peso relativo do peito, entre as codornas europeias e japonesas, machos e fêmeas. Os resultados indicam os maiores valores desses parâmetros para as codornas europeias em comparação às codornas japonesas. O peso relativo do peito também diferiu entre os sexos das codornas, demonstrando que o os machos apresentaram maior peso relativo do peito. Esta variável pode ter sido influenciada pelo dimorfismo sexual. Segundo Mori et al. (2005), codornas fêmeas começam a apresentar maior peso corporal em relação aos machos a partir da 3ª e 4ª semana, sendo decorrente da maturidade sexual atribuído ao aumento de peso dos órgãos reprodutivos. Abreu et al. (2014), avaliando a influência do sexo e da idade no rendimento e qualidade de carcaça em codornas de corte (*Coturnix coturnix*) relatou que

o sexo influenciou o rendimento de peito e que os machos apresentaram as maiores médias para esse parâmetro.

A análise da qualidade da carne revelou que o alto valor de L^* para as codornas europeias caracterizou uma maior luminosidade em relação às codornas japonesas. O valor L^* é o principal parâmetro determinante da análise da cor em filés de aves (Van Laack et al., 2000). O músculo das codornas japonesas, de acordo com a intensidade de cor a^* , apresentaram coloração mais avermelhada em comparação às codornas europeias devido a maior frequência de fibras do tipo IIa, que se caracterizam por uma maior quantidade de mioglobina. Segundo Abreu et al. (2014), em sua pesquisa com machos e fêmeas de codornas de corte, os autores demonstraram que a carne de codornas fêmeas foram mais avermelhadas em relação à carne de codornas machos, diferença que não foi observada nesta pesquisa.

Em frangos de corte, os músculos peitorais são formados predominantemente por fibras do tipo IIb, caracterizados pela cor branca, enquanto que os músculos da coxa e sobre-coxa são formados por fibras dos tipos IIb, IIa e I (Gonzales e Sartori, 2002). Em codornas e em outras aves de espécies voadoras, o músculo peitoral é composto por fibras musculares dos tipos IIa e IIb (Choi et al., 2013).

As frequências das fibras do tipo IIa, (78,53 a 74,90 %) e IIb, (21,47 a 25,10 %) observadas do músculo peitoral de codornas europeias e japonesas, machos e fêmeas, aos 35 dias de idade não promoveram diferenças nos valores de pH₂₄ nem na capacidade de retenção de água (CRA). Os resultados obtidos corroboraram com os valores normais estabelecidos por Venturini et al. (2007), de que o pH final deve estar entre 5,7 e 5,9. Se o pH final estiver superior a 6,2, a carne apresentará grande CRA, caracterizando-a como escura, dura e seca (DFD - *dark, firm, dry*). No entanto, se o pH

final estiver abaixo de 5,8 a carne se caracteriza como mole e exsudativa (PSE - *pale, soft, exsudative*), resultado da má capacidade de retenção de água.

Genchev et al. 2010, trabalhando com codornas japonesas, observaram que fêmeas apresentaram valores inferiores para CRA, o que poderia estar relacionado com valores inferiores de pH, observados no músculo peitoral. Os autores também verificaram que houve maior CRA no músculo bíceps femoral, comparado com o músculo peitoral, e que esta diferença pode ser explicada em relação ao perfil metabólico das fibras musculares pertinentes a estes músculos. Músculos com alto perfil oxidativo possuem uma alta CRA, o que pode também ser correlacionado com o espaço L* de cor.

Após o abate, o glicogênio é convertido a lactato. Carnes com um pH final inferior a 5,8 podem conter mais lactato do que carnes com um pH mais elevado. No entanto, em alguns trabalhos realizados, verificaram que a correlação do pH não foi significativa com a concentração de lactato. Supõe-se então que o pH final da carne é dependente da concentração de glicogênio no momento do abate. Contudo, esta avaliação é difícil de ser realizado em animais vivos, devido ao glicogênio ser rapidamente convertido em lactato. O pH baixo de 5,8 em carnes pálidas podem ser explicado por uma maior concentração de lactato ou maior potencial glicolítico (Van Laack et al., 2000).

Sosnicki et al. (1998) encontraram a existência de uma relação entre o valor L* e a capacidade de retenção de água. Desta forma, quanto maior for o valor de L*, menor será a capacidade de retenção de água e o peito exibirá uma textura mais macia.

A coloração da carne é uma importante propriedade funcional e está intimamente relacionada a outras propriedades, tais como pH e capacidade de retenção de água. Na

maioria dos casos, a cor pode ser considerada indicadora das condições destas propriedades. Por esta razão e por ser um método rápido e não destrutivo, as indústrias processadoras de carnes de ave tendem a usar o parâmetro cor como indicativo da qualidade de sua matéria prima (Harford et al., 2014).

Conclusão

Codornas europeias e japonesas apresentaram comportamentos similares em relação ao crescimento corporal do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide. O aumento do peso foi devido ao aumento do diâmetro das fibras dos tipos IIa e IIb. A frequência das fibras dos tipos IIa e IIb nos músculos peitoral e supracoracoide foram distintas entre as codornas, assim como a quantidade de fibras do tipo IIb. Em relação a qualidade da carne, conclui-se que codornas europeias apresentaram maior valor para peso relativo do peito e maior índice de luminosidade (L^*). As codornas japonesas apresentaram maior valor para a^* , o que caracteriza a carne como mais escura em relação as europeias. Em relação as sexo, a carne das codornas machos apresentaram maior valor de b^* .

Referências

- Abreu, L. R. A.; Boari, C. A.; Pires, A. V.; Pinheiro, S. R. F.; Oliveira, R. G.; Oliveira, K. M.; Gonçalves, F. M.; Oliveira, F. R. 2014. Influência do sexo e idade de abate sobre rendimento de carcaça e qualidade da carne de codornas de corte. *Revista Brasileira de Saúde Produção Animal* 15:131-140.
- Banks, W. J. 1992. *Histologia Veterinária Aplicada*. 2^a ed. Manole, São Paulo-SP.
- Barbut, S. 2009. Pale, soft, and exudative poultry meat: Reviewing ways to manage at the processing plant. *Poultry Science* 88:1506-1512.
- Bertechini, A. G. 2012. The quail production. In: XXIV World's Poultry Congress. Salvador.
- Bonafe, C. M. 2008. Avaliação do crescimento de codornas de corte utilizando modelos de regressão aleatória. Dissertação (M.Sc.). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Chayen, J.; Bitensky, I.; Butcher, R. G.; Poulter, L. W. 1969. *A guide to practical histochemistry*. Oliver e Bould, London
- Choi, Y. M.; Kim, B. C. 2009. Muscle fiber characteristics myofibrillar protein isoforms and meat quality. *Livestock Science* 122:105-118.
- Choi, Y. M.; Sarah, D.; Shin, S.; Wick, M. P.; Kim, B. C.; Lee, K. 2013. Comparative growth performance in different japanese quail lines. Part 1: The effect of muscle fiber DNA content and morphology. *Poultry Science* 92:1870-1877.
- Christ, B.; Brand-Saberi, B. 2002. Limb muscle development. *International Journal of Developmental Biology* 46:905-914.
- Dransfield, E.; Sosnicki, A. A. 1999. Relationship between muscle growth and poultry meat quality. *Poultry Science* 78:743-746.
- Du Preez, J.J.; Sales, J. 1997. Growth rate of different sexes of the european quail (*Coturnix coturnix*). *British Journal of Poultry Science* 38:314-315.
- Dubowitz, V.; Brooke, M. H. 1973. *Muscle biopsy: a modern approach*. Saunders. London.
- Fialho, F. B. 1999. Interpretação da curva de crescimento de Gompertz. Comunicado técnico 237. Embrapa Suínos e Aves. Concordia-SC.
- Genchev, A.; Ribarski, S.; Zhelyaskov, G. 2010. Physicochemical and technological properties of japanese quail meat. *Trakia Journal of Sciences* 8:86-94.
- Gonzales, E.; Sartori, J. R. 2002. Crescimento e metabolismo muscular. p.279-297. In: *Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte*. 2^a ed. Funep, Jaboticabal.

- Gosnak, R.; Erzen, D. I.; Holcman, A.; Skorjanck, D. 2010. Effects of divergent selection for 8-week body weight on postnatal enzyme activity pattern of 3 fiber types in fast muscles of male broilers (*Gallus gallus domesticus*). *Journal of Poultry Science* 89:2651-2659.
- Gous, R. M.; Moran, Jr. E. T.; Stilborn, H. R.; Bradford, G. D.; Emmans, G. C. 1999. Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. *Poultry Science* 78:812–821.
- Greiser, D. O. 2012. Estudo do crescimento e composição corporal de linhagens de codornas de corte e postura. Dissertação (M.Sc.). Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- Greiser, D. O.; Marcato, S.M.; Furlan, A.C.; Zancanela, V.; Ton, A.P.S.; Batista, E.; Perine, T.P.; Pozza, P.C.; Sakomura, N.K. 2015. Comparison of growth curve parameters of organs and body components in meat (*Coturnix coturnix coturnix*) and laying-type (*Coturnix coturnix japonica*) quail show interactions between gender and genotype. *British Poultry Science* 56:6-14.
- Harford, D.; Pavlidis, H. O.; Anthony, N. B. 2014. Divergent selection for muscle color in broilers. *Poultry Science* 93:1059–1066.
- Honikel, K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science* 49:447-457.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2013/ppm2013.pdf> 2015.
- Kessler, A. M.; Snizek, P. N.; Brugalli, I. 2000. Manipulação da quantidade de gordura na carcaça de frangos. Conferencia Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas. FACTA, Campinas, SP, Brasil. p.117-133,
- McFarland, D. C. 1999. Influence of growth factors on poultry myogenic satellite cells. *Poultry Science* 78:747-758.
- Móri, C.; Garcia, E. A.; Pavan, A. C.; Piccinin, A.; Pizzolante, A. C. 2005. Desempenho e rendimento de carcaça de quatro grupos genéticos de codornas para produção de carne. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34:870-876.
- Musfiroh, A. F.; Janisch, S.; Bintoro, V. P.; Wicke, M.; Pramono, Y. B. 2013. The correlation of muscle fiber and perimysium thickness to the quality of turkey breast meat. *Journal of Applied Food Technology* 2:121-125.
- Nakamura, M.; Katok, K. 1985. Influence of thawing method on several properties of rabbit meat. *Bulletin of Ishika Prefecture College of Agriculture* 11:45-49.

- Narinc, D.; Aksoy, T.; Karaman, E.; Aygun, A.; Firat, M.Z.; Uslu, M. K. 2013. Japanese quail meat quality: Characteristics, heritabilities, and genetic correlations with some slaughter traits. *Poultry Science* 92:1735-1744.
- Narinc, D.; Karaman, E.; Aksoy, T. 2010. Estimation of genetic parameters for carcass traits in Japanese quail using Bayesian methods. *South African Journal of Animal Science* 9:501-507.
- Oliveira, E. G.; Almeida, M. I. M.; Mendes, A. A.; Veiga, N.; Roça, R. O.; Dias, K. 2005. Avaliação do rendimento de carcaça de codornas para corte alimentadas com dietas com diferentes níveis proteicos. *Archives of Veterinary Science* 10:42-45.
- Oliveira, N. T. E.; Escocard, C. P. S. 2010. Avaliação do peso corporal e de características de carcaça de machos de codornas japonesas por idade de abate. *Agrarian Dourados* 3:78-83.
- Oshima, I.; Iwamoto, H.; Tabata, S.; Ono, Y.; Ishibashi, A.; Shiba, N.; Miyachi, H.; Gotoh, T.; Nishimura, S. 2007. Comparative observations on the growth changes of the histochemical property and collagen architecture of the musculus pectoralis from Silky, layer type and meat type cockerels. *Animal Science Journal* 78:619-630.
- Qiao, M.; Fletcher, D. L.; Smith, D. P.; Northcutt, J. K. 2001. The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. *Poultry Science* 80:676-680.
- Raji, A. O.; Mbap, S. T.; Aliyu, J. 2014. Comparison of different models to describe growth of the Japanese quail (*Coturnix japonica*). *Trakia Journal of Sciences* 2:182-188.
- Regazzi, A. J.; Silva, C. H. O. 2004. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não linear: dados no delineamento inteiramente casualizado. *Revista de Matemática e Estatística* 22:33-45.
- Rehfeldt, C.; Te Pas, M. F. W.; Wimmers, K.; Brameld, J. M.; Nissen, P. M.; Berri, C.; Valente, L. M. P.; Power, D. M.; Picard, B.; Stickland, N. C.; Oksbjerg, N. 2010. Advances in research on the prenatal development of skeletal muscle in animals in relation to the quality of muscle-based food. I. Regulation of myogenesis and environmental impact. *Animal* 5:703-717.
- Rosser, B. W. C.; Wick, M.; Waldbiling, D. M.; Wright, D. J.; Farar, C. M.; Bandman, E. 1998. Expression of myosin heavy chain isoforms during development of domestic pigeon pectoralis muscle. *International Journal of Developmental Biology* 42:653-661.
- Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Donzele, J. L.; Gomes, P. C.; Oliveira, R. F.; Lopes, D. C.; Ferreira, A. S.; Barreto, S. L. T.; Euclides, R. F. 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos. 3ª ed, Ed UFV, Viçosa.

- 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* 90:2888–2896.
- Scheuermann, G. N.; Bilgili, S. F.; Tuzun, S.; Mulvaney, D. R. 2004. Comparison of chicken genotypes: Myofiber number in pectoralis muscle and myostatin ontogeny. *Poultry Science* 83:1404-1412.
- Silva, J. H. V.; Costa, F. G. P. 2009. Tabela para Codornas Japonesas e Europeias. 2ª ed. Funep, Jaboticabal.
- Silva, M. D. P.; Carvalho, R. F. 2007. Mecanismos celulares e moleculares que controlam o desenvolvimento e crescimento celular. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36:21-31.
- Sokoloff, A. J.; Ryan, J. M.; Valerie, E.; Wilson, D. S.; Goslow, G. E. 1998. Neuromuscular organization of avian flight muscle: morphology and contractile properties of motor units in the pectoralis (pars thoracicus) of pigeon (*Columba livia*). *Journal of Morphology* 236:179-208.
- Sosnicki, A. A.; Greaser, M. L.; Pietrzak, M.; Pospiech, E.; Sante, V. 1998. PSE-like syndrome in breast muscle of domestic turkeys: A review. *Journal Muscle Foods* 9:13–23.
- Tesseraud, S.; Chagneau, A. M.; Grizard, J. 2000. Muscle protein turnover early development in chickens divergently selected for growth rate. *Poultry Science* 79:1465-1471.
- Van Laack, R. L. J. M.; Liu, C. H.; Smith, M. O.; Loveday, H. D. 2000. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *Poultry Science* 79:1057-1061.
- Venturini, K. S.; Sarcinelli, M. F.; Silva, L. C. 2007. Características da Carne de Frango. *Boletim Técnico-01307*. Universidade Federal do Espírito Santo-UFES.
- Welch Jr. K. C.; Altshuler, D. L. 2009. Fiber type homogeneity of the flight musculature in small birds. *Comparative Biochemistry and Physiology* 152:324–331.
- Yair, R.; Uni, Z.; Shahar, R. 2012. Bone characteristics of late-term embryonic and hatchling broilers: Bone development under extreme growth rate. *Poultry Science* 91:2614-2620.
- Zhang, L.; Yue, H. Y.; Zhang, H. J.; Xu, L.; Wu, S. G.; Yan, H. J.; Gong, Y. S.; Qi, G. H. 2009. Transport stress in broilers: I. Blood metabolism, glycolytic potential, and meat quality. *Poultry Science* 88:2033-2041.

V. Desenvolvimento dos ossos longos em codornas europeias e japonesas

RESUMO: Objetivou-se descrever o crescimento e as propriedades morfológicas, biomecânicas, histológicas e químicas dos ossos longos (fêmur, tibiotarso e tarsometatarso) de codornas europeias e japonesas, do final da incubação até o 35º dia pós-eclosão. Foram utilizados embriões nos períodos de 13 e 15 dias de incubação e codornas na eclosão e nos períodos de 4, 7, 10, 14, 21, 28 e 35 dias. As variáveis foram avaliadas através da equação de Gompertz. Os ossos foram pesados e submetidos à tomografia computadorizada de feixe cônico para determinação da densidade óssea na escala Hounsfield, volume, comprimento, espessura e diâmetro da diáfise. Após foi determinado o índice de Seedor, a força de quebra, a área de secção transversal, a matéria mineral e a percentagem de cálcio, fósforo e magnésio. No tibiotarso esquerdo foi determinada a espessura da cartilagem epifisária. Os valores de peso da ave e peso, comprimento, índice de Seedor, volume e espessura e diâmetro da diáfise dos ossos avaliados e matéria mineral do tibiotarso ajustaram-se as curvas de Gompertz. Para fêmur e tibiotarso, as variáveis apresentaram diferenças quanto à taxa e peso à maturidade e período em que a taxa foi máxima, indicando crescimento distinto entre os ossos. Já o tarsometatarso apresentou peso à maturidade diferente. Em relação à derivada da equação de Gompertz, em codornas europeias o crescimento do tibiotarso acontece primeiro em relação à espessura da diáfise e, após, em comprimento. O inverso ocorreu em codornas japonesas. Para a densidade óssea e a área de secção transversal houve interação entre os tipos de codornas e a idade, com comportamento cúbico, sendo que, em codornas europeias, os ossos foram mais densos. A resistência óssea aumentou linearmente no fêmur e tibiotarso e teve comportamento quadrático crescente no tarsometatarso com a idade. O percentual de magnésio e a espessura da cartilagem epifisária apresentaram efeito cúbico ao longo da idade. O percentual de cálcio não apresentou diferenças significativas. Conclui-se que o crescimento do osso tarsometatarso apresentou similaridades quando comparados entre as codornas, no entanto, o fêmur e tibiotarso apresentam maiores diferenças no crescimento, principalmente nos primeiros dias pós-eclosão.

Palavras-chave: *Coturnix*, crescimento, Gompertz, ossos.

V. Development of the long bones in European and Japanese quails

ABSTRACT: The objective was to describe the growth and morphometric biomechanics, bromatological, histological and chemical properties of the long bones (femur, tibiotarsus and tarsometatarsus) in European and Japanese quail at the end of the incubation until the 35th day after hatching. Embryos in periods of 312 and 360 hours of incubation and hatching were used and quails in the periods 4, 7, 10, 14, 21, 28 and 35 days. The variables of European and Japanese quails were evaluated by Gompertz equation. Bones were weighed and submitted to a computed tomography cone beam to determine the bone density in Hounsfield scale, volume and morphometric analysis as length, thickness and diameter of the shaft. After that the Seedor index was determined, as the breaking strength, the cross sectional area, the mineral content, and the percentage of calcium, phosphorus and magnesium. In the left tibiotarsus the thickness of the epiphyseal cartilage was determined. The variables weight of the quails and weight, length, Seedor index, volume and thickness and diameter of the shaft of the assessed bone and mineral matter of tibiotarsus were adjusted to Gompertz curves. For the femur and tibiotarsus the variables showed differences in the rate and weight at maturity and period in which the rate was highest, indicating distinct growth of the bones. However tarsometatarsus presented different weight to maturity. With the derivative of Gompertz equation it was observed that in the European quails the growth of tibiotarsus happens first in relation to the thickness of diaphyseal and after in length. The opposite occurred in Japanese quails. For the bone density, cross-sectional area there was interaction between the types of quails and days of age, with cubic behavior, and in European quail bones showed to be more dense than Japanese. The bone strength increased linearly in the femur and tibiotarsus and had increasing quadratic behavior in tarsometatarsus with age. The percentage of magnesium and the thickness of the epiphyseal cartilage had a cubic effect over age. Calcium percentage showed no significant differences. We conclude that in European and Japanese quails the growth of tarsometatarsus bone showed similarities compared between European and Japanese quails, however the femur and tibiotarsus have major differences in growth, especially in the 1st days post-hatching.

Key Words: *Coturnix*, growth, Gompertz, bones.

Introdução

A coturnicultura tem se tornado cada vez mais uma atividade de interesse econômico no país. O Brasil é o quinto maior produtor de codornas do mundo e o segundo em produção de ovos (IBGE, 2015). São utilizadas nos criatórios comerciais dois tipos de codornas: as japonesas (*Coturnix coturnix japonica*), de origem asiática que possuem aptidão para produção de ovos, e as europeias (*Coturnix coturnix coturnix*), que são destinadas tanto para produção de ovos como para a produção de carne (Bertechini, 2012). No entanto, apesar das diferenças fenotípicas e zootécnicas, as codornas japonesas ocupam uma posição importante na produção comercial, sendo comum a oferta de carne para atender a demanda de mercados consumidores (Oliveira e Escocard, 2010). Em muitos países do Extremo Oriente e da Ásia, elas são utilizadas também para a produção de carne (Narinc, 2010).

As codornas europeias e japonesas diferem em vários aspectos, como peso à maturidade, composição óssea e taxas de deposição dos nutrientes, aspectos que podem afetar a forma de crescimento das aves (Gous et al., 1999). Desse modo, o crescimento rápido, o desenvolvimento e a maturidade dos ossos podem não acompanhar o ritmo de crescimento da ave, gerando excesso de carga física e predispondo o osso à deformidade e fragilidade (Rath et al., 2000). O crescimento ósseo deve ocorrer em perfeito sincronismo com o tecido muscular e adiposo, que estão relacionados ao crescimento das aves (Pizauro Jr., 2002).

Em frangos de corte, muitas pesquisas foram realizadas no intuito de descrever o desenvolvimento ósseo em termos de estrutura, composição e aspectos mecânicos (Farquharson e Jefferies, 2000; Rath et al., 2000; Shim et al., 2012; Yair et al., 2012).

Também, foram caracterizadas as relações entre o crescimento dos ossos longos, tibiotarso e do fêmur (Applegate e Lilburn, 2002), bem como os processos de ossificação e as relações entre os minerais, cálcio e fósforo (Han et al., 2015). Em codornas japonesas, foram descritos o desenvolvimento embrionário (Nakane e Tsudzuki, 1999; Ainsworth, 2010) e o desenvolvimento dos ossos longos, tibiotarso e fêmur (Ahmed e Soliman, 2013). Entretanto, ainda há uma carência de informações em relação ao crescimento ósseo de codornas europeias e japonesas, que são destinadas ao abate aos 35 dias ou que são utilizadas na produção de ovos ou matrizes.

Codornas europeias e japonesas possuem uma curva de crescimento diferente, a qual deve ser analisada em condições ideais ou não limitantes (Greiser et al., 2015). A equação de Gompertz é a mais comumente usada para representar o crescimento em aves, tendo um bom ajuste em relação a outros modelos não lineares, possibilitando, ainda, compreensão e interpretação fisiológica (Duan-Yai et al., 1999; Freitas, 2005).

Diante disso, este estudo foi realizado com o intuito de descrever e caracterizar o crescimento dos ossos fêmur, tibiotarso e tarsometatarso de codornas europeias e japonesas, do 13º dia de incubação até o 35º dia pós-eclosão, determinando a relação existente entre as variáveis morfométricas, biomecânicas, bromatológicas e químicas dos ossos. Foram elaboradas curvas de crescimento de Gompertz para as variáveis que apresentaram ajustes necessários.

Material e Métodos

Aves e delineamento experimental

O experimento foi realizado no Setor de Avicultura da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e foi aprovado pelo CEUA - Comissão de Ética para uso de Animais da Universidade Estadual de Maringá, registro Nº 1237250914. Foram coletados ovos férteis de matrizes de codornas europeias e japonesas, no período da tarde, em três dias consecutivos, que foram armazenados em sala refrigerada a 21°C.

Os ovos foram pesados individualmente e selecionados para incubação, sendo descartados ovos trincados, sujos, com formato irregular ou sem cor. Foram selecionados por peso, a 5% da média obtida de $\pm 11,80\text{g}$, para codornas europeias, e $\pm 9,79\text{g}$, para codornas japonesas.

Os ovos foram incubados em incubadora automática industrial com 60% de umidade e a 37,4°C, com viragem automática. Decorridas 348 horas de incubação, os ovos foram transferidos para a câmara de eclosão, com temperatura de 37,0°C e umidade de 70%. Após a eclosão, os pintainhos foram alojados em 03 unidades experimentais de 2,80m x 1,40m, para 50 codornas. Água e ração foram fornecidas à vontade e o programa de alimentação foi dividido em duas fases: a inicial, de 1 a 21 dias de idade, e a de crescimento, de 22 a 35 dias de idade, segundo Silva e Costa (2009) e Rostagno et al. (2011). O desempenho zootécnico foi monitorado semanalmente com o intuito de manter a normalidade dos animais. Foram utilizadas campânulas a gás como fonte de aquecimento durante os 10 primeiros dias. Foi adotado um programa contínuo de luz durante os primeiros dez dias e, o restante do período experimental, com 23 horas de luz/dia.

Coleta de amostras

Os ossos fêmur, tibiotarso e tarsometatarso foram analisados nas codornas europeias (n=6) e japonesas (n=6) nos períodos de 312 horas (13 dias), 360 horas (15 dias), na eclosão e no período pós-eclosão, nas idades de 4, 7, 10, 14, 21, 28 e 35 dias (n= 54 codornas europeias e 54 codornas japonesas).

Durante a incubação, tanto para codornas europeias quanto para japonesas, foram retirados 06 ovos das incubadoras, os quais foram quebrados e os embriões sacrificados por deslocamento cervical. Após a eclosão, as aves foram anestesiadas com tiopental sódico 10mg/kg de peso vivo, por meio de injeção intraperitoneal, e, depois de comprovada a anestesia por imobilidade e ausência de reação a estímulos palpebral e corneal, as aves foram sacrificadas por deslocamento cervical. Os ossos foram dissecados e o tecido muscular aderido foi dissecado. Os ossos foram pesados em balança analítica. Os ossos direitos foram envolvidos em gaze embebida com solução salina (0,9%) e foram mantidos congelados (-18°C) até o início das análises morfométricas, biomecânicas, bromatológicas e químicas. Os tibiotarsos esquerdos foram fixados em solução de paraformaldeído a 10% para análises histológicas.

Análises morfométricas

Os ossos fêmur, tibiotarso e tarsometatarso foram descongelados e colocados sobre uma plataforma plana de 10 cm x 10 cm, todos na mesma posição, e submetidos às tomografias computadorizadas de feixe cônico (TCFC). As tomografias foram realizadas no Laboratório de Imagem em Pesquisa Clínica (LIPC) da Central de Tecnologia em Saúde (CTS), do Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP-UEM), por um profissional especialista em radiologia odontológica e imaginologia. As imagens por TCFC foram obtidas pelo equipamento i-CAT *Next*

Generation[®] (*Imaging Sciences International*, Hatfield, PA, EUA), com 14 bits. Os volumes foram reconstruídos com 0.125 mm de *voxel* isométrico, com FOV (*Field of View*) de 8 X 8 cm, tensão de tubo de 120 kVp e corrente do tubo de 3-8 mA. As imagens resultantes foram armazenadas no computador do LIPC. Em seguida, foram importadas para o *software Dolphin Imaging & Management Solutions*[®] 11.8 versão 3D (*Dolphin Imaging, Chatsworth, CA, USA*) em formato *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM), para as análises de volume (mm³), densidade mineral na escala Hounsfield, comprimento (mm), diâmetro da diáfise (mm) e espessura da diáfise (mm). Para a mensuração da espessura da diáfise, foram realizadas quatro medidas para cada osso/codorna, sendo a espessura final obtida através de uma média aritmética. Os ossos foram pesados em balança analítica ($\pm 0,0001$ g) e, para a obtenção do Índice de Seedor, dividiu-se o peso do osso (mg) pelo seu comprimento (mm) (Seedor et al., 1993).

Análises biomecânicas

Nas análises da resistência óssea, o fêmur e o tibiotarso direitos foram analisados a partir do 7º dia pós-eclosão e o tarsometatarso a partir do 10º dia pós-eclosão. Os ossos foram posicionados em apoios da região das epífises, sem apoio na região central em posição antero-posterior. As análises de resistência foram realizadas em máquina universal de ensaios mecânicos, marca EMIC - modelo DL3000, com um teste de três pontos sendo expressos em Newton (N). A força foi aplicada na região da diáfise, sempre no mesmo ponto para todos os ossos, com velocidade de descida da sonda para aplicação da força de 10 mm/s para todos os ossos, de modo que a força aplicada foi mensurada no momento imediatamente anterior à ruptura do osso. A carga utilizada foi

de 200 kgf para todas as amostras, entretanto, a distância entre os apoios foi específica para cada osso e idade.

Após a quebra no ensaio mecânico, objetivou-se determinar a área da secção transversal do osso, considerando-o com secção transversal elíptica. A área de secção transversal do osso foi determinada, segundo Turner e Burr (1993), na região da diáfise onde ocorreu a fratura.

Análises bromatológicas e químicas

Nos mesmos ossos, foram determinados a (%) da matéria mineral, cálcio, fósforo e magnésio. As amostras foram colocadas em estufa à 55°C, por 72 horas, e pesadas em balança de precisão. Em seguida, foram colocadas em estufa à 105°C por mais 24 horas, pesadas e calcinadas em mufla à 600°C por 6 horas, realizando-se a pesagem após o resfriamento, para obtenção do percentual de cinzas na matéria seca. Com as cinzas obtidas, utilizou-se a metodologia, descrita por Silva e Queiroz (2002), para obtenção da solução mineral. As determinações de fósforo foram realizadas pelo método colorimétrico (Silva e Queiroz, 2002), enquanto que as determinações de cálcio e magnésio foram feitas por espectrofotometria de chamas.

Análise Histológica para Determinação da Espessura do Disco Epifisário

Os tibiotarsos esquerdos foram fixação em paraformaldeído, descalcificado em solução contendo ácido fórmico e citrato de sódio, no intuito de evitar a hidrólise e o intumescimento do tecido ósseo. Os ossos foram seccionados verticalmente e a epífise proximal, juntamente com parte da diáfise, foram processados para inclusão em parafina. Cortes histológicos longitudinais, de 10 µm de espessura, foram obtidos em

micrótomo e corados com *Alcian Blue* (pH 2,5). As imagens foram capturadas com câmera digital (Moticam 5MP), com ampliação final equivalente à objetiva de 4X, com o programa *Motic Image Plus*, versão 2.0, para a obtenção da espessura da placa epifisária. O valor final da medida da espessura do disco epifisário foi obtido através da metodologia proposta por Reich et al. (2005).

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise estatística utilizando-se o programa *Statistical Analysis System* (SAS, 2001). Os dados foram analisados por análise ANOVA a 5% de significância. Foi realizada análise de regressão em função do tempo (dias) e determinadas as diferenças entre os tipos de codornas com nível de 5% de significância, através de modelos lineares generalizados. A partir das estimativas dos ossos observadas nos diferentes tipos de codornas, foram elaboradas as curvas de crescimento, utilizando-se a equação de Gompertz (1825), segundo Fialho (1999), conforme abaixo:

$$Pt = Pm \cdot \exp^{**}(- \exp^{**}(- b(t - t^*))),$$

Em que: Pt = peso (g), comprimento (mm), volume (mm³) e percentual (%) do osso ao tempo t, expresso em função do Pm; Pm = peso (g), comprimento (mm), volume (mm³) e percentual (%) à maturidade do animal; b = taxa de maturidade (por dia); t* = tempo (dias) em que a taxa de crescimento é máxima (ponto de inflexão).

Os modelos foram ajustados para descrever o peso da ave (g), peso do osso (g), comprimento (mm), índice de Seedor (mg/mm), volume (mm³), diâmetro (mm), espessura da diáfise (mm) e percentual de cinzas (%). Foram ajustados oito modelos de desenvolvimento para codornas europeias e japonesas, para avaliar as diferenças dos

parâmetros das curvas de crescimento. O primeiro modelo utilizado foi completo, sem nenhuma alteração dos parâmetros das curvas (M_1). Os modelos (M_2), (M_3) e (M_4) apresentaram diferenças em apenas um parâmetro, sendo eles o t^* , B e o Pm, respectivamente. Os modelos (M_5), (M_6) e (M_7) apresentaram diferenças em dois parâmetros, sendo Pm e B, Pm e t^* e B e t^* , respectivamente. O modelo (M_8) apresentou igualdade em todos os parâmetros Pm, B e t^* . A escolha do melhor modelo ocorreu pelo teste da razão de verossimilhança, com aproximação pela estatística qui-quadrado proposto por Regazzi e Silva (2004).

As taxas de crescimento (g/dia), (mm/dia), (mm³/dia) e (% cinzas/dia) foram calculadas por meio da derivada da equação de Gompertz (Fialho, 1999). As equações de Gompertz usadas para descrever o crescimento tiveram seus dados ajustados separadamente para linhagem, utilizando o pacote estatístico computacional SAS (2001). As análises foram realizadas do 13^o dia de incubação até o 35^o dia pós-eclosão. Para as variáveis analisadas desde a incubação, os dias pós-eclosão foram considerados como sequenciais e, assim, o primeiro dia pós-eclosão foi considerado como dia 18 e o dia 35 como 52. Os valores dos parâmetros foram convertidos para dias reais pós-eclosão.

Resultados

O crescimento dos ossos longos (fêmur, tibiotarso e tarsometatarso) das codornas europeias e japonesas foram descritos do 13^o dia de incubação até o 35^o dia pós-eclosão. Durante esse período, foram acompanhados o peso das aves e as variáveis ósseas, peso, comprimento, índice de Seedor, volume, diâmetro e espessura da diáfise, resistência

óssea, área de secção transversal e densidade óssea. Também, foram acompanhados a espessura do disco epifisário, o percentual de cinzas e os percentuais de cálcio, fósforo e magnésio nos tibiotarso.

Para determinar o crescimento dos ossos, foram utilizadas as equações de Gompertz. A variável peso das aves e as variáveis ósseas, peso, comprimento, índice de Seedor, volume, diâmetro e espessura da diáfise e percentual de cinzas do tibiotarso ajustaram-se às equações propostas. As variáveis, densidade óssea, resistência óssea, área de secção transversal, espessura da metáfise do tibiotarso e os percentuais de cálcio, fósforo e magnésio também do tibiotarso foram analisadas através da ANOVA.

Na Tabela 1 e nas Figuras 1, 2 e 3, estão descritos os valores de Pm (peso a maturidade em g), B (taxa de crescimento) e de t* (tempo (dias), em que a taxa de crescimento é máxima para as codornas europeias e japonesas, assim como os modelos utilizados.

Para as variáveis, peso da ave e peso dos ossos (fêmur, tibiotarso e tarsometatarso), o modelo de melhor ajuste foi o modelo (M₇), o qual difere apenas nos valores da maturidade, quando comparadas as codornas europeias e japonesas. O tarsometatarso foi o mais precoce dos três ossos avaliados para a variável peso dos ossos, enquanto que o fêmur foi o osso com crescimento mais tardio.

Em relação ao crescimento longitudinal dos ossos, foram observadas diferenças e foram utilizados três modelos distintos. Para o fêmur, foi utilizado o modelo (M₂), que mostrou que, além dos diferentes pesos à maturidade, a taxa de crescimento foi maior nas codornas europeias quando comparadas às codornas japonesas. Nos ossos tibiotarso, a partir do modelo (M₃), observou-se que as codornas japonesas apresentaram precocidade em relação às europeias. Os valores à maturidade em codornas europeias

foram maiores em relação às codornas japonesas. As taxas de crescimento foram as mesmas, no entanto o tempo onde as taxas de crescimento atingiram os valores máximos aconteceu mais cedo em codornas japonesas. Já o crescimento do tarsometatarso mostrou-se diferir apenas em relação aos valores a maturidade, obtidos através do modelo (M₇). Em relação aos ossos avaliados, observou-se que, assim como para a variável peso, o tarsometatarso foi o mais precoce.

O índice de Seedor não apresentou diferenças nos padrões de crescimento dos ossos avaliados, apenas nos valores a maturidade. O modelo (M₇) foi o utilizado para definir as curvas de crescimento nos três ossos avaliados. Apesar de terem sido notadas diferenças nos padrões de crescimento em comprimento dos ossos, elas não foram suficientes para alterar o padrão das curvas de crescimento para o índice de Seedor.

Avaliando o volume ósseo (mm³), através do programa *Dolphin*®, observou-se que o crescimento dos ossos apresentou comportamento similar de crescimento. Codornas europeias apresentaram maiores volumes ósseos à maturidade quando comparadas a codornas japonesas. As curvas foram elaboradas a partir do modelo (M₇).

O diâmetro da diáfise foi avaliado através do modelo (M₇), apresentando diferentes valores à maturidade para codornas europeias e japonesas. No entanto, o tarsometatarso apresentou elevada precocidade e alta taxa de crescimento, quando comparado com o fêmur e o tibiotarso.

Em relação à espessura da diáfise, verificaram-se comportamentos distintos entre as codornas europeias e japonesas. Para o fêmur foi utilizado o modelo (M₄), em que, para codornas europeias e japonesas, os valores à maturidade foram os mesmos, diferindo nas taxas de crescimento e no período onde ela foi máxima. Apesar das codornas europeias apresentarem menores taxas de crescimento, comparadas com as

japonesas, elas apresentaram maior precocidade, com os períodos onde a taxa de crescimento foi máxima ainda no período de incubação. Em relação ao tibiotarso, o modelo utilizado foi o (M₅), diferindo apenas no período em que a taxa de crescimento foi maior. Não houve diferenças para os valores à maturidade, nem em relação à taxa de crescimento, sugerindo que, em codornas europeias, o osso tibiotarso aumentou em espessura, para depois, crescer em comprimento. Este comportamento foi distinto em codornas japonesas, onde ocorreu o inverso.

Para o percentual de cinzas do osso tibiotarso, o modelo utilizado foi o (M₅), em que a diferença se deu apenas no período onde a taxa de crescimento foi máxima, observando-se que houve diferenças no processo de mineralização óssea. Ainda, verificou-se que os processos de calcificação aconteceram mais cedo em codornas japonesas.

Tabela 1. Parâmetros estimados através das equações de Gompertz dos ossos fêmur, tibiotarso e tarsometatarso de codornas europeias e japonesas.

	Modelo	Pm		B		t*	
		Euro.	Japo.	Euro.	Japo.	Euro.	Japo.
Ave (g)	M ₇	275	156	0,07	0,07	35,59(18,59)*	35,59(18,59)*
Fêmur (g)	M ₇	0,91	0,55	0,07	0,07	34,77(17,77)	34,77(17,77)
Comprimento (mm)	M ₂	55,60	50,95	0,05	0,04	25,76(8,76)	25,76(8,76)
Índice de Seedor	M ₇	17,97	12,84	0,08	0,08	26,77(9,77)	26,77(9,77)
Volume (mm ³)	M ₇	933	604	0,07	0,07	31,98(14,98)	31,98(14,98)
Dímetro Diáfise (mm)	M ₇	2,96	2,59	0,07	0,07	22,83(5,83)	22,83(5,83)
Espessura Diáfise (mm)	M ₄	0,55	0,55	0,07	0,09	15,56	20,09(3,09)
Tibiotarso (g)	M ₇	0,98	0,57	0,08	0,08	31,44(14,44)	31,44(14,44)
Comprimento (mm)	M ₃	68,27	56,54	0,05	0,05	24,46(7,46)	21,59(5,59)
Índice de Seedor	M ₇	17,79	11,48	0,09	0,09	25,47(8,47)	25,47(8,47)
Volume (mm ³)	M ₇	947	645	0,11	0,11	27,65(9,65)	27,65(9,65)
Dímetro Diáfise (mm)	M ₇	3,15	2,80	0,05	0,05	25,28(8,28)	25,28(8,28)
Espessura Diáfise (mm)	M ₅	0,73	0,73	0,06	0,06	20,42(3,42)	24,16(7,16)
Cinzas (%/MS)	M ₅	44,86	44,86	0,19	0,19	14,10	12,17
Tarsometatarso (g)	M ₇	0,47	0,30	0,08	0,08	29,42(12,42)	29,42(12,42)
Comprimento (mm)	M ₇	36,64	32,41	0,06	0,06	18,59(1,59)	18,59(1,59)
Índice de Seedor	M ₇	14,21	10,53	0,08	0,08	23,66(6,66)	23,66(6,66)
Volume (mm ³)	M ₇	525	375	0,08	0,08	26,69(9,69)	26,69(9,69)
Dímetro Diáfise (mm)	M ₇	2,23	1,98	0,09	0,09	18,09(1,09)	18,09(1,09)
Espessura Diáfise (mm)	M ₇	0,64	0,58	0,07	0,07	18,46(1,46)	18,46(1,46)

Pm = Valores a maturidade (g), (mm), (mm³) e (%/MS); B = Taxa de maturidade; t* = Tempo em que a taxa de crescimento é máxima (dias); (*) dias reais pós-eclosão.

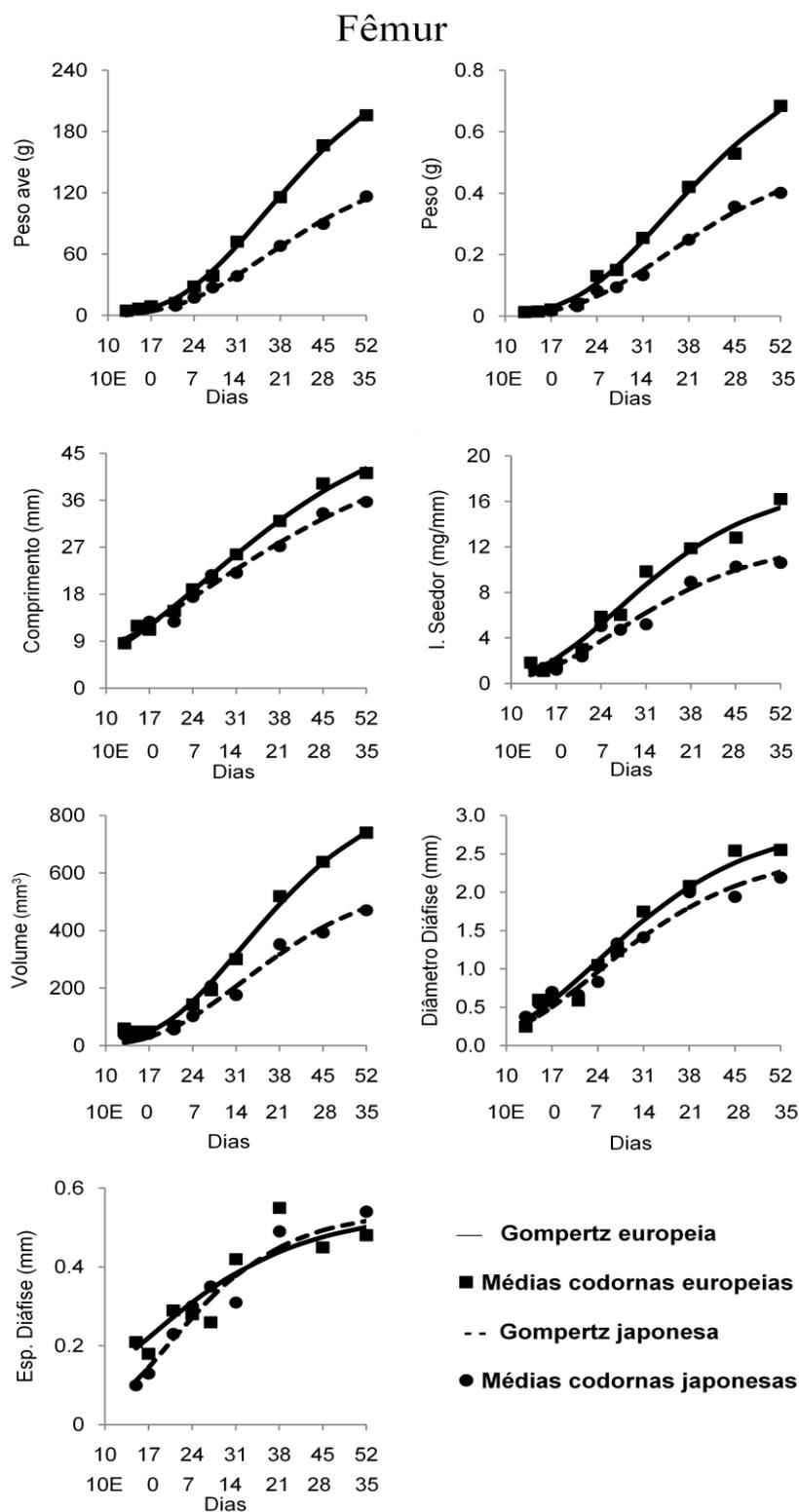


Figura 1. Gráfico das estimativas da equação de Gompertz para as variáveis peso da ave e peso, comprimento, índice de Seedor, volume, diâmetro da diáfise e espessura da diáfise do fêmur de codornas europeias e japonesas.

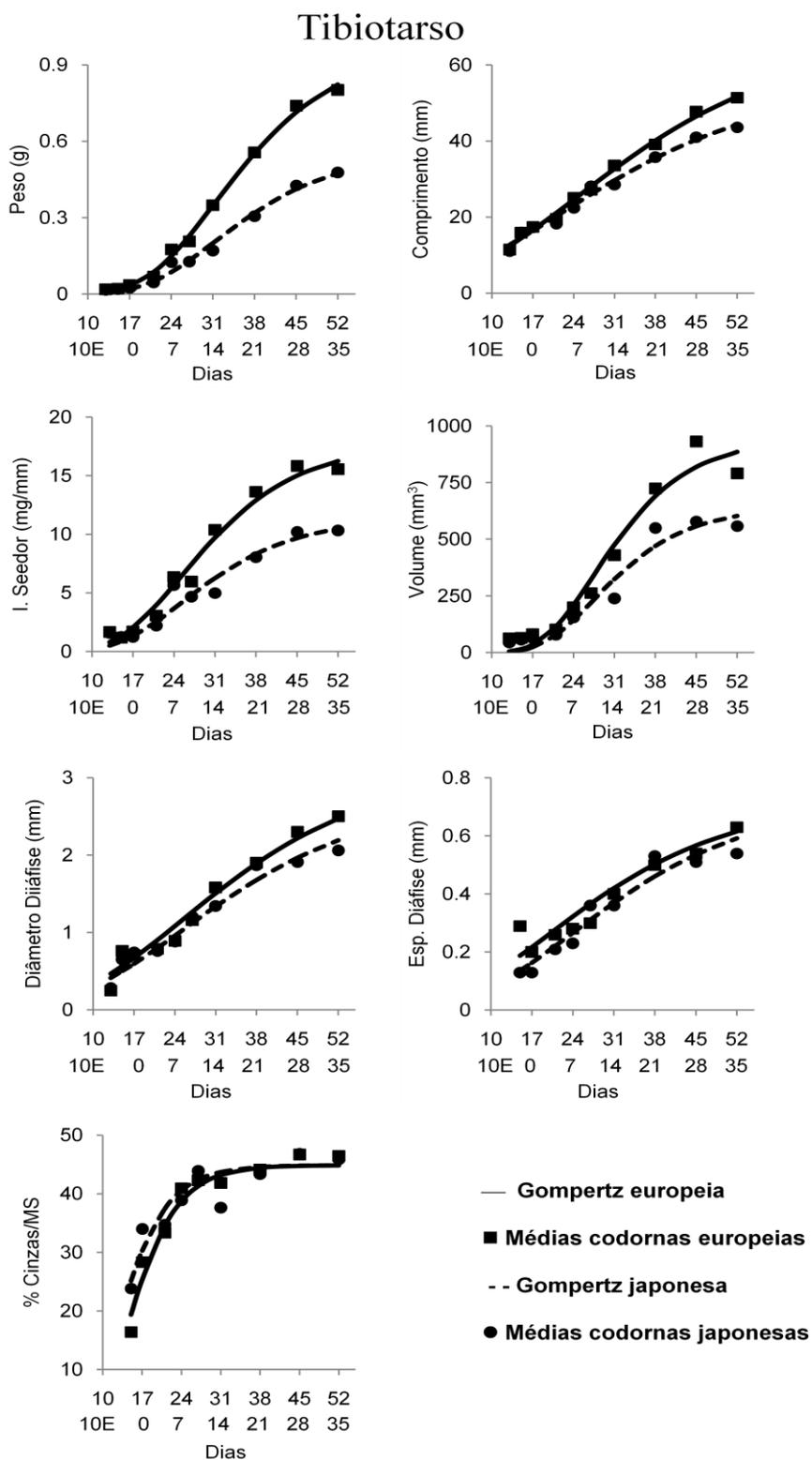


Figura 2. Gráfico das estimativas da equação de Gompertz para as variáveis peso, comprimento, índice de Seedor, volume, diâmetro da diáfise, espessura da diáfise e percentual de cinzas do tibiotarso de codornas europeias e japonesas.

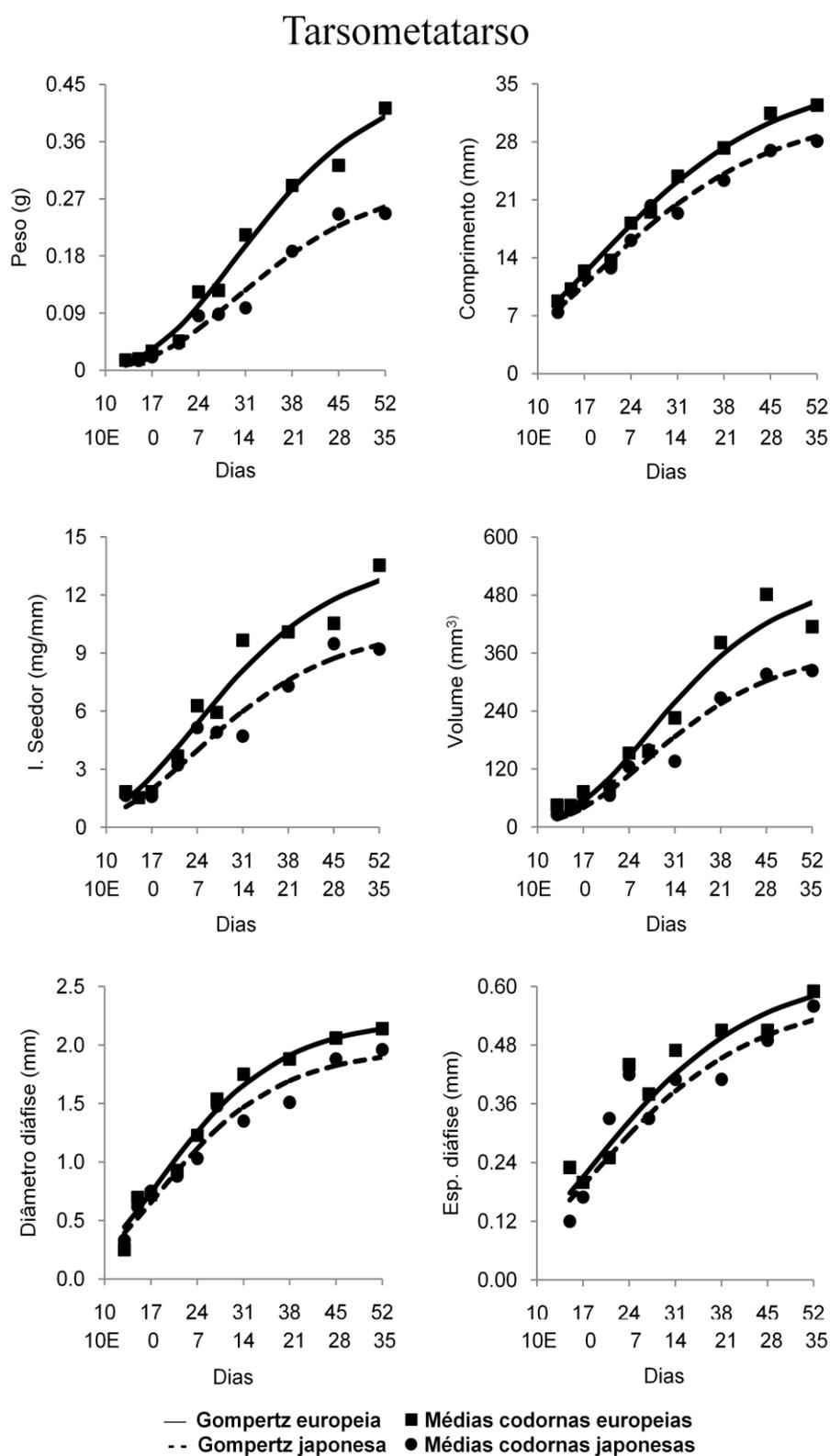


Figura 3. Gráfico das estimativas da equação de Gompertz para as variáveis peso, comprimento, índice de Seedor, volume, diâmetro da diáfise e espessura da diáfise do tarsometatarso de codornas europeias e japonesas.

Por meio da derivada das equações de Gompertz (Fialho, 1999), aplicada para peso, índice de Seedor, volume, comprimento, diâmetro e espessura da diáfise, bem como para o percentual de cinzas do tibiotarso, foram obtidos as taxas de crescimento, em (g), (mm), (mm), (mm³) e (%) por dia, de acordo com a idade das codornas europeias e japonesas. As taxas de crescimento aumentaram com a idade da ave até o ponto em que atingiu o máximo, o que ocorreu no exato momento em que a taxa de crescimento passou de crescente para decrescente. Esses dados estão representados graficamente nas Figuras 4, 5 e 6.

Analisando a taxa de crescimento das codornas europeias e japonesas, em relação ao peso corporal, observou-se que tanto as codornas europeias quanto as japonesas possuem as maiores taxas de crescimento entre os dias 14 e 21, de modo que, em codornas europeias, o ganho g/dia é quase o dobro do que em codornas japonesas.

Quando comparamos a taxa de crescimento do peso do osso do fêmur, observou-se que a maior taxa para os dois tipos de codorna ocorreu no 21^o dia de vida, sendo decrescente a partir daí, e que, da maior taxa de crescimento até o 35^o dia, tem-se uma redução do ganho diário do peso do fêmur de 39,13%, nas codornas europeias, e 35,71%, nas codornas japonesas. Já para o tibiotarso, observa-se que a maior taxa de crescimento para ambas as codornas ocorre no 14^o dia de vida, decrescendo a partir de então. Avaliando-se a redução da taxa de crescimento no ponto máximo até o 35^o dia, notou-se uma redução do ganho diário, de 61,3% no peso dos ossos das codornas europeias e de 61,11% nas codornas japonesas. No osso tarsometatarso, a maior taxa para os dois tipos de codorna ocorreu no 14^a dia de vida, sendo decrescente a partir daí, observando uma redução no ganho de peso dos ossos até o 35^o dia de 55,5% para as codornas europeias e 66,6% para codornas japonesas.

Em relação ao crescimento dos ossos em comprimento, as taxas máximas de crescimento variaram, entre as codornas europeias e japonesas, para o tibiotarso. Para o fêmur, em codornas europeias e japonesas, as reduções nas taxas de crescimento até o 35º dia foram de 42 e 20%, respectivamente. No tibiotarso, as reduções foram de 42 e 48%, para codornas europeias e japonesas. Já para o tarsometatarso, a redução foi a mesma para codornas europeias e japonesas, avaliada em cerca de 70% de redução.

Para o índice de Seedor, a maior taxa de crescimento foi no 10º de vida, para o fêmur e o tibiotarso. Com reduções do índice de 65,2% e 77%, respectivamente, para ambas as codornas até o 35º dia. No tarsometatarso, a maior taxa de crescimento ocorreu no 7ª dia de vida, enquanto que as reduções do índice de Seedor, até o 35º dia, foram de 73% para codornas europeias e japonesas.

O volume ósseo do fêmur atingiu sua taxa máxima de crescimento ao 14º dia em ambas as codornas, tendo o mesmo valor de redução de 50,4%. No tibiotarso, a redução na taxa foi de 80%. Já no tarsometatarso, o valor de redução foi de 70,9% do 10º dia, para ambas as codornas até o 35º dia.

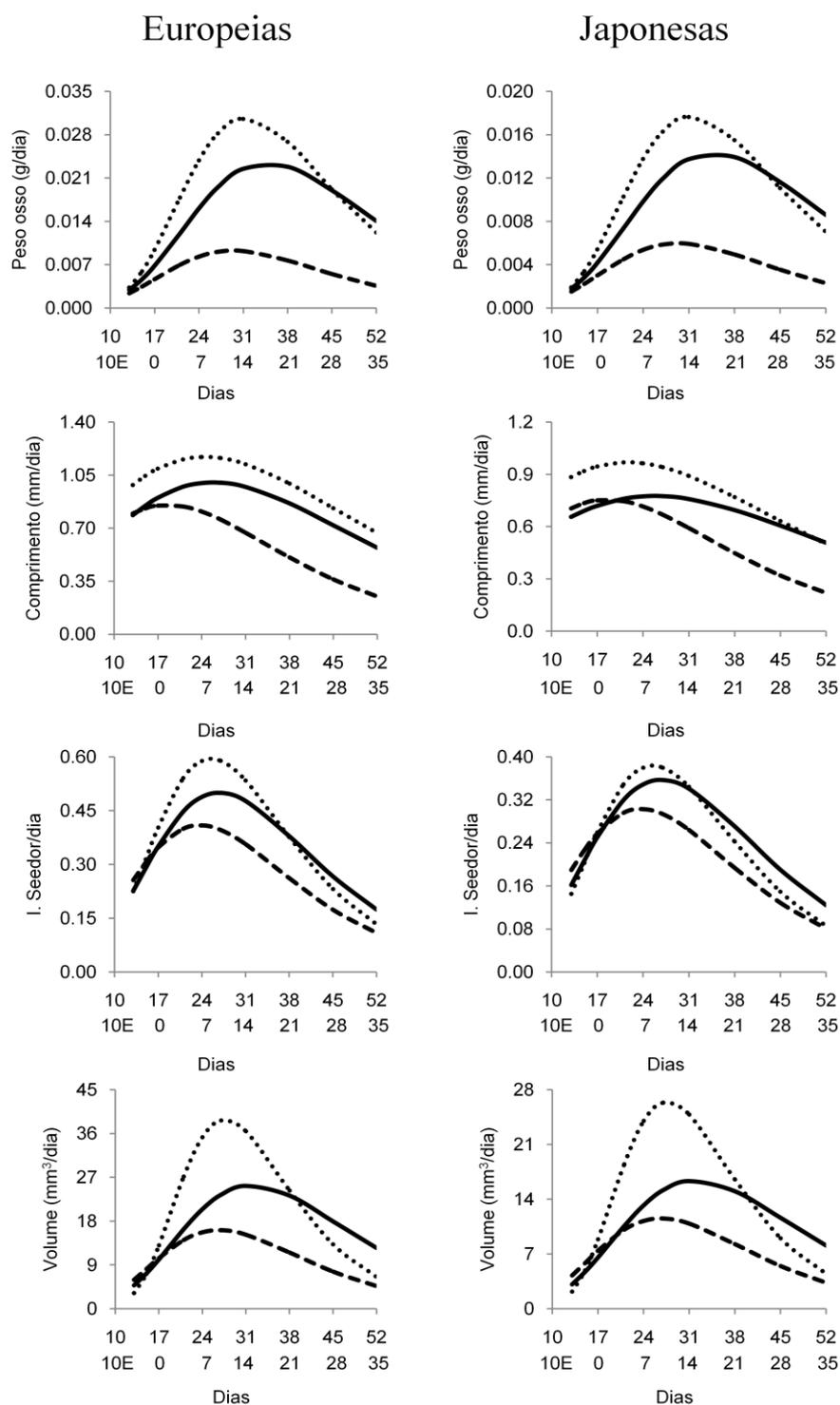
Em relação ao diâmetro da diáfise do fêmur, as maiores taxas de crescimento ocorreram em torno do 5º dia, para os dois tipos de codornas. Em codornas europeias, a redução até o 35º foi de aproximadamente 68%; em codornas japonesas, essa redução foi de 69%. Já no tibiotarso, as maiores taxas de crescimento ocorreram em torno do 8º dia, para os dois tipos de codornas, sendo que, até o 35º dia, as reduções nas taxas de crescimento foram de aproximadamente 47%, em codornas europeias, e 48%, em codornas japonesas para o diâmetro da diáfise.

Para a espessura da diáfise do fêmur, as codornas europeias apresentaram a maior taxa de crescimento no 15º dia de incubação, enquanto que, nas codornas japonesas, isso

ocorreu no 3º dia pós-eclosão. As reduções na taxa de crescimento da espessura da diáfise, em relação ao 35º dia, foram de 78,57% e 83,33%, para codornas europeias e japonesas, respectivamente. Os ossos do tibiotarso das codornas europeias apresentaram taxa máxima no 3º dia pós-eclosão, em codornas japonesas ocorreu no 7º dia, com reduções na taxa de crescimento de 60% e 53%, respectivamente.

Em relação à idade em que a taxa de crescimento foi máxima para a espessura da diáfise, em codornas europeias e japonesas, podemos analisar que, nas primeiras, o aumento da espessura da diáfise precedeu o crescimento longitudinal do osso, quando comparado às codornas japonesas. A taxa máxima de crescimento, em relação à espessura da diáfise do osso, ocorre antes que a taxa máxima de crescimento longitudinal acontecesse. O inverso ocorreu em codornas japonesas, que, aparentemente, apresentaram a taxa máxima de crescimento longitudinal três dias antes que a taxa de crescimento máxima da espessura da diáfise.

Para o tarsometatarso, os valores de redução do diâmetro e espessura da diáfise da máxima taxa de crescimento até o 35º dia são, respectivamente, de 78,5% para as codornas de europeias e de 73% para codornas japonesas.



— Fêmur ··· Tibiotarso --- Tarsometatarso

Figura 4. Gráfico das taxas de crescimento das variáveis peso, comprimento, índice de Seedor e volume dos ossos fêmur, tarsometatarso e tibiotarso de codornas europeias e japonesas.

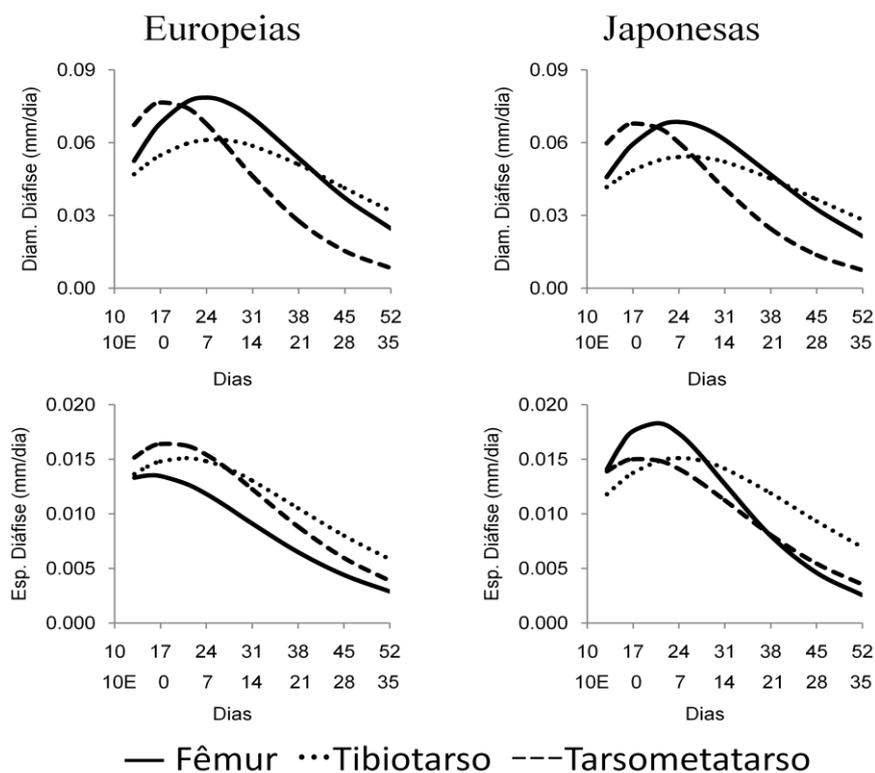


Figura 5. Gráfico das taxas de crescimento das variáveis diâmetro e espessura dos ossos fêmur, tarsometatarso e tibiotarso de codornas europeias e japonesas.

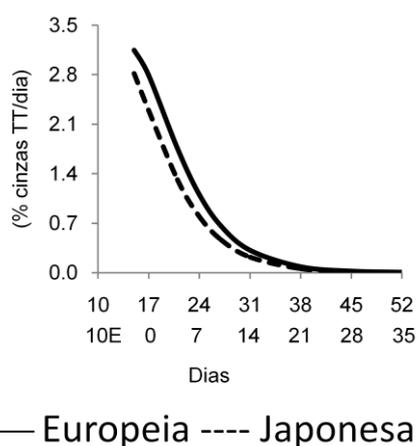


Figura 6. Gráfico da taxa de crescimento da variável percentual de cinzas do tibiotarso de codornas europeias e japonesas.

Para o percentual de cinzas, as maiores taxas acontecem nos últimos dias de desenvolvimento embrionário, sendo no 15º dia a maior taxa de crescimento ou deposição mineral. A partir do 21º dia, a taxa de crescimento do percentual de cinzas,

em codornas europeias e japonesas, diminuiu em 97% da taxa inicial. A partir do 21º dia, a deposição de cinzas nos ossos é quase inexistente.

Por meio da análise de regressão (Tabela 2) foi observada interação entre as codornas europeias e japonesas e os dias, para a variável densidade óssea na escala Hounsfield para os ossos do fêmur, tibiotarso e tarsometatarso ($P < 0,05$). O comportamento cúbico das variáveis indicou diferenças na mineralização óssea entre as codornas europeias e japonesas, nas mesmas idades (Figura 7). Nos três ossos avaliados, o comportamento foi similar, demonstrando que codornas europeias apresentaram maior mineralização a partir dos sete dias para os ossos do fêmur e tibiotarso e, a partir dos quatro dias, para o osso tarsometatarso.

Foi observada interação entre as codornas europeias e japonesas e os dias, para a variável área de secção transversal, nos ossos do fêmur e tibiotarso ($P < 0,05$). A área de secção transversal aumentou no fêmur, assim como no osso tibiotarso, ao longo dos dias observados. Em codornas europeias, a área de secção transversal do fêmur aumentou 1,96 vezes do 10º até o 35º dia, enquanto que, nas codornas japonesas, esse aumento foi de 1,94 vezes.

Analisando a percentagem de fósforo na matéria seca do osso tibiotarso, observou-se interação entre os tipos de codornas e o dias ($P < 0,05$) (Tabela 3, Figura 7).

Tabela 2. Médias de densidade óssea na escala Hounsfield, resistência à quebra, área de secção transversal e espessura do disco epifisário dos ossos fêmur, tibiotarso e tarsometatarso, em codornas europeias e japonesas.

		Fêmur			Tibiotarso			Tarsometatarso			
		DO	RO	AST	DO	RO	AST	EDE	DO	RO	AST
Dias		Europeias									
13e	(13)*	-803	-	-	-787	-	-	-	-696	-	-
15e	(15)	-704	-	-	-707	-	-	-	-672	-	-
1	(17)	-663	-	-	-651	-	-	458,62	-597	-	-
4	(21)	-567	-	-	-535	-	-	373,76	-515	-	-
7	(24)	-567	-	-	-412	-	-	468,55	-440	-	-
10	(27)	-425	19,22	8,46	-362	21,47	6,58	541,52	-384	-	-
14	(31)	-200	21,06	11,62	-223	25,15	8,58	521,35	-276	18,76	8,00
21	(38)	-240	29,24	14,92	-267	24,37	12,31	504,00	-254	29,89	9,62
28	(45)	-164	32,28	15,98	-148	28,61	15,54	516,93	-197	17,36	11,25
35	(52)	-119	44,43	16,66	-85	36,52	15,83	249,75	-123	21,80	11,06
Dias		Japonesas									
13e	(13)*	-811	-	-	-807	-	-	-	-833	-	-
15e	(15)	-624	-	-	-686	-	-	-	-627	-	-
1	(17)	-653	-	-	-636	-	-	385,5	-597	-	-
4	(21)	-555	-	-	-545	-	-	283,47	-522	-	-
7	(24)	-427	-	-	-432	-	-	479,2	-420	-	-
10	(27)	-315	16,87	6,88	-348	20,68	5,38	449,85	-386	-	-
14	(31)	-317	15,75	7,79	-320	20,5	6,28	378,86	-378	12,57	5,54
21	(38)	-324	20,37	10,78	-331	21,33	9,07	461,42	-377	17,48	6,61
28	(45)	-268	36,88	11,17	-239	27,18	11,46	469,62	-278	15,35	8,94
35	(52)	-218	28,67	13,38	-193	24,5	12,16	229,45	-275	10,82	8,78
ANOVA											
CV (%)		-12,61	35,30	13,45	-11,15	30,18	14,33	16,52	-12,29	35,46	14,71
R ²		0,94	0,43	0,82	0,95	0,28	0,86	0,62	0,91	0,34	0,65
Tipo		0,8471	0,0756	<.0001	0,3628	0,036	0,001	0,007	0,5002	0,007	0,0003
Dias		0,0034	<.0001 ²	0,005	<.0001	0,001 ⁵	0,005	0,001 ⁷	0,0066	0,046 ⁹	<.0001 ¹⁰
Tipo vs Dias		0,002 ¹	0,327	0,0464 ³	0,0007 ⁴	0,172	0,034 ⁶	0,436	<.0001 ⁸	0,6830	0,6006

*Dias utilizados na análise de regressão da variável DO; DO=densidade óssea na escala Hounsfield (HU);

RO=resistência óssea (N); AST=área de secção transversal (mm²); EDE=espessura do disco epifisário (um);

Efeito isolado;

²Euro/Japo $y = 8,14231 + 0,8465x$ ($R^2 = 0,43$);

⁵Euro $y = 19,1437 + 0,3762x$; Japo $y = 14,5623 + 0,3762x$, ($R^2 = 0,24$);

⁷Euro $y = 438,8517 - 3,6299x + 1,1595x^2 - 0,0335x^3$; Japo $y = 363,2829 - 3,6299x + 1,1595x^2 - 0,0335x^3$, ($R^2 = 0,61$);

⁹Euro $y = 1,3282 + 1,957x - 0,0412x^2$; Japo $y = -6,5827 + 1,957x - 0,0412x^2$, ($R^2 = 0,33$);

¹⁰Euro $y = 6,0435 + 0,1595x$; Japo $y = 3,5922 + 0,1595x$, ($R^2 = 0,61$);

Efeito Interação;

¹Euro $y = -1709,264 + 90,8478x - 1,8993x^2 + 0,0142x^3$; Japo $y = -1625,092 + 86,8806x - 1,893x^2 + 0,0142x^3$, ($R^2 = 0,93$);

³Euro $y = -5,4256 + 1,8996x - 0,0568x^2 + 0,00058x^3$; Japo $y = -1,9919 + 1,2306x - 0,0432x^2 + 0,00058x^3$, ($R^2 = 0,82$);

⁴Euro $y = -1771,2855 + 100,1889x - 2,2779x^2 + 0,0187x^3$; Japo $y = -1714,2003 + 97,101x - 2,2779x^2 + 0,0187x^3$,

($R^2 = 0,95$);

⁶Euro $y = 6,626 - 0,3612x + 0,0473x^2 - 0,00083x^3$; Japo $y = 5,7634 - 0,4571x + 0,0473x^2 - 0,00083x^3$, ($R^2 = 0,85$);

⁸Euro $y = -1446,8261 + 72,9746x - 1,5723x^2 + 0,01264x^3$; Japo $y = -1371,3113 + 68,8089x - 1,5723x^2 + 0,01264x^3$, ($R^2 = 0,91$).

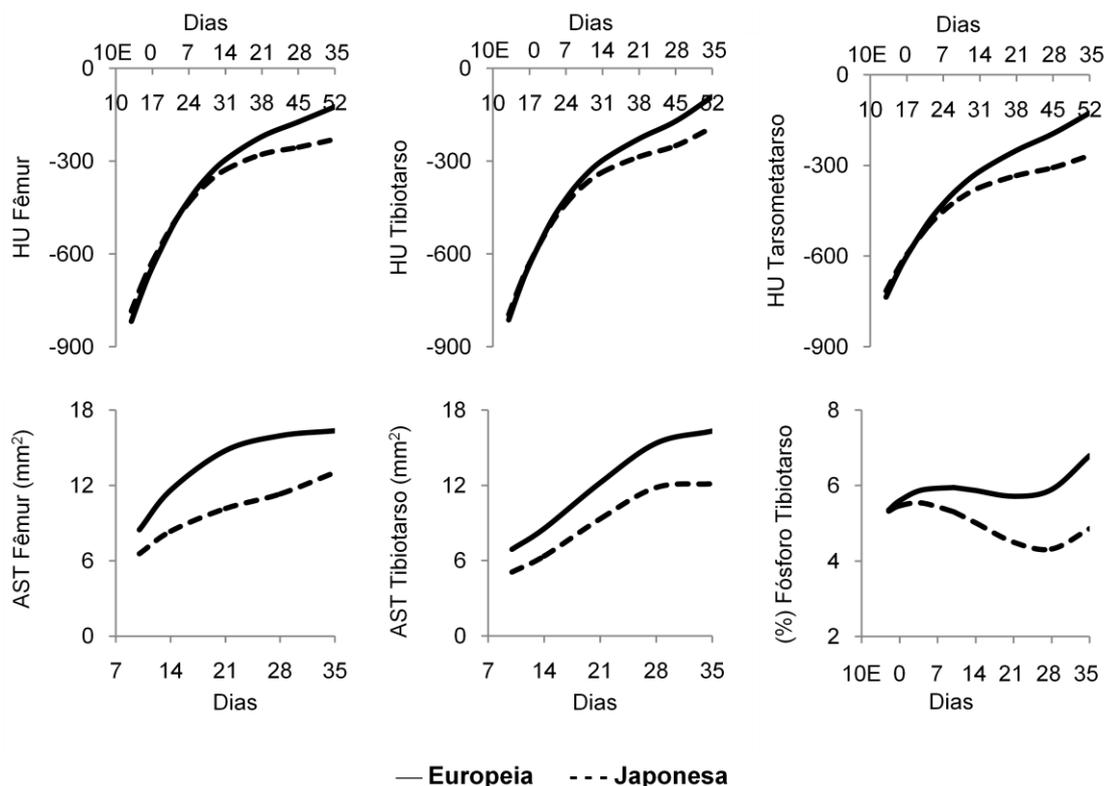


Figura 7. Desdobramento da interação da densidade óssea dos ossos do fêmur, tibiotarso e tarsometatarso, da interação da área de secção transversal dos ossos do fêmur e tibiotarso e da interação do percentual de fósforo na matéria seca dos ossos tibiotarso de codornas europeias e japonesas.

Em relação à variável resistência óssea do fêmur, tibiotarso e tarsometatarso, houve efeito isolado para codornas japonesas e europeias ($P < 0,05$). Nos ossos do fêmur e tibiotarso, esse efeito foi linear, caracterizando o aumento da força de resistência ao longo dos dias. No caso do osso tarsometatarso, o efeito foi quadrático crescente, também caracterizando aumento da força de resistência ao longo dos dias.

A espessura do disco epifisário do osso tibiotarso apresentou efeito isolado para codornas europeias e japonesas ($P < 0,05$), indicando que o seu crescimento difere ao longo dos dias de crescimento.

Não foram observadas diferenças significativas para percentual de cálcio no osso tibiotarso ($P < 0,05$).

Em relação ao percentual de magnésio, foi observado efeito isolado cúbico ($P < 0,05$) para o tibiotarso. Nota-se um alto percentual no 15º dia de desenvolvimento embrionário e nos primeiros dias de vida pós-eclosão, que diminui ao longo dos dias observados. Este comportamento foi observado em codornas europeias e japonesas (Tabela 3).

Tabela 3. Médias do percentual de minerais nos ossos tibiotarso, em codornas europeias e japonesas.

Tibiotarso		(%) Cálcio	(%) Fósforo	(%) Magnésio
Dias		Europeias		
15e	(15)*	14,07	4,46	2,47
1	(17)	11,68	4,06	1,49
4	(21)	17,47	6,48	0,95
7	(24)	12,08	5,11	0,53
10	(27)	12,24	4,64	0,48
14	(31)	10,48	4,42	0,41
21	(38)	15,51	5,97	0,30
28	(45)	15,49	5,58	0,29
35	(52)	14,48	5,77	0,30
Dias		Japonesas		
15e	(15)*	15,02	4,70	2,70
1	(17)	15,76	5,37	1,79
4	(21)	16,42	7,60	1,17
7	(24)	11,96	5,17	0,45
10	(27)	11,23	4,73	0,52
14	(31)	13,58	4,26	0,43
21	(38)	16,36	4,35	0,29
28	(45)	14,47	4,89	0,29
35	(52)	16,16	5,43	0,30
ANOVA				
R ²		0,07	0,11	0,84
CV (%)		21,97	24,93	38,81
Tipo		0,255	0,903	0,751
Dias		0,166	0,060	<,0001 ¹
Tipo vrs Dias		0,750	0,016 ²	0,209

Cálculos de percentual (%) realizados em relação à matéria seca; *Dias utilizados na análise de regressão das variáveis; e= período embrionário.

Efeito isolado;

$${}^1\text{Euro/Japo } y = 10,1959 - 0,7899x + 0,0205x^2 - 0,00017x^3; (R^2 = 0,83);$$

Efeito interação;

$${}^2\text{Euro } y = -0,4266 + 0,5603x - 0,0183x^2 + 0,00019x^3$$

$$\text{Japo } y = 1,1647 + 0,5089x - 0,0183x^2 + 0,00019x^3; (R^2 = 0,10).$$

Discussão

Durante o período experimental observado, do 13º dia de incubação até o 35º pós-eclosão, as codornas europeias tiveram aumento no peso corpóreo de 43,12 vezes e as codornas japonesas 28,77 vezes, ambas em relação ao peso inicial. Com relação aos ossos, em codornas europeias, o fêmur, tibiotarso e o tarsometatarso aumentaram em peso 48,85; 44,5 e 25,81 vezes, respectivamente, em relação ao peso inicial. Por sua vez, as codornas japonesas tiveram o peso dos ossos fêmur, tibiotarso e tarsometatarso aumentados 28,64; 29,81 e 15,43 vezes, respectivamente, em relação ao peso inicial. O crescimento dos ossos tibiotarso e fêmur foram similares aos valores obtidos em relação ao crescimento das aves. No entanto, o osso tarsometatarso foi o que teve o menor aumento em relação ao peso inicial. O tibiotarso e o fêmur estão intimamente relacionados ao crescimento corpóreo, pois acompanharam o crescimento da ave.

O crescimento dos ossos longos obedeceu a um mesmo padrão em codornas europeias e japonesas. A partir da equação derivada de Gompertz, para taxa de crescimento, foi possível observar que, dentre os três ossos avaliados, o tarsometatarso apresentou taxas máximas de crescimento longitudinal e diâmetro da diáfise aos 17 dias de incubação, em ambas as codornas. Sugere-se, assim, que há uma intensa atividade de deposição óssea, já que, embora na eclosão o processo de osteogênese já tenha sido concluído, apenas 86,5 % dos membros inferiores estão calcificados (Nakame e Tsudzuki, 1999).

Nos ossos tibiotarso, em codornas europeias, as taxas indicaram que o maior crescimento ósseo aconteceu primeiro em relação ao comprimento longitudinal, os ossos cresceram inicialmente em comprimento, para depois crescer em espessura. Nas

codornas japonesas, o comportamento foi inverso, de modo que as maiores taxas de crescimento aconteceram em relação à espessura e, após, em crescimento longitudinal.

Em patos, o tibiotarso e fêmur respondem de forma diferente no que diz respeito a mudanças no diâmetro da diáfise. O comprimento do tibiotarso se correlaciona de forma positiva com o aumento do diâmetro, formando um osso maior. Por outro lado, o fêmur apresenta menor diâmetro no início da vida, quando o osso cresce mais longitudinalmente. Neste caso, o crescimento do osso em comprimento, sem alterações proporcionais no diâmetro, pode predispor ao aumento de problemas esqueléticos (Van Wyhe et al., 2012).

Em estudo realizado com frangos de corte, Applegate e Lilburn (2002), observaram diferenças entre os ossos tibiotarso e fêmur, a partir do nascimento. O valor relativo do comprimento do fêmur em relação ao peso vivo alcançou o valor máximo em 35 dias de idade, enquanto que o valor do tibiotarso continuou a aumentar ao longo do estudo. Diferenças no diâmetro da diáfise dos dois ossos, em função do peso vivo, não foram significativas durante o experimento. O fêmur e o tibiotarso apresentaram diferentes padrões de crescimento e desenvolvimento, pelo que, em virtude da mineralização na região da diáfise do fêmur ter sido menor do que no tibiotarso, o fêmur pode ser a chave para anormalidades esqueléticas dos ossos longos durante o período de crescimento final em frangos de corte. Ainda assim, o fêmur não deve apenas responder a alterações relativas ao peso corporal, mas sim a mudanças na conformação, que influenciam a forma como a parte superior do corpo é apresentada ao eixo esquelético inferior (Applegate e Lilburn, 2002).

Contrastando os valores da espessura do disco epifisário do osso tibiotarso, nas codornas europeias e japonesas, com as taxas de crescimento em comprimento do osso,

observou-se que, nos períodos em que as taxas de crescimento são altas, a espessura do disco epifisário apresentou maiores valores. Além disso, no 35º dia, quando a taxa de crescimento foi cerca da metade em relação à maior taxa observada, a espessura do disco também apresentou metade do valor observado. A taxa de crescimento longitudinal do osso é controlada por fatores biomecânicos e mediadores de crescimento, que interagem para regular as atividades dos condrócitos da placa de crescimento (Farquharson e Jefferies, 2000).

Existe uma sincronia entre a velocidade da atividade mitótica da zona de proliferação e a velocidade de reabsorção da zona de ossificação do disco epifisário. Enquanto essa velocidade é igual, a espessura da placa de crescimento continua a mesma e o osso torna-se mais longo. Quando a velocidade da atividade diminui e a zona de ossificação chega às zonas de proliferação e à cartilagem de reserva, a placa de crescimento é substituída por osso calcificado, não sendo mais capaz de realizar o crescimento em comprimento dos ossos (Gartner e Hiatt, 2003).

Reich et al. (2005), em uma pesquisa com pintainhos de frango de corte, em que os autores simularam uma carga extra de 10% do peso vivo acoplado aos animais, observaram uma redução significativa da espessura da placa de crescimento, diminuindo seu comprimento total. No entanto, os autores não observaram alterações nas zonas de crescimento do disco epifisário, mas, sim, nos processos de mineralização e ossificação que acompanham o crescimento, indicando uma alta taxa de calcificação que diminui a espessura do disco epifisário.

Em relação ao percentual de cinzas dos ossos tibiotarso, em codornas europeias e japonesas, foi possível observar que, só a partir do 7º dia de idade, o percentual de cinzas atingiu valores próximos dos observados aos 35 dias, que são de 46,5 e 45,9%,

em codornas europeias e japonesas, respectivamente. Osman et al. (2009) obtiveram valores próximos dos encontrados nesta pesquisa. De acordo com a taxa de crescimento de percentual de cinzas, obtida através da derivada da equação de Gompertz, foi possível observar que a taxa de deposição de cinzas de 3,14 e 2,81%/dia, em codornas europeias e japonesas, respectivamente, aos 15 dias de incubação decresce a 1,10 e 0,79%/dia para codornas europeias e japonesas no 7º dia pós-eclosão, e que do 15º de incubação até o 21º dia pós-eclosão a taxa da percentagem de deposição de cinzas diminui em 97%. Isso sugere que, a partir do 21º dia pós-eclosão, o osso tibiotarso já está completamente calcificado. Do 15º dia de incubação e o 7º dia pós-eclosão, o percentual de cinza depositado nos ossos aumenta, respectivamente, 149 e 62%, nas codornas europeias e japonesas. A partir do 7º dia de idade até o 35º o percentual reduziu para 13 e 18%, em codornas europeias e japonesas, respectivamente. Em decorrência disso, as análises de resistência óssea só foram possíveis de serem realizadas a partir do 7º dia, nos ossos fêmur e tibiotarso, e a partir do 10º dia, no tarsometatarso.

Segundo Ahmed e Soliman (2013) aos 17 dias de incubação em codornas japonesas, o tibiotarso e o fêmur apresentam formação e posição muito similares aos mesmos ossos em animais adultos. Nas aves, a reabsorção da matriz acontece mesmo sem que o processo de calcificação esteja acontecendo, o que deixa o osso menos resistente. A calcificação só é intensa no último dia de incubação e nos primeiros dias pós-eclosão. Segundo os autores referidos apenas o fêmur possui dois centros de ossificação: o primário, na região da metáfise, e o secundário na epífise. Verificaram, também, que não foram encontradas zonas de ossificação secundária nos ossos do tibiotarso.

O tarsometatarso apresentou a maior média de resistência óssea no 21º dia, em codornas europeias e japonesas. Já os ossos do tibiotarso, apresentaram maior resistência à quebra no 35º dia, nas codornas europeias, e no 28º dia, nas codornas japonesas. O mesmo comportamento foi observado nos ossos do fêmur, que apresentaram maior resistência no 35º dia, nas codornas europeias, e no 28º dia, nas codornas japonesas.

Os maiores percentuais de cinzas no osso tibiotarso, observado em codornas europeias, foram no 28º e 35º dia, quando os valores eram de 46,68% e 46,50% de cinzas na matéria seca. Em codornas japonesas, foram observados ao 28º dia, sugerindo que os maiores valores para resistência à quebra vinculam-se às maiores concentrações de cinzas. Apesar de haver diferenças entre os ossos, o percentual de cinzas pode sugerir o mesmo comportamento da resistência à quebra nos ossos do tarsometatarso e fêmur. Segundo Rath et al. (1999), a quantidade de cinza presente no osso é proporcional ao seu grau de dureza. Sendo assim, o equilíbrio entre estes componentes de osso contribuem para sua resistência à quebra. A densidade mineral óssea é uma medida de mineralização dos ossos e é influenciada diretamente pelos teores de cinzas.

De acordo com as taxas de mineralização óssea do osso tibiotarso, bem como com as médias do percentual de cálcio, fósforo e magnésio, observou-se que existe um maior percentual de magnésio nas idades onde a taxa de deposição de cinzas é maior. Aos 15 e 17 dias de incubação, sugerindo que a calcificação foi intensa. A partir do 7º dia pós-eclosão, a taxa de crescimento de cinzas diminui junto com o percentual de magnésio. Valores similares de cálcio e fósforo foram observados por Perine (2013). Em codornas europeias com 14 dias, os valores observados foram de 11,84% e 7,48% de cálcio e fósforo, respectivamente. Em codornas de 35 dias, os valores foram de 15,58% e 9,18%

de cálcio e fósforo, respectivamente. Barreiro et al. (2009), em estudo com frangos de corte, avaliaram o percentuais de cálcio, fósforo e magnésio no 8º, 22º e 43º dias. Os autores observaram que os percentuais desses minerais aos 22º e 43º dias não diferiram e apresentaram maior valor em relação ao 8º dia.

Segundo os dados de densidade óssea na escala Hounsfield (HU), obtidos a partir da tomografia computadorizada de feixe cônico e do programa computacional *Dolphin*®, observou-se que a densidade mineral óssea em codornas europeias e japonesas, nos ossos do fêmur, tibiotarso e tarsometatarso aumentam ao longo da idade. Os valores fornecidos na escala Hounsfield (HU) representam a densidade relativa dos tecidos de acordo com a escala de cinza, com base nos valores -1000 HU, para o ar, 0 HU, para a água, e 1000 HU, para tecido ósseo (Silva et al., 2012). Quando o osso é submetido a estresse gerado na superfície óssea é criado um potencial elétrico que produz certa deformação no tecido. Esse estresse gerado é importante para guarnecer o tecido ósseo de nutrientes, atuando como um estímulo para a formação óssea, o que poderia explicar o efeito da atividade física sobre as propriedades ósseas e o aumento da resistência óssea, observada no presente trabalho (Turner et al., 1995). Os ossos são mais sensíveis a cargas físicas durante o crescimento, de modo que os resultados são frequentemente caracterizados pelo aumento da massa óssea através do perióstio e aposição endosteal, com ou sem alterações na densidade mineral (Regmi et al., 2016).

O tarsometatarso, quando comparado aos demais ossos, ao tibiotarso e ao fêmur apresentou diferenças na densidade óssea entre as codornas europeias e japonesas. Este fato pode ser influenciado pela alta taxa de crescimento ósseo, já que a maior taxa de crescimento do osso em largura, espessura da diáfise e comprimento acontece no 1º dia de vida pós-eclosão.

A área de secção transversal retratou uma resposta na capacidade dos ossos em suportar cargas durante o processo de desenvolvimento, quanto maior a área, maior a resposta a cargas aplicadas (Yair et al., 2012). Alguns autores sugerem que o osso submetido à sobrecarga aumenta sua força prioritariamente pelas mudanças promovidas em sua geometria e pela posterior redistribuição da massa óssea (Heinonen et al., 2001). O fornecimento de maior espaço, que permita que as aves executem atividades como correr, saltar e bater de asa, presumivelmente proporciona uma maior carga para os seus ossos, o que os fortalece (Jendral et al., 2008). As codornas europeias apresentaram maior área de secção transversal que as codornas japonesas. À medida que o animal cresceu, a forma geométrica dos ossos se tornou menos circular, podendo transparecer possíveis diferenças quanto à área de secção transversal. Há uma forte correlação entre a área de secção transversal e o peso corpóreo, no sentido de que, quanto mais pesada a ave, maior a área de secção transversal (Williams et al., 2004).

O conhecimento das propriedades morfométricas, biomecânicas, bromatológicas e químicas dos ossos dos membros pélvicos das codornas permitira entender às estruturas e propriedades, provendo maior conhecimento que auxiliará na elaboração de programas nutricionais e de melhoramento genético.

Conclusão

As codornas europeias e japonesas apresentaram diferenças no crescimento dos ossos longos do membro pélvico. O crescimento do osso tarsometatarso apresentou similaridade quando comparado entre os dois tipos de codornas. Por outro lado, os ossos

fêmur e tibiotarso apresentaram diferenças no crescimento, principalmente, nos primeiros dias pós-eclosão.

Referências

- Ahmed, Y. A.; Soliman, S. A. 2013. Long bone development in the Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) embryos. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 16:911-919.
- Ainsworth, S. J.; Stanley, R. L.; Evans, D. J. R. 2010. Developmental stages of the Japanese quail. *Journal of Anatomy* 216:3-15.
- Applegate, T. J.; Lilburn, M. S. 2002. Growth of the femur and tibia of a commercial broiler line. *Poultry Science* 81:1289-1294.
- Barreiro, F. R.; Sagula, A. L.; Junqueira, O. M.; Pereira, G. T.; Baraldi-Artoni, S. M. 2009. Densitometric and biochemical values of broiler tibias at different ages. *Poultry Science* 88:2644-2648.
- Bertechini, A. G. 2010. Situação atual e perspectivas para a coturnicultura no Brasil. p.9-14. In: *Anais do 4º Simpósio Internacional de Coturnicultura*, Lavras.
- Duan-Yai, S.; Young, B. A.; Lisle, A.; Coutts, J. A.; Gaughan, J. B. 1999. Growth data of broiler chickens fitted to Gompertz function. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 12:1177-1180.
- Farquharson, C.; Jefferies, D. 2000. Chondrocytes and longitudinal bone growth: the development of tibial dyschondroplasia. *Poultry Science* 79:994-1004.
- Fialho, F. B. 1999. Interpretação da curva de crescimento de Gompertz. Comunicado técnico 237. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia-SC.
- Fitzhugh Jr., H. A.; Taylor St, C. S. 1976. Genetic analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Science* 42:1036-1051.
- Freitas, A. R. 2005. Curvas de crescimento na produção animal. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34:786-795.
- Gartner, P. L.; Hiatt, J. L. 2003. *Tratado de histologia em cores*. 2ª ed. Guanabara-Koogan. Rio de Janeiro.
- Gous, R. M.; Moran Jr. E. T.; Stilborn, H. R.; Bradford, G. D.; Emmans, G. C. 1999. Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. *Poultry Science* 78:812-821.

- Greiser, D. O.; Marcato, S.M.; Furlan, A.C.; Zancanela, V.; Ton, A.P.S.; Batista, E.; Perine, T.P.; Pozza, P.C.; Sakomura, N.K. 2015. Comparison of growth curve parameters of organs and body components in meat (*Coturnix coturnix coturnix*) and laying-type (*Coturnix coturnix japonica*) quail show interactions between gender and genotype. *British Poultry Science* 56:6-14.
- Han, J. C.; Qu, H. X.; Wang, J. G.; Yan, Y. P.; Zhang, J. L.; Hu, F. M.; You, L. Y.; Cheng, Y. H. 2015. Comparison of the growth and mineralization of the femur, tibia, and metatarsus of broiler chicks. *Brazilian Journal of Poultry Science* 17:333-340.
- Heinonen, A.; Siev ãnen, H.; Kyrõläinen, H.; Perttunen, J.; Kannus, P. 2001. Mineral mass, size and estimated mechanical strength of triple jumper's lower limb. *Bone* 29:279-285.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal/2013/ppm_2013.pdf 2015.
- Jendral, M. J.; Korver, D. R.; Church, J. S.; Feddes, J. J. R. 2008. Bone mineral density and breaking strength of white leghorns housed in conventional, modified, and commercially available colony battery cages. *Poultry Science* 8:828-837.
- Nakane, Y.; Tsudzuki, M. 1999. Development of the skeleton in japanese quail embryos. *Development Growth and Differentiation* 41:523-534.
- Narinc, D.; Karaman, E.; Aksoy, T. 2010. Estimation of genetic parameters for carcass traits in Japanese quail using Bayesian methods. *South African Journal of Animal Science* 9:501-507.
- Oliveira, N. T. E.; Escocard, C. P. S. 2010. Avaliação do peso corporal e de características de carcaça de machos de codornas japonesas por idade de abate. *Agrarian Dourados* 3:78-83.
- Osman, E. S.; Maksoud, A. M.; Salem, A. A.; Elatar, A. H. 2009. Tibia characteristics and strength in japanese quail fed low phosphorus diets supplemented with microbial phytase. *Egyptian Poultry Science Journal* 29:323-336.
- Perine, T. P. 2013. Determinação da exigência nutricional de cálcio e níveis de suplementação de vitamina d para codornas de corte em crescimento. Dissertação (M.Sc.). Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- Pizauto Jr, J. M., 2002. Estrutura e função do tecido ósseo. p.247-266. In: *Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte*. 2ª ed. Funep, Jaboticabal (a).
- Rath, N. C.; Huff, G. R.; Huff, W. E.; Balog, J. M. 2000. Factors regulating bone maturity and strength in poultry. *Poultry Science* 7:1024-1032.
- Regazzi, A. J.; Silva, C. H. O. 2004. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não linear: dados no delineamento inteiramente casualizado. *Revista de Matemática e Estatística* 22:33-45.

- Regmi, P.; Smith, N.; Nelson, N.; Haut, R. C.; Orth, M. W.; Karcher, D. M. 2016. Housing conditions alter properties of the tibia and humerus during the laying phase in Lohmann white Leghorn hens. *Poultry Science* 95:198-206.
- Reich, A.; Jaffe, N.; Tong, A.; Lavelin, I.; Genina, O.; Pines, M.; Sklan, D.; Nussinovitch, A.; Monsonego-Ornan, E. 2005. Weight loading young chicks inhibits bone elongation and promotes growth plate ossification and vascularization. *Journal of Applied Physiology* 98:2381-2389.
- Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Donzele, J. L.; Gomes, P. C.; Oliveira, R. F.; Lopes, D. C.; Ferreira, A. S.; Barreto, S. L. T.; EUCLIDES, R. F. 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos. 3ª ed, Ed UFV, Viçosa.
- Seedor, J.G. 1993. The biophosphonate alendronate (MK-217) inhibit bone loss due to ovariectomy in rats. *Journal Of Bone And Mineral Research* 4:265-270.
- Shim, M. Y.; Karnuah, A. B.; Mitchell, A. D.; Anthony, N. B.; Pesti, G. M.; Aggrey, S. E. 2012. The effects of growth rate on leg morphology and tibia breaking strength, mineral density, mineral content, and bone ash in broilers. *Poultry Science* 91:1790-1795.
- Silva, D. J.; Queiroz, A. C. 2006. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3ª ed. UFV. Viçosa.
- Silva, I. M. C. C.; Freitas, D. Q.; Ambrosano, G. M. B.; Bóscolo, F. N.; Almeida, S. M. 2012. Bone density: comparative evaluation of Hounsfield units in multislice and cone-beam computed tomography. *Brazilian Oral Research* 26:550-556
- Silva, J. H. V.; Costa, F. G. P. 2009. Tabela para codornas japonesas e europeias. 2ª ed. Funep, Jaboticabal.
- Turner, C. H.; Owan, I.; Takano, Y. 1995. Mechanotransduction in bone: role of a strain rate. *The American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism* 33:438-442.
- Turner, C. H.; Burr, D. B. 1993. Basic biomechanical measurements of bone: a tutorial. *Bone* 14:595-608.
- Underwood, E. D.; Suttle, N. F. 1999. Calcium. p.67-104. In: *Mineral nutrition of livestock*. CAB international, Washington.
- Van Wyhe, R. C.; Regmi, P.; Powell, B. J.; Haut, R. C.; Orth, M. W.; Karcher, D. M. Bone characteristics and femoral strength in commercial toms: The effect of protein and energy restriction 2014 *Poultry Science* 93 :943–952.
- Williams, B.; Waddington, D.; Murray, D, H.; Farquharson, C. 2004. Bone strength during growth: Influence of growth rate on cortical porosity and mineralization. *Calcified tissue international* 74:236-245.

Yair, R.; Uni, Z.; Shahar, R. 2012. Bone characteristics of late-term embryonic and hatchling broilers: Bone development under extreme growth rate. *Poultry Science* 91:2614-262.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados obtidos, pode-se afirmar que o desenvolvimento e o crescimento do peito e de seus músculos, peitoral e supracoracoide apresentaram o mesmo comportamento tanto em codornas europeias quanto em codornas japonesas. No entanto, algumas particularidades foram observadas na caracterização dos tipos de fibras que compõem esses músculos. Observou-se que nas codornas os músculos do peito são compostos por feixes musculares típicos de aves silvestres, com fibras glicolíticas/oxidativas (IIa) no centro e glicolíticas (IIb) na periferia dos mesmos. O aumento do peso do peito foi resultado da hipertrofia, principalmente das fibras tipo IIb, não sendo observado indícios de hiperplasia, apesar de esse fenômeno não poder ser descartado.

O crescimento dos ossos longos do membro pélvico por sua vez apresentou comportamento distinto. O crescimento do osso tarsometatarso foi similar entre os dois tipos de codornas. Entretanto, os ossos fêmur e tibiotarso apresentaram diferenças no crescimento. Os resultados obtidos sugerem que as diferenças observadas no desenvolvimento ósseo podem ser adaptações para que ocorra um suporte adequado ao crescimento do peito.

As codornas europeias têm sido utilizadas para a produção de carne por possuírem peso vivo e peso de peito superiores ao das codornas japonesas, que são preferencialmente criadas para postura. No entanto, na análise do peso relativo constatou-se que o peito apresentou proporcionalmente a mesma percentagem em ambos os tipos de codornas. Já nos ossos, o efeito do peso vivo foi constatado na maior

densidade dos ossos em geral, sinalizando que nessas aves o sistema esquelético apresenta reforço estrutural em função do maior peso.

A partir dos resultados obtidos por meio das curvas de Gompertz, constataram-se os momentos de maior crescimento muscular e ósseo, sendo possível presumir períodos de maior deposição proteica e mineral. Desta forma, alterações adequadas nos perfis da dieta podem potencializar o desenvolvimento das codornas europeias e japonesas.

Estes resultados possibilitarão um melhor planejamento para a obtenção de codornas com características adequadas, tanto para produção de ovos quanto de carne, buscando melhorias na eficiência da produção. Estes resultados podem servir para o desenvolvimento de novas pesquisas em nutrição e em melhoramento genético.

As codornas, apesar de serem amplamente utilizadas como aves de produção, ainda não possuem uma genética bem estabelecida. A seleção de aves com melhor potencial produtivo tem sido uma busca na coturnicultura. Em relação às codornas japonesas, a seleção de fêmeas com maior espessura e diâmetro da diáfise possibilitaria maior reserva de minerais para suprir as necessidades de oviposição, já as codornas machos poderiam ser utilizadas para a produção de carnes, buscando um maior peso de peito, maior diâmetro e quantidade de fibras do tipo IIb. No caso de codornas europeias, a seleção genética baseada na morfometria das fibras musculares do peito, por exemplo, possibilitará aumentos na produção de carne e, conseqüentemente, aumento dos músculos do peito, identificando a melhor idade ao abate.

VII. APÊNDICES

Tabela 1. Valores de L.

Idade	Europeias			Japonesas		
	Fêmur	TT	TMT	Fêmur	TT	TMT
7	-	2	-	-	2	-
10	1,5	2,25	1,5	1,5	2	1,5
14	2	2,5	1,5	1,5	2	1,5
21	2,5	3	2	2	2,5	2
28	2,5	3,5	2,5	2	3	2
35	2,5	3,5	2,5	2	3	2

Tabela 2. Médias para peso da ave, do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide em codornas europeias e japonesas.

		Ave (g)	Peito (g)	M. Peitoral (g)	M. Supracoracoide (g)
Dias		Europeia			
11	(11e)	3.31	-	-	-
13	(13e)	4.69	0.16	-	-
15	(15e)	6.69	0.16	-	-
17	(17e)	7.36	0.11	-	-
21	(4d)	16.87	0.63	-	-
24	(7d)	29.75	2.50	1.98	0.52
27	(10d)	58.58	8.09	6.37	1.72
31	(14d)	71.81	11.16	8.50	2.65
38	(21d)	119.45	21.37	15.84	5.53
45	(28d)	170.73	34.72	25.99	8.73
52	(35d)	201.68	44.65	33.45	11.20
Dias		Japonesa			
11	(11e)	2.71	-	-	-
13	(13e)	3.84	0.12	-	-
15	(15e)	5.47	0.11	-	-
17	(17e)	6.40	0.08	-	-
21	(4d)	11.74	0.35	-	-
24	(7d)	20.81	1.53	1.19	0.34
27	(10d)	29.58	3.32	2.50	0.82
31	(14d)	43.59	5.95	4.52	1.43
38	(21d)	71.84	11.84	8.85	3.01
45	(28d)	92.70	16.06	11.69	4.37
52	(35d)	111.01	21.17	15.64	5.54
CV (%)		8.20	16.47	14.93	12.62

e=embrião; d=pós-eclosão.

Tabela 3. Taxas de crescimento da ave, do peito e dos músculos peitoral e supracoracoide das codornas europeias e japonesas.

		Ave (g/dia)	Peito (g/dia)	M. Peitoral (g/dia)	M. Supracoracoide (g/dia)
Dias		Europeia			
13	(13e)	0,922	0,049	0,061	0,008
15	(15e)	1,440	0,100	0,108	0,018
17	(17e)	2,087	0,181	0,175	0,036
21	(4d)	3,633	0,450	0,371	0,104
24	(7d)	4,816	0,732	0,561	0,180
27	(10d)	5,828	1,041	0,764	0,265
31	(14d)	6,715	1,411	1,009	0,367
38	(21d)	6,859	1,734	1,251	0,447
45	(28d)	5,782	1,618	1,223	0,402
52	(35d)	4,328	1,278	1,027	0,303
Dias		Japonesa			
13	(13e)	0,668	0,024	0,028	0,004
15	(15e)	0,991	0,048	0,050	0,009
17	(17e)	1,374	0,087	0,081	0,018
21	(4d)	2,224	0,217	0,172	0,052
24	(7d)	2,825	0,352	0,261	0,091
27	(10d)	3,302	0,501	0,355	0,134
31	(14d)	3,667	0,680	0,469	0,185
38	(21d)	3,585	0,835	0,581	0,225
45	(28d)	2,941	0,779	0,568	0,203
52	(35d)	2,164	0,615	0,477	0,153

e=embrião; d=pós-eclosão.

Tabela 4. Médias para peso do osso (g), índice de Seedor, volume ósseo (mm³), comprimento (mm), diâmetro da diáfise (mm) e espessura da diáfise (mm) do osso fêmur.

Fêmur		Fêmur	Comp.	IS	Volume	Diâmetro	Espessura
		(g)	(mm)	(mg/mm)	(mm ³)	Diáfise (mm)	Diáfise (mm)
Dias					Europeias		
13	(13e)	0,014	8,60	1,86	59,00	0,25	-
15	(15e)	0,015	11,94	1,11	49,56	0,60	0,21
17	(17e)	0,023	11,20	1,71	49,70	0,60	0,18
21	(4d)	0,041	14,78	3,06	68,12	0,59	0,29
24	(7d)	0,130	18,90	5,89	142,90	1,05	0,28
27	(10d)	0,150	21,09	6,05	192,96	1,23	0,26
31	(14d)	0,254	25,67	9,84	300,66	1,75	0,42
38	(21d)	0,420	22,03	11,91	520,28	2,08	0,55
45	(28d)	0,529	39,20	12,82	639,49	2,54	0,45
52	(35d)	0,684	41,23	16,23	740,19	2,55	0,48
Média		0,23	21,47	7,05	276,30	1,32	0,35
					Japonesas		
13	(13e)	0,014	8,75	1,75	37,42	0,38	-
15	(15e)	0,015	11,95	1,37	44,06	0,55	0,10
17	(17e)	0,018	12,71	1,23	41,23	0,70	0,13
21	(4d)	0,033	12,71	2,39	56,32	0,66	0,23
24	(7d)	0,084	17,51	5,05	102,91	0,83	0,30
27	(10d)	0,095	21,88	4,73	207,23	1,33	0,35
31	(14d)	0,134	22,11	5,20	176,08	1,41	0,31
38	(21d)	0,249	27,24	8,94	352,11	2,00	0,49
45	(28d)	0,357	33,58	10,27	393,75	1,94	0,45
52	(35d)	0,401	35,74	10,61	471,17	2,19	0,54
Média		0,14	20,42	5,15	188,21	1,20	0,38
CV (%)		22,94	7,58	20,99	20,33	15,66	22,95

e=embrião; d=dias pós eclosão; IS=índice de Seedor; Comp=comprimento.

Tabela 5. Taxas de crescimento do osso fêmur de acordo com a idade das codornas europeias e japonesas.

Fêmur	Fêmur (g)	IS (mg/mm)	Volume (mm ³)	Comp. (mm)	Diâmetro Diáfise (mm)	Espessura Diáfise (mm)
Dias				Europeia		
13 (13e)	0,003	0,227	48,509	0,786	0,053	0,013
15 (15e)	0,005	0,290	72,939	0,848	0,061	0,014
17 (17e)	0,007	0,351	101,635	0,901	0,068	0,014
21 (4d)	0,012	0,447	163,517	0,973	0,077	0,013
24 (7d)	0,016	0,488	20,469	0,998	0,079	0,012
27 (10d)	0,020	0,500	234,551	1,000	0,077	0,011
31 (14d)	0,023	0,477	252,525	0,972	0,070	0,009
38 (21d)	0,023	0,379	232,514	0,864	0,054	0,007
45 (28d)	0,019	0,266	179,781	0,719	0,037	0,004
52 (35d)	0,014	0,174	125,245	0,571	0,025	0,003
Dias				Japonesa		
13 (13e)	0,002	0,162	31,373	0,656	0,046	0,014
15 (15e)	0,003	0,207	47,173	0,691	0,053	0,016
17 (17e)	0,004	0,251	65,733	0,720	0,059	0,018
21 (4d)	0,007	0,320	105,755	0,760	0,067	0,018
24 (7d)	0,010	0,349	132,384	0,774	0,069	0,017
27 (10d)	0,012	0,357	151,696	0,775	0,067	0,016
31 (14d)	0,014	0,341	16,332	0,759	0,061	0,013
38 (21d)	0,014	0,271	150,379	0,696	0,047	0,008
45 (28d)	0,012	0,190	116,273	0,606	0,033	0,005
52 (35d)	0,009	0,124	81,002	0,508	0,021	0,003

e=embrião; d=pós-eclosão; IS=Índice de Seedor; Comp=Comprimento.

Tabela 6. As médias para o peso do osso (g), índice de Seedor, volume ósseo (mm³), comprimento (mm), diâmetro da diáfise (mm), espessura da diáfise (mm) e percentual de cinzas do osso tibiotarso.

Tibiotarso		TT (g)	IS (mg/mm)	Volume (mm ³)	Comp. (mm)	Diâmetro Diáfise (mm)	Espessura Diáfise (mm)	% Cinzas
Dias		Europeia						
13	(13e)	0,018	1,66	61,97	11,47	0,25	-	-
15	(15e)	0,022	1,18	64,71	15,89	0,76	0,29	16,42
17	(17e)	0,035	1,71	81,03	17,46	0,71	0,20	28,36
21	(4d)	0,061	3,09	101,49	19,61	0,79	0,26	33,38
24	(7d)	0,176	6,37	199,39	25,03	0,89	0,28	40,97
27	(10d)	0,207	5,97	263,26	27,16	1,16	0,30	42,29
31	(14d)	0,350	10,40	429,78	33,55	1,58	0,40	41,84
38	(21d)	0,556	13,65	723,93	39,17	1,90	0,50	44,11
45	(28d)	0,739	15,38	931,47	47,73	2,30	0,54	46,68
52	(35d)	0,801	15,55	790,64	51,45	2,50	0,63	46,50
Média		0,297	7,50	364,77	28,85	1,28	0,38	37,84
		Japonesa						
13	(13e)	0,016	1,59	45,12	11,08	0,28	-	-
15	(15e)	0,019	1,24	57,09	15,95	0,65	0,13	23,85
17	(17e)	0,025	1,24	64,80	17,34	0,74	0,13	34,00
21	(4d)	0,046	2,21	79,08	18,26	0,76	0,21	34,70
24	(7d)	0,134	5,68	154,90	22,48	0,88	0,23	38,88
27	(10d)	0,127	4,67	261,70	28,18	1,20	0,36	43,89
31	(14d)	0,170	5,00	239,12	28,54	1,34	0,36	37,62
38	(21d)	0,291	8,06	549,48	35,75	1,87	0,53	43,38
45	(28d)	0,427	10,20	578,05	41,04	1,91	0,51	46,82
52	(35d)	0,477	10,32	559,01	43,65	2,06	0,54	45,90
Média		0,17	5,02	258,84	26,23	1,17	0,33	38,78
CV (%)		23,06	23,19	26,00	7,40	16,06	22,84	14,28

e=embrião; d=dias pós eclosão; TMT=tarsometatarso; IS=índice de Seedor; Comp=comprimento.

Tabela 7. Taxas de crescimento do osso tibiotarso de acordo com a idade das codornas europeias e japonesas.

Taxa de crescimento								
TT	(g)	IS	Volume (mm ³)	Comp. (mm)	Diam. (mm)	Esp. Dia. (mm)	Cinzas (%/MS)	
Dias			Europeia					
13	(13e)	0,003	0,225	3,254	0,986	0,047	0,014	-
15	(15e)	0,006	0,314	7,219	1,045	0,051	0,014	3,147
17	(17e)	0,009	0,403	13,070	1,093	0,055	0,015	2,799
21	(4d)	0,018	0,541	27,147	1,154	0,060	0,015	1,756
24	(7d)	0,024	0,589	35,259	1,170	0,061	0,015	1,104
27	(10d)	0,028	0,589	38,674	1,163	0,061	0,014	0,659
31	(14d)	0,031	0,534	36,467	1,122	0,059	0,013	0,318
38	(21d)	0,027	0,376	24,294	0,994	0,051	0,011	0,085
45	(28d)	0,019	0,232	13,227	0,832	0,041	0,008	0,022
52	(35d)	0,012	0,133	6,564	0,668	0,032	0,006	0,006
Dias			Japonesa					
13	(13e)	0,002	0,145	2,216	0,884	0,042	0,012	-
15	(15e)	0,003	0,203	4,917	0,920	0,045	0,013	2,816
17	(17e)	0,005	0,260	8,902	0,946	0,049	0,014	2,303
21	(4d)	0,010	0,349	18,490	0,969	0,053	0,015	1,313
24	(7d)	0,014	0,380	24,016	0,963	0,054	0,015	0,796
27	(10d)	0,016	0,380	26,342	0,941	0,054	0,015	0,466
31	(14d)	0,018	0,345	24,839	0,892	0,052	0,014	0,222
38	(21d)	0,016	0,243	16,548	0,770	0,045	0,012	0,058
45	(28d)	0,011	0,149	9,009	0,633	0,037	0,009	0,015
52	(35d)	0,007	0,086	4,471	0,501	0,028	0,007	0,004

e=embrião; d=pós-eclosão; IS=Índice de Seedor; Comp=Comprimento; Diam.=Diâmetro; Esp. Dia.=Espessura da diáfise.

Tabela 8. As médias para o peso da ave (g) e para peso do osso (g), índice de Seedor, volume ósseo (mm³), comprimento (mm), diâmetro da diáfise (mm) e espessura da diáfise (mm) do osso tarsometatarso.

Tarsometatarso		Peso Ave (g)	TMT (g)	IS (mg/mm)	Volume (mm ³)	Comp. (mm)	Diâmetro Diáfise (mm)	Espessura Diáfise (mm)
Dias		Europeia						
13	(13e)	4,55	0,016	1,83	45,11	8,75	0,25	-
15	(15e)	6,53	0,018	1,55	44,61	10,23	0,70	0,23
17	(17e)	8,78	0,030	1,83	73,43	12,43	0,72	0,20
21	(4d)	12,03	0,046	3,70	84,22	13,66	0,93	0,25
24	(7d)	26,95	0,116	6,28	153,27	18,20	1,23	0,44
27	(10d)	38,92	0,125	5,95	156,28	19,53	1,54	0,38
31	(14d)	72,43	0,213	9,66	225,79	23,83	1,75	0,47
38	(21d)	115,72	0,291	10,11	381,46	27,25	1,88	0,51
45	(28d)	116,51	0,323	10,54	481,07	31,43	2,06	0,51
52	(35d)	196,24	0,413	13,54	414,21	32,43	2,14	0,59
Média		59,87	0,16	6,50	205,95	19,77	1,32	0,40
		Japonesa						
13	(13e)	4,05	0,016	1,65	25,89	7,42	0,33	-
15	(15e)	6,01	0,015	1,54	38,27	9,76	0,62	0,12
17	(17e)	7,67	0,021	1,60	51,17	11,81	0,75	0,17
21	(4d)	9,64	0,043	3,23	65,43	12,76	0,88	0,33
24	(7d)	18,40	0,089	5,16	125,08	16,10	1,03	0,42
27	(10d)	27,38	0,088	4,93	159,46	20,27	1,48	0,33
31	(14d)	38,74	0,099	4,72	136,04	19,40	1,35	0,41
38	(21d)	68,09	0,188	7,31	267,62	23,38	1,51	0,41
45	(28d)	89,57	0,246	9,49	315,85	26,94	1,88	0,49
52	(35d)	116,52	0,247	9,22	323,48	28,09	1,96	0,56
Média		38,61	0,10	4,88	150,83	17,59	1,18	0,36
CV (%)		16,30	27,79	22,56	21,35	7,81	16,00	19,61

e=embrião; d=dias pós eclosão; TMT=tarsometatarso; IS=índice de Seedor; Comp=comprimento.

Tabela 9. Taxas de crescimento do tarsometatarso de acordo com a idade das codornas europeias e japonesas.

Taxas de crescimento								
TMT	Peso Ave	TMT	IS	Volume	Comp.	Diam.	Esp.	
	(g)	(g)		(mm ³)	(mm)	(mm)	Dia.	
Dias		Europeia						
13	(13e)	0,713	0,002	0,256	5,963	0,797	0,067	-
15	(15e)	1,171	0,004	0,306	8,183	0,831	0,074	0,016
17	(17e)	1,772	0,005	0,348	10,425	0,849	0,077	0,016
21	(4d)	3,293	0,007	0,400	14,140	0,844	0,074	0,016
24	(7d)	4,521	0,008	0,409	15,725	0,809	0,068	0,015
27	(10d)	5,618	0,009	0,396	16,156	0,757	0,059	0,014
31	(14d)	6,633	0,009	0,357	15,256	0,670	0,046	0,012
38	(21d)	6,933	0,008	0,262	11,575	0,507	0,028	0,009
45	(28d)	5,889	0,006	0,174	7,659	0,362	0,016	0,006
52	(35d)	4,406	0,004	0,109	4,695	0,249	0,008	0,004
Dias		Japonesa						
13	(13e)	0,410	0,002	0,190	4,264	0,705	0,060	-
15	(15e)	0,674	0,002	0,226	5,852	0,735	0,065	0,015
17	(17e)	1,020	0,003	0,257	7,455	0,751	0,068	0,015
21	(4d)	1,895	0,005	0,296	10,112	0,746	0,066	0,015
24	(7d)	2,602	0,005	0,303	11,245	0,716	0,060	0,014
27	(10d)	3,232	0,006	0,294	11,554	0,669	0,052	0,013
31	(14d)	3,817	0,006	0,264	10,910	0,593	0,041	0,011
38	(21d)	3,989	0,005	0,194	8,278	0,448	0,025	0,008
45	(28d)	3,389	0,004	0,129	5,477	0,320	0,014	0,006
52	(35d)	2,535	0,002	0,081	3,358	0,220	0,007	0,004

e=embrião; d=pós-eclosão; IS=Índice de Seedor; Comp=Comprimento; Diam.=Diâmetro; Esp. Dia.=Espessura da Diáfise