

SOLANGE MARA BIGONHA

**EFEITOS DA UTILIZAÇÃO DE FARELO DE RESÍDUO DE
MANGA EM RAÇÕES SOBRE OS PARÂMETROS ÓSSEOS DE
FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Bioquímica Agrícola,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

SOLANGE MARA BIGONHA

**EFEITOS DA UTILIZAÇÃO DE FARELO DE RESÍDUO DE
MANGA EM RAÇÕES SOBRE OS PARÂMETROS ÓSSEOS DE
FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Bioquímica Agrícola,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 28 de julho de 2009

Prof^ª. Márcia Rogéria de Almeida Lamêgo
(Coorientadora)

Prof. Sérgio Luiz de Toledo Barreto
(Coorientador)

Prof^ª. Tânia Toledo de Oliveira

Prof. José Humberto de Queiróz

Prof. George Henrique Kling de Moraes
(Orientador)

À Deus,

Pedindo sempre que “nos conceda a serenidade necessária para aceitar as coisas que não podemos modificar coragem para modificar as que podemos e sabedoria necessária para distinguir umas das outras”.

À minha mãe,

Antonia Barbosa Valente, que dedicou e dedica sua vida à minha, sendo eternamente grata.

Ao meu marido Fernando Baêta,

pelo amor, compreensão, dedicação, carinho e companheirismo em todos os momentos de nossa vida.

Aos meus filhos, Otto e Thais, pelo carinho, apoio e paciência, nestes momentos.

À minhas amigas, Alice Baêta, Claudia Lúcia Pinto, Marisa de Abreu, Glauce Dias e Luciana Cardoso pela amizade, respeito e grande incentivo.

Ao meu cunhado Walter Baeta, pela amizade e apoio em todos os momentos

Aos meus familiares, pela torcida, incentivo e disponibilidade em ajudar sempre.

"A única revolução possível é dentro de nós."

(Gandhi)

“Deus não escolhe os capacitados, mas capacita os escolhidos”

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro para a condução do trabalho.

Ao professor George Henrique Kling de Moraes, pela orientação, pelos ensinamentos, pela confiança e pela amizade.

À professora Márcia Rogéria de Almeida Lamêgo, pela co-orientação, incentivo, conselhos e principalmente pela amizade.

Aos professores Conrado de Souza Rodrigues e Sérgio Luiz de Toledo Barreto, pela co-orientação.

Ao professor Paulo Roberto Cecon, pela colaboração nas análises estatísticas e ao professor José Humberto de Queiróz, pela contribuição imprescindível para a realização deste projeto.

Aos membros da banca pela honra da presença e oportunidade de enriquecimento do trabalho.

À minha amiga e companheira de trabalho Rita Stampini Oliveira Lopes, pela amizade, carinho e respeito em todos os momentos,

Aos amigos Anderson Barbosa, Elisa Muller e Patrícia Fontes Vieira, pela dedicação, companheirismo e principalmente pela amizade sincera e uma feliz convivência e ao estagiário Igor Monteze, pela ajuda no laboratório e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Bioquímica e Biologia Celular em especial Jefferson Dias, Eduardo Monteiro e José Geraldo, pelo feliz convívio, amizade e apoio nas análises no laboratório.

A todos os professores, funcionários, amigos e colegas do DBB, que contribuíram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho.

À empresa de sucos de frutas Goody pelo fornecimento das sementes e cascas de manga.

À Deus, por tudo...

Muito obrigada!!!

BIOGRAFIA

SOLANGE MARA BIGONHA, filha de Antonia Barbosa Valente e Antonio Vallone Bigonha, nasceu em 1 de fevereiro de 1975, em Ubá, MG.

Em fevereiro de 1994 ingressou no Colégio de Aplicação (COLUNI), concluindo o ensino médio em dezembro de 1997.

Em abril de 2000 iniciou o Curso de Nutrição pela Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em Janeiro de 2005.

Em agosto de 2007 iniciou o Curso de Pós-Graduação em Bioquímica Agrícola em nível de mestrado pela Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Bioquímica e Metabolismo Animal.

Em Julho de 2009, submeteu-se à defesa de tese para obtenção do título de Magister Scientiae.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Tecido Ósseo.....	3
2.1.1. Matriz Extracelular Óssea.....	4
2.1.2. Células do Tecido Ósseo.....	7
2.1.3. Formação e Crescimento Ósseo.....	8
2.2. Metabolismo de Cálcio e Fósforo no Osso.....	11
2.3 Aspectos Físicos do Osso.....	14
2.4. Aspectos Biomecânicos do Osso.....	15
2.5. Características do Resíduo de Manga.....	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1. Aves.....	20
3.2. Tratamentos.....	20
3.3. Abate e Coleta de Amostras.....	20
3.4. Parâmetros Avaliados.....	23
3.4.1. Aspectos Físicos do Osso.....	23
3.4.2. Aspectos Mecânicos do Osso.....	24
3.4.3. Aspectos Químicos do Osso.....	27
3.4.4. Aspectos Bioquímicos do Osso.....	27
3.5. Análise Estatística.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1. Aspectos Físicos da Tíbia.....	29
4.1.1. Peso da Ave.....	30
4.1.2. Peso da Tíbia.....	31
4.1.3. Relação Peso do Osso/Peso Vivo Total.....	32
4.1.4. Comprimento da Tíbia.....	33
4.1.5. Densidade da Tíbia.....	34

4.1.6. Porosidade da Tíbia.....	35
4.1.7. Área da Secção Transversal da Tíbia.....	35
4.2. Aspectos Mecânicos da Tíbia.....	36
4.2.1. Carga Máxima.....	37
4.2.2. Módulo de Ruptura (MOR).....	38
4.2.3. Tenacidade à Flexão (SPE).....	39
4.2.4. Momento de Inércia.....	40
4.3 Aspectos Químicos da Tíbia.....	40
4.3.1. Teor de Cinzas da Tíbia.....	41
4.3.2. Teor de Cálcio da Tíbia.....	42
4.3.3. Teor de Fósforo da Tíbia.....	42
4.3.4. Teor de Magnésio da Tíbia.....	43
4.3.5. Relação Cálcio/Fósforo nas Cinzas.....	43
4.4. Aspectos Bioquímicos da Tíbia.....	44
4.4.1. Teores de Proteína Colagenosa da Tíbia.....	44
4.4.2. Teores e Proteína não Colagenosa da Tíbia.....	45
5. CONCLUSÕES.....	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
7. APÊNDICE.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composições percentuais e calculadas das rações para o período de 1 a 21 dias de idade das aves (Vieira, 2007)	21
Tabela 2 - Composições percentuais e calculadas das rações para o período de 22 a 42 dias de idade das aves (Vieira, 2007)	22
Tabela 3 – Resultados médios de peso das aves e parâmetros físicos da tíbia de frango de corte, em função dos níveis de farelo de resíduo de manga na ração e da idade das aves	29
Tabela 4 – Parâmetros mecânicos da tíbia de frangos de corte em função dos níveis de farelo de resíduo de manga na ração e da idade das aves	36
Tabela 5 – Teores de cinzas, cálcio, fósforo, magnésio e relação cálcio/fósforo na tíbia de frangos de corte em função dos níveis de farelo de resíduo de manga na ração e idades das aves	41
Tabela 6 – Teores médios de proteínas colagenosas (PC) e não colagenosas (PNC) de tíbias de frangos de corte em função dos níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga na ração	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise de variância do peso (PO), comprimento ósseo (CO), relação peso/peso vivo (PO/PV), densidade (D), porosidade (POR) e área da seção transversal (A) das tíbias aos 14, 28 e 42 dias de idade	57
Quadro 2 - Análise de variância do teor de cinzas (TC) e teores de cálcio (Ca), fósforo (P) e magnésio (Mg) nas cinzas e relação Ca:P nas cinzas das tíbias de frangos de corte aos 14, 28 e 42 dias de idade	58
Quadro 3 – Análise de variância da carga máxima (F), resistência à flexão ou módulo de ruptura (MOR), momento de inércia (I) e Tenacidade (SPE) das tíbias de frangos de corte aos 14, 28 e 42 dias de idade	59
Quadro 4 – Análise de variância dos teores de proteína colagenosa (PC) e proteína não colagenosa (PNC) das tíbias de frangos de corte aos 14, 28 e 42 dias de idade	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Constituição do tecido ósseo (Fonte: Tate et al, 2004).	9
Figura 2 - Resistências apresentadas pelo osso: (a) compressão, tração, torção e flexão; (b) eixo neutro na flexão (Fonte: Gould, 1993).	15

Figura 3 - Esquema da pesagem de massa submersa utilizada nas determinações de densidade e porosidade (Fonte: Barbosa, 2005).	24
Figura 4 - Máquina universal de ensaios, EMIC, utilizada nos ensaios mecânicos de flexão (a) e detalhe do posicionamento dos ossos durante os ensaios (b).	24
Figura 5 - Curva de carregamento e deformação típica de ensaios com ossos (Fonte: Barbosa, 2005).	25
Figura 6 – Seção considerada para os ossos (Fonte: Barbosa, 2005).	26
Figura 7 – Peso estimado de frangos de corte aos 14 dias de idade, em função dos níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração.	30
Figura 8 – Peso estimado da tíbia de frango de corte aos 14 (a) e 28 dias (b) de idade em função da inclusão de farelo de resíduo de manga na ração.	31
Figura 9 – Relação estimada entre o peso da tíbia e o peso da ave aos 14 dias de idade em função da inclusão de farelo de resíduo de manga na ração.	32
Figura 10 – Comprimento estimado de tíbia de frango de corte aos 14 dias de idade em função da inclusão de farelo de resíduo de manga na ração.	33
Figura 11 – Densidade estimada da tíbia de frango de corte aos 14 dias de idade em função dos níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga na ração.	34
Figura 12 – Porosidade estimada da tíbia de frango de corte aos 14 dias de idade em função dos níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga na ração.	35
Figura 13 – Carga máxima estimada suportada pela tíbia de frangos de corte aos 14 dias de idade em função dos níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga na ração.	37
Figura 14 – Módulo de ruptura estimado da tíbia de frangos de corte aos 14 dias de idade em função de níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga na ração.	38
Figura 15 – Tenacidade a flexão estimada da tíbia de frangos de corte aos 14 dias de idade em função dos níveis de inclusão de FRM na ração	39
Figura 16 – Teor estimado de cinzas na tíbia de frangos de corte aos 14 dias de idade em função dos níveis de inclusão do farelo de resíduo de manga na ração.	42
Figura 17 – Teor estimado de fósforo na tíbia de frangos de corte aos 14 dias de idade, em função dos níveis de farelo de resíduo de manga na ração.	43
Figura 18 – Teor estimado de proteína colagenosa da tíbia de frangos de corte aos 42 dias de idade em função dos níveis de inclusão de FRM na ração.	45
Figura 19 – Teores estimados de proteína não colagenosa da tíbia de frangos de corte aos 28 dias (a) e 42 dias (b) de idade em função dos níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga na ração.	46

RESUMO

BIGONHA, Solange Mara, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2009. **Efeitos da utilização de farelo de resíduo de manga em rações sobre os parâmetros ósseos de frangos de corte.** Orientador: George Henrique Kling de Moraes. Coorientadores: Márcia Rogéria de Almeida Lamêgo, Sérgio Luiz de Toledo Barreto e Conrado de Souza Rodrigues.

Visando o aproveitamento de resíduos agroindustriais na alimentação animal, um experimento, em delineamento inteiramente casualizado, foi executado com 600 frangos de corte, machos, Ross, distribuídos em cinco tratamentos e seis repetições, com 20 aves por unidade experimental. Os animais receberam rações suplementadas com 0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0% de farelo de resíduo de manga, *Mangifera indica L.*, variedade Ubá, (FRM) atendendo suas exigências nutricionais no período inicial (1 a 21 dias) e crescimento (22 a 42 dias). Aos 14, 28 e 42 dias de idade, seis animais de cada tratamento foram sacrificados e tiveram as tíbias removidas para serem avaliadas quanto aos aspectos físicos (peso, comprimento, densidade, porosidade e área da seção transversal), mecânicos (carga máxima, módulo de ruptura, tenacidade a flexão e momento de inércia), químicos (teores de cinzas, cálcio, fósforo e magnésio e a relação Ca:P) e bioquímicos (teores de proteínas colagenosas (PC) e de proteínas não colagenosas (PNC)). As tíbias das aves aos 14 dias de idade apresentaram alterações significativas ($P < 0,05$), em relação ao controle, nos parâmetros físicos (peso da ave, comprimento, densidade, porosidade e peso da tíbia), químicos (teor de cinzas e fósforo) e mecânicos (carga máxima, módulo de ruptura e tenacidade à flexão) com inclusão de 5% a 10% de FRM na ração. Aos 28 dias de idade constatou-se alteração significativa ($P < 0,05$) nos parâmetros físicos (peso da tíbia) e bioquímicos (PNC) com inclusão de até 10% de FRM na ração. Aos 42 dias constatou-se alteração significativa ($P < 0,05$) somente nos parâmetros bioquímicos (PNC e PC) com a inclusão de até 10% de FRM na ração. No geral, considerando os resultados obtidos, o farelo de resíduo de manga pode ser incluído até a proporção de 5% da ração inicial (1 a 21 dias) e até 10% na ração de crescimento (22 a 42 dias), sem que haja comprometimento das características físicas, mecânicas e bioquímicas dos ossos das tíbias de frangos de corte aos 42 dias de idade.

ABSTRACT

BIGONHA, Solange Mara, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2009. **Effects of the use of meal mango residue in diets on bone parameters of broilers.** Adviser: George Henrique Kling de Moraes. Co-Advisers: Márcia Rogéria de Almeida Lamêgo, Sérgio Luiz de Toledo Barreto and Conrado de Souza Rodrigues.

Aiming to use agro-industrial residues in animal feed, an completely randomized design experiment was carried out with 600 broilers, male, Ross, distributed in five treatments and six replicates with 20 birds per experimental unit. The broilers received diets supplemented with 0, 2.5, 5.0, 7.5 and 10.0% of mango residue, *Mangifera indica L.*, variety Ubá, (FRM), in order to comply with nutritional requirements of the initial period (1 to 21 days) and finishing period (22 to 42 days). At 14, 28 and 42 days, six animals from each treatment were sacrificed and the tibia were removed to be analyzed for the physical aspects (weight, length, density, porosity and area of cross section), mechanical (moment of inertia, loaded in flexure, resistance to bending and toughness), chemical (content of ash and calcium, phosphorus and magnesium in the ash and the Ca:P in the ash) and biochemical (protein content of collagen (CP) and non-collagenous proteins (NCP)). The tibia of the birds at 14 days of age presented significant changes ($P < 0.05$), as compared to the control, on the physical parameters (weight of the bird, length, density, porosity and weight of bone), chemical parameters (ash content and phosphorus) and mechanical parameters (load, modulus of rupture and toughness), with inclusion of 5% to 10% FRM in the diet. At 28 days of bird age there was significant change ($P < 0.05$) in physical parameters (weight of the tibia) and biochemical parameter (NCP) with inclusion up to 10% of FRM in the diet. And, at 42 days there was significant change ($P < 0.05$) only in biochemical parameters (NCP and CP), with the inclusion of up to 10% FRM in the diet. Overall, considering the results, the meal residue of mango may be added up to the proportion of 5% to the initial diet (1 to 21 days) and up to 10% to the growing diet (22 to 42 days), without any impairment of physical, mechanical and biochemical parameters of the 42 days broilers tibia bone.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil vem ocupando nos últimos anos o lugar de terceiro maior produtor e maior exportador mundial de frangos. Com o melhoramento genético tem-se obtido linhagens com maior desenvolvimento muscular, no entanto, o desenvolvimento do tecido ósseo não tem acompanhado estes processos fisiológicos, aumentando assim a incidência de problemas de pernas e fragilidade óssea. De acordo com Bizeray et al. (2002) é importante que a estrutura óssea aumente na mesma proporção que o aumento de massa muscular, para que as aves apresentem uma boa mobilidade e conseqüentemente bom desempenho.

Em decorrência das anomalias ósseas que acometem os frangos, tem ocorrido grande preocupação com os prejuízos, do ponto de vista econômico, por parte das empresas, pois estas têm contribuído para a redução na produtividade e o aumento da mortalidade e condenações de carcaças inteiras ou durante o processamento da carne (Freitas & Nunes, 2001).

Os frangos de corte, quando comparados a outros animais domésticos, têm apresentado as maiores taxas de formação óssea e, portanto, são bastante sensíveis as manipulações nutricionais e bioquímicas que afetam os processos de crescimento e desenvolvimento, principalmente, dos ossos longos (Bain & Watkins, 1993).

A elevada produtividade dos animais, determinada pelo avanço genético, somada à atual demanda por sistemas de produção de baixo impacto ambiental, exigem da pesquisa o desenvolvimento de estratégias nutricionais que possibilitem a obtenção de produtos de origem animal com alta eficiência, viabilizada pelo baixo custo, e de forma não agressiva ao ambiente.

Buscando equacionar o custo de produção e questões ambientais, a utilização de fontes alternativas de alimentos tem sido cada dia mais explorado. No entanto, a inclusão destes alimentos alternativos, muitas vezes, ricos em fatores antinutricionais, deve ser avaliada na alimentação das aves, requerendo pesquisas acerca da ação destes fatores no organismo animal de forma a possibilitar a exploração desses resíduos para a utilização na indústria animal.

Um dos resíduos de grande interesse é o derivado da manga (*Mangifera indica* L.), fruta tropical com grande aceitação no mercado internacional e de grande expressão econômica no mercado brasileiro. A manga produz grande quantidade de resíduos chegando a 35 a 60% do peso bruto da matéria-prima (Larrauri et al., 1996). A Semente

da manga tem sido pesquisada como fonte de lipídios, antioxidante natural, amido e farinha, entretanto, como o resíduo pode conter elevado teor de taninos, o seu uso na avicultura deve ser avaliado em relação ao seu efeito sobre o desempenho das aves.

Estudos realizados por Vieira (2007) avaliou a viabilidade da utilização do resíduo de sementes e cascas processadas de manga em dietas à base de milho e soja, sobre ganho de peso, consumo de ração, conversão alimentar, fator de produção e perfil bioquímico do soro em frangos de corte. Nos estudos realizados, a inclusão de até 5% de farelo de resíduo de manga às dietas de frangos de corte não afetou os rendimentos de ganho de peso e não causou alterações metabólicas que comprometessem o rendimento do desempenho e perfil bioquímico dos frangos de corte, proporcionando ainda uma diminuição dos lipídios totais do sangue.

Visando complementar os estudos da utilização do farelo de resíduo de manga na ração de aves, objetivou-se, neste estudo, avaliar os seus efeitos nas características físicas, mecânicas, químicas e bioquímicas dos ossos das tíbias de frangos de corte.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Tecido Ósseo de Aves

O tecido ósseo é um tipo de tecido conjuntivo especializado, multifuncional, metabolicamente muito ativo, vascular formado por uma matriz orgânica mineralizada e por uma população heterogênea de células, possuindo funções mecânicas, biológicas e químicas diversas, como o armazenamento e proteção de células, sustentação estrutural e o controle da homeostase mineral (Macari et al., 2002).

O osso é constituído de aproximadamente 70% de minerais, 22% de proteína e 8% de água. A matriz orgânica do osso é responsável por sua elasticidade, representa aproximadamente 25% de seu peso seco, e é formada por 95% de fibras de colágeno (com elevado conteúdo dos aminoácidos prolina e hidroxiprolina) e 5% de proteoglicanas e proteínas não colagenosas. Os componentes inorgânicos, que são responsáveis pela rigidez, possuem aproximadamente 75% do peso seco, e são compostos formados por fosfato de cálcio e carbonato de cálcio (Junqueira & Carneiro, 2004).

Os ossos podem ser classificados como esponjoso ou trabecular, correspondente a 20% do esqueleto; e osso compacto ou cortical, que compõe 80% do esqueleto pode ser dividido em ossos longos (fêmur), chatos (esterno), irregulares (vértebras) e curtos (tarsos) (Martins & Dempster, 1998). Nos ossos longos as extremidades ou epífises são formadas por osso trabecular envolvido por uma fina camada compacta, e a diáfise, que é a parte central, é formada quase que na sua totalidade de osso compacto, possuindo apenas na sua região mais interna uma pequena quantidade de osso trabecular, delimitando o canal medular. Os ossos longos são delimitados internamente pelo endóstio e externamente pelo perióstio, que é importante durante o crescimento e reparo de fraturas (Martins & Dempster, 1998).

Para atender às necessidades de crescimento da ave os ossos estão em constantes mudanças, as quais podem ser divididas em três processos: crescimento, modelagem e remodelagem. O processo de modelagem representa o alongamento longitudinal e do diâmetro do osso. Já a remodelagem é o termo usado para descrever processos de reabsorção e formação de tecido mineralizado que mantém a massa óssea e a morfologia nas aves adultas (Macari et al., 2002).

A constituição genética, a dieta e os estímulos físicos são fatores que influenciam o metabolismo ósseo e está intimamente relacionado com o crescimento do animal. O osso é o segundo tecido a ter seu desenvolvimento priorizado pelo organismo, atrás somente do sistema nervoso. Tal fato ilustra bem a importância de um correto e adequado desenvolvimento deste tecido.

2.1.1. Matriz Extracelular Óssea

A matriz extracelular é constituída por uma porção orgânica, sendo 30% composta por proteínas colagenosas, das quais 90% são representadas por colágeno tipo I e os 10% restantes constituída por proteoglicanas, e proteínas não colagenosas, como a osteocalcina, osteonectina e alguns fatores de crescimento. Essas proteínas atuam no fornecimento de suporte e resistência à tração, sítios de adesão para receptores de superfícies celulares e como reservatórios para sinalização de fatores que modulam processos como a angiogênese, a vasculogênese, a migração, a proliferação, a orientação celular e o reparo (Junqueira & Carneiro, 2004).

Os componentes inorgânicos da matriz, que constituem aproximadamente 70% do peso do osso, são formados predominantemente por cálcio e fósforo na forma de cristais de hidroxiapatita, $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_3)$, e são responsáveis pelas propriedades de rigidez e resistência à compressão (Rath et al. 2000). Além da hidroxiapatita, outros minerais, como magnésio, sódio, potássio, hidróxido, fluoreto, estrôncio, zinco, rádio, cloreto e sulfato estão presentes em pequenas quantidades (Macari et al., 2002).

A síntese de colágeno associada a sua conformação afeta a resistência biomecânica dos tecidos. Além de calcificação, moléculas do colágeno submetidas aos processos de fibrinogênese e várias outras modificações, como hidroxilações, aumentam a resistência do osso ajudando-o a suportar os esforços mecânicos a que é submetido (Rath et al, 2000). Mudanças nas propriedades da matriz, como diminuição da calcificação e hiper hidroxilação das fibras colágenas, podem alterar a resistência óssea. Estudos realizados com humanos mostraram que a diminuição de ligações cruzadas no osso está relacionada à osteoporose. (Knott & Bailey, 1998).

Nos tecidos animais, já foram identificados 20 tipos de colágenos e suas subunidades, cadeias alfa, codificadas por diferentes genes, possuem diferentes especificidades entre os diversos tecidos. Eles podem ser classificados com base em suas funções e tamanhos. No osso há predomínio do colágeno fibrilar tipo I, que é mais comumente encontrado em tecidos sujeitos ao estresse de compressão (Young, 2003).

Cada molécula de colágeno é formada pelo entrelaçamento de três cadeias polipeptídicas contendo de 600 a 3.000 resíduos de aminoácidos. A estrutura da hélice tripla é permitida devido a uma seqüência de aminoácidos repetitiva (Gli-X-Y)_n, onde X é geralmente uma prolina e Y uma hidroxiprolina. Esta seqüência adota uma estrutura orientada à esquerda, com três aminoácidos por volta, sendo, em média, composta por 35 % de glicina, 12 % de prolina, 11 % de alanina e 9 % de hidroxiprolina (Junqueira & Carneiro, 2004).

A formação de fibrilas de colágeno envolve reações no meio intracelular e extracelular. No meio intracelular, ocorre síntese de moléculas de protocólagenos, hidroxilação de resíduos de prolina e lisina e glicosilação dos resíduos de hidroxilisina, para formar monômeros de pró-colágeno sendo secretado para o exterior da célula na forma de tripla hélice de configuração helicoidal. No exterior da célula, há uma hidrólise proteolítica limitada do pró-colágeno, para formar o tropocolágeno, sendo necessária presença de vitamina C, para que ocorra a hidroxilação (Young, 2003). As fibrilas de colágeno formam uma rede fibrilar que é estabilizada pela formação de ligações cruzadas intra e intermoleculares, formadas tanto enzimaticamente quanto não enzimaticamente, por condensação de resíduos de aminoácidos. Tais ligações cruzadas são as principais responsáveis pela estabilização da molécula e das fibras de colágeno e pela modulação das propriedades de resistência à tração conferida ao osso pelo colágeno, conferindo força ao tecido para suportar tais pressões (Martin & Boardman, 1993).

Para a molécula de colágeno do tipo I, duas cadeias são idênticas, denominadas α_1 , e uma é homóloga, mas distinta (α_2). A formação da estrutura hélice tripla estável nos tecidos requer a modificação do aminoácido prolina, pela atividade da enzima prolil-hidroxilase (hidroxilação), para formar hidroxiprolina na cadeia do colágeno. Segundo Young, (2003) a hidroxiprolina desempenha papel fundamental na estabilização da hélice tripla, pois defeitos na hidroxiprolina podem refletir na desorganização da hélice tripla, e, portanto, de todo colágeno. A quantidade e tipo de ligação cruzada no colágeno variam com a função e a idade do tecido. As alterações na síntese ou na organização das fibras do colágeno afetam as propriedades de resistência do osso. Experimentos têm demonstrado que a tenacidade e resistência do osso diminuem significativamente com a desnaturação do colágeno, evidenciando o papel da rede de colágeno nestas propriedades. Essa estrutura protéica justifica as propriedades físicas e biológicas dos colágenos: rigidez, flexibilidade e estabilidade (Currey, 2003a).

A substância fundamental fica dispersa entre as fibras de colágeno do tecido e consistem de macromoléculas como os proteoglicanos que são caracterizadas por apresentar em sua estrutura protéica principal, ligações covalentes com moléculas de carboidratos conhecidos como glicosaminoglicanos. Glicosaminoglicanos por sua vez são polímeros de dissacarídeos sulfurados que possui carga negativa responsável pela interação iônica com a água, importante na estrutura e formação da cartilagem (Martin & Boardman, 1993).

As proteínas não colagenosas (PNC) têm múltiplas funções nas células do osso, como a regulação da mineralização das fibras de colágeno, e a modulação da divisão, migração, diferenciação e maturação celular (Young, 2003). Dentre estas proteínas, têm-se como destaque algumas proteínas plasmáticas que foram seqüestradas pela matriz mineral e outras proteínas específicas do osso, sendo que a principal é a osteocalcina ou Gla-proteína.

A osteocalcina é uma proteína de baixo peso molecular formada por 49 resíduos de aminoácidos e sintetizada pela ação da vitamina D. A vitamina K é um co-fator essencial na formação dos resíduos de γ -carboxiglutâmico (Gla). Este é resultante da reação de carboxilação pós-traducional dos resíduos de glutamyl. A presença dos resíduos de Gla confere à proteína alta afinidade pelo cálcio e sua capacidade de ligar-se aos cristais de hidroxiapatita controlando, assim, o processo de mineralização da matriz óssea. Uma pequena fração de osteocalcina não é incorporada ao osso, mas liberada na circulação, podendo ser utilizada como marcador de formação e de crescimento ósseo, assim como elevação do turnover ósseo (Oliveira et al., 2006).

A osteonectina é uma glicoproteína fosforilada específica do osso com 32.000 daltons e representa 23% das PNC. Também apresenta alta afinidade pelo cálcio, hidroxiapatita e colágeno tipo I. Alguns trabalhos têm sugerido que a osteonectina é uma proteína tecido-específica, ligando a fase mineral ao colágeno do osso, talvez iniciando a mineralização ativa em tecidos esqueléticos normais, e parece atuar como regulador negativo do crescimento do cristal. Mudanças na concentração de proteínas não colagenosas podem contribuir para a fragilidade do osso por interferência na mineralização e na arquitetura normal (Velleman, 2000).

Os constituintes minerais do osso são trocados constantemente com os constituintes do plasma. A desmineralização do osso ocorre quando a ingestão de minerais é inadequada ou quando sua perda é excessiva. A ossificação envolve a precipitação dos sais do osso na matriz, por meio de um equilíbrio físico-químico,

envolvendo o Ca^{2+} , o HPO_4^{2-} e o PO_4^{3-} . Em condições fisiológicas, o cálcio e o fosfato ficam em solução metaestável, isto é, suas concentrações no líquido extracelular seriam suficientemente altas para que se precipitassem em solução, não fosse pela presença de outros constituintes; particularmente o pirofosfato, que estabiliza a solução (Velleman, 2000).

2.1.2. Células do Tecido Ósseo

Células osteoprogenitoras ou pré-osteoblastos, que são derivadas do mesênquima e são as únicas células ósseas capazes de divisão, podendo posteriormente se diferenciar em osteoblastos, são encontradas na porção interna do periósteo, no endósteo e nos canais ósseos que contém vasos sanguíneos (Sommerfeldt & Rubin, 2001).

Os osteoblastos são células do tecido esquelético responsáveis pela síntese e regulação da matriz orgânica do osso, e participam do processo de mineralização óssea através da secreção da fosfatase alcalina, que atua na clivagem do pirofosfato, removendo sua influência estabilizadora e aumentando a concentração local de fosfato, promovendo a cristalização óssea (Macari et al., 2002). Possui participação indireta no processo de reabsorção óssea por secretar fatores como interleucina-6 e prostaglandina E, que estimulam os osteoclastos. Os osteoblastos secretam matriz orgânica intercelular ao seu redor e ao redor dos prolongamentos citoplasmáticos que atuam como moldes para a formação de futuros canalículos. Estes canalículos têm como função fornecer um meio de comunicação entre os osteoblastos adjacentes e a superfície do osso que está sendo formada, permitindo a passagem de fluidos dos vasos capilares para o tecido ósseo, troca de nutrientes entre as células da matriz e a matriz intercelular bem como a troca de nutrientes entre matriz, fluido do osso e fluido extracelular (Dibner et al., 2007).

Osteócitos são células ósseas maduras originadas dos osteoblastos que ficaram aprisionados na matriz. Possuem forma achatada e ficam situados no interior de lacunas das quais partem canalículos. Dentro dos canalículos os prolongamentos dos osteócitos estabelecem contatos através de junções comunicantes, por onde podem passar pequenas moléculas de um osteócito para outro. Possuem pequena quantidade de retículo endoplasmático e aparelho de Golgi pequeno. Embora possuam pequena capacidade sintética, são essenciais para a manutenção da matriz. Permanecem

conectados entre si através de seus canalículos e à superfície via prolongamentos celulares, permitindo transferência de cálcio (Tate et al., 2004).

Osteoclastos são células móveis, gigantes, multinucleadas, originadas da fusão de monócitos do sangue, que possuem grande número de mitocôndrias e lisossomos. São capazes de produzir ácidos que solubilizam o cálcio e enzimas proteolíticas que digerem a matriz óssea, sendo, portanto, importantes no processo de reabsorção durante a remodelação óssea (Sommerfeldt & Rubin, 2001).

2.1.3. Formação e Crescimento ósseo

O crescimento ósseo pode ocorrer através de dois processos distintos: ossificação endocondral, onde a cartilagem serve como molde para a formação do tecido ósseo e é responsável pela formação e crescimento de ossos curtos e longos, ou ossificação intramembranosa que ocorre pela diferenciação direta de células mesenquimais em osteoblastos, que depositam matriz orgânica no interior de uma membrana conjuntiva. É um processo que ocorre sem a participação de cartilagens, originando os ossos chatos e o crescimento em espessura dos ossos longos (Junqueira & Carneiro, 2004).

A ossificação intramembranosa ocorre em vários centros de ossificação primária iniciado pela diferenciação de células mesenquimatosas em osteoblastos, que são responsáveis pela síntese de osteóide e pelo aparecimento dos osteócitos. Os vários centros crescem produzindo uma rede de trabéculas ósseas que com o aumento das suas circunferências fundem-se formando uma lâmina óssea que é separada dos ossos adjacentes por tecido fibroso persistente (Macari et al., 2002).

A ossificação endocondral ocorre em dois estágios, primeiro há redução e mineralização da matriz cartilaginosa, proliferação e morte dos condrocitos por apoptose, deixando as cavidades que em seguida serão preenchidas por capilares sanguíneos e células osteogênicas que se diferenciam em osteoblastos e depositam matriz óssea sobre a cartilagem calcificada, transformando tecido cartilaginoso em tecido ósseo. A formação do tecido ósseo através da ossificação endocondral durante o desenvolvimento do pintainho dentro do ovo é baixa, ocorrendo em grande escala após a eclosão, onde o crescimento passa de 3% no primeiro dia de vida para 20% ao dia no quinto dia, mantendo-se assim durante os primeiros 15 dias de vida (Dibner et al., 2007 e Dell'isola et al., 2003). Durante o pico de crescimento dos frangos de corte a ossificação endocondral pode ocorrer em menos de 24 horas. O fim do crescimento

longitudinal do osso varia de acordo com a espécie e ocorre quando a cartilagem se torna cada vez mais delgada e a epífise e a metáfise se fundem. Segundo Rath et al. (2000), o crescimento longitudinal dos ossos de frango, continua até a 25 semana de vida.

Do ponto de vista estrutural (Figura 1) o osso pode ser classificado em cortical (compacto) ou trabecular (esponjoso). O osso cortical exerce função mecânica e protetora e o trabecular, em contato com a medula óssea e sua vascularização, desempenha função metabólica.

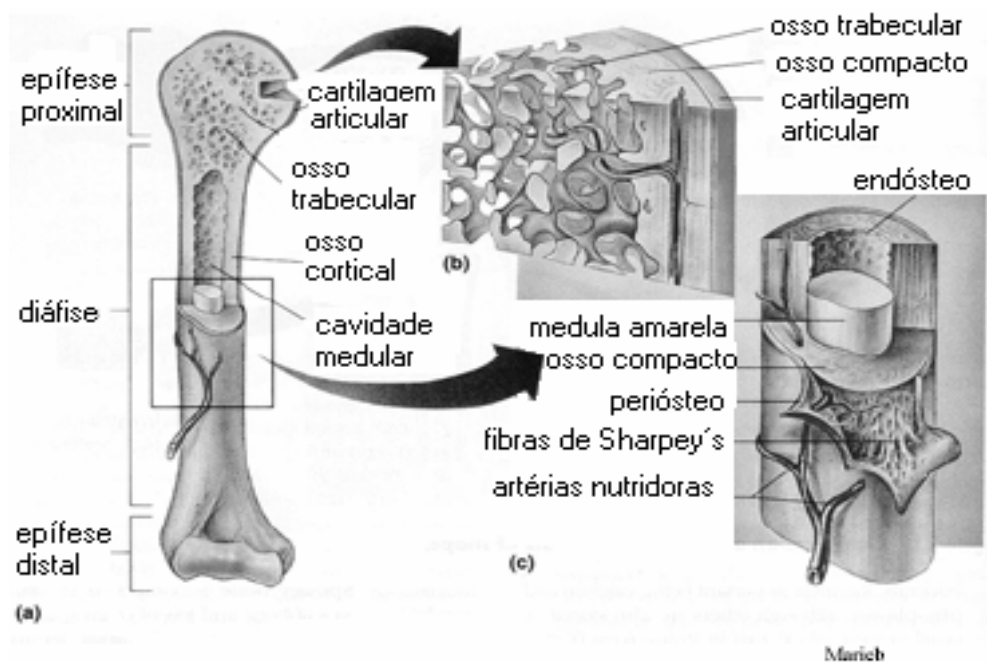


Figura 1 - Constituição do tecido ósseo (Fonte: Junqueira & Carneiro, 2004).

O osso cortical calcificado consiste de uma camada compacta e densa que se localiza na região externa dos ossos longos apresentando diversas lamelas intensamente empacotadas (ósteons), na forma de dutos cilíndricos, dispostos paralelamente ao eixo principal nos ossos longos. É encontrado como revestimento de todos os ossos do organismo possuindo uma camada de espessura variável. O osso cortical é envolvido externamente por um tecido conjuntivo chamado perióstio rico em colágeno e células osteoprogenitoras. Possui baixas porosidade e relação superfície/volume e remodela-se anualmente cerca de 2 a 3% (Junqueira & Carneiro, 2004).

O osso trabecular constitui cerca de 20% da massa esquelética e é encontrado nos corpos vertebrais, nas epífises dos ossos longos e nos ossos chatos. Na sua

superfície o número de células por unidade de volume é maior do que no osso cortical, o que determina sua maior atividade metabólica. É formado por uma intrincada rede de trabéculas interconectadas que lhe confere maior resistência à compressão. Tem relação superfície/volume consideravelmente maior do que a do osso cortical, e mesmo que contribua com apenas 20% na formação do esqueleto, possui cerca de 80% da superfície disponível - local onde ocorre a remodelação. O processo metabólico varia bastante entre sítios compostos por esse mesmo tipo de osso. Assim, o osso trabecular do corpo vertebral tem maior índice de remodelação do que o fêmur ou o rádio (Currey, 2003).

Em diversos momentos o tecido ósseo, precisa modificar sua forma ou estrutura, seja para tornar-se maduro, crescer ou para se adaptar a novas situações fisiológicas ou patológicas. A remodelação óssea é responsável pela manutenção da massa tecidual e arquitetura do esqueleto adulto, representando atividades coordenadas de um grupo de células denominadas unidade multicelular básica, sendo os osteoclastos e osteoblastos as principais células (Reich et al., 2005).

A reabsorção e deposição de matriz óssea são processos estreitamente relacionados à modelação e remodelação óssea influenciada por diferentes fatores como hormônios ou solicitação mecânica. O modelamento do osso é um processo adaptativo, responsável pelo aumento da resistência óssea, pelo ganho de massa e corresponde principalmente ao tamanho ósseo. Ocorre associado ao crescimento e termina quando a maturidade óssea é alcançada (Bain & Watkins, 1993). A remodelagem é o termo usado para descrever processos de reabsorção e formação de tecido mineralizado, responsável pela manutenção do esqueleto através da manutenção da massa óssea e da morfologia nas aves adultas.

Os osteoblastos são responsáveis pelo depósito da nova matriz óssea, que se torna subsequentemente mineralizada. Em situações fisiológicas, a reabsorção e a formação são fenômenos acoplados e dependentes, e o predomínio de um sobre o outro e a concentração de cálcio, pode resultar em ganho ou perda de massa óssea, por isso a manutenção de concentrações adequadas de cálcio no sangue é prioritária sobre a manutenção da integridade estrutural do osso. O processo de remodelamento é regulado por hormônios e por fatores de crescimento produzidos em vários tecidos e células e podem ter atividades autócrinas ou parácrinas. Os hormônios envolvidos na formação óssea incluem insulina, hormônio de crescimento e estrogênio, e os que estão envolvidos na reabsorção 1,25-dihidroxicolecalciferol ou vitamina D, hormônio da

paratireóide (PTH) e glicocorticóides. A calcitonina inibe a reabsorção óssea (Watkins & Seifert, 2000).

A atividade dos osteoblastos e osteoclastos podem também ser moduladas por fatores mecânicos, estimulando ou inibindo suas atividades de acordo com a demanda. O osteócito é a principal célula responsável pela detecção da tensão mecânica. Quando um osso é submetido a uma sobrecarga mecânica, a deformação do tecido causa extravasamento do líquido intersticial pelo sistema lacuno canalicular. Isto provoca uma polarização positiva na região osteoblástica e uma polarização negativa na região osteoclástica. Assim, é formada uma complexa rede de informações referente à deformação mecânica detectada pelo osteócito. Essa é repassada para os osteoblastos para aumentar sua proliferação e síntese de constituintes orgânicos da matriz (Currey, 2003b).

2.2. Metabolismo de Cálcio e Fósforo no Osso

O cálcio é o cátion divalente mais abundante no corpo do animal, com presença significativa no esqueleto, fluidos e tecidos corporais, sendo exigida pelos frangos de corte para formação e manutenção da estrutura óssea, transmissão de impulsos nervosos, coagulação sanguínea, contração muscular, ativação de sistemas enzimáticos e hormonais, utilização eficiente dos nutrientes, entre outros (Macari et al., 2002). Frequentemente, esse mineral apresenta-se associado a proteínas, tanto no plasma quanto no citossol, sendo suas concentrações precisamente controladas dentro de uma pequena margem de variação, através de rigorosos mecanismos de homeostase.

A absorção do cálcio ocorre no intestino delgado, em especial, no duodeno e jejuno, tanto por difusão quanto pelo processo ativo. O mecanismo de absorção de cálcio em nível de enterócito ocorre via proteína de membrana chamada proteína transportadora de cálcio, a qual carrega o cálcio ativamente do lúmen para o citosol, enquanto os canais iônicos completam o processo nas vilosidades intestinais. Uma vez dentro do citoplasma celular, uma proteína fixadora de cálcio evita a formação de sais insolúveis intracelulares, e através da membrana basolateral, por proteínas de transporte ativo e Ca ATPase, finaliza-se o destino metabólico do cálcio ou utilização pelo organismo (Allen, 1982).

A quantidade de cálcio absorvida depende de sua interação com outros constituintes dietéticos e de fatores fisiológicos, tais como presença de hormônios reguladores e fase do desenvolvimento em que o organismo se encontra. A eficiência da

absorção aumenta à medida que a ingestão de cálcio diminui, por outro lado, a absorção diminui com a idade, durante a depleção de vitamina D e com o aumento da ingestão de fatores antinutricionais (Macari et al., 2002).

A resistência óssea é dependente dos níveis de cálcio plasmáticos, pois, a homeostase de cálcio é fundamental para manutenção das funções vitais em que ele participa. Caso não se tenha níveis adequados de cálcio, ocorrerá estímulo da secreção de hormônio da paratireóide (PTH) e síntese de vitamina D, que estimularão a reabsorção óssea (Macari et al., 2002).

O PTH tem ação de regular indiretamente a absorção de cálcio, pela hidroxilação da 25-hidroxicoлекаliferol em sua forma ativa 1,25-diidroxicoлекаliferol, ou calcitriol, que é transportada até o núcleo da célula intestinal, onde interage com a cromatina e RNA específicos são transcritos em proteínas transportadoras de cálcio pelos ribossomos. Assim, a deficiência de vitamina D reduz sensivelmente a absorção de cálcio intestinal, induzindo a síntese de proteínas fixadoras intracelulares (calmodulina) e o aumento dos níveis da enzima Ca ATPase basolateral que bombeia ativamente o cálcio para o exterior do enterócito. Em situações de hipocalcemia, o PTH e a Vitamina D, além de aumentarem a absorção intestinal de cálcio, também estimulam a mobilização do cálcio no osso para o fluido extracelular e aumentam a reabsorção renal (Macari et al., 2002).

A grande variação da disponibilidade do cálcio nos alimentos deve-se principalmente à composição química e associação física do cálcio com outros componentes, formando em alguns casos compostos de baixa solubilidade e disponibilidade. Segundo Sá et al. (2004a), o cálcio de origem vegetal é pouco solúvel e absorvível, por estar em grande parte insolúvel sob a forma de fitato ou oxalato. A substituição de uma parte dos grãos de milho e ou soja por resíduos agroindustriais, como o resíduo de manga, pode diminuir ainda mais a disponibilidade de cálcio e de outros nutrientes devido a uma concentração maior de fatores antinutricionais, que podem se complexar com os nutrientes deixando-os indisponíveis para absorção.

O raquitismo em animais jovens se caracteriza como uma doença carencial de cálcio assim como a osteomalácia em animais adultos, constatando-se fragilidade óssea, arqueamento esquelético, alargamento das juntas, dificuldade locomotora, defeitos anatômicos, fraturas, entre outros. Os sinais de deficiências leves são redução no consumo e no desempenho (Mcdowell, 1992).

As aves, em geral, têm a capacidade de regular o consumo de cálcio de forma a atender sua exigência. No entanto, as aves podem ter redução no peso corporal, sem que haja efeito no tamanho estrutural em termos absolutos (Leeson et al., 1986).

Visto que o cálcio e o fósforo são elementos intimamente associados no metabolismo animal, uma inadequada relação cálcio e fósforo na dieta, pela carência de um ou excesso do outro pode trazer prejuízo no desenvolvimento ósseo do animal (Araújo et al., 2002). Assim, a relação Ca:P deve ser mantida dentro de um nível adequado, que segundo Scott et al. (1982) deve ser de 2:1 em frangos de corte, podendo ocorrer pouca variação. Segundo Williams et al (2000), esta relação é variável segundo a idade do animal, podendo variar de 1,82:1 à 3,89:1.

O fósforo juntamente com o cálcio forma a hidroxiapatita, que é o principal componente da matriz inorgânica do osso. Também participa das funções celulares como componentes de fosfolipídios da membrana celular, dos ácidos nucleicos, do transporte de energia e da regulação da atividade de várias enzimas (Araújo et al., 2002).

A absorção do fósforo ocorre ao longo de todo o intestino, sendo maior no jejuno, menor no duodeno e mínima no íleo. O transporte do fósforo através das microvilosidades intestinais envolve três componentes: um componente ativo transcelular, um componente difusional dependente de concentração e através da via paracelular e, em sentido contrário, um componente secretório. O mais importante é o transporte ativo, dependente do gradiente de sódio (co-transporte $\text{Na}^+\text{-P}$). O componente difusional independente de sódio representa cerca de 30 a 50% da absorção total (Macari et al., 2002).

Os níveis de fósforo e de cálcio são controlados pelo paratormônio (PTH), vitamina D e calcitonina e a relação cálcio e fósforo da dieta parecem ter influência na absorção deste mineral. Os metabólitos da vitamina D, especialmente o mais potente deles a $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ colecalciferol promovem aumento da absorção de fósforo, através do mecanismo ativo. Em ratos, a administração de Vitamina D aumentou a absorção de fósforo em todos os segmentos do intestino delgado. O maior efeito, contudo, ocorreu no jejuno. O PTH, por outro lado, parece não exercer nenhum efeito direto na regulação da absorção intestinal de fósforo. Esse hormônio exerce indiretamente seu efeito na absorção de fósforo, através da estimulação da síntese renal de $1,25\text{-diidroxicolecalciferol}$ (Williamns et al., 2000).

A absorção de fósforo varia proporcionalmente com a ingestão quando esta se encontra dentro de valores normais. Entretanto, quando o aporte dietético de fósforo é reduzido, ocorre um aumento na eficiência absorptiva e, quando este é muito elevado, a absorção diminui. Essa resposta adaptativa ao fósforo dietético é específica do co-transporte $\text{Na}^+\text{-P}$ (Macari et al., 2002).

Estudos com fósforo e cálcio têm sido baseados em ganho de peso, conversão alimentar e resistência óssea. De acordo com Sá et al. (2004b), a exigência para otimizar desempenho das aves é inferior à exigência para maximizar a resistência óssea. A insuficiente suplementação na dieta de cálcio e fósforo, ou o excesso de cálcio reduzem a taxa de crescimento da ave e a mineralização óssea, também, reduzindo o conteúdo de cinzas nos ossos.

2.3. Aspectos Físicos do Osso

O crescimento acelerado, que ocorre nas aves de corte, não permite que ocorra uma mineralização adequada, sendo que ossos imaturos apresentam maior porosidade, e conseqüentemente, menor densidade (Williams et al., 2004). A forma com que o esqueleto se adapta às altas taxas de crescimento faz com que os ossos aumentem de dimensões (comprimento e área da seção transversal) mais rapidamente, acarretando em menor resistência mecânica e maior propensão às fraturas. Embora alguns pesquisadores tais como (Leterrier & Nys, 1992) tenham descrito diferenças na composição e na resistência óssea em relação a raças de crescimento lento e rápido, a mesma diferença não foi observada por (Yalçın et al., 2001) entre linhagens comerciais de corte, muito provavelmente, porque elas guardam entre si uma proximidade genética muito grande. No entanto, Leterrier et al. (1998), utilizando dieta de baixa energia para aves de corte de mesma origem genética, visando redução na taxa de crescimento, observaram uma estreita relação entre o desenvolvimento do esqueleto e a taxa de crescimento nessas aves. Nas aves que ganharam menos peso (cresceram mais lentamente), os ossos avaliados apresentaram menor comprimento e menor área da seção transversal quando comparadas às aves cuja dieta mais energética produziu taxa de crescimento superior. Tal achado mostra que a taxa de crescimento dos animais é fator preponderante com relação às alterações da estrutura óssea.

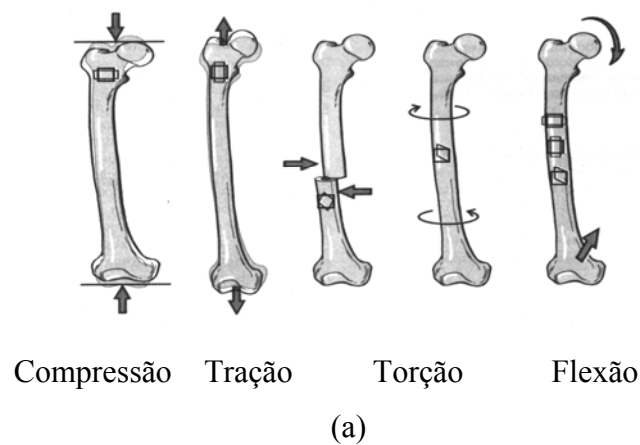
Rose et al. (1996), comparando as diferenças entre frangos de corte machos e fêmeas, com relação ao crescimento cortical do osso, histomorfometria, composição e propriedades biomecânicas, observaram que fêmeas, de um modo geral, crescem menos,

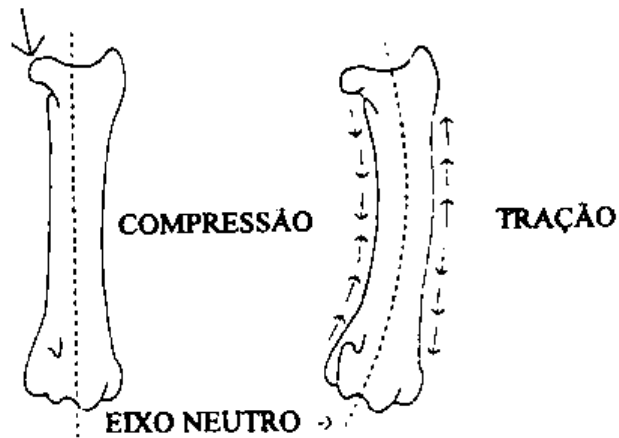
apresentam ossos menores, com menor volume e área da seção transversal, mas apresentam melhores propriedades físicas como menor porosidade e maiores teores de cinzas, bem como menor incidência de problemas de pernas.

2.4. Aspectos Biomecânicos do Osso

O tecido ósseo é um tecido sólido que junto com os músculos constitui a estrutura de sustentação do corpo do animal. Também funciona como alavanca e apoio para os músculos, quando ocorre a contração do tecido muscular. Suas propriedades materiais, bem como sua geometria estrutural e transversal, foram aperfeiçoadas para esta função e possuem propriedades mecânicas próprias para cada tipo de solicitação exigida (Macari et al., 2002).

Os principais esforços a que os ossos são submetidos são a compressão, por conseguinte a flambagem, a flexão, a torção e, em menor importância, a tração. A Figura 2 ilustra os tipos de esforços.





(b)

Figura 2 - Resistências apresentadas pelo osso: (a) compressão, tração, torção e flexão; (b) eixo neutro na tração e na compressão. Fonte: (Turner & Burr, 2005)

Na compressão, a implicação imediata está associada à tendência de arqueamento do osso com relação ao seu eixo longitudinal (flambagem). Quanto menor for o osso e maior o momento de inércia e módulo de elasticidade, maior será sua resistência. Na torção sua resistência está intimamente ligada à seção transversal do osso e sua resistência ao esforço cortante.

A flexão, por definição, ocorre quando o osso é submetido a esforços perpendiculares ao seu comprimento e tende a provocar como consequência o arqueamento do osso. O fenômeno de arqueamento é semelhante ao que ocorre na flambagem, contudo, ocorre devido a causas distintas. No caso da estrutura esquelética, a flexão normalmente acontece quando uma força excêntrica, com relação ao seu eixo longitudinal, é aplicada à extremidade de um osso, criando um momento sobre o mesmo. Quanto menor for o osso e maior seu momento de inércia e sua elasticidade, maior sua resistência à flexão (Turner & Burr, 2005).

As propriedades mecânicas dos ossos podem ser determinadas por meio de ensaios, onde o osso pode ser avaliado sob a ótica da engenharia. Os ensaios fornecem a resistência mecânica do material, assim como seu módulo de elasticidade. Dentre os ensaios básicos, podem-se citar os de flexão, tração e compressão (Turner & Burr, 2005).

Vale ressaltar que outra propriedade apresentada pelos ossos é a viscoelasticidade. Em um material viscoelástico as propriedades mecânicas variam de acordo com a velocidade de aplicação da carga. Este fenômeno é atribuído ao fato de a

estrutura óssea escoar internamente à medida que a carga vai sendo aplicada. Um aumento na velocidade de aplicação da carga tem influência sobre o módulo de elasticidade e a resistência máxima que o osso pode suportar (Brandão, 1997).

A força máxima suportada pelo osso é resultado tanto da composição quanto da geometria específica do mesmo. A maneira como a geometria de um material influencia sua resistência mecânica é caracterizada pelo momento de inércia, I , que expressa a distribuição da área ao redor da região onde a carga está sendo aplicada. Desta forma, de acordo com Turner & Burr (2005), objetos de um mesmo material cujas seções transversais possuem mesma área, mas com formas distintas, apresentarão valores diferentes de carga de ruptura, sendo as diferenças decorrentes dos momentos de inércia destes objetos.

Outro parâmetro que caracteriza mecanicamente o osso é a tenacidade. Ela expressa a quantidade de energia necessária para causar a fratura do osso na flexão. De acordo com Turner & Burr (2005), essa propriedade é muito importante em biomecânica uma vez que um osso mais tenaz pode ser mais resistente à fratura mesmo que a carga máxima que ele resista seja menor. De acordo com Currey (2003a), o colágeno tem influência direta sobre a tenacidade do tecido ósseo, enquanto os minerais sobre a elasticidade. Wang et al. (2001) observaram que, na flexão, a desnaturação do colágeno por calor levou à diminuição da tenacidade e da resistência, sem alterar o módulo de elasticidade. Trabalhos conduzidos por Currey (2003b) demonstraram que o teor de elementos minerais tem correlação positiva com o módulo de elasticidade, ou seja, maior a rigidez do osso, contudo o aumento da rigidez levou a uma maior fragilidade do osso, e susceptibilidade a trincas. De acordo com o autor, o conteúdo mineral é o principal determinante das diferenças observadas nas propriedades mecânicas dos ossos pesquisados.

2.5. Produção e processamento de manga no Brasil

A manga é uma fruta de origem tropical, nativa da Índia, sudeste do continente asiático e ilhas circunvizinhas. Atualmente é cultivada em praticamente todos os países de clima tropical e subtropical. Estima-se que sua produção, no Brasil, em 2008, tenha sido de 1,27 milhões de toneladas de manga, com exportação de 116 mil toneladas e contribuição de 90 milhões de dólares em divisas para o Brasil (EMBRAPA, 2008). O crescimento do consumo interno, aliado às exportações de polpa de manga, são fatores

que estão servindo de incentivo para novos investimentos na produção de manga, principalmente na Região Noroeste.

Existem cerca de 800 variedades de manga, sendo que as mais comercializadas são Tommy Atkins, Haden, Keity e Kent. No Brasil a Tommy Atkins responde por 50% da produção. Na Zona da Mata de Minas Gerais, a manga Ubá (*Mangifera indica L.*), por apresentar excelentes características sensoriais e grande aceitação comercial, tem se destacado para a fabricação de sucos.

O processamento agroindustrial de manga gera uma grande quantidade de resíduos, ou seja, casca, caroço e poupa não aproveitada. A proporção de cascas é de 25% e de caroços de 20% do peso total da fruta (Larrauri et al., 1996).

A composição química da manga varia com as condições da cultura, variedade, estágio de maturação, e outros fatores, sendo constituídos principalmente de água, carboidratos, ácidos orgânicos, sais minerais, proteínas, vitaminas e pigmentos. Dentre as vitaminas, destacam-se a vitamina A (carotenóides), vitamina C (ácido ascórbico) e pequenas quantidades de vitaminas do complexo B.

Estudos de Berardini et al. (2005) e Schieber et al. (2003) mostraram que cascas de mangas contêm diferentes compostos fenólicos, incluindo glicosídeos de flavonóis e de xantonas, galatoninos, derivados de benzofenona e antocianinas. A amêndoa do caroço de manga apresenta alto teor de compostos fenólicos e uma atividade antioxidante superior à da polpa, sendo o seu emprego recomendado como fonte antioxidante natural para utilização na indústria alimentícia (Parmar & Sharma, 1986).

De acordo com Ribeiro (2006) e Vieira et al. (2008), a quantidade de fenóis totais encontrada no farelo do resíduo de manga Ubá foi aproximadamente 5,0%, com a casca contribuindo com 4,9% e o caroço 6,8%. (rever estes números)

Os compostos fenólicos presentes nos alimentos contribuem para a manutenção de suas características sensoriais, como a aparência, cor e sabor, além de proteger seu conteúdo nutricional. Em baixas concentrações, os compostos fenólicos podem proteger o alimento da deterioração oxidativa. Porém, em altas concentrações, contribuem para a perda de cor do alimento, adstringência e sabor amargo, além de interagir com proteínas, carboidratos e minerais, provocando redução do valor nutricional (Ribeiro et al., 2007).

Um estudo de composição da polpa de quatro variedades de manga (Haden, Tommy Atkins, Palmer e Ubá) realizado por Ribeiro et al. (2007), mostrou que a manga Ubá é superior em antioxidantes como vitamina C, betacaroteno e compostos fenólicos

totais. Foi identificado também, nos resíduos constituídos de casca e semente da manga, antioxidantes como mangiferina, quercetina e kenferol. Estas substâncias são essenciais para formação e metabolismo ósseo, principalmente a vitamina C, que participa da formação das ligações cruzadas do colágeno. Tais ligações cruzadas são as principais responsáveis pela orientação e estabilização da molécula e das fibras de colágeno, conferindo força e resistência tensil ao tecido ósseo.

Alguns trabalhos mostram que a quercetina e o kenferol inibem a perda óssea, por afetar a osteoclastogênese e regular vários fatores locais e sistêmicos como hormônios, citocinas inflamatórias e TNF (fator de necrose tumoral) nas células ósseas. A quercetina também tem sido associada à prevenção da oxidação do LDL (colesterol de baixa densidade) e da aterosclerose (Oliveira et al., 2008).

Carotenóides possuem um efeito destacável no aumento da resposta imune e na comunicação intracelular e apresentam efeitos benéficos contra doenças crônicas, inibição da proliferação celular e proteção do DNA (Oliveira et al., 2008). Silva et al. (2005) observaram resultados positivos para a pigmentação da gema em função do aumento do percentual de carotenóides na ração de galinhas poedeiras.

Outros constituintes importantes do farelo de resíduo de manga são as fibras, as proteínas e os ácidos graxos. Segundo Vieira (2007) o farelo do resíduo a manga Ubá tem como seu principal constituinte as fibras, principalmente fibra detergente neutro (37,0%), que é constituída de celulose, hemicelulose e lignina. A fração insolúvel das fibras apresenta efeito mecânico no trato gastrintestinal de monogástricos, pois são pouco fermentáveis, aumentam o bolo fecal e aceleram o tempo de trânsito intestinal (Warpechowski, 2005).

Alguns autores (Sólis-Fuentes & Duran-de-Bázua, 2004; Joseph, 1995) encontraram baixo teor de proteínas no resíduo de manga, porém comprovaram que as mesmas são ricas em lisina. Esta é considerada o segundo aminoácido limitante para frangos de corte e tem tido sua exigência largamente estudada, devido ao fato de que seu metabolismo está vinculado quase que exclusivamente para acréscimo de proteína corporal. Moran Jr & Bilgili (1990) demonstraram que a suplementação de lisina, com nível superior ao do requerimento para máxima taxa de crescimento tem efeito significativo na composição da carcaça, principalmente no rendimento de peito.

Vieira et al. (2008) verificaram que o óleo extraído da amêndoa da semente de manga Ubá apresentou 52,7% em ácidos graxos insaturados, com 43,7% de ácido oléico e 9,0% de linoléico. Watkins & Seifert (2000) verificaram que os lipídeos fornecidos na

alimentação podem afetar a composição dos ácidos graxos presentes nos fosfolipídeos da membrana, influenciando a função da célula óssea. Os ácidos graxos poliinsaturados (PUFA) são importantes para a mineralização e a regulação da modelagem óssea, por servirem de substratos para a síntese de eicosanóides que estão envolvidos na regulação local do crescimento e desenvolvimento ósseo (Bernardino, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Aves

Para o experimento foram criados 600 pintos de corte de um dia, machos, Ross, com peso médio inicial de 43 g, distribuídos aleatoriamente em trinta unidades experimentais, compreendendo cinco tratamentos e seis repetições com 20 animais cada. Foi utilizado um galpão (Granja de Melhoramentos de Aves, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa) subdividido em 30 boxes de 1,5 x 2,0 m com 3,0 m de pé direito, muretas laterais com 0,30 m, piso cimentado, cobertura com telhas de amianto, cortinas laterais e 10 cm de cama de maravalha. Foi utilizado um programa de luz contínuo (luz natural + artificial) e alimentação e água “ad libitum” utilizando-se comedouros tipo bandeja e bebedouros infantis (primeira semana) e comedouro tipo tubulares e bebedouro tipo pendular (semanas subseqüentes). As condições térmicas ambientais foram registradas, a partir de leituras de temperatura de máxima e mínima em ponto central de cada unidade experimental, à altura das aves. Durante o período de criação das aves a temperatura mínima média foi de $16,4 \pm 3,5^{\circ}\text{C}$ e a temperatura máxima média foi de $27,8 \pm 4,2^{\circ}\text{C}$.

3.2. Tratamentos

As dietas experimentais foram à base de milho e farelo de soja suplementadas com 0; 2,5; 5,0; 7,5; e 10,0 % de farelo do resíduo de manga (FRM). O resíduo da manga foi constituído de cascas, caroços e frutas defeituosas. O resíduo foi seco a 60°C e triturado em moinho desintegrador com peneira tipo três para a obtenção do farelo. A formulação das rações para as aves até os 21 dias (Tabela 1) e de 21 a 42 dias de idade (Tabela 2) foi feita de acordo com as recomendações contidas em Rostagno et al. (2005).

3.3. Abate e Coleta de Amostras

A coleta de amostras foi realizada aos 14, 28 e 42 dias. Em cada período, um terço das aves de cada tratamento, recolhidas ao acaso, foram pesadas, sacrificadas por deslocamento cervical e suas tíbias esquerdas e direitas removidas. Após a coleta, os ossos foram limpos de todo tecido aderente, pesados (balança analítica, precisão 0,1mg) e seus comprimentos determinados com paquímetro (resolução 0,02 mm).

Tabela 1 - Composições percentuais e calculadas das rações para o período de 1 a 21 dias de idade das aves (Vieira, 2007)

Ingredientes	Níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga (%)				
	0	2,5	5,0	7,5	10,0
Farelo de resíduo de manga	0	2,5	5,0	7,5	10,0
Milho	60,11	56,35	52,59	48,83	45,07
Farelo de Soja	34,68	35,12	35,54	35,97	36,40
Óleo de Soja	1,18	2,02	2,85	3,69	4,52
Calcário	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82
Fosfato Bicálcico	1,81	1,82	1,83	1,83	1,84
Sal comum	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50
DL-Metionina 99%	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28
L-Lisina HCl 99%	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19
L-Treonina 99%	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07
Mistura Mineral ¹	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Mistura Vitamínica ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Cloreto de Colina 60%	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Anticoccidiano	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Antioxidante	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
TOTAL	100	100	100	100	100
Composição Calculada					
Energia Metabolizável (kcal/kg)	2.950	2.950	2.950	2.950	2.950
Proteína Bruta (%)	21,05	21,04	21,02	21,01	20,99
Lisina Total (%)	1,266	1,271	1,273	1,273	1,274
Lisina Digestível (%)	1,172	1,173	1,172	1,171	1,174
Metionina Total (%)	0,575	0,584	0,583	0,593	0,592
Metionina Digestível (%)	0,546	0,554	0,552	0,564	0,564
Treonina Total (%)	0,865	0,865	0,864	0,862	0,863
Treonina Digestível (%)	0,761	0,761	0,763	0,762	0,763
Cálcio (%)	0,893	0,894	0,891	0,896	0,896
Fósforo Disponível (%)	0,446	0,451	0,453	0,451	0,452
Sódio (%)	0,215	0,223	0,214	0,211	0,213
Fibra Bruta (%)	2,917	3,242	3,564	3,895	4,214
Fenólicos Totais (gEAG ³ /100g)	0,073	0,175	0,276	0,378	0,480

¹ Suplemento mineral – (Roche) – Níveis de garantia por quilo do produto: Mn, 16 g; Fe, 100 g; Zn, 100 g; Cu, 20 g; Co, 2 g; I, 2 g; e veículo q.s.p., 1000 g.

² Suplemento vitamínico – (Roche) – Níveis de garantia por quilo do produto: Vitamina A, 10.000.000 UI; Vitamina D₃, 2.000.000 UI; Vitamina E, 30.000 UI; Vitamina B₁, 2 g; Vitamina B₆, 4 g; Ácido pantotênico, 12 g; Biotina, 0,10 g; Vitamina K₃, 3 g; Ácido fólico, 1 g; Ácido nicotínico, 50 g; Vitamina B₁₂, 15.000 mcg; Se, 0,25 g; e veículo q.s.p., 1.000 g.

³ Equivalente ácido gálico (Vieira et al (2008)).

Tabela 2 - Composições percentuais e calculadas das rações para o período de 22 a 42 dias de idade das aves (Vieira, 2007)

Ingredientes	Níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga (%)				
	0	2,5	5,0	7,5	10,0
Farelo do resíduo de manga	0	2,5	5,0	7,5	10,0
Milho	65,17	61,38	57,59	53,79	50,0
Farelo de Soja	28,55	29,02	29,49	29,96	30,43
Óleo de Soja	2,50	2,64	3,70	4,76	5,82
Calcário	0,82	0,80	0,79	0,77	0,76
Fosfato Bicálcico	1,58	2,28	2,06	1,83	1,61
Sal comum	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
DL-Metionina 99%	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27
L-Lisina HCl 99%	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25
L-Treonina 99%	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09
Mistura Mineral ¹	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Mistura Vitamínica ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Cloreto de Colina 60%	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Anticoccidiano 12%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Antioxidante	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
TOTAL	100	100	100	100	100
Composição Calculada					
Energia Metabolizável (kcal/kg)	3099	3099	3098	3097	3097
Proteína Bruta (%)	18,77	18,77	18,76	18,76	18,75
Lisina Total (%)	1,176	1,173	1,170	1,164	1,160
Lisina Digestível (%)	1,093	1,091	1,090	1,084	1,077
Metionina Total (%)	0,529	0,532	0,542	0,541	0,545
Metionina Digestível (%)	0,503	0,511	0,510	0,520	0,520
Treonina Total (%)	0,795	0,793	0,791	0,790	0,791
Treonina Digestível (%)	0,700	0,701	0,700	0,702	0,700
Cálcio (%)	0,803	0,791	0,790	0,783	0,775
Fósforo Disponível (%)	0,402	0,400	0,401	0,400	0,397
Sódio (%)	0,200	0,201	0,201	0,200	0,199
Fibra Bruta (%)	2,672	2,981	3,290	3,602	3,911
Fenólicos Totais (gEAG ³ /100g)	0,092	0,235	0,378	0,522	0,665

¹ Suplemento mineral Roche com níveis de garantia por quilo do produto: Mn, 16 g; Fe, 100 g; Zn, 100 g; Cu, 20 g; Co, 2,0 g; I, 2 g; e veículo q.s.p., 1000 g.

² Suplemento vitamínico Roche com níveis de garantia por quilo do produto: Vitamina A, 10.000.000 UI; Vitamina D₃, 2.000.000 UI; Vitamina E, 30.000 UI; Vitamina B₁, 2 g; Vitamina B₆, 4 g; Ácido pantotênico, 12 g; Biotina, 0,10 g; Vitamina K₃, 3 g; Ácido fólico, 1 g; Ácido nicotínico, 50 g; Vitamina B₁₂, 15.000 mcg ; Se, 0,25 g; e Veículo q.s.p., 1.000 g.

³ Equivalente ácido gálico (Vieira et al (2008)).

3.4. Parâmetros Avaliados

A avaliação do efeito da dieta na constituição óssea de tíbias de frango de corte considerou aspectos mecânicos (carga máxima de ruptura, módulo de ruptura e tenacidade), aspectos físicos (peso, comprimento, densidade e porosidade), aspectos químicos (teores de cinzas e de cálcio, fósforo e magnésio nas cinzas) e aspectos bioquímicos (teores de proteínas colagenosas ou PC e não colagenosas ou PNC).

3.4.1. Aspectos Físicos do Osso

Para a determinação dos aspectos físicos, foi removida uma porção de aproximadamente 15 mm da região central da diáfise de tíbias direitas, após terem sido medidas e pesadas. Em seguida, a medula óssea da amostra foi removida com jatos de água destilada e a gordura foi extraída utilizando-se éter de petróleo com temperatura de ebulição entre 40°C e 60°C, por 12 horas, em um aparelho denominado Soxhlet.

O peso do osso seco (P_{sec}) foi determinado após secagem em estufa, a 100°C, por 16 horas ou até que o peso fosse constante. A determinação do peso do osso saturado (P_{sat}) foi feita a seguir, após saturação do osso em água destilada por um período de 24 horas. O peso do osso submerso, (P_{sub}) foi obtido com a pesagem do osso saturado imerso em um recipiente com água destilada (Figura 3). Para a determinação da densidade, d , em g/cm^3 , e porosidade, P , em %, usando o princípio de Arquimedes (Rath et al., 1999), que relaciona as massas seca, saturada e submersa das amostras, o volume das amostras, vol , em cm^3 , foi obtido pela diferença $P_{sat}-P_{sub}$.

O cálculo da densidade e porosidade foi feito empregando as equações a seguir.

$$d = \frac{P_{sec}}{Vol.} = \frac{P_{sec}}{P_{sat} - P_{sub}} \quad 1$$

$$P = 100 \cdot \frac{Vol_{vazios}}{Vol.} = 100 \cdot \frac{P_{sat} - P_{sec}}{P_{sat} - P_{sub}} \quad 2$$

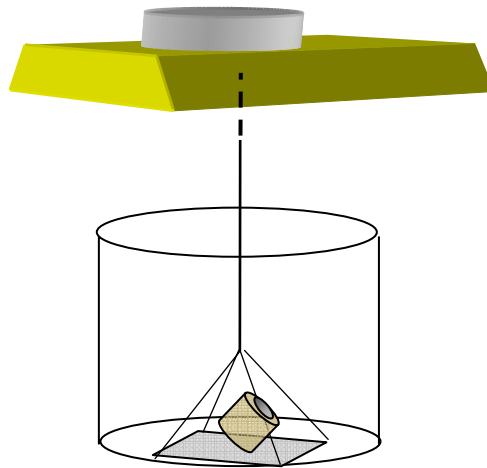


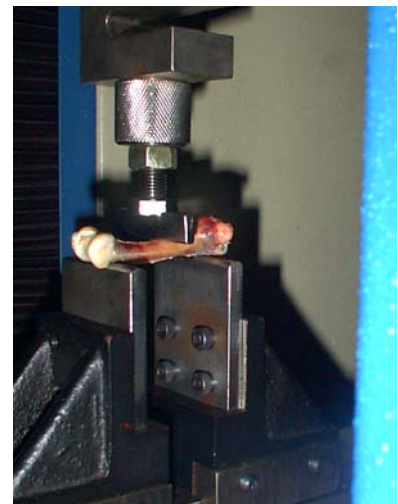
Figura 3 - Esquema da pesagem de massa submersa utilizada nas determinações de densidade e porosidade (Fonte: Barbosa, 2005).

3.4.2 Aspectos Mecânicos do Osso

Para os ensaios mecânicos, as tíbias das pernas esquerdas foram descongeladas até atingir temperatura ambiente. Os parâmetros biomecânicos foram determinados em máquina universal de ensaios da marca EMIC, segundo a norma da “American National Standards Institute” (ANSI) e “American Society of Agricultural Engineering” (ASAE S459-98 (1992), através de ensaio de flexão (Figura 4).



(a)



(b)

Figura 4 - Máquina universal de ensaios, EMIC, utilizada nos ensaios mecânicos de flexão (a) e detalhe do posicionamento dos ossos durante os ensaios (b).

Nos ensaios de flexão, as extremidades das tíbias foram apoiadas em suportes afastados de acordo com seus comprimentos e a carga, com velocidade constante de 10 mm/min, aplicada no centro de seus comprimentos, região da diáfise do osso. Os resultados de carga e deflexão foram continuamente registrados em um sistema de aquisição de dados acoplado à máquina de ensaios. Com base nestes resultados foram obtidas as curvas carga x deflexão ($F \times \delta$), que permitiu a determinação de parâmetros de caracterização do comportamento mecânico do osso (Figura 5).

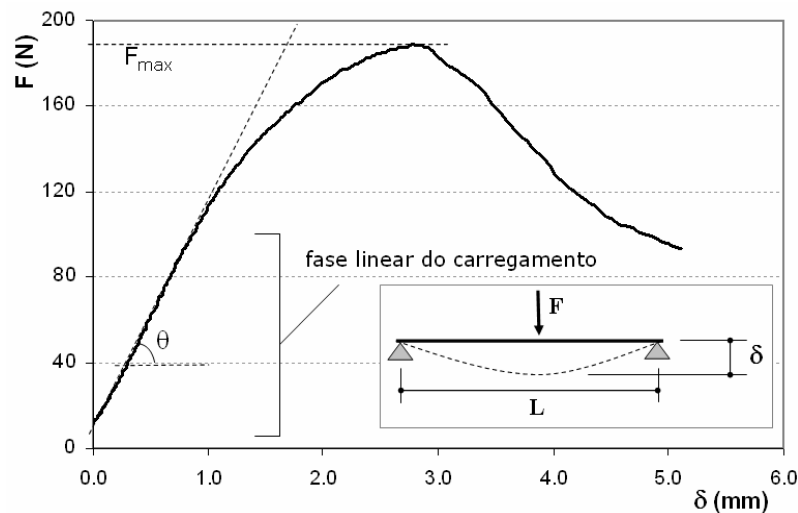


Figura 5 - Curva de carregamento e deformação típica de ensaios com ossos (Fonte: Barbosa, 2005).

Nesta curva foram definidas duas regiões, a região de deformação elástica e a região de deformação plástica. A região elástica compreende desde o início do ensaio até o ponto limite em que o gráfico se desenvolve linearmente, denominado ponto limite de elasticidade. Nesta região, se retirado o esforço, o tecido deformado retorna ao seu formato e tamanho original. A seguir tem-se a região plástica. Esta região é caracterizada pelo fato de que retirado o esforço, o tecido não mais retorna ao seu estado original, ou seja, as deformações passam a ser permanentes.

A inclinação da curva na fase elástica define o grau de deformação do material ao carregamento, representando a rigidez intrínseca do osso caracterizada pelo módulo de elasticidade MOE (Turner & Burr, 2005).

Seqüencialmente, tratou-se da determinação das variáveis geométricas, ou seja, do momento de inércia e área da seção transversal do osso, considerando-o com seção transversal elíptica (Figura 6). Para este procedimento, após a remoção da medula óssea

com jatos de água destilada, as medidas dos diâmetros e espessura na região da diáfise, onde ocorreu a ruptura do osso, foram feitas com auxílio de um paquímetro com resolução de 0,02 mm.

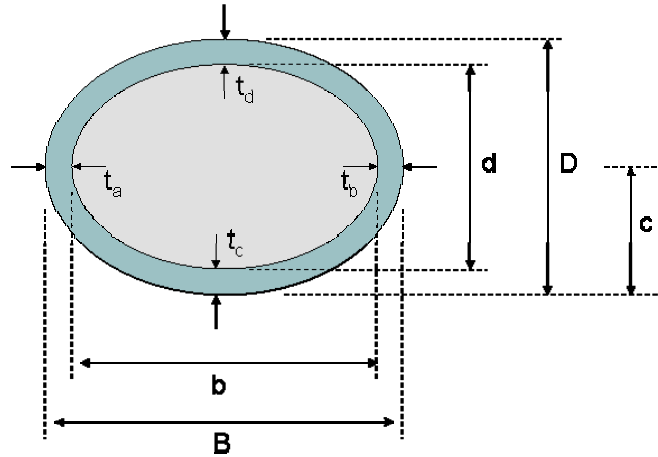


Figura 6 – Seção considerada para os ossos (Fonte: Barbosa, 2005).

Para calcular a área da seção transversal e o momento de inércia, utilizaram-se as equações 3 e 4, onde, segundo ASAE, os valores de b e d foram obtidos com o emprego das equações 5 e 6, considerando as respectivas espessuras dos ossos, conforme representado na Figura 6.

$$A = \pi(BD - bd) \quad 3$$

$$I = 0,049[(B.D^3) - (b.d^3)] \quad 4$$

$$b = B - 2\left(\frac{t_a + t_b}{2}\right) \quad 5$$

$$d = D - 2\left(\frac{t_c + t_d}{2}\right) \quad 6$$

O módulo de ruptura, MOR, em PA, no teste de flexão, foi calculado, segundo ASAE, utilizando-se a equação a seguir.

$$MOR = \frac{FLc}{4I}$$

7

Neste caso, F é a força máxima aplicada em N, L é a distância entre os suportes em m, e c, também em m, é a metade da altura da seção transversal conforme (Figura 6).

3.4.3. Aspectos Químicos do Osso

Os teores de cinzas e minerais foram determinados utilizando-se os fragmentos ósseos empregados na análise dos parâmetros geométricos. As amostras foram pesadas e incineradas em mufla a 550°C por 12 horas e a seguir resfriadas em dessecador e novamente pesadas. Os resultados foram registrados em porcentagem de cinzas em relação ao peso do osso seco e desengordurado (Thorp & Waddington, 1997).

Os teores de cálcio e fósforo foram determinados após a adição de 10 mL de ácido clorídrico (6 moles/L) nas cinzas anteriormente obtidas e resfriadas. Essas amostras, em cadinhos de porcelana, foram colocadas sobre uma placa de aquecimento. O precipitado resultante da evaporação completa da solução foi dissolvido em água destilada e deionizada e posteriormente filtrada em papel de filtro em uma proveta de 100 mL, conforme Thorp & Waddington (1997). A partir da solução mineral determinou-se o fósforo pelo método colorimétrico, utilizando-se vanadato-molibdato e a leitura foi realizada em espectrofotômetro no comprimento de onda 720 nm. O cálcio e o magnésio foram determinados por espectrometria de absorção atômica, no comprimento de onda 422,7 nm e 285,2nm, utilizando-se o aparelho SpectrAA 220 FS da Varian. Os resultados foram expressos em termos de porcentagem de cálcio e magnésio em relação ao peso de cinzas das amostras.

3.4.4. Aspectos Bioquímicos do Osso

Nas determinações de proteína colagenosa (PC) e não colagenosa (PNC), as tíbias, anteriormente utilizadas nos testes de flexão, foram cortadas longitudinalmente, a medula óssea removida com jatos de água destilada e deionizada, e desengorduradas com éter de petróleo, em aparelho de Soxhlet, por 12 horas.

A seguir, para extração das PNC, ou Gla-proteínas ósseas, as tíbias foram pesadas e desmineralizadas em solução de sal dissódico de EDTA (ácido etilenodiamina tetracético), com 0,5 M e pH 8,2, de acordo com a técnica descrita por Hauschka &

Gallop (1977). A desmineralização completa foi comprovada com o uso de ácido oxálico, que reage com as proteínas deixando a solução turva. Após a extração, os volumes de EDTA foram padronizados em 19 mL para as tíbias das aves com idade de 14 dias, 90 mL para a idade de 28 dias e 230 mL para a idade de 42 dias. Por fim, os extratos de EDTA obtidos foram utilizados para determinação dos teores de PNC, conforme técnica descrita por Bradford (1976), utilizando-se albumina sérica bovina como padrão.

Nas determinações dos teores de proteínas colagenosas (PC), as tíbias esquerdas, após desmineralizadas, foram exaustivamente lavadas com água destilada e deionizada para eliminar os resíduos do EDTA e secas em estufa a 80°C por 16 horas. A seguir foram pesadas e trituradas em moinho desintegrador. Deste material foi retirado uma alíquota de 1/3 do peso total que recebeu dois mL de H₂SO₄ concentrado e um g de mistura digestora (20 g de sulfato de cobre + 2 g de Selênio + 200g de sulfato de potássio) e, posteriormente, foi digerido em bloco digestor a 380°C por três horas. O volume final da solução digerida foi ajustado para 150 mL com água destilada e deionizada. Foi retirada uma alíquota de 50 µL de amostra + 50 µL de água ácida (4 mL de ácido sulfúrico em 150mL de água destilada e deionizada). Adicionou-se a amostra 7,9 mL de solução A2, 1 mL de solução C e 1 mL de solução D, para leitura em espectrofotômetro a 630 nm utilizando como solução padrão 100 mg de (NH₄)₂SO₄ previamente seco em estufa e 4 mL de H₂SO₄ para um volume final de 150 mL com água destilada e deionizada. A solução A2 foi feita utilizando-se 0,9 mL de solução A1 + 0,1mL de solução B + 6,9 mL de água destilada e deionizada. A solução C foi feita com 1g de fenol cristal, 5 mg de nitroprussianato de sódio em 100 mL de água destilada e deionizada. A solução B utilizou 1g de sal dissodico EDTA (ácido etileno diamino tetra acetico) em 100 mL de água destilada e deionizada e a solução D utilizou 0,5 g de hidróxido de sódio, 0,374 g de Na₂HPO₄, 3,18 g de Na₃PO₄.12H₂O e 2 mL de hipoclorito de sódio para um volume final de 100 mL de água destilada e deionizada. O teor de PC foi obtido multiplicando-se o teor de nitrogênio pelo fator 6,25.

3.5. Análise Estatística

Os parâmetros foram submetidos a análises de acordo com o programa “Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG), desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa – UFV, versão 7.0 (1977), utilizando-se os procedimentos para análises de variância e regressão ao nível de 5%. As estimativas para a determinação do nível de suplementação de farelo de resíduo de manga em dietas foi determinado por meio de análise de regressão linear e quadrática, conforma o melhor ajustamento obtido para cada parâmetro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Aspectos Físicos da Tíbia

Os resultados médios do peso das aves e do peso, comprimento, densidade, porosidade e área da tíbia referente às idades das aves aos 14, 28 e 42 dias, em função dos tratamentos, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados médios de peso das aves e parâmetros físicos da tíbia de frango de corte, em função dos níveis de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração e da idade das aves

Parâmetros	Idade (dias)	Níveis de FRM (%)					F
		0	2,5	5	7,5	10	
Peso da ave (g)	14	431	414,7	416,0	397,7	372,7	0,0353*
	28	1508,7	1537,6	1529,3	1471,7	1480,3	ns
	42	2968,7	2964,7	2950,3	3009,3	2941,3	ns
Peso da tíbia (g)	14	3,33	3,22	3,27	3,12	2,96	0,0290*
	28	11,73	11,78	11,60	11,52	11,16	0,0349*
	42	23,43	22,56	22,46	24,58	23,54	ns
Peso da tíbia/peso da ave	14	0,0077	0,0078	0,0078	0,0079	0,0080	0,0016*
	28	0,0078	0,0077	0,0076	0,0078	0,0076	ns
	42	0,0079	0,0076	0,0076	0,0082	0,0080	ns
Comprimento da tíbia (mm)	14	57,92	57,09	56,98	55,05	54,04	0,0083*
	28	86,65	87,53	87,86	84,92	85,15	ns
	42	111,19	109,09	110,36	112,46	111,15	ns
Densidade do osso (g/cm ³)	14	0,88	0,92	0,92	0,85	0,89	ns
	28	0,92	0,98	0,95	0,98	1,00	ns
	42	1,00	1,02	1,03	1,02	0,97	ns
Porosidade do osso (%)	14	51,10	48,10	50,17	49,33	47,40	ns
	28	44,67	43,30	43,76	41,62	45,52	ns
	42	37,5	38,9	38,3	37,9	40,6	ns
Área do osso (cm ²)	14	0,136	0,132	0,134	0,120	0,118	ns
	28	0,374	0,346	0,350	0,354	0,329	ns
	42	0,531	0,480	0,470	0,551	0,490	ns

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

4.1.1. *Peso da Ave*

O peso das aves aos 28 e 42 dias de idade não foi influenciado significativamente com relação aos níveis de farelo de resíduo de manga acrescentado à ração. Resultado semelhante foi encontrado por Odunsi (2005) quando trabalhou com adição de até 20% de farinha da amêndoa de manga na ração e não observou diferença no ganho de peso em relação à ração controle.

O peso da ave aos 14 dias de idade apresentou significância estatística ao nível 5% de probabilidade. Observou-se, nos resultados correspondentes à idade de 14 dias, um decréscimo continuado do peso das aves com o aumento da inclusão de FRM na ração, de forma que, com a inclusão de 10%, ocorreu uma redução de 12,5% no peso animal, em relação ao controle (Figura 7).

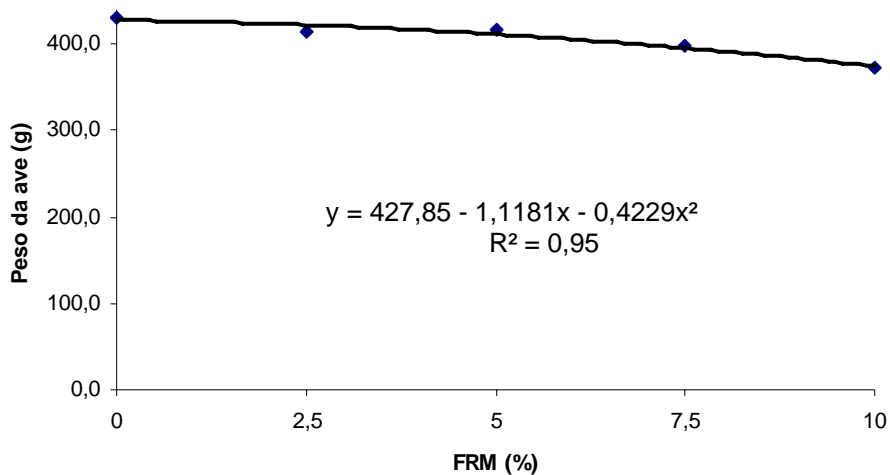


Figura 7 – Peso estimado de frangos de corte aos 14 dias de idade, em função dos níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração.

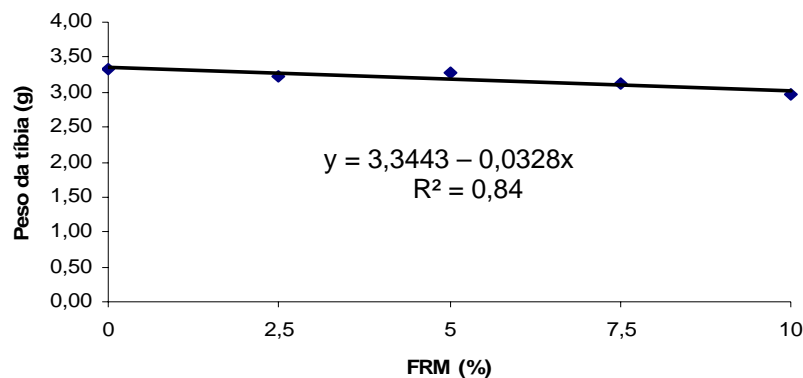
O aumento crescente do teor de FRM pode ter contribuído para redução do ganho de peso na fase inicial de vida das aves provavelmente devido ao fato das mesmas ainda não possuírem um aparelho digestivo plenamente desenvolvido. Os componentes do FRM, entre eles o teor de fibras e dos compostos fenólicos, podem ter contribuído para a redução do ganho de peso pela interação com os nutrientes da dieta como proteínas e carboidratos, reduzindo a absorção e digestibilidade dos mesmos.

Entretanto, aos 28 e 48 dias não foram observadas diferenças, mostrando que os efeitos iniciais podem ser superados pelas aves por apresentarem maturidade do

aparelho digestório ao envelhecerem. No caso de aves mais velhas, devido ao maior tamanho do trato digestório, o alimento permanece por mais tempo nessa região, estando por mais tempo exposto à ação de enzimas e secreções gástricas (Burnell, 1990). O desempenho destes animais é dependente da disponibilidade dos nutrientes e da intensidade com que eles podem ser absorvidos e utilizados.

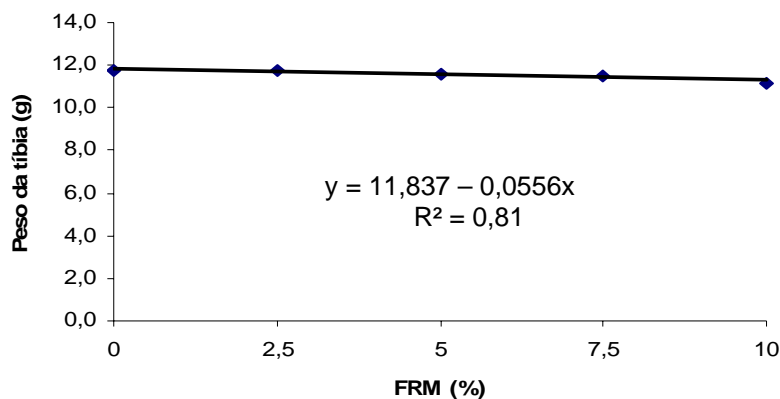
4.1.2. Peso da Tíbia

O peso da tíbia das aves aos 42 dias de idade não foi influenciado pela adição de FRM à ração. No entanto, o peso da tíbia aos 14 e 28 dias de idade foi influenciado pela inclusão do FRM na ração ($P < 0,05$) e apresentou ajuste linear (Figura 8).



(a)

Nas aves com 14 dias de idade (Figura 8a) ocorreu uma redução estimada do peso da tíbia de 9,7% com a adição de 10% de FRM, enquanto que, nas aves com 28 dias de idade (Figura 8b) ocorreu uma redução menor, ou seja, de 4,7% para o mesmo teor de FRM na ração. Observa-se que com o aumento da idade ocorreu redução do efeito do FRM adicionado a ração com relação ao peso do osso. Esta tendência é reforçada com os resultados encontrados com os frangos aos 42 dias de idade que não foram influenciados ($P > 0,05$) pelo FRM adicionado a ração.



(b)

Figura 8 – Peso estimado da tíbia de frango de corte aos 14 (a) e 28 dias (b) de idade em função da inclusão de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração.

Isto sugere que a inclusão do FRM até 10% não prejudicou o peso do osso das aves na idade de abate. Resultado semelhante foi observado por Joseph & Abolaji (1997) quando testaram a inclusão de 10% da farinha da semente da manga na ração de frangos de corte e não observaram alterações no desempenho das aves.

4.1.3. Relação Peso do Osso/Peso Vivo

Os resultados referentes à relação do peso da tíbia e o peso vivo das aves aos 14 dias de idade foram significativos ($P < 0,05$) com ajuste linear positivo em função dos níveis de inclusão de FRM na ração (Figura 9).

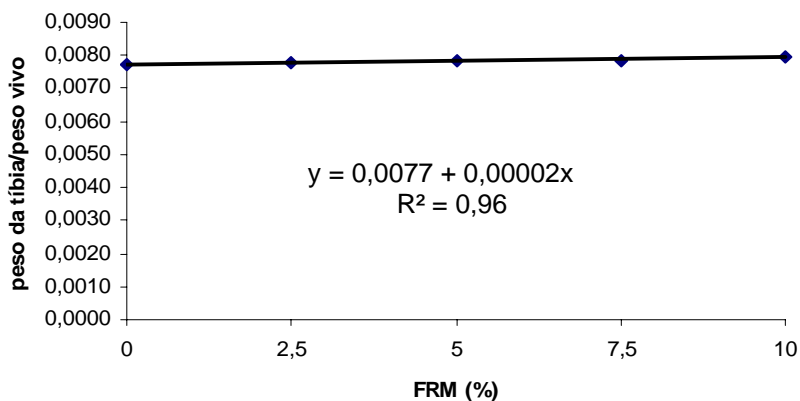


Figura 9 – Relação estimada entre o peso da tíbia e o peso da ave aos 14 dias de idade em função da inclusão de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração.

A relação peso da tíbia/peso vivo da ave teve seu maior valor quando a inclusão do FRM foi em 10% na ração, o que correspondeu a um aumento de 12% em relação ao tratamento controle. Como o osso nesta idade também reduziu de tamanho de forma linear com o aumento dos níveis de inclusão, isto caracteriza que o efeito do aumento da inclusão nesta idade foi menos prejudicial ao peso do osso do que para o peso da ave, visto que a relação estudada foi crescente com o aumento da inclusão. Segundo Toledo et al. (2001), as duas primeiras semanas pós-eclosão correspondem a nada menos que 33% do período médio de vida de frango de corte até a idade de abate. Neste período o desenvolvimento corporal é acentuado e pode aumentar em até dez vezes o seu peso. Isto se deve ao intenso desenvolvimento corporal e do sistema digestório. Assim sendo, a demanda e o desvio de nutrientes para esta finalidade é elevada.

Os resultados referentes à relação peso da tíbia/peso vivo da ave não diferiram entre tratamentos ($P>0,05$) nas aves aos 28 e 42 dias de idade. A não interferência do FRM a ração na relação do peso do osso/peso da ave, sugere que as aves na fase de crescimento podem consumir FRM na ração até 10%, sem prejuízo do desempenho e da qualidade óssea.

4.1.4. Comprimento da Tíbia

Os comprimentos médios das tíbias aos 14 dias (Figura 10) foram influenciados pelos tratamentos ($P<0,05$) tendo ajuste linear. Houve efeito negativo da inclusão do FRM sobre o comprimento do osso. A maior redução estimada foi da ordem de 6,7% com inclusão de 10% de FRM. Assim como o peso do osso, o comprimento também reduziu influenciado provavelmente pelo menor ganho de peso nesta idade com o aumento da inclusão do FRM.

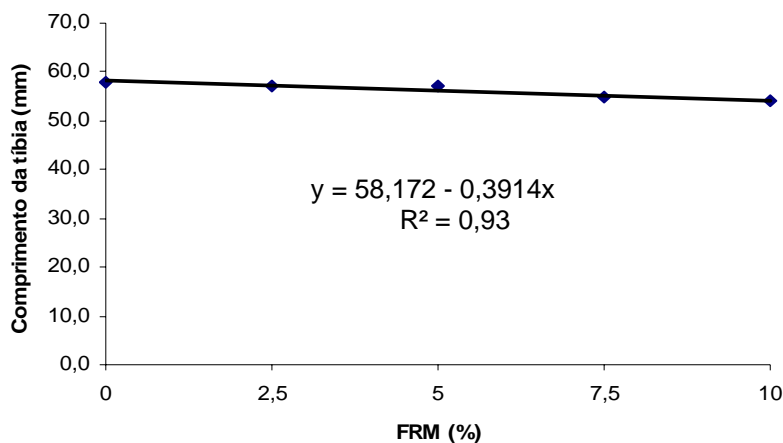


Figura 10 – Comprimento estimado de tíbia de frango de corte aos 14 dias de idade em função da inclusão de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração.

Neste trabalho, a presença de FRM nas rações experimentais não foi fator determinante para afetar o crescimento das tíbias das aves nas idades de 28 e 42 dias ($P > 0,05$). Com a adição de FRM na ração houve a necessidade de aumentar o conteúdo de óleo da ração para adequar o balanço energético. O “National Research Council” (NRC, 1994) destaca melhora na palatabilidade, conversão alimentar, redução na perda de nutrientes, entre outros, como efeitos benéficos do uso de gorduras nas formulações (efeito extra-calórico).

O crescimento da tíbia pode estar associado não somente com a inclusão de óleo na ração, mas igualmente a composição de ácidos graxos presente no farelo de resíduo de manga, que embora apresente baixo conteúdo de lipídeos, tem elevada concentração de ácido oléico (43,71%) e linoléico (9,0%) (Vieira et al., 2007). A ação dos lipídios e dos ácidos graxos no crescimento do osso está relacionada ao mecanismo regulador local que envolve a interação entre ácidos graxos e a prostaglandina PEG2 que aumenta a atividade e a proliferação dos condrocitos (Watkins et al., 2003).

4.1.5. Densidade da Tíbia

Não houve efeito significativo ($P>0,05$) da inclusão de diferentes níveis de FRM na ração sobre a densidade do osso correspondente às idades de 14, 28 e 42 dias das aves. Como a densidade é uma medida do grau de mineralização óssea em uma determinada área ou volume (Emmerson et al., 1991), ela pode ser correlacionada com a resistência óssea e portanto risco de fratura e elasticidade, e tornar as aves vulneráveis à injúria mecânica. A densidade tem relação direta com os teores de cinzas presentes na tíbia, ou seja, quanto maior quantidade de cinzas maior densidade (Rath et al., 1999).

Pode se inferir a partir dos resultados das cinzas que a adição de FRM a ração não prejudicou a mineralização das tíbias, pois os teores de cinzas encontrados estão dentro da faixa considerada adequada para as aves nestas idades. Portanto a densidade não diferiu do tratamento controle, sugerindo que as aves podem ser alimentadas com até 10% de FRM adicionada a ração sem causar prejuízo a mineralização e, portanto a qualidade óssea.

4.1.6. Porosidade da Tíbia

Não houve efeito ($P>0,05$) da inclusão de FRM na ração na porosidade e da densidade das tíbias das aves aos 14, 28 e 42 dias em relação ao tratamento controle, ou seja sem adição de FRM a ração, sugerindo que a adição de FRM na ração não interferiu no processo de mineralização óssea e conseqüentemente na resistência óssea final das aves.

4.1.7. Área da Seção Transversal da Tíbia

Não houve efeito significativo da inclusão de diferentes níveis de FRM na ração sobre a área da seção transversal do osso das aves aos 14, 28 e 42 dias de idade

A variação da área da seção transversal das tíbias representa uma resposta adaptativa do osso para suportar maior carga durante o processo de crescimento (Currey, 2003), uma vez que uma maior área da seção transversal representa maior quantidade de tecido ósseo resistindo aos esforços mecânicos (Williams et al., 2004). Da mesma forma que a densidade e a porosidades os tratamentos não diferiram do controle, indicando uma adaptação positiva das aves em relação à inclusão de FRM a ração.

4.2. Aspectos Mecânicos da tíbia

Os resultados médios dos aspectos mecânicos da tíbia de frangos de corte (carga máxima, módulo de ruptura, tenacidade e momento de inércia da tíbia) são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros mecânicos da tíbia de frangos de corte em função dos níveis de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração e da idade das aves

Parâmetros	Idade (dias)	Níveis de FRM (%)					F
		0	2,5	5	7,5	10	
Carga máxima (F) [N]	14	65,57	75,34	82,66	59,82	41,00	0,0253*
	28	209,28	251,45	231,20	238,17	215,89	ns
	42	299,16	382,64	278,97	344,69	290,77	ns
Módulo de ruptura (MOR) [MPa]	14	87,49	100,53	110,30	90,07	61,73	0,0338*
	28	63,49	76,29	70,15	80,76	73,20	ns
	42	61,44	78,08	57,42	86,84	73,25	ns
Tenacidade à flexão (SPE) [kJ/m ²]	14	5,76	8,54	8,56	7,24	4,09	0,0090*
	28	9,24	12,64	10,56	12,66	10,93	ns
	42	11,93	21,70	13,09	15,40	15,17	ns
Momento de Inércia (I) [x10 ⁻¹⁰ m ⁴]	14	0,22	0,20	0,21	0,17	0,17	ns
	28	1,72	1,50	1,76	1,83	1,53	ns
	42	4,72	3,62	2,87	4,57	3,17	ns

* significativo ao nível de 5% de probabilidade
ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

4.2.1. Carga Máxima

Os tratamentos afetaram a carga máxima suportada pela tíbia das aves aos 14 dias de idade ($P < 0,05$). A carga máxima teve ajuste em modelo quadrático, caracterizando um aumento da resistência do osso até 3,7% de inclusão de FRM (ponto de máxima) e diminuição daí por diante até 10% de inclusão de FRM (Figura 13).

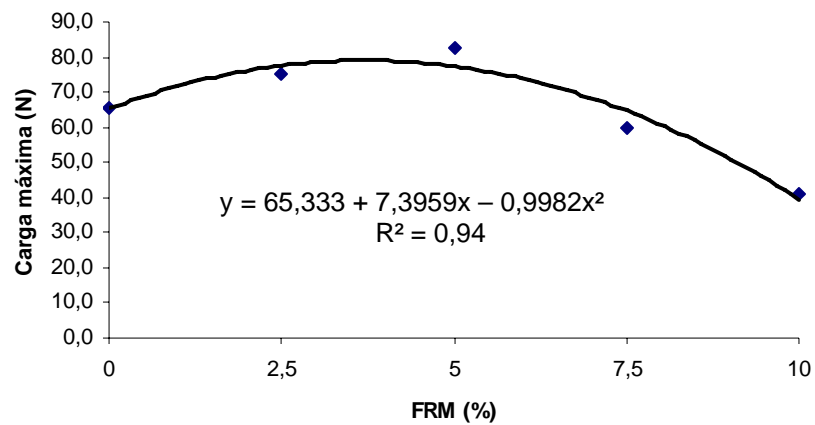


Figura 13 – Carga máxima estimada suportada pela tíbia de frangos de corte aos 14 dias de idade em função dos níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração.

Segundo Currey (2003a) a propriedade mecânica do osso é determinada pela interação entre o conteúdo mineral, água e a quantidade da matriz orgânica, principalmente do colágeno tipo I, e pode estar relacionado com a variação do teor de cinzas (Figura 16). Os resultados apresentados em relação ao teor de cinza e proteínas colagenosas estão em concordância com esta observação, pois na idade de 14 dias houve um aumento significativo do conteúdo estimado de cinzas até 4,19% de inclusão de FRM e a partir deste ponto de máxima observou-se uma tendência de diminuição, característica semelhante encontrada em todos os parâmetros mecânicos estudados.

Para as tíbias avaliadas aos 28 e 42 dias de idade das aves, a inclusão de FRM na ração não afetou a carga máxima ($P > 0,05$).

4.2.2. Módulo de Ruptura (MOR)

O efeito dos tratamentos no módulo de ruptura da tíbia das aves aos 14 dias de idade foi significativo ($P < 0,05$) e apresentou ajuste em modelo quadrático (Figura 14), apresentando mesma tendência do modelo da carga máxima na flexão. Ocorreu um aumento do módulo de ruptura à flexão (MOR), com relação ao controle, até o valor de

4% de inclusão de FRM e após este valor, redução no valor do módulo até o nível máximo FRM, que foi 10%.

Como o MOR representa a qualidade intrínseca do material, pois representa os valores da carga máxima em função da geometria óssea, verifica-se na Figura 14, de certa forma, que a qualidade dos ossos aos 14 dias de idade das aves não teve qualquer comprometimento, em relação ao controle, aproximadamente, até 8% de inclusão de FRM na ração.

Os níveis de FRM estudados, quando comparado com o controle, não afetaram os módulos de ruptura nos ossos das aves aos 28 e 42 dias de idade.

De forma geral, considerando as três idades, os valores de MOR foram sempre maiores que os do controle, permitindo inferir que a inclusão de farelo de resíduos de manga foi benéfica à estrutura óssea das aves.

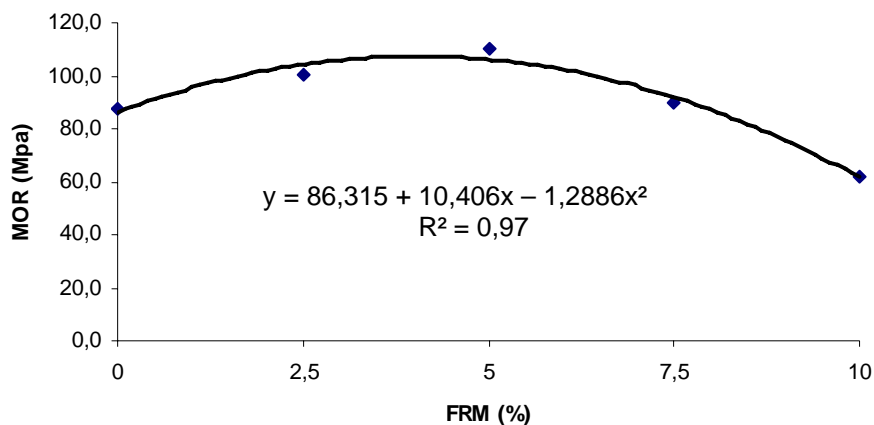


Figura 14 – Módulo de ruptura estimado da tíbia de frangos de corte aos 14 dias de idade em função de níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração.

4.2.3. Tenacidade à Flexão (SPE)

Não houve efeito significativo da inclusão de diferentes níveis de FRM na ração sobre tenacidade à flexão (SPE) da tíbia das aves aos 28 e 42 dias de idade.

Aos 14 dias de idade o efeito da inclusão de FRM sobre a tenacidade da tíbia a flexão foi significativo ($P < 0,05$) e apresentou melhor ajuste em modelo quadrático (Figura 15). Verifica-se que os valores estimados de tenacidade têm a mesma tendência dos de carga máxima e do módulo de ruptura. Também não houve qualquer comprometimento do osso quando comparado ao controle. Até 9% de inclusão de FRM os valores de tenacidade foram sempre superiores.

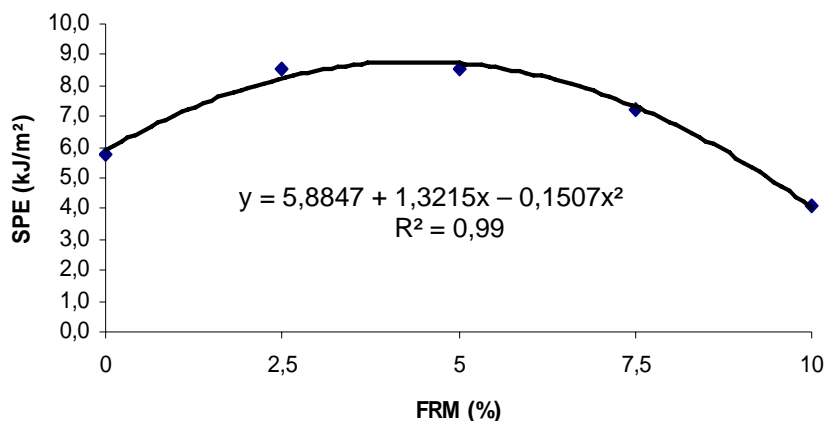


Figura 15 – Tenacidade a flexão estimada da tíbia de frangos de corte aos 14 dias de idade em função dos níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração.

A tenacidade é uma propriedade importante para a funcionalidade do osso, pois expressa a quantidade de energia necessária para causar a fratura do mesmo na flexão e permite determinar sua susceptibilidade à fratura ou ocorrência de micro-trincas (Currey, 2003; Wang et al., 2001). Essa propriedade é muito importante em biomecânica uma vez que um osso mais tenaz pode ser mais resistente à fratura mesmo que a carga máxima que ele resista seja menor (Turner & Burr, 2005).

De acordo com Currey (2003a), o colágeno tem influência direta sobre a tenacidade do tecido ósseo, enquanto os minerais sobre a elasticidade. Segundo Elkin et al. (1978), a incidência de anomalias de pernas em frangos de corte estaria relacionada

com uma desordem na matriz orgânica do osso, em que as propriedades físicas do colágeno provavelmente estariam alteradas. O colágeno é o principal constituinte da matriz orgânica, contribuindo para a resistência à ruptura do osso e fornecendo apoio orientado para a matriz mineral. À medida que o animal amadurece vão se formando ligações cruzadas no colágeno e com isto aumenta-se a capacidade do osso de resistir a maiores flexões (Rath et al., 2000). Estes fatos podem explicar a ausência de efeito significativo da inclusão de FRM na ração sobre as tíbias das aves aos 28 e 42 dias de idade.

4.2.4. Momento de Inércia

Os resultados de momento de inércia da tíbia das aves estudadas, semelhantemente aos da área da seção transversal, não tiveram diferenças significativas ($P>0,05$), em função dos níveis de inclusão de FRM na ração, para as idades de 14, 28 e 42 dias.

Quanto maior o momento de inércia do osso, que considera o arranjo da área do material da seção transversal, maior será sua resistência (Rath et al. , 2000). Neste contexto, pode-se inferir que a inclusão de até 10% de FRM na ração não compromete a resistência óssea de frangos de corte.

4.3. Aspectos Químicos da Tíbia

Os resultados e os testes de significância, referentes aos aspectos químicos avaliados das tíbias das aves aos 14, 28 e 42 dias de idade encontram-se na Tabela 5.

Pode-se verificar na referida tabela que houve efeito significativo da inclusão do FRM nas rações somente para os teores de cinzas e fósforo das tíbias das aves aos 14 dias de idade.

Tabela 5 – Teores de cinzas, cálcio, fósforo, magnésio e relação cálcio/fósforo na tíbia de frangos de corte em função dos níveis de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração e idades das aves

Parâmetros	Idade (dias)	Níveis de FRM (%)					F
		0	2,5	5	7,5	10	
Teor de cinzas (%)	14	60,73	61,24	61,87	61,38	58,99	0,0175*
	28	63,89	62,73	59,07	60,69	61,52	ns
	42	64,00	62,96	62,51	64,27	62,88	ns
Cálcio (%)	14	25,16	25,20	30,86	28,76	28,31	ns
	28	33,26	28,12	29,11	26,94	23,44	ns
	42	24,35	31,58	30,95	26,32	32,21	ns
Fósforo (%)	14	13,89	13,83	19,90	19,49	17,68	0,0181*
	28	18,53	15,35	18,62	15,47	11,36	ns
	42	15,21	14,26	14,90	15,26	17,93	ns
Magnésio (%)	14	0,54	0,49	0,48	0,49	0,45	ns
	28	0,69	0,54	0,56	0,53	0,47	ns
	42	0,50	0,59	0,53	0,48	0,69	ns
Relação Ca/P	14	1,85	1,98	1,53	1,52	1,61	ns
	28	1,80	1,93	1,63	1,83	2,09	ns
	42	1,85	2,12	2,09	1,82	2,09	ns

* significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

4.3.1. Teor de Cinza da Tíbia

O efeito significativo da inclusão de FRM na ração, sobre o teor de cinzas da tíbia das aves aos 14 dias de idade, foi da ordem de ($P < 0,05$). Ocorreu aumento estimado do teor de cinzas até a inclusão de 4,16% de FRM e redução deste ponto até a inclusão de 10% de FRM a ração (Figura 16).

No entanto, verifica-se, na referida figura, que o comportamento dos resultados tende a um valor constante para todos os níveis de inclusão de FRM, com valores estimados ligeiramente maiores que o controle até aproximadamente 7,5%, e ligeiramente menores, até 10% de inclusão do farelo.

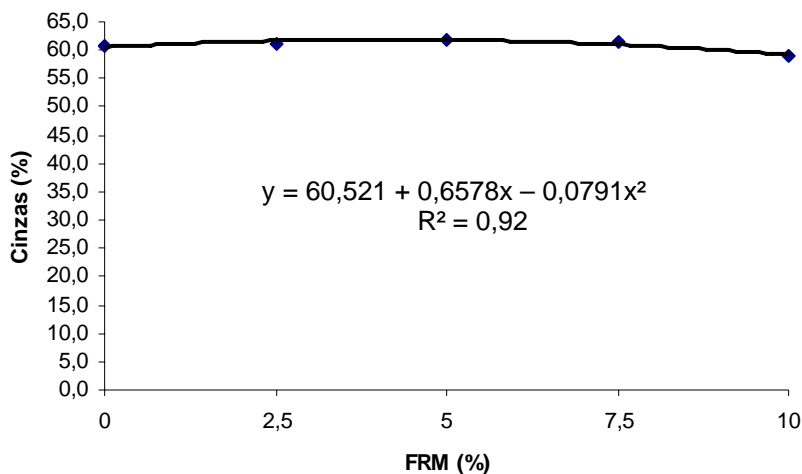


Figura 16 – Teor estimado de cinzas na tíbia de frangos de corte aos 14 dias de idade em função dos níveis de inclusão do farelo de resíduo de manga (FRM) na ração.

Vale ressaltar que os valores absolutos dos teores de cinzas estão adequados para a idade das aves, quando comparados com outros estudos. O conteúdo de cinzas que expressa o teor de minerais do osso está diretamente relacionado à resistência óssea à flexão (Rath et al., 1999), sendo este fato confirmado, pois tanto a carga máxima quanto o MOR apresentaram o mesmo modelo gráfico na mesma idade de 14 dias das aves. O efeito da adição de FRM na ração sobre o teor de cinzas das tíbias aos 28 e 42 dias de idade das aves, não foi significativo ($p > 0,05$), sendo que os valores absolutos dos teores de cinzas encontrados nas tíbias das aves coincidem com os encontrados por Rath et al. (1999), que observaram teor de cinzas do osso cortical de frangos de corte variando entre 59 e 64% na idade de 25 e 42 dias.

4.3.2. Teor de Cálcio da Tíbia

Não houve efeito significativo da inclusão de diferentes níveis de FRM na ração sobre o percentual de cálcio da tíbia das aves em todas as idades testadas 14, 28 e 42 dias ao nível de 5% de probabilidade. Os valores absolutos de cálcio encontrados nas tíbias das aves estão de acordo com os encontrado por Williams et al. (2000) que avaliou diferentes níveis de cálcio e fósforo na dieta e encontrou valores entre 21 e 29%

em frangos de até 2 semanas de idade. Esses valores segundo o autor não interferiu na qualidade óssea dos frangos avaliados.

4.3.3. Teor de Fósforo da Tíbia

Como para os demais parâmetros químicos, não houve efeito da inclusão de FRM na ração, sobre o teor de fósforo nas tíbias das aves aos 28 e 42 dias de idade, quando comparado com o controle.

Contudo, houve efeito da inclusão de FRM na ração ($P < 0,05$) sobre o teor de fósforo na tíbia das aves aos 14 dias de idade, com ajuste em modelo quadrático (Figura 17). Ocorreu aumento do percentual de fósforo no osso à medida que aumentou a inclusão do FMR na ração. Enquanto que o percentual estimado de fósforo foi da ordem de 12,9% nos ossos das aves controle, que não receberam FRM, o maior valor estimado foi de 19%, com a inclusão de 7,3% de FRM na ração. A partir daí, com o aumento da inclusão de FMR até nível de 10%, o percentual de fósforo reduziu ligeiramente. Vale ressaltar que os valores de fósforo registrados não são prejudiciais, visto que a relação entre Ca e P encontra-se dentro da faixa de normalidade. (Scott et al., 1982).

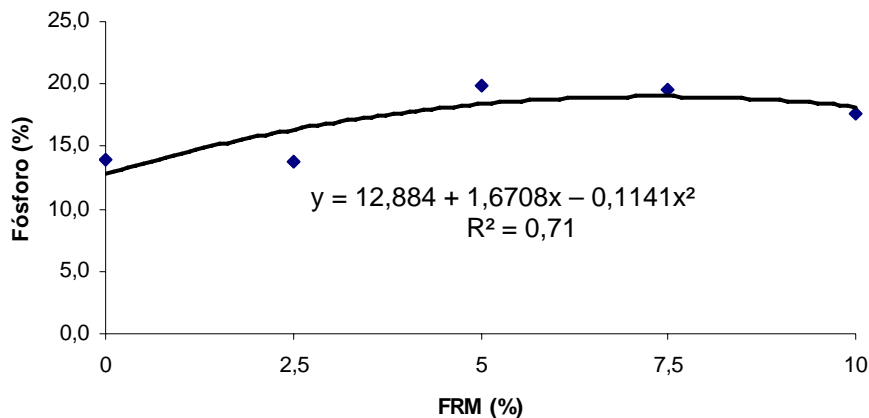


Figura 17 – Teor estimado de fósforo na tíbia de frangos de corte aos 14 dias de idade, em função dos níveis de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração.

4.3.4. Teor de Magnésio da Tíbia

Não houve efeito dos tratamentos sobre o teor de magnésio nas tíbias das aves aos 14, 28 e 42 dias de idade. Considerando que o magnésio é o terceiro mais importante mineral da constituição óssea, a não influência dos diversos níveis de inclusão de FRM na ração constitui uma conclusão importante favorável à utilização deste resíduo como alimentação para frangos de corte.

4.3.5. Relação Cálcio/Fósforo nas Cinzas

Não houve efeito significativo da inclusão de diferentes níveis de FRM na ração sobre a relação Ca/P da tíbia das aves aos 14, 28 e 42 dias de idades. As relações permaneceram na faixa de normalidade, em torno de 1,67 (Scott et al., 1982). Vários autores relatam que alteração nesta relação pode comprometer a resistência óssea através da alteração na composição mineral do cristal ósseo (Thorp e Waddington, 1997). Segundo Pellegrino & Biltz (1968) efeitos deletérios para as propriedades mecânicas do osso foram observados quando os valores da relação Ca/P foram acima de 2,97. Arie et al. (2003) afirmam que a relação Ca/P é mais importante para a qualidade óssea do que os níveis de Ca ou P isoladamente, pois expressa a quantidade de hidroxiapatita no osso, que é o principal mineral perfazendo um total de 80% da matrix mineralizada.

4.4. Aspectos Bioquímicos da Tíbia

Os resultados médios dos teores de proteína colagenosa (PC) e não colagenosa (PNC) das tíbias de frangos de corte de diferentes idades são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Teores médios de proteínas colagenosas (PC) e não colagenosas (PNC) de tíbias de frangos de corte em função dos níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração

Parâmetros	Idade (dias)	Níveis de FRM (%)					F
		0	2,5	5,0	7,5	10	
(PC) (%)	14	34,54	33,50	27,40	34,83	35,86	ns
	28	29,51	26,25	29,53	21,56	25,81	ns
	42	53,43	48,10	53,08	55,47	60,13	0,0075*
(PNC) (%)	14	1,03	1,41	0,96	1,38	1,38	ns
	28	3,55	3,39	2,03	2,25	2,99	0,0001*
	42	2,86	2,14	1,74	1,61	1,21	0,0001*

* significativo ao nível de 5% de probabilidade
ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

4.4.1. Teor de Proteína Colagenosa da Tíbia

A inclusão de FRM na ração não afetou ($P>0,05$) o teor de PC da tíbia das aves aos 14 e aos 28 dias de idade. Contudo, houve efeito significativo com relação aos resultados correspondentes a idade de 42 dias, com ajuste em modelo quadrático (Figura 18).

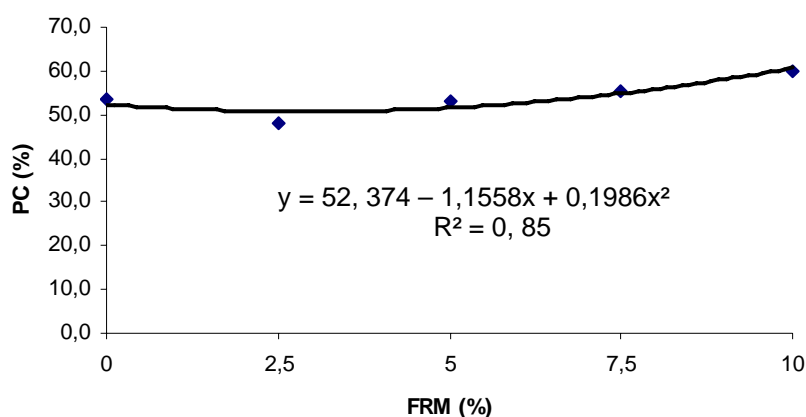


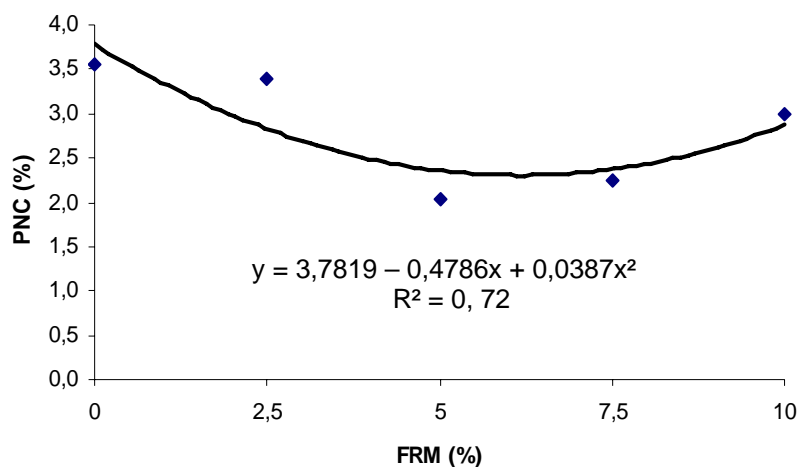
Figura 18 – Teor estimado de proteína colagenosa da tíbia de frangos de corte aos 42 dias de idade em função dos níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração.

Observa-se na Figura 18 que o percentual de PC permanece praticamente inalterado, com relação ao controle, aproximadamente até 6% de inclusão de FRM na ração. A partir deste nível de inclusão, houve um aumento continuado do percentual de PC da tibia das aves, atingindo um acréscimo da ordem de 15,8%, quando o nível de inclusão de FRM chega a 10%.

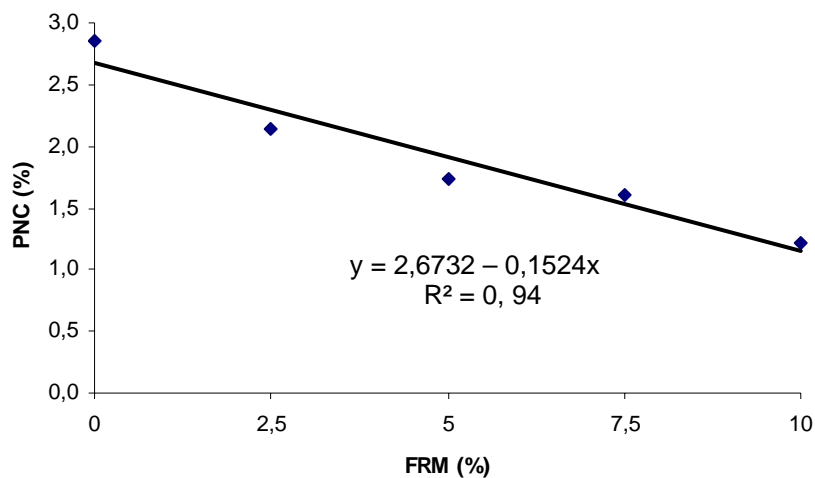
Sabe-se que a PC representa cerca de 80 a 90% da matriz orgânica que constitui o principal andaime de tecidos ósseos e fornece apoio orientado para o processo de mineralização, sendo o colágeno um dos principais constituintes orgânicos do osso, também susceptível de afetar a resistência biomecânica do osso. Desta forma, esses resultados sugerem que a inclusão de FRM foi positiva para a qualidade óssea das aves, visto que o teor de PC do osso está intimamente relacionado à resistência do mesmo.

4.4.2. Teor de Proteína Não-Colagenosa da Tibia

Não houve efeito da inclusão de FRM na ração sobre o teor de PNC nas tíbias das aves aos 14 dias de idade, mas houve significância ($P < 0,05$) entre os resultados correspondentes as idades de 28 e 42 dias, com ajuste em modelo quadrático (Figura 19a) e linear (Figura 19b), respectivamente.



(a)



(b)

Figura 19 – Teores estimados de proteína não colagenosa da tíbia de frangos de corte aos 28 dias (a) e 42 dias (b) de idade em função dos níveis de inclusão de farelo de resíduo de manga (FRM) na ração.

Conforme se observa na Figura 19a, houve uma redução do teor de PNC nas tíbias das aves, correspondentes aos 28 dias de idade, até o nível de 6,2% de inclusão de FRM na ração, voltando a aumentar até o nível de 10% de inclusão.

De acordo com a Figura 19b, nas tíbias das aves, correspondentes aos 42 dias de idade, em relação ao controle, houve uma redução de 57% do teor de proteína não colagenosa com a inclusão de 10% de FRM na ração.

A diminuição do teor de PNC é desejável, por indicar diminuição dos problemas de anormalidades ósseas em frangos de corte. Alguns autores (Guimarães, 1988; Ribeiro et al., 1995) observaram que animais com alta incidência de problemas de pernas apresentavam altos teores de proteínas não colagenosas. Segundo Oliveira et al. (2006), a relação entre os teores de PNC e a mineralização óssea pode ser explicada pelo aumento das Gla-proteínas (componentes da PNC), que pode inibir a mineralização ou estimular a liberação de cálcio do osso.

5. CONCLUSÃO

O farelo de resíduo de manga pode ser utilizado em até 5% da dieta inicial e em até 10% na fase de crescimento sem que haja comprometimento significativo das características físicas, mecânicas e bioquímicas de tíbias de frangos de corte.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, L. H. Calcium bioavailability and absorption: a review. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.4, n.35, p.783-808, 1982.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - **ASAE Standard S459. Shear and three-point bending test of animal bone**. ASAE, St. Joseph, MI, 1992

ARAÚJO, C.S.S.; ARTONI, S.M.B.; ARAÚJO, L.F.; JUNQUEIRA, O.M.; BORGES, S.A. Avaliação do desempenho e excreção de cálcio em duas linhagens de frangos de corte, na fase inicial, alimentados com diferentes níveis de aminoácidos e de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.4, n.2, p.111-118, 2002.

BAIN, S. D.; WATKINS, B.A. Local modulation of skeletal growth and bone modeling in poultry. **Journal of Nutrition**, v.123, n.1, p.317-322, 1993.

BARBOSA, A. A. **Aspectos físicos, químicos e mecânicos de fêmures de frangos de corte**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 75p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2005.

BERARDINI, N.; KNÖDLER, M.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.6, n.4, p.442-452, 2005.

BERNARDINO, V. M. P. Influencia dos lipídeos da dieta sobre o desenvolvimento ósseo de frangos de corte. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.6, n.3, p.960-966, 2009.

BIZERAY, D.; ESTEVEZ, I.; LETERRIER, C.; FAURE, J.M. Influence of increased environmental complexity on leg condition, performance, and level of fearfulness in broilers. **Poultry Science**, v.81, n. 6, p. 767-773, 2002.

BRADFORD, M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n.2, p. 248-254, 1976.

BRANDÃO, J. **Módulo de elasticidade de ossos corticais: revisão e otimização da metodologia para ossos longos**. Ribeirão Preto: Escola de Engenharia de São Carlos e Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, USP, 1997. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 1997.

CURREY, J. D. Role of collagen and other organics in the mechanical properties of bone. **Osteoporosis International**, v.14, n.5, p.29-36, 2003a.

CURREY, J.D. The many adaptations of bone. **Journal of Biomechanics**, v.36, n.10, p.1487-95, 2003.

CURREY, J.D. What determines the bending strength of compact bone? **The Journal of Experimental Biology**, v.36, n.10, p.1487-1495, 2003b.

DIBNER, J. J.; RICHARDS, J. D.; KITCHELL, M. L.; QUIROZ, M. A. Metabolic challenges and early bone development. **Poultry Science**, v.16, n.3, p.126–137, 2007.

DELL'ISOLA, A. T. P.; VELOSO, J. A. F.; BAIÃO, N. C.; MEDEIROS S. L. Efeito do óleo de soja em dietas com diferentes níveis de cálcio sobre a absorção e retenção óssea de cálcio e de fósforo em frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.55, n.4, p.461-466, 2003.

ELKIN, R. G.; FEATHERSTON, W. R.; ROGLER, J. C. Investigations of leg abnormalities in chicks consuming high tannin sorghum grain diets. **Poultry Science**, v.57, n.1, p.757-762, 1978.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cultivo da mangueira**, 2008. Disponível em: <<http://www.portaldoexportador.gov.br>>. Acesso em 10/07/2009).

EMMERSON, D.A.; ANTHONY, N.B.; NESTOR, K.E.; SAYF, Y.M. Genetic association of selection for increased leg muscle and increased shank diameter with body composition and walking ability. **Poultry Science**, v.70, n.4, p.739-745, 1991.

FREITAS, B. C. F.; NUNES, I. J. Fraqueza das pernas em frangos de corte: aspectos nutricionais. **Caderno Técnica Veterinária Zootécnica**, v 34, n.1, p.45-51, 2001.

HAUSCHKA, P.V., GALLOP, P.M. **Purification and calcium binding properties of osteocalcin, the carboxyglutamate containing protein of bone**. In:WASSERMAN, R.H., Calcium binding proteins and calcium function. Amsterdam: Elsevier, 1977. p.338-347.

GUIMARÃES, V. M. **Efeitos de aminoácidos dispensáveis e indispensáveis no desempenho e anomalias das pernas de pintos de corte**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1988. 54p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.

JOSEPH, J. K. Physico-chemical attributes of wild mango (*Irvingia gabonensis*) seeds. **Bioresource Technology**, v.53, n.22, p.179-181, 1995.

JOSEPH, J. K.; ABOLAJI, J. Effects of replacing maize with graded levels of cooked Nigerian mango-seed kernels (*Mangifera indica*) on the performance, carcass yield and quality of broiler chickens. **Bioresource Technology**, v.61, n.1, p.99-102, 1997.

JUNQUEIRA, L. C. U.; CARNEIRO, J. S. F. **Histologia Básica**. 10ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

KNOTT, L.; BAILEY, A. J. Collagen cross-link in mineralizing tissues: a review of their chemistry, function and clinical relevance. **Bone**, v.22, n.3, p.181-187, 1998.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; BORROTO, B.; SAURA-CALIXTO, F. Mango peels as a new tropical fiber: preparation and characterization. **Lebensmittel-Wissenschaft und – Technologie**, v.29, n.8, p.729-733, 1996.

LEESON, S.; JULIAN, R.J.; SUMMERS, J.D. Influence of prelay and early-lay dietary calcium concentration on performance and bone integrity of leghorn pullets. **Canadian Journal Animal Science**, v.66, n.1, p.1087-1095, 1986.

LETERRIER, C.; NYS, Y. Composition, cortical structure and mechanical properties of chicken tibiotarsi: effect of growth rate. **British Poultry Science**, v.33, n.5, p.925-939, 1992.

LETERRIER, C.; ROSE, N.; CONSTANTIN, P.; NYS, Y. Reducing growth rate of broiler chickens with a low energy diet does not improve cortical bone quality. **British Poultry Science**, v.39, n.1, p.24-30, 1998.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2002. 375p.

- MARTIN, R. B.; BOARDMAN, D. L. The effects of collagen fiber orientation, porosity, density, and mineralization on bovine cortical bone bending properties. **Journal Biomechanics**, v.26, n.4, p.1047-1054, 1993.
- McDOWELL, L. R. Minerals in animal and human nutrition. **Journal Tropical Animal Health and Production**, v.36, n.8, p. 572-589, 1992.
- MORAN JR., E.T., BILGILI, S.F. Processing losses, carcass quality and meat yields for broiler chicken, receiving diets marginally deficient to adequate in lysine prior to marketing. **Poultry Science**, v.69, n.7, p.702-710, 1990.
- NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL - **Nutrients requirements of beef cattle**. 9. ed. Washington, D.C., 1994. 244p.
- ODUNSI, A. A. Responsive of laying hens and growing broilers to the dietary inclusion of mango (*Mangifera indica L.*) seed kernel meal. **Tropical Animal Health and Production**, v.37, n.2, p.139-150, 2005.
- OLIVEIRA, N. A.; FERREIRA, A. S.; MORAES, G. H. K.; ROSTAGNO, H. S.; TEIXEIRA DE ABREU, M. L. Deposição de proteínas no fêmur de frangos de corte em função do balanço eletrolítico das dietas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1758-1764, 2006.
- OLIVEIRA, T. T.; NAGEM, T. J.; STRINGHETA, P. C.; ROSA, C. O. B.; CARDOSO, L. M. Ação dos flavonóides na osteoporose. In: COSTA, N. M. B. e ROSA, C. O. B. (Ed) **Alimentos funcionais benéficos para a saúde**. Viçosa: Neuz Maria Brunoro Costa e Carla de Oliveira Barbosa Rosa, 2008. p.139-160.
- PARMAR, S. S.; SHARMA, R. S. Use of mango seed kernels in enhancing the oxidate stability of ghee. **Asian Journal Dairy Research**, v.5, n.1, p.91-99, 1986.
- PELLEGRINO, E.D.; BILTZ, R.M. Bone carbonate and the Ca to P molar ratio. **Nature**, v.219, n.5160, p.1261-1262, 1968.
- RATH, N.C.; BALOG, J. M.; HUFF, W. E. HUFF, G.R., KULKARNI, G.B., TIERCE, J.F. Comparative differences in the composition and biomechanical properties of tibiae of seven-and seventy-week-old male and female broiler breeder chickens. **Poultry Science**, v.78, n.8, p.1232-1239, 1999.
- RATH, N.C.; HUFF, G.R.; HUFF, W.E.; BALOG, J. M. Factors regulating bone maturity and strength in poultry. **Poultry Science**, v.79, n.7, p.1024-1032, 2000.
- REICH, A., et al. Weight loading young chicks inhibits bone elongation and promotes growth plate ossification and vascularization. **Journal Applied Physiology**, v.98, n.1, p.2381-2389, 2005.
- RIBEIRO, S. M. R.; QUEIROZ, J. H.; QUEIROZ, M. E. L. R.; CAMPOS, F. M.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Antioxidants in mango (*Mangifera indica, L.*) pulp. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.62, n.1, p.13-17, 2007.
- RIBEIRO, S. M. R. **Caracterização e avaliação do potencial antioxidante de mangas (*Mangifera indica L.*) cultivadas no estado de Minas Gerais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006.149p. Tese (Doutorado em Bioquímica Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

- RIBEIRO, M.; MORAES, G. H. K.; FONSECA, J. B. Efeitos de fontes e níveis de nitrogênio não específico em dietas purificadas no desenvolvimento de pintos de corte. **Revista da Brasileira de Zootecnia**, v.24, n.1, p.88-98, 1995.
- ROSE, N.; CONSTANTIN, P.; LETERRIER, C. Sex differences in bone growth of broiler chickens. **Growth, Development and Aging**, v.60, n.2, p.49-59, 1996.
- ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos – Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. Viçosa: UFV, 2005. 186p.
- SÁ, L. M.; GOMES, P. C.; ALBINO, L. F. T. et.al. Exigência nutricional de cálcio e sua biodisponibilidade em alguns alimentos para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.157-168, 2004a.
- SÁ, L. M.; GOMES, P. C.; ROSTAGNO, H. S. et.al. Exigência nutricional de cálcio para frangos de corte nas fases de crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.2, p.397-406, 2004b.
- SCHIEBER, A.; BERARDINI, N.; CARLE, R. Identification of flavonol and xanthone glycosides from mango (*Mangifera indica* L. cv. ‘Tommy Atkins’) peels by high-performance liquid chromatography - electrospray ionization mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, n.17, p.5006-5061, 2003.
- SCOTT, M. L.; NESHEIM, M. C.; YOUNG, R. J. **Nutrition of the chicken**. 3.ed. New York: M.L Scott Associates, 1982. p.287-304.
- SILVA, J. H. V.; SILVA, E. L.; FILHO, J. J.; RIBEIRO, M. L. G. Efeitos da inclusão do resíduo da semente de urucum (*Bixa Orellana* L.) na dieta para frangos de corte: desempenho e características de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p.1606-1613, 2005.
- SOLÍS-FUENTES, J. A.; DURÁN-DE-BAZÚA, M. C. Mango seed uses: thermal behavior of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter. **Bioresource Technology**, v.92, n.1, p.71-78, 2004.
- SOMMERFELDT, D. W.; RUBIN, C. T. Biology of bone and how it orchestrates the form and function of the skeleton. **European Spine Journal**, v.10, n.2, p.86-95, 2001.
- TATE, M. L. K.; ADAMSON, J. R.; TAMI, A. E.; BAUER, T. W. The osteocyte. **International Journal of Biochemistry Cellular Biology**, v.36, n.1, p.1-8, 2004.
- TOLEDO, R. S.; VARGAS Jr, J. G.; ALBINO, L. F. T. Aspectos práticos da nutrição pós-eclosão: níveis nutricionais utilizados, tipos de ingredientes e granulometria da dieta. In: **CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLA**, 2001. Proceedings... Campinas: FACTA, 2001. p.153-167.
- THORP, B. H., WADDINGTON, D. Relationships between the bone pathologies, ash and mineral content of long bones in 35-day-old broiler chickens. **Research in Veterinary Science**, v.62, n.1, p.67-73, 1997.
- TURNER, C.H.; BURR, D.B. Basic biomechanical measurements of bone: A tutorial. **Bone**, v.14, n.4, p.595-608, 2005.
- VELLEMAN, S. G. The role of the extracellular matrix in skeletal development. **Poultry Science**, v.79, n.7, p.985-989, 2000.
- VIEIRA, P. A. F. **Caracterização dos resíduos da manga (*Mangifera indica* L.) e efeitos sobre desempenho e os parâmetros bioquímicos e em frangos de corte.**

Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 76p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2007.

VIEIRA, P. A. F.; QUEIROZ, J. H.; ALBINO, L. F. T.; MORAES, G. H. K.; BARBOSA, A. A.; MÜLLER, E. S.; VIANA, M. T. S. Efeitos da inclusão de farelo do resíduo de manga no desempenho de frangos de corte de 1 a 42 dias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.12, p.2173-2178, 2008.

WANG, X.; BANK, R. A.; TELOPPELE, J. M.; AGRAWAL, C.M., The role of collagen in determining bone mechanical properties, **Journal of Orthopedics Research**, v.19, n.6, p.1021-1026, 2001.

WARPECHOWSKI, M. B. **Efeito do nível e fonte de fibra sobre a concentração e a utilização da energia metabolizável de dietas para frangos de corte em crescimento**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005. 176p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

WATKINS, B. A.; LI, Y.; LIPPMAN, H E.; FENG, S. Modulatory effect of omega-3 polyunsaturated fatty acids on osteoblast function and bone metabolism. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v.68, n.6, p.387-398, 2003.

WATKINS, B. A.; SEIFERT, M. F. Conjugated Linoleic Acid and Bone Biology. **Journal of the American College of Nutrition**, v.19, n.4, p.478-486, 2000.

WILLIAMNS, B.; WADDINGTON, D.; SOLOMON, S. et al, Dietary effects o bone quality and turnover, and Ca and P metabolism in chickens. **Research in Veterinary Science**, v.69, n.1, p.81-87, 2000.

WILLIAMS B., D. WADDINGTON, D. H. MURRAY, AND C. FARQUHARSON. Bone strength during growth: influence of growth rate on cortical porosity and mineralization. **Calcified Tissue International**, v.74, n.3, p.236-245, 2004.

YALÇIN, S.; ÖZKAN, S.; COSKUNER, E.; BILGEN, G.; DELEN, Y.; KURTULMUS, Y.; TANYALÇIN, T. Effects of strain, maternal age and sex on morphological characteristics and composition of tibia bone in broilers. **British Poultry Science**, v.42, n.2, p.184-190, 2001.

YOUNG, M.F. Bone matrix proteins: their function, regulation, and relationship to osteoporosis. **Osteoporosis International**, v.14, n.3, p.35-42, 2003.

7. APÊNDICE

Quadro 1 - Análise de variância do peso (PO), comprimento ósseo (CO), relação peso/peso vivo (PO/PV), densidade (D), porosidade (POR) e área da seção transversal (A) das tíbias aos 14, 28 e 42 dias de idade

Fonte de variação	GL	Quadrado médio PO		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	0.1199791*	0.3572478 ^{ns}	9.325116 ^{ns}
Resíduo	25	0.8576658E-01	1.151246	3.756996
CV (%)		9.208	9.282	8.314

	GL	Quadrado médio CO		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	15.47331*	10.81408 ^{ns}	27.56070 *
Resíduo	25	2.195492	5.484929	6.147955
CV (%)		2.636	2.710	2.237

	GL	Quadrado médio PO/PV		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	0.2072467E-06*	0.8765907E-07 ^{ns}	0.6198514E-06 ^{ns}
Resíduo	25	0.2127498E-06	0.2414265E-06	0.3859867E-06
CV (%)		5.889	6.399	7.902

	GL	Quadrado médio D		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	0.2468993 *	0.1291709E-01 ^{ns}	0.2968748E-04 ^{ns}
Resíduo	25	0.1416312E-01	0.1444545E-01	0.4752352E-03
CV (%)		18.416	21.055	15.202

	GL	Quadrado médio POR		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	395.4855 *	70.16827 ^{ns}	0.1149543 ^{ns}
Resíduo	25	27.33938	50.85385	2.072360
CV (%)		8.142	10.706	1.577

	GL	Quadrado médio A		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	0.1390849E-02 ^{ns}	0.1590754E-02 ^{ns}	0.2279663E-01 ^{ns}
Resíduo	25	0.6533500E-03	0.1037555E-02	0.9461423E-02
CV (%)		19.975	9.184	19.269

* Efeito significativo ($P < 0,05$); ^{ns} não significativo.

Quadro 2 - Análise de variância do teor de cinzas (TC) e teores de cálcio (Ca), fósforo (P) e magnésio (Mg) nas cinzas e relação Ca:P nas cinzas das tíbias de frangos de corte aos 14, 28 e 42 dias de idade

Fonte de variação	GL	Quadrado médio TC		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	20.51225 *	4.778807 ^{ns}	5.031891 ^{ns}
Resíduo	25	3.173580	4.262140	2.365925
CV (%)		2.928	3.359	2.426

	GL	Quadrado médio Ca		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	58.43126 ^{ns}	48.42934 ^{ns}	65.68880 *
Resíduo	25	29.18756	30.08089	18.04117
CV (%)		19.532	18.768	14.605

	GL	Quadrado médio P		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	105.3255 *	39.93102 ^{ns}	36.21374 ^{ns}
Resíduo	25	16.46156	23.99066	9.208582
CV (%)		23.922	30.463	21.651

	GL	Quadrado médio Mg		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	0.2138771E-01 ^{ns}	0.3824056E-01 ^{ns}	0.1747882 *
Resíduo	25	0.6495703E-01	0.2947330E-01	0.1223734E-01
CV (%)		51.732	30.709	19.948

	GL	Quadrado médio Ca/P		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	0.5379649 *	0.1706150 ^{ns}	0.1663085E-01 ^{ns}
Resíduo	25	0.1344858	0.8862251E-01	0.1520381
CV (%)		21.588	16.040	19.535

* Efeito significativo (P<0,05); ns não significativo.

Quadro 3 – Análise de variância da carga máxima (F), resistência à flexão ou modulo de ruptura (MOR), momento de inércia (I) e Tenacidade (SPE) das tíbias de frangos de corte aos 14, 28 e 42 dias de idade

Fonte de variação	GL	Quadrado médio I		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	0.8582846E-22 *	0.1273186E-20 ^{ns}	0.7153550E-19 ^{ns}
Resíduo	25	0.6505532E-22	0.1593624E-20	0.1138782E-19
CV (%)		41.321	23.923	28.166

	GL	Quadrado médio F		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	3269.513 *	1730.312 ^{ns}	4761.261 ^{ns}
Resíduo	25	578.0209	2552.883	4528.252
CV (%)		37.057	22.045	21.078

	GL	Quadrado médio MOR (MPa)		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	5448.164 *	253.9290 ^{ns}	629.1009 ^{ns}
Resíduo	25	1080.691	253.7340	208.0109
CV (%)		36.517	21.887	20.198

	GL	Quadrado médio SPE		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	74.54649 *	12.80133 ^{ns}	19.12481 ^{ns}
Resíduo	25	9.319485	16.82400	14.68454
CV (%)		44.633	43.470	23.875

* Efeito significativo (P<0,05); ns não significativo.

Quadro 4 – Análise de variância dos teores de proteína colagenosa (PC) e proteína não colagenosa (PNC) das tíbias de frangos de corte aos 14, 28 e 42 dias de idade

Fonte de variação	GL	Quadrado médio PC		
		14 dias	28 dias	42 dias
Tratamentos	4	55.09660 ^{ns}	67.81547 ^{ns}	258.5796 *
Resíduo	25	9.319659	3.060844	15.33625
CV (%)		9.142	6.652	7.246

	GL	PNC (%) 14 d	PNC (%) 28 d	PNC (%) 42 d
		Quadrado médio PNC		
Tratamentos	4	0.2177308 ^{ns}	2.780106 *	8.712320 *
Resíduo	25	0.7350854E-01	0.2447811	0.9520224E-01
CV (%)		22.059	17.410	16.145

* Efeito significativo (P<0,05); ns não significativo