

IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO ÓSSEO NA AVICULTURA

IMPORTANCE OF BONE DEVELOPMENT IN POULTRY

Araújo, G.M.¹, Vieites, F.M.^{2*} e Souza, C.S.³

¹Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. UFPB. Areia-PB. Brasil.

²Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas. UFMT. Rondonópolis-MT. Brasil *fmvieites@yahoo.com.br

³Pós-Graduação em Ciência Animal. UFMT. Cuiabá-MT. Brasil.

PALAVRAS CHAVES ADICIONAIS

Desordem locomotora. Frangos de corte. Ossificação.

ADDITIONAL KEYWORDS

Broilers. Locomotor disorder. Ossification.

RESUMO

O crescimento de um animal depende particularmente do desenvolvimento muscular. Entretanto, para que este desenvolvimento ocorra é necessária a existência do suporte ósseo. Normalmente há um perfeito sincronismo de crescimento de cada sistema, priorizando-se o maior desenvolvimento de um ou outro tecido em um determinado momento (tempo, idade). Entretanto, para as linhagens modernas de frangos de corte, e principalmente nos machos, a taxa de crescimento do tecido muscular é extremamente elevada, iniciando-se em uma fase muito precoce pós-eclosão sobre um suporte esquelético muito imaturo, tendo como consequência o aparecimento de desordens locomotoras. A presente revisão teve como objetivo apresentar uma visão geral do tecido ósseo e suas propriedades, bem como os metabolismos a esse relacionado, destacando a importância para avicultura industrial.

SUMMARY

The growth of an animal depends particularly on muscular development. However, for this occurring, the existence of bone support is required. Normally There is a perfectly synchronized growth for each system, prioritizing the further development of each tissue at a given time (time, age...). However, for the modern lineages of broilers, and particularly in males, the growth rate of muscle tissue is extremely high, starting at a very early stage post hatching on a very immature skeletal support, having as consequence the development of locomotor disorders. This review

aimed to present an overview of bone tissue and its properties, as well as the related metabolisms, highlighting its importance for industrial poultry farming.

INTRODUÇÃO

No universo do agronegócio, o setor de produção de carnes vem se destacando visto que tal segmento não gera somente alimento (carne), mas também proporciona milhares de empregos na interligação que existe entre os setores da cadeia produtiva, tais como embalagens, informática, logística, tecnologia, medicamentos, dentre outros.

O Brasil possui uma das aviculturas industriais mais produtivas do mundo, e ao que tudo indica não perderá este posto tão cedo. O país ocupou o 3º lugar na produção mundial de carne de frango, que foi superior a 12 milhões de toneladas e exportações na ordem de 3,82 milhões de toneladas de carne de frango no ano de 2010, crescimento de 5,1 % em relação a 2009 (Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frangos, ABEF, 2011).

A seleção genética para maximizar a eficiência produtiva de frangos de corte tem melhorado o desempenho dessas aves a tal nível que não se compara a nenhuma fonte de proteína animal. Essa seleção tem

atingido sucessivos aumentos anuais na produção desde a década de 50, resultando em crescente ganho de peso corporal e eficiência alimentar, demonstrando que o frango de corte está próximo a alcançar o seu limite biológico. Contudo, associadas às melhorias obtidas pelo melhoramento tradicional surgiram características correlacionadas indesejáveis, como o aumento de doenças metabólicas, de deposição de gordura corporal, desordens no sistema locomotor, dentre outras (Ledur *et al.*, 2007).

Os problemas locomotores são mais comumente observados na metade final do crescimento das aves, fato este decorrido provavelmente pelo aumento de ganho de peso e por conta do desenvolvimento desproporcional do músculo do peito, criando um desequilíbrio esquelético-biomecânico (Barbosa, 2005; Lopes, 2009). Para as linhagens modernas de frangos de corte, e principalmente nos machos, a taxa de crescimento muscular é alta, tendo início numa fase muito precoce, a pós-eclosão, sobre um suporte esquelético muito imaturo (Gonzales e Mendonça Júnior, 2006).

Os transtornos ósseos são ocasionados pela alteração do processo de crescimento normal e da homeostase, ocasionando prejuízo na indústria avícola moderna. Desta maneira, as compreensões dos inúmeros fatores nutricionais envolvidos no desenvolvimento ósseo, como deficiências de proteína e aminoácidos, vitaminas e minerais são de importância na ocorrência de desordens esqueléticas (Oliveira, 2008).

A locomoção é parte central das atividades vitais que levam saúde e bem estar às aves, e a rigor, não deveriam ser prejudicadas pelas disfunções estruturais que tem como conseqüência o desconforto e a dor. Diante deste contexto, com a presente revisão objetivou-se proporcionar uma visão geral do sistema ósseo, suas propriedades e metabolismos integrados, possibilitando o entendimento quanto sua importância para a avicultura industrial.

TECIDO ÓSSEO

O osso é um tecido multifuncional, metabolicamente muito ativo, constituído de uma população heterogênea de células, em diferentes estágios de diferenciação, que, através de coordenada seqüência de eventos, regula a mobilização e a deposição mineral durante a vida do animal (Pizauro Júnior, 2002). Ainda, está intimamente relacionado com o crescimento do animal, sofrendo adaptações constantes quanto à sua constituição, podendo estar hipertrofiado quando é mais exigido, ou atrofiado quando em desuso (Biewener e Bertram, 1994).

O tecido ósseo é um tipo especializado de tecido formado por células e material extracelular calcificado, a matriz óssea. As células são os osteócitos, que se situam em cavidades ou lacunas no interior da matriz; os osteoblastos, produtores da parte orgânica da matriz e os osteoclastos, células gigantes, móveis e multinucleadas, que reabsorvem o tecido ósseo, participando dos processos de remodelação dos ossos (Junqueira e Carneiro, 2004).

O osso é constituído de 22 % de matriz orgânica, 9 % de água e 69 % de materiais inorgânicos. A matriz orgânica tem como componente predominante o colágeno (90 %), que participa no processo de mineralização óssea, sendo os 10 % restantes referentes à substância amorfa (Banks, 1991 citado por Araújo *et al.*, 2006). Desempenha para o animal várias funções importantes, tais como proteção mecânica de tecidos e órgãos, suporte estrutural para o corpo, atuação como sistema de alavancas transformando as contrações musculares em movimentos úteis, e alojamento da medula óssea (Seifert e Wartkins, 1997), reservatório de cálcio e fósforo os quais podem ser mobilizados durante distúrbios da homeostase, por exemplo, em condições de baixa concentração plasmática de cálcio e fósforo. Ainda, serve de reserva metabólica de cálcio e fósforo ao organismo, os quais

IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO ÓSSEO NA AVICULTURA

podem ser mobilizados durante alterações da homeostase (Pizauro Júnior, 2002).

De acordo com Lopes (2009) o tecido ósseo sofre influência dos fatores endógenos e exógenos, como produção hormonal, nutrição e temperatura, durante todas as fases da vida, tendo a possibilidade de haver variações na massa óssea. A rigidez desse tecido é resultante da deposição de cálcio e fósforo, na forma de hidroxapatita durante o processo de mineralização.

A manutenção da concentração adequada de cálcio no sangue é prioritária sobre a integridade estrutural do osso (Johnson, 2000; Gentilini *et al.*, 2009). Alguns fatores tais como: sexo (Rath *et al.*, 1999), idade das poedeiras (Yalçin *et al.*, 1998), taxa de crescimento (Letierrier *et al.*, 1998), diferentes cruzamentos comerciais e nutrição (Edwards Jr., 2000; Cook, 2000; Sogunle *et al.*, 2010) têm sido associados às diferenças de qualidade do osso. As propriedades químicas, físicas, biomecânicas têm sido utilizadas como parâmetros para avaliação da qualidade óssea (Barbosa *et al.*, 2010).

Os problemas no esqueleto de frangos de corte, primariamente estão associados ao rápido crescimento dos ossos longos (longitudinalmente e em circunferência), a resolução de tais problemas é de interesse dos produtores e dos consumidores por envolver o bem-estar animal e as perdas econômicas (Araújo *et al.*, 2011).

As patologias ósseas resultam em diminuição do bem-estar das aves, tendo em vista que prejudicam o deslocamento destas para alimentar-se e beber água (Coto *et al.*, 2008; Paz *et al.*, 2009). Ainda, as afecções ósseas geram perdas econômicas significativas, decorrentes da diminuição no desempenho produtivo, aumento da taxa de mortalidade e na condenação de carcaças, em função de fraturas ocorridas durante a operação de apanha, transporte e abate (Schoulten *et al.*, 2003; Paixão *et al.*, 2007).

Quanto ao bem-estar animal, os consumidores estão cada vez mais preocupados e

atentos à maneira pela qual o seu alimento foi produzido. Lotes com aves que apresentem altos percentuais de lesões locomotoras induzem a população a concluir que as indústrias produzem animais com baixo nível de bem-estar. Entretanto, estão aumentando as evidências de que os fatores ambientais podem exercer influência considerável na incidência de problemas locomotores, sendo estes mantidos em níveis baixos, sob adequado manejo (Mendes *et al.*, 2012).

Junqueira e Carneiro (1999) evidenciam que o tecido ósseo é sensível a diversos fatores nutricionais, principalmente durante a fase de crescimento. A falta de proteínas na dieta acarreta uma deficiência dos aminoácidos necessários para a síntese de colágeno pelos osteoblastos, enquanto que a insuficiência de cálcio leva a uma calcificação incompleta da matriz orgânica produzida.

Dentre as proteínas ósseas totais, 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 e diferenciação e maturação celular (Lopes, 2009). As PNC mais abundantes do osso são a osteonectina e a osteocalcina, que por sua vez representa 10 a 20% do total das PNC. Ela contém três resíduos do aminoácido g-carboxiglutamato, que confere à molécula uma alta afinidade pelo cálcio nos cristais ósseos. É sintetizada exclusivamente por osteoblastos e se liga tanto à hidroxapatita quanto ao cálcio (Raif e Harmand, 1993). A síntese de osteocalcina é aumentada pela 1,25-dihidroxivitamina D, sendo sua concentração diretamente proporcional a concentração de cálcio (Barbosa, 2005).

Ainda, a osteocalcina pode estar envolvida no controle do processo de mineralização do osso, prevenindo a mineralização excessiva. É uma glicoproteína fosforilada específica do osso, representa 23% das PNC. Ela apresenta alta afinidade

pelo cálcio, hidroxiapatita e colágeno tipo I (Raife Harmand, 1993).

Moraes *et al.* (2010) descreveram que os animais com alta incidência de problemas de pernas apresentaram significativamente maiores teores de proteínas não-colagenosas, de modo que mudanças nas concentrações dessas proteínas podem contribuir para a fragilidade do osso por interferir na completa mineralização. Ao avaliarem a composição química do tibiotarso de frangos de corte suplementados com cloreto de amônio em cinco níveis (-50,0; 0; 50,0; 100,0 e 150,0 mEq/kg) aos 21 dias de idade, Araújo *et al.* (2011) verificaram que os balanços eletrolíticos (BE) influenciaram a composição orgânica dos ossos, de modo que as PNC aumentaram à medida que se reduziam os níveis de BE. Para o percentual de PC, observaram efeito quadrático, sendo o nível de 94,0 mEq/kg associou-se ao menor valor destas (31 %).

As anormalidades do sistema locomotor das aves têm sido problema desde o início da produção confinada das aves. Desde 1930, inúmeras causas das deformidades do esqueleto em aves têm sido identificadas, tais como: nutrientes (toxidez, deficiências, imbalances), genética, práticas de manejo, dentre outras que afetam diretamente o crescimento e desenvolvimento do esqueleto. A seleção para aumento de músculo peitoral e ganho de peso corporal pode contribuir para aumento na incidência de *fraqueza de pernas*, que é responsável pelo baixo crescimento, pela mortalidade e redução da eficiência da produção comercial (Silva *et al.*, 2001).

Mendonça Júnior (2000) descreveu que a *fraqueza de pernas* de frangos de corte, como denominada no meio industrial, identifica-se como consequência de alterações na placa de crescimento (raquitismo, discondroplasia, condrodistrofia ou perose e necrose da cabeça do fêmur), desordens do desenvolvimento e/ou congênitas (espondilolistese) e doenças infecciosas (osteomielite e lesões dos tendões).

Na produção avícola existem duas categorias mais relevantes relacionadas a deformidades ósseas, sendo a discondroplasia tibial (DT), que acomete os frangos na fase inicial de crescimento e os problemas estruturais, que levam as deformidades e distorções dos ossos longos, sobretudo na fase final de crescimento (Barbosa *et al.*, 2010).

Powell e Bittar Filho (2008) relataram que os impactos negativos dos problemas locomotores podem ser bem maiores sobre os parâmetros de desempenho no final do lote, tais como: viabilidade, conversão alimentar e perdas nos abatedouros, tendo em vista que tais deformações afetam a operação dos equipamentos de evisceração automática e desossa, influenciando a velocidade da linha de processamento, necessidade de aparas manuais e perdas de carne.

Existem escassas informações publicadas que abordam especificamente as questões de custos associados às perdas devido a problemas esqueléticos, em 1994 foi estimado que os problemas de pernas custaram de US\$ 80 a US\$ 120 milhões de dólares para indústria avícola (Angel, 2007; Coto *et al.*, 2008). Em um estudo conduzido por Morris (1993) citado por Angel (2007), 55 % da indústria avícola amostrada relatou que 1,1 % da mortalidade da produção e 2,1 % das aves chegaram ao abate e foram condenadas ou depreciadas por conta das desordens ósseas. Além dos prejuízos zootécnicos e da baixa qualidade das carcaças, os problemas de pernas comprometem o bem estar animal (Coto *et al.*, 2008).

Sullivan (1994) e Yogaratham (1995) citados por Barbosa (2005) relataram que uma pesquisa conduzida em 1993 estimou as perdas causadas por defeitos esqueléticos em 3,2 %. Dentre as causas de altos índices de rejeição de carcaça de aves, 19,5 % das carcaças rejeitadas sofriam de definhamento, provavelmente resultante de problemas de pernas que causam imobilidade e contribuem para o aparecimento de lesões da pele e

IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO ÓSSEO NA AVICULTURA

articulações, dentre outros problemas.

Conforme Gonzales e Mendonça Júnior (2006) registrou-se que de 3 a 6 % de refugagem de pintos e descartes de aves na linha de abate decorrentes de problemas de pernas, resultando em perda econômica significativa. No geral, em uma granja os problemas locomotores incidem em 2 a 3 % das aves, embora tais problemas aparentem ter baixa incidência, eles são prevalentes. Rejeições parciais ou totais de carcaça aumentam significativamente o custo por quilo de peso vivo (Oviedo-Rondón, 2008; Costa, 2010).

MATRIZ EXTRACELULAR

A matriz celular consiste em diferentes combinações de proteínas fibrosas e de substância fundamental, sendo uma rede de moléculas dinâmica secretadas por células especializadas. Tais células irão secretar exclusivamente em função do código genético presente nessas células matrizes que mudaram com a idade e o seu desenvolvimento. Além de formar uma organização estrutural complexa em torno da célula, as moléculas de matrizes extracelulares regulam o comportamento da célula determinando a sua proliferação e diferenciação em respostas a fatores de crescimentos (Velleman, 2000).

As matrizes extracelulares da cartilagem e dos ossos são específicas, e apresentam reflexos das distintas funções e requerimentos dos tecidos. Embora suas matrizes sejam diferentes ambas tem uma predominante matriz colagenosa formadora de fibrilas (Junqueira e Carneiro, 2004).

A matriz extracelular é composta por colágeno em sua maior parte e pela substância fundamental. Atualmente se conhece 20 tipos de família de colágeno, se diferenciando de acordo com as características morfológica, composição química, distribuição e funções (Junqueira e Carneiro, 2004). Os colágenos podem ser subdivididos com base na sua função em seis classes

(fibrilar, fibrilar associado, rede formadora, filamentosos, pequena cadeia e cadeia longa) baseados no tamanho de suas cadeias (Van Der Rest e Garrone, 1991).

O colágeno é constituído de uma proteína fibrosa sintetizada por fibroblastos e células relacionadas, tais como os condroblastos e os osteoblastos do osso. A formação de fibrilas de colágeno envolve reações no meio intracelular e extracelular. No interior da célula 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, ao qual irá se polimerizar e transformar em fibras de colágeno (Hays e Swenson, 1996).

Na cartilagem há o predomínio do colágeno fibrilar tipo II, enquanto que o osso é composto de colágeno fibrilar tipo I, podendo os dois tipos ser encontrados em tecidos sujeitos ao estresse por compressão e tensão. Eles formam uma rede fibrilar na matriz extracelular que são estabilizadas 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 regulação das propriedades de resistência à tração conferida ao osso pelo colágeno, conferindo força ao tecido para suportar pressões (Velleman, 2000). Alterações na síntese ou na organização das fibras do colágeno afetam as propriedades de resistência do osso (Currey, 2003).

Os íons mais encontrados na matriz mineral ou inorgânica são o fosfato e o cálcio. O cálcio e o fósforo formam cristais que estudos de difração de raio X mostraram ter estrutura da hidroxiapatita, com a seguinte

composição $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Os íons da superfície do cristal de hidroxiapatita são hidratados existindo, portanto, uma camada de água e íons em volta do cristal. Essa camada é denominada capa de hidratação. A capa de hidratação facilita a troca de íons entre o cristal e o líquido intersticial (Junqueira e Carneiro, 2004). A parte inorgânica constituindo aproximadamente 60 a 70 % do peso do osso e sendo responsável pelas propriedades de rigidez e resistência à compressão (Rath *et al.*, 2000). Além da hidroxiapatita, que compõe 80 % da fase mineral, outros minerais também são encontrados, 13 % de carbonato de cálcio (CaCO_3), e 2 % de fosfato de magnésio $\text{Mg}(\text{PO}_4)_2$ (Field, 2000).

A substância fundamental é um complexo viscoso e altamente hidrofílico, de macromoléculas aniônicas (glicosaminoglicanos e proteoglicanos), e glicoproteínas multiadesivas (laminina e fibronectina) que se ligam a proteínas receptoras denominadas integrinas que estão presente nas superfícies das células (Junqueira e Carneiro, 2004). Ela fica dispersa entre as fibras de colágeno do tecido, é contínua com o líquido intersticial e apresenta vários graus de condensação, sendo conhecida como o componente amorfo extracelular e interfibrilar de todo tecido conjuntivo (Velleman, 2000).

Os proteoglicanos são macromoléculas compostas por uma proteína central com carboidratos ligados covalentemente a ela, chamado glicosaminoglicano. Os glicosaminoglicanos são polímeros de dissacarídeos altamente sulfurados de carga negativa que permite interação iônica com moléculas de água. Essa propriedade é de importância particular na formação da cartilagem, estrutura e função.

Os glicosaminoglicanos ligados aos proteoglicanos de núcleo protéico central incluem: chondroitina/dermatan sulfato, heparina sulfato e queratina sulfato (Carrino *et al.*, 1999). A estrutura estável dos proteoglicanos forma agregados de proteo-

glicanos e ácido hialurônico na cartilagem que atrai as moléculas de água para hidratar a cartilagem. A alta tenacidade do agregado de condroitina e a cadeia de queratina sulfato são diretamente responsável pela hidratação da matriz da cartilagem extracelular e gera resistência mecânica da cartilagem, entretanto, se a estrutura do agregado de proteoglicano é modificada, a integridade da matriz da cartilagem extracelular é alterada (Velleman, 2000).

OSSIFICAÇÃO E CRESCIMENTO DE OSSOS LONGOS

O crescimento dos ossos acontece em regiões de cartilagem especializadas denominadas placas de crescimentos situadas em ambas às epífises de todos os ossos longos. A placa de crescimento compreende a matriz extracelular e os condrócitos sendo o proteoglicano e colágeno tipo II os componentes mais predominantes (Farquharson e Jefferies, 2000). O crescimento ósseo inclui as atividades de formação da matriz óssea como mineralização e reabsorção (Seifert e Wartkins, 1997).

A ossificação intramembranosa, assim chamada por surgir no interior de membranas de natureza conjuntiva. É o processo formador dos ossos frontais, parietal e de partes do occipital, do temporal e dos maxilares inferior e superior. Contribui para o crescimento dos ossos curtos e para o crescimento em espessura dos ossos longos (Junqueira e Carneiro, 2004).

O local da membrana conjuntiva, onde a ossificação começa, chama-se centro de ossificação primária. O processo de ossificação tem início pela diferenciação de células indiferenciada que se transformam em grupos de osteoblastos. Os grupos surgem de forma simultânea no centro de ossificação resultando em confluência das trabéculas ósseas formadas, dando ao osso um aspecto esponjoso, que será penetrado por células mesenquimatosas indiferenciadas que irão dar origem a medula óssea (Junqueira e

IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO ÓSSEO NA AVICULTURA

Carneiro, 2004). O processo progride deste centro para a periferia do futuro osso. A parte superficial do tecido original torna-se perióstio; sobre a face profunda deste, camadas sucessivas de osso perióstico são formadas pelos osteoblastos até que o osso atinja sua espessura definitiva. O aumento na circunferência resulta da ossificação do tecido fibroso circunjacente, que continua a crescer até o osso atingir seu tamanho definitivo (Guyton e Hall, 2006).

Já a ossificação endocondral, caracteriza-se pelo crescimento e a organização precisa temporal e espacial dos condrócitos dentro da placa de crescimento, onde eles exibem uma série bem definida de estágio de maturação (Farquharson e Jefferies, 2000; Dibner *et al.*, 2007).

A ossificação endocondral tem início sobre uma peça de cartilagem hialina, de forma semelhante ao futuro osso, porém de tamanho diferente (Junqueira e Carneiro, 2004). Ela consiste em dois processos: na primeira etapa a cartilagem hialina modifica-se por hipertrofia dos condrócitos que acabam morrendo e deixando cavidades separadas por finos trabéculas de matriz cartilaginosa que se calcificam; na segunda etapa as cavidades de cartilagem calcificada são invadidas por células mesenquimatosas que se diferenciam em osteoblastos (Pizauro Júnior, 2002).

A ossificação endocondral descreve os processos pelos quais os ossos crescem longitudinalmente, ocorrendo na placa de crescimento que liga as regiões da epífise e diáfise dos ossos. Os principais eventos fisiológicos da ossificação endocondral podem ocorrer em menos de 24 horas, durante o pico de crescimento dos frangos de corte. Os condrócitos ativos passam pelos estágios de proliferação, diferenciação e apoptose, antes dos vasos sanguíneos penetrarem nas lacunas remanescentes (Murakami, 2000). Os condrócitos são distinguíveis pelas mudanças em sua fase de proliferação e morfologia, e pela síntese das proteínas que formam a matriz extra-

celular (Farquharson e Jefferies, 2000).

O crescimento dos ossos longos é um processo que envolve, ao mesmo tempo, o crescimento da epífise (radial acompanhado por ossificação endocondral) e da diáfise (intramembranosa por aposição de tecido ósseo do perióstio e endocondral por atividade osteogênica do disco epifisário), (Howlet, 1980 citado por Murakami, 2000).

O primeiro tecido ósseo a aparecer no osso longo é formado por ossificação intramembranosa do pericôndrio que recobre a parte média da diáfise e é chamado centro primário de ossificação. Forma-se dessa maneira um cilindro oco, na parte interna do pericôndrio que envolve a cartilagem. O pericôndrio passa então a ser chamado de perióstio, por recobrir o tecido ósseo neoformado (Junqueira e Carneiro, 2004). Tendo formado o perióstio, os condrócitos dessa região do modelo cartilaginoso tornam-se hipertróficos e começam a sintetizar fosfatase alcalina e, concomitantemente, a matriz cartilaginosa vai sofrendo calcificação. A matriz, quando calcificada, impede a difusão de nutrientes, causando, por fim, a morte dos condrócitos para posterior penetração dos vasos sanguíneos que contêm células osteoprogenitoras. As células osteoprogenitoras entram em aposição com as espículas da cartilagem calcificada remanescente, transformando-se em osteoblastos e passando a depositar matriz óssea sobre a estrutura espícula (Ross e Rowell, 1993).

Nas epífises de forma não simultânea forma-se o centro de ossificação secundária. Esses centros são semelhantes ao centro primário da diáfise, mas seu crescimento é radial em vez de longitudinal. Quando o tecido ósseo formado nos centros secundários ocupa a epífise, o tecido ósseo cartilaginoso fica reduzido a dois locais: cartilagem articular, que não contribui para a formação óssea; e a cartilagem epifisária que é constituída por um disco cartilaginoso que não foi penetrado pelo osso em expansão e que será responsável pelo

crescimento longitudinal do osso. A cartilagem epifisária fica entre o tecido ósseo da epífise e da diáfise seu desaparecimento, por ossificação, determina a parada do crescimento longitudinal do osso (Junqueira e Carneiro, 2004).

De acordo com Pizauro Júnior (2002) anatomicamente a cartilagem epifisária pode ser dividida em zona de reserva, zona de proliferação, zona de maturação, zona hipertrófica e zona de calcificação possuindo as seguintes características:

- Zona de reserva: contém condrócitos dispersos e inativos.

- Zona de proliferação: è onde acontece a maioria das divisões celulares, possuindo nessa região células osteoprogenitoras em forma de disco. O nascimento da célula do condrócitos ocorre na zona proliferativa e a sua morte ocorre na zona hipertrófica. Com isto uma distância constante é mantida entre a zona proliferativa e a metáfise. O tempo de vida de um condrócito em frango de corte de crescimento rápido é de aproximadamente três dias.

- Zona de maturação: durante o seu período de vida os condrócitos passam de uma fase pós-divisão a um estado de maturação. È nesse local que começa a aparecer a fosfatase alcalina.

- Zona hipertrófica: contém condrócitos aumentados de volume pelo acúmulo de glicogênio, e muitas vesículas da matriz que formam grupos longitudinais.

- Zona de calcificação: onde os condrócitos sofrem degeneração. È nessa região que ocorre o depósito de fosfato de cálcio no interior das vesículas e que, posteriormente, extravasa e se infiltra no septo longitudinal.

No período embrionário, o esqueleto das aves é pobremente mineralizado. A mineralização ocorre mais rapidamente nas primeiras duas semanas de vida (Angel, 2007). O mecanismo ao qual inicia a formação de cálcio e fosfato inorgânico bem como seu acúmulo na matriz orgânica do tecido ósseo ainda não está bem elucidado. Em mamíferos,

nos quais a mineralização é sinônimo de calcificação, a principal causa da controvérsia é o mecanismo pelo qual a barreira termodinâmica é vencida para a conversão dos íons cálcio e fosfato orgânico, presente no sangue e fluidos intersticiais de tecido em calcificação, em uma fase mineral sólida.

De acordo com Pizauro Junior (2002), a teoria mais antiga é a proposta por Robinson (1923), que admite que os íons fosfato e cálcio estejam presentes nos fluídos do corpo em uma forma estável e que, nos líquidos da cartilagem, a fosfatase alcalina atuaria sobre a hexose monofosfato, derivada da quebra do glicogênio, liberando o fosfato inorgânico. O aumento localizado do fosfato inorgânico, acrescido à concentração normal já existente no líquido tissular, provocaria a mineralização dos tecidos.

Segundo Anderson (1989), a calcificação ocorre em duas fases. Na primeira fase o cálcio e o fosfato são transportados para o interior da vesícula por um canal de cálcio através da membrana. No interior da vesícula extracelular, o cálcio liga-se aos lipídeos da membrana e às proteínas ligadoras de cálcio localizada no interior das vesículas da matriz. Concomitantemente, a fosfatase alcalina fornece o fosfato através da sua ação sobre seu substrato fisiológico. No interior da vesícula o aumento do cálcio iônico em relação ao fosfato, provoca a precipitação do fosfato de cálcio e formação de cristais na forma de pequenas agulhas. O primeiro cristal que se forma no interior da vesícula não é cristalino. Ele é formado como um intermediário e depois convertido em hidroxiapatita. Na segunda fase denominada fase de crescimento do mineral, os cristais de hidroxiapatita rompem a membrana da vesícula e extravasam para o meio extracelular, provocando o crescimento dos cristais.

O papel exato da fosfatase alcalina no processo de mineralização, ainda carece de elucidção, porém acredita-se que as ações catalíticas da fosfatase alcalina resultam em enriquecimento do ortofosfato para incor-

IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO ÓSSEO NA AVICULTURA

poração no nascente mineral $\text{Ca}_{10}\text{PO}_4$ (Anderson, 1995).

No tocante ao modelamento do osso, este é um processo adaptativo, previsto ordenadamente e especificamente, aumentada de forma generalizada a massa do osso, acompanhando o crescimento corpóreo (Seifert e Watkins, 1997).

O osso é um depósito dinâmico de mineral, sendo a sua composição constante mantida pela atividade simultânea dos osteoblastos e osteoclastos. Esse processo contínuo de síntese e reabsorção de osso, que ocorre durante a vida, inclusive após ter cessado o crescimento, é denominado remodelação óssea. Em circunstância normal verifica-se um estreito ajuste entre a formação e reabsorção óssea. A absorção da matriz óssea envolve a atividade de colagenases, que não funcionam em condições ótimas, até que a fase mineral do osso seja removida (Guyton e Hall, 2006).

A remodelação óssea envolve a renovação e reestruturação interna existindo osso previamente, sendo responsável pela manutenção da massa do tecido e a arquitetura do esqueleto adulto (Frost, 1963 citado por Seifert e Watkins, 1997).

A interação celular ocorre com o ciclo de remodelação e esta dividido em quatro even-

tos: Ativação, reabsorção, modelagem e formação. Resumidamente, no processo de modelação ocorre ganho de massa do esqueleto e mudanças na sua morfologia em quanto que no processo de remodelação ocorre a manutenção do esqueleto (Seifert e Watkins, 1997).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adequada mineralização óssea é fundamental na industrial avícola, pois o desenvolvimento muscular é dependente de um bom suporte ósseo e é necessário para o bom funcionamento do sistema locomotor. As afecções ósseas podem ocasionar redução do bem-estar das aves, perdas econômicas significativas decorrentes da diminuição no desempenho produtivo, aumento na taxa de mortalidade e da condenação de carcaças, em função de fraturas sobrevindas durante a operação de apanha, transporte e abate.

Faz-se de relevância estudar as informações inerentes às estruturas e propriedades dos ossos de frangos de corte submetidos a diferentes condições nutricionais e de manejo, pois assim haverá maiores possibilidades de obtenção de conhecimento que auxiliará nas soluções de desordens locomotoras.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, H.C. 1989. Biology of disease: mechanism of mineral formation in bone. *Lab Invest*, 60: 320-330.
- Anderson, H.C. 1995. Molecular biology of matrix vesicles. *Clin Orthop Res*, 314: 266-280.
- Angel, R. 2007. Metabolic disorders: limitations to growth of and mineral deposition into the broiler skeleton after hatch and potential implications for leg problems. *J Appl Poul Res*, 16: 138-149.
- Araújo, C.S.S., Artoni, S.M., Araújo, L.F., Junqueira, O.M., Louzada, M.J.Q. e Oliveira, D. 2006. Densidade óssea de frangos de corte alimentados com diferentes níveis de aminoácidos e cálcio durante a fase final de criação. *Acta Sci Anim Sci*, 28: 203-208.
- Araújo, G.M., Vieites, F.M., Barbosa, A.A., Caramori Jr. J.G., Santos, A.L., Moraes, G.H.K., Abreu, J.G. e Müller, E.S. 2011. Variação aniônica da dieta sobre características ósseas de frangos de corte: resistência à quebra, composição orgânica e mineral. *Arq Bras Med Vet Zootec*, 63: 954-961.
- Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frangos. ABEF. 2011. Exportações brasileiras de carne de frango em 2010. In: Relatório anual 2010/2011. São Paulo. ABEF. <http://www.abef.com.br/portal/_clientes/abef/cat/Abef%20RA_4021.pdf> (02/08/2012).
- Banks, W.J. 1991. Tecidos de sustentação - osso. In: Banks, W.J. (Ed.). *Histologia veterinária*. 2ª ed. Manole. São Paulo. pp. 137-165.

ARAÚJO, VIEITES E SOUZA

- Barbosa, A.A. 2005. Aspectos químicos, bioquímicos, físicos e mecânicos de fêmures de frangos de corte. Tese (Mestrado em Bioquímica Agrícola). UFV. Viçosa-MG. Brasil.
- Barbosa, A.A., Moraes, G.H.K., Torres, R.A., Reis, D.T.C., Rodrigues, C.S. e Müller, E.S. 2010. Avaliação da qualidade óssea mediante parâmetros morfométricos, bioquímicos e biomecânicos em frangos de corte. *R Bras Zootec*, 39: 772-778.
- Biewener, A.A. and Bertram, J.E. 1994. Structural response of growing bone to exercise and disuse. *J Appl Physiol*, 76: 946-955.
- Carrino, D.A., Sorrell, J.M. and Caplan, A.I. 1999. Dynamic expression of proteoglycans during chicken skeletal muscle development and maturation. *Poult Sci*, 78: 769-777.
- Cook, M.E. 2000. Skeletal deformities and their causes: introduction. *Poult Sci*, 79: 982-984.
- Costa, M.J.G. 2010. Osteocondrodistrofias em broilers: etiologias e impacto na produção. Relatório final de estágio: mestrado Integrado em Medicina Veterinária. Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar. Porto. <[http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/23168/2/Osteocondrodistrofia semBroilersManuel Costa2010.pdf](http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/23168/2/Osteocondrodistrofia%20semBroilersManuelCosta2010.pdf)> (31/08/2010).
- Coto, C., Yan, F., Ceratte, S., Wang, Z., Sacakli, P., Halley, J.T., Wiernusz, C.J., Martinez, A. and Waldroup, P.W. 2008. Effects of dietary levels of calcium and nonphytate phosphorus in broiler starter diets on live performance, bone development and growth plate conditions in male chicks fed a corn-based diet. *Int J Poult Sci*, 7: 638-645.
- Currey, J.D. 2003. Role of collagen and other organics in the mechanical properties of bone. *Osteoporosis Int*, 14: 29-36.
- Dibner, J.J., Richards, J.D., Kitchell, M.L. and Quiroz, A.M. 2007. Metabolic challenges and early bone development. *J Appl Poul Res*, 16: 126-137.
- Edwards Jr., H.M. 2000. Nutrition and skeletal problems in poultry. *Poult Sci*, 79: 1018-1023.
- Farquharson, C. and Jefferies, D. 2000. Chondrocytes and longitudinal bone growth: the development of tibial dyscondroplasia. *Poult Sci*, 79: 994-1004.
- Field, R.A. 2000. Ash and calcium as measures of bone in meat and bone mixtures. *Meat Sci*, 55: 255-264.
- Frost, H.M. 1963. Bone remodeling dynamics. Thomas C. Company. Springfield, IL. 175 pp.
- Gentilini, P.M., Silva, R.A.G., Nunes, P.M., Gonçalves, F.M., Kuhn, C., Anciuti, M.A. e Rutz, F. 2009. Produtividade e resistência óssea de poedeiras suplementadas com Allzyme® SSF nas dietas. *Arch Zootec*, 58: 645-653.
- Gonzales, E. e Mendonça Júnior, C.X. 2006. Problemas locomotores em frangos de corte. In: VII Simpósio Brasil Sul de Avicultura. *Anais... Núcleo de Médicos Veterinários*. Chapecó-SC. pp. 79-94.
- Guyton, A.C. e Hall, J.E. 2006. Tratado de fisiologia médica. 11º ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro. 1115 pp.
- Hays, V.W. e Swenson, M.J. 1996. Minerais. In: Dukes. Fisiologia dos animais domésticos. 11º ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro. pp. 471-487.
- Johnson, L.R. 2000. Fundamentos da fisiologia médica. 2ª ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro. pp. 502-511.
- Junqueira, L.C. e Carneiro, J. 1999. Histologia básica. 9ª ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro. 427 pp.
- Junqueira, L.C. e Carneiro, J. 2004. Histologia básica. 10ª ed. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro. 427 pp.
- Ledur, M.C., Nones, K., Moura, A.S.A.M.T, Ribeiro, J.B. e Coutinho, L.L. 2007. O uso de marcadores moleculares na produção de aves. In: XVII Congresso Brasileiro de Zootecnia, IX Congresso Internacional de Zootecnia. [CD/ROM]. Fonseca, N.A.N., Pinheiro, J.W., Silva, L.D.F, Oba, A., Bridi, A.N., e Silva, C.A. (Orgs.) A zootecnia frente a novos desafios, Londrina-PR, 29 de maio a 01 de junho. *Anais... Londrina. UEL*. 572 pp.
- Letierrier, C., Rose, N., Constantin, P. and Nis, Y. 1998. Reducing growth rate of broiler chickens with a low energy diet does not improve cortical bone quality. *Brit Poultry Sci*, 39: 24-30.
- Lopes, R.C.S.O. 2009. Avaliação de fêmures de frangos de corte alimentados com farelo de resíduo de manga. Dissertação (Mestrado em Bioquímica Agrícola). UFV. Viçosa-MG.
- Mendonça Júnior, C.X. 2000. Enfermidades do sistema locomotor. In: Berchieri Júnior, A. e Macari, M. Doenças das aves. FACTA. Campinas-SP. pp. 29-36.

IMPORTÂNCIA DO DESENVOLVIMENTO ÓSSEO NA AVICULTURA

- Mendes, A.S., Paixão, S.J., Marostega, J., Restelatto, R., Oliveira, P.A.V. e Possenti, J.C. 2012. Mensuração de problemas locomotores e de lesões no coxim plantar em frangos de corte. *Arch Zootec*, 61: 217-228.
- Moraes, G.H.K., Minafra, A.C.P.R., Silva, F.A., Rostagno, H.S., Minafra, C.S. e Bigonha, S.M. 2010. Efeitos do ácido L-glutâmico e da vitamina K na composição bioquímica parcial de fêmures de frangos de corte. *R Bras Zootecn*, 39: 796-800.
- Morris, M.P. 1993. National survey of leg problems. *Broiler Ind*, may: 20-24.
- Murakami, A.E. 2000. Balanço eletrolítico da dieta e sua influência sobre o desenvolvimento dos ossos de frangos. In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícola. *Anais... FACTA*. Campinas-SP. pp. 33-61.
- Oliveira, R.P. de. 2008. Avaliação do desenvolvimento da discondroplasia tibial em frangos de corte submetidos à dieta com 25 hidroxicoilecalciferol. Características ultra-estruturais. Tese (Doutorado em Zootecnia). USP. Pirassununga.
- Oviedo-Rondón, E.O. 2008. Leg health in large broilers. NC Broiler Supervisors' Short Course. North Carolina State University. Stanford.
- Paixão, T.A., Ribeiro, B.R.C., Hoerr, F.J. e Santos, R.L. 2007. Espondilolistese em frango de corte no Brasil. *Arq Bras Med Vet Zootec*, 59: 523-526.
- Paz, I.C.L.A., Milbradt, E.L., Mendes, A.A., Vulcano, L.C., Martins, M.R.F.B., Komiyama, C.M., Cavichiolo, F. e Garcia, R.G. 2009. Densidade mineral óssea de perus de corte vacinados e não vacinados contra coccidiose. *Agrarian*, 2: 131-141.
- Pizauro Júnior, J.M. 2002. Estrutura e função do tecido ósseo. In: Macari, M., Furlan, R.L. e Gonzales, E. Fisiologia aviária aplicada a frango de corte. FUNEP. Jaboticabal-SP. pp. 247-265.
- Powell, K.C. e Bittar Filho, I. 2008. Atualidades em problemas locomotores em frango de corte. In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícola. *Anais... FACTA*. Santos-SP. pp. 187-196.
- Raif, E.M. and Harmand, M.F. 1993. Molecular interface characterization in human bone matrix. *Biomaterials*, 14: 978-984.
- Rath, N.C., Balog, J.M., Huff, W.E., Huff, G.R., Kulkarni, G.B. and Tierce, J.F. 1999. Comparative differences in the composition and biomechanical properties of tibia of seven- and seventy-two-week-old male and female broiler breeder chickens. *Poult Sci*, 78: 1232-1239.
- Rath, N.C., Huff, G.R., Huff, W.E. and Balog, J.M. 2000. Factors regulating bone maturity and strength in poultry. *Poult Sci*, 79: 1024-1032.
- Robison, R. 1923. The possible significance of hexose phosphoric esters in ossification. *Biochem J*, 17: 286-293.
- Ross, M.H. and Rowrell, L.J. 1993. Histologia. Texto e atlas. 2ª ed. Média Panamericana. São Paulo. 779 pp.
- Schoulten, N.A., Teixeira, A.S., Conte, A.J., Silva, H.O, Bertechini, A.G. e Fialho, E.T. 2003. Efeito dos níveis de cálcio da ração suplementação com fitase sobre a deposição de minerais na tibia de frangos de corte de 22 a 42 dias. *Ciênt Agrotec*, 27: 201-210.
- Seifert, M.F. and Watkins, B.A. 1997. Role of dietary lipid and antioxidants in bone metabolism. *Nut Res*, 17: 1209-1228.
- Silva, F.A., Moraes, G.H.K., Rodrigues, A.C.P., Oliveira, M.G.A., Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Fonseca, C.C. e Minafra, C.S. 2001. Efeitos do ácido L-Glutâmico e da vitamina D₃ no desempenho e nas anomalias ósseas de pintos de corte. *Rev Bras Zootecn*, 30: 2059-2066.
- Sogunle, O.M., Egbeyale, L.T., Alajo, O.A., Adeleye, O.O., Fafiolu, A.O., Onunkwor, O.B., Adegbite, J.A. and Fanimu, A.O. 2010. Comparison of meat composition and sensory values of two different strains of broiler chickens. *Arch Zootec*, 59: 311-314.
- Sullivan, T.W. 1994. Skeletal problems in poultry: estimated annual cost and descriptions. *Poult Sci*, 73: 879-882.
- Van Der Rest, M. and Garrone, R. 1991. Collagen family proteins. *J FASEB*, 5: 2814-2823.
- Velleman, S.G. 2000. The role of the extracellular matrix in skeletal development. *Poult Sci*, 79: 985-989.
- Yalçın, S., Settar, P. and Dicle, O. 1998. Influence of dietary protein and sex on walking ability and bone parameters of broilers. *Brit Poultry Sci*, 39: 251-256.
- Yogarathnam, V. 1995. Analysis of the causes of high rates of carcass rejection at a poultry processing plant. *Vet Rec*, 137: 215-217.