

47

**Circular  
Técnica**

## Integridade Óssea em Poedeiras Comerciais: Influência de Dietas Enriquecidas com Ácidos Graxos Poliinsaturados e Tipo de Muda Induzida

### 1. Introdução

Muitos nutrientes presentes nas dietas avícolas influenciam o crescimento e a manutenção do esqueleto sendo Cálcio (Ca), Fósforo (P) e Vitamina D<sub>3</sub> os mais estudados. Mais recentemente, os efeitos benéficos dos ácidos graxos no metabolismo ósseo têm sido relatados em pesquisas com aves comerciais. Uma breve introdução sobre a função e metabolismo desses nutrientes na fisiologia óssea é descrita no presente documento. Adicionalmente são indicados os resultados de pesquisa envolvendo a influência da manipulação da dieta antes e após a muda induzida e diferentes tipos de muda sobre a integridade óssea de poedeiras comerciais.

### 2. Nutrientes e integridade óssea

**Cálcio:** O Cálcio (Ca) é o componente inorgânico mais abundante no esqueleto, exercendo função estrutural além de outras funções biológicas essenciais sendo a homeostase desse mineral um dos mais importantes mecanismos responsáveis pela manutenção da integridade do esqueleto.

Aves em fase de postura demandam alta quantidade de Ca adicionalmente à manutenção do metabolismo do osso para deposição na casca dos ovos, o que vem a ser proporcionado por fontes de Ca apropriadas e disponíveis na dieta.

Concórdia, SC  
Outubro, 2006

**Autor**

**Helenice Mazzuco**

Zootecnista, Ph.D.  
Embrapa Suínos e Aves  
Caixa Postal 21  
CEP 89.700-000  
Concórdia –SC  
[hmazzuco@cnpsa.embrapa.br](mailto:hmazzuco@cnpsa.embrapa.br)

**Embrapa**



A exigência nutricional das aves a uma dieta rica em minerais persiste mesmo após cessado o crescimento devido ao “turnover” diário de Ca (metabolismo do Ca) corporal. Caso esse Ca não seja oferecido via dieta, haverá a necessidade de utilizar Ca endógeno, que virá a ser suprido através de mecanismos de reabsorção do osso. Esse mecanismo fisiológico é particularmente importante para aves em postura devido à alta exigência de Ca para formação da casca durante toda sua vida produtiva. O Ca é obtido via circulação sanguínea seguida de sua absorção via intestinal (duodeno e jejuno) ou via reabsorção óssea, particularmente dos ossos medulares (como a tíbia e úmero), ou sob algumas condições de deficiência de Ca, também de ossos estruturais como o osso cortical.

A importância relativa do intestino e ossos como fontes de Ca depende da concentração do mineral na dieta. Se a concentração de Ca na ração da poedeira estiver próxima ou superior a 3,6%, a maior parte do Ca da casca é derivado diretamente do intestino porém, se o nível de Ca for igual ou menor a 2%, entre 30% a 40% do Ca presente na casca do ovo será suprido via reabsorção dos ossos. A reabsorção óssea ocorre com maior intensidade quando as fontes de Ca não estão disponíveis no trato digestivo para pronta utilização e deposição na casca, isto acontece geralmente no período noturno e desse modo, alta proporção de Ca da casca é obtida dos ossos medular e cortical. Outras funções do Ca incluem seu papel na coagulação sanguínea e como mensageiro secundário intracelular.

**Vitamina D:** A Vitamina D participa dos processos de transporte de Ca, atuando primariamente no duodeno e jejuno envolvendo a proteína transportadora de Ca (CaBP, Calbidina). Aproximadamente 70% da absorção do Ca é dependente da Vitamina D na sua forma

D<sub>3</sub>, a forma com a mais alta atividade para as aves. Sob condições de hipocalcemia (baixa concentração de Ca no sangue), maior quantidade de 1,25 (OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> (Vitamina D<sub>3</sub>) é produzida nos rins levando à maior reabsorção dos minerais dos ossos e nos rins.

Os principais hormônios que mediam essa resposta incluem o Paratormônio (PTH), sintetizado pelas glândulas paratiróides e a calcitonina, sintetizada nas glândulas UltimoBranchiais das aves.

**Fósforo:** A maior parte do Fósforo (P) corporal localiza-se no esqueleto. O P desempenha uma função importante na fisiologia celular e na mineralização óssea atuando como um constituinte essencial dos ácidos nucleicos e na hidroxiapatita dos ossos respectivamente, além de participar como componente nos fosfolípídeos das membranas celulares e de estar presente em uma variedade de reações enzimáticas do metabolismo.

Em situações de limitação de fontes de P (restrição alimentar ou jejum severo), o P (na forma de fosfato) presente nos ossos, torna-se a fonte endógena para as necessidades metabólicas do organismo.

As exigências da poedeira em P estão intimamente associadas com as exigências de Ca e com a dinâmica do “turnover” ósseo. Quando há intensa atividade dos osteoclastos (células responsáveis pela reabsorção óssea), maior concentração de P no plasma é observada em função da liberação de ambos os minerais, Ca e P, dos ossos.

**Lípídeos/Gorduras:** As gorduras estão usualmente presentes nas formulações avícolas na forma de óleos vegetais ou mistura (*blends*) de gordura vegetal e animal e que podem ser oriundas de diversas fontes. Os óleos vegetais comumente encontrados nas formulações avícolas incluem os óleos oriundos do beneficiamento de oleaginosas (soja,

girassol, amendoim e linhaça, por exemplo) utilizados nas dietas dependendo da disponibilidade e custo. Além de incrementar a concentração de energia (Energia Metabolizável) da dieta, as gorduras são adicionadas como fonte de ácidos graxos essenciais.

Os ácidos graxos de cadeia longa, contendo 18 carbonos como os ácidos linoléico (18:2,  $\omega$ 6) e linolênico (18:3,  $\omega$ 3) são reconhecidos como ácidos graxos metabolicamente essenciais por não existir produção endógena. No entanto, o ácido linoléico é o único ácido graxo essencial cuja exigência nutricional tem sido demonstrada em aves. Decréscimos no tamanho e peso do ovo e alteração no perfil de ácidos graxos da gema foram observados em poedeiras que receberam dieta deficiente em ácido linoléico.

A classificação dos ácidos graxos em famílias, ômega-3 ( $\omega$ 3 ou n3) e ômega-6 ( $\omega$ 6 ou n6), indica que o terceiro ou sexto carbono respectivamente, a partir do terminal metil da cadeia, é insaturado. As famílias de poliinsaturados  $\omega$ 6 e  $\omega$ 3 são derivadas da ingestão de ácidos graxos de 18 carbonos, linoléico e linolênico respectivamente, oriundos de uma série de reações de desaturação e alongação (Fig. 1).

Em função da influência do metabolismo dos lipídeos da dieta sobre os fosfolipídeos também presentes no tecido ósseo e sobre o perfil dos lipídeos nas gemas dos ovos, as gorduras presentes nas dietas e, mais especificamente o conteúdo e proporção dos ácidos graxos dessas gorduras, têm sido estudados mais intensivamente devido às suas propriedades benéficas ao metabolismo ósseo como modificadores da morfologia celular, além de sua função de prover energia e ácidos graxos essenciais.

Diferentes estudos indicaram que dietas com baixa proporção  $\omega$ 6:  $\omega$ 3 exercem efeitos benéficos sobre os ossos. Possíveis mecanismos atuantes nos ossos frente à influência da relação entre

poliinsaturados  $\omega$ 6 e  $\omega$ 3 incluem: aumento da absorção do Ca intestinal e redução no “turnover” ósseo; maior deposição de Ca nos ossos; incremento ao transporte do Ca no duodeno; elevada síntese do colágeno ósseo; aumento da IGF-1 (Fator de crescimento da insulina) circulante e, decréscimo na produção da prostaglandina (PG) atuante no osso. Outras evidências da função de proteção dos ácidos graxos  $\omega$ 3 no esqueleto são indicadas pelos níveis elevados de marcadores da deposição óssea, destacando-se assim maior atividade das células formadoras ou osteoblastos. Estes estudos mostraram que a influência dos ácidos graxos em dietas ricas em poliinsaturados  $\omega$ 3 ou com baixa concentração de  $\omega$ 6, está associada de um modo geral, ao aumento na fluidez da membrana, facilitando os mecanismos de transdução em diversas vias metabólicas, através da modulação da atividade de receptores de membrana e de funções enzimáticas associadas nos diferentes órgãos e tecidos.

### **3. Mecanismos de ação dos lipídeos na fisiologia óssea**

Alguns resultados de pesquisas indicam que o decréscimo na proporção de poliinsaturados  $\omega$ 6/  $\omega$ 3 pode vir a proteger o organismo contra a perda da massa óssea devido ao decréscimo na produção de prostaglandinas (PG), um eicosanóide (ou ácido graxo de cadeia de 20 carbonos) envolvido no estímulo à função da reabsorção óssea. O mais abundante produto da metabolização de poliinsaturados  $\omega$ 6 nas células animais é o ácido araquidônico (20:4,  $\omega$ 6) e a maioria dos efeitos metabólicos atribuídos aos ácidos graxos essenciais são mediados pela liberação de eicosanóides como as PG a partir dos fosfolipídeos componentes das membranas celulares. Os eicosanóides atuam como hormônios de ação local (através de mecanismos autócrinos e parácrinos), uma vez que muitos de seus

efeitos biológicos são limitados ao próprio local onde ocorreu sua biossíntese. O ácido araquidônico, um poliinsaturado  $\omega_6$ , é o precursor das PG e esta seria também uma das razões da inibição ou redução dos marcadores sanguíneos de formação óssea, devido à maior produção de PG a nível local conforme indicado em diferentes estudos. Este efeito também está associado ao balanço entre os poliinsaturados  $\omega_6$  e  $\omega_3$  da dieta, em função da natureza competitiva dos substratos por enzimas comuns nas vias metabólicas de formação dos eicosanóides (Fig. 1). O consumo excessivo de poliinsaturados  $\omega_6$  pode influenciar negativamente o metabolismo ósseo pelo estímulo excessivo à fase reabsortiva em função da elevada produção endógena de PG; no entanto, os poliinsaturados  $\omega_3$  podem exercer ação oposta, quando em maior concentração na célula, contribuindo para minimizar o processo de reabsorção óssea. Nesse sentido, o decréscimo na proporção  $\omega_6/\omega_3$  da dieta, poderia vir a atenuar o desenvolvimento ou progressão de doenças metabólicas ósseas pelo decréscimo no acúmulo preferencial de ácido araquidônico nas células e assim, reduzir a formação de eicosanóides como as PG.

#### **4. Muda induzida e sua relação com a integridade óssea**

A osteoporose das aves tem sido reconhecida como uma doença metabólica multifatorial na avicultura comercial há mais de 45 anos. Poedeiras comerciais são suscetíveis à osteoporose devido às altas taxas de postura mantidas durante um ciclo de produção de ovos. As modernas linhagens de poedeiras comerciais produzem mais ovos do que suas ancestrais, além de baixo consumo de ração devido ao apetite reduzido, o que resultou em maior utilização do Ca armazenado no osso para a deposição na casca. A osteoporose em poedeiras co-

merciais caracteriza-se pela fragilidade do esqueleto devido ao alto “turnover” ósseo relacionado à formação da casca e agrava-se em função da reduzida frequência na atividade física conseqüente do confinamento das aves em gaiolas. Sistemas de alojamento como as baterias/gaiolas convencionais mantêm as aves durante toda sua vida produtiva em condição de limitada atividade física, o que vem a contribuir com a severidade do problema. O agravante da osteoporose relaciona-se à perda de osso estrutural e conseqüentemente da massa óssea, levando à alta incidência de fraturas em diferentes ossos e implicando assim no comprometimento do bem-estar das aves.

Em poedeiras comerciais, como forma de prevenir o declínio na taxa de postura e qualidade da casca, uma parada na produção de ovos pode ser induzida em todo o plantel através da restrição alimentar durante um período de tempo, seguido pelo gradual retorno ao consumo da ração de postura. A muda induzida se constitui em prática adotada por granjas comerciais como parte do programa de manejo para utilização do mesmo lote de aves para um segundo ciclo de postura.

Contudo, os atuais programas de indução de muda (redução do fotoperíodo e retirada da ração), têm sido questionados com relação ao bem-estar das aves, principalmente os programas que adotam a restrição alimentar severa ou jejum temporário devido ao comprometimento da integridade óssea. Nesse sentido, novas pesquisas têm sido direcionadas com o objetivo de indicar à indústria, métodos alternativos de muda induzida que não utilizem a restrição alimentar.

Respostas fisiológicas à restrição ou jejum alimentar incluem mudanças profundas no sistema endócrino e são responsáveis por alterações significativas observadas no metabolismo animal com o objetivo de permitir ou facilitar a

sobrevivência a curto prazo. Estas mudanças são mediadas por variações na disponibilidade de substratos e na concentração de hormônios circulantes. Por exemplo, concentrações elevadas do hormônio de crescimento (GH) durante o jejum auxilia na sobrevivência, uma vez que o GH exerce um efeito lipolítico no organismo sendo assim uma fonte de energia para as atividades de manutenção essenciais. As concentrações elevadas de corticosterona observadas durante a muda e pós-muda são interpretadas como período de estresse fisiológico e associadas à sua função metabólica em fornecer glicose e energia em função de ser um hormônio gluconeogênico. Níveis elevados de prolactina durante a muda estão implicados na involução ovariana.

A atresia no trato reprodutivo segue à perda do suporte dos esteróides produzidos no ovário, com conseqüente declínio na concentração de estradiol e progesterona.

Um protocolo de muda alternativo ao programa convencional (muda incluindo jejum alimentar durante 10 dias), mostrou ser menos deletério à integridade óssea (Fig. 2 e 3). Ao final do período de muda (71 semanas de idade das aves), valores de densidade mineral da tíbia monitorados através de densitometria mostraram decréscimos próximos a 30% quando avaliados em aves submetidas ao protocolo de muda convencional e em 11% quando monitorados em aves sob o regime de muda alternativo. Conforme indicado na Fig. 2 e 3, o uso de dietas pré e pós-muda enriquecidas com ácidos graxos poliinsaturados  $\omega$ -3 através do uso de óleo de linhaça não evitou o declínio nem auxiliou na subsequente recuperação da integridade óssea, indicada pelos valores de densidade mineral (em  $\text{g}/\text{cm}^2$ ) de poedeiras comerciais submetidas aos programas de muda induzida. Um breve período de recuperação foi observado no úmero das aves, entre 71 e 75 semanas de idade (Fig. 3), que há-

viam recebido a dieta pré-muda enriquecida com  $\omega$ -3 e sendo submetidas à muda alternativa que incluía o consumo de uma dieta composta por 73% de um sub-produto do beneficiamento do trigo durante os 27 dias do protocolo de muda alternativo. A ausência de uma resposta mais consistente às dietas sobre a mineralização óssea pode estar relacionada ao curto período de tempo (5 semanas) durante o qual as aves consumiram as dietas ricas em  $\omega$ -3. A mineralização e o metabolismo ósseo são processos cumulativos e de longa duração e desse modo, um maior tempo de consumo das dietas formuladas com alta concentração de  $\omega$ -3 é necessário para ampliar a ação dos lipídeos nos ossos. Adicionalmente, a ausência de resposta às dietas também pode ter ocorrido devido à idade das aves no estudo (poedeiras já em segundo ciclo de produção). Estudos anteriores mostraram que houve resposta positiva e significativa da ação dos ácidos graxos poliinsaturados  $\omega$ -3 sobre os ossos de frangos comerciais em crescimento, como a maior taxa de formação óssea, maior volume ósseo, entre outras variáveis que qualificam a integridade do esqueleto. Diferentes respostas no metabolismo ósseo à dieta também podem estar associadas a eventos metabólicos relacionados à idade da ave como por exemplo, a modelagem e o crescimento ocorrendo exclusivamente no sistema esquelético de aves jovens, enquanto a remodelagem ou "turnover" ósseo sendo atividades fisiológicas exclusivas de aves adultas e com o esqueleto já formado.

As cinzas ósseas ou matéria mineral oriunda dos ossos obtidos de aves sacrificadas que receberam dietas enriquecidas com  $\omega$ -3 responderam de modo similar (Fig. 4), ao observado nos ossos onde dados de densitometria óssea haviam sido obtidos (em três idades, conforme indicado na Fig. 5). Ao final do período de muda induzida (71 semanas de idade), os valores das cinzas ósseas

foram reduzidos em todos os tratamentos quando comparados aos valores obtidos nas aves “controle” (aves não submetidas à muda e recebendo uma dieta com baixa concentração de  $\omega$ -3, Fig. 4). Uma exceção foram as aves submetidas à muda alternativa e que haviam consumido dietas com baixa concentração de  $\omega$ -3, que durante o mesmo período não demonstraram diferença significativa nos valores médios das cinzas ósseas em relação às aves controle. O mesmo fenômeno foi observado com relação à densidade mineral mensurada nas mesmas idades (Fig. 5).

As cinzas ósseas ou matéria mineral oriunda dos ossos obtidos de aves sacrificadas que receberam dietas enriquecidas com  $\omega$ -3 responderam de modo similar (Fig. 4), ao observado nos ossos onde dados de densitometria óssea haviam sido obtidos (em três idades, conforme indicado na Fig. 5). Ao final do período de muda induzida (71 semanas de idade), os valores das cinzas ósseas foram reduzidos em todos os tratamentos quando comparados aos valores obtidos nas aves “controle” (aves não submetidas à muda e recebendo uma dieta com baixa concentração de  $\omega$ -3, Fig. 4). Uma exceção foram as aves submetidas à muda alternativa e que haviam consumido dietas com baixa concentração de  $\omega$ -3, que durante o mesmo período não demonstraram diferença significativa nos valores médios das cinzas ósseas em relação às aves controle. O mesmo fenômeno foi observado com relação à densidade mineral mensurada nas mesmas idades (Fig. 5).

## 5. Conclusões

Esse estudo demonstrou que melhorias na integridade óssea obtidas em diferentes fases podem impactar o bem-estar das aves durante sua vida produtiva. Programas de muda induzida que incluem ingredientes fibrosos (como os

subprodutos do beneficiamento de trigo) como principal componente de uma dieta de muda são menos deletérios à mineralização e integridade óssea durante a muda quando comparados aos programas de muda convencionais que incluem a retirada da ração por determinado período.

## 6. Referências Bibliográficas

BERRY, W. D. The physiology of induced molting. **Poultry Science**, v.82, p.971-980, 2003.

BRASITUS, T. A.; DUDEJA, P. K.; EBY, B.; LAU, K. Correction by 1,25-dihydroxycholecalciferol of the abnormal fluidity and lipid composition of enterocyte brush border membranes in vitamin-D deprived rats. **Journal of Biological Chemistry**, v.261, p.16404-16409, 1986.

BUCK, A. C.; SMELLIE, W. S.; JENKINS, A.; MEDDINGS, R.; JAMES, A.; HORROBIN, D. F. The treatment of idiopathic recurrent urolithiasis with fish oil and evening primrose oil - a double blind study. In: RYALL, R. (Ed.) **Urolithiasis 2**. New York: Plenum Press, 1994. p.575-580

CAMPBELL, R. M.; SCANES, C. G. Lypolytic activity of pituitary and bacterially derived growth hormone on chicken adipose tissue in vitro. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, v.180, p.513-517, 1985.

CHERIAN, G.; GOEGER, M. P.; AHN, D. U. Dietary conjugated linoleic acid with fish oil alters yolk n-3 and trans fatty acid content and volatile compounds in raw, cooked, and irradiated eggs. **Poultry Science**, v.81, p.1571-1577, 2002.

CLAASSEN, N.; COETZER, H.; STEINMANN, C. M.; KRUGER, M. C. The effect of different n-6/n-3 essential fatty acid ratios on calcium balance and bone in rats. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v.53, p.13-19, 1995.

COETZER, H.; CLAASSEN, N.; VAN PAPENDORP, D. H.; KRUGER, M. C. Calcium transport by isolated brush border and basolateral membrane vesicles: role of essential fatty acid supplementation. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids** v.50, p. 257-266, 1994.

DACKE, C. G. The parathyroids, calcitonin, and Vitamin D. In: WHITTOW, C. G. (Ed.) **Sturkie's avian physiology**. San Diego: Academic Press, 2000. p.473-488.

DAVIS, G. S.; ANDERSON, K. E.; CARROL, A. S. The effects of long-term caging and molt of single comb White Leghorn hens on heterophil to lymphocyte ratios, corticosterone and thyroid hormones. **Poultry Science**, v.79, p.514-518, 2000.

DE LUCA, H. F.; KRISINGER, J.; DARWICK, D. H. The vitamin D system. **Kidney International**, v.38, p.S2-S8, 1990. Suplemento 29.

DREZNER, M. K. Phosphorus homeostasis and related disorders. In: BILIEZIKIAN, J. P.; RAISZ, L. G.; RODAN, G. A. (Ed.) **Principles of bone biology**. London: Academic Press, 2002. p.321-338.

ELAROUSSI, M. A.; FORTE, L. R.; EBER, S. L.; BIELLIER, H. V. Calcium homeostasis in the laying hen. 1. Age and dietary calcium effects. **Poultry Science**, v.73, p.1581-1589, 1994.

ERIKSEN, E. F.; AXELROD, D. W.; MELSEN, F. Skeletal growth, modeling, and remodeling. Pages 1-2 In: ERIKSEN, E. F. (Ed.) **Bone histomorphometry**. New York: Raven Press, 1994. p.1-2.

ETCHES, R. J.; WILLIAMS, J. B.; RZASA, J. Effects of corticosterone and dietary changes in the hen on ovarian function plasma LH and steroid and the response to exogenous LH-RH. **Journal of Reproduction and Fertility**, v.70, p.121-130, 1984.

EVANS, D. B.; THAVARAJAH, M.; KANIS, J. A. Involvement of prostaglandin E2 in the inhibition of osteocalcin synthesis by human osteoblast-like cells in response to cytokines and systemic hormones. **Biochemical Biophysical Research Communications**, v.167, p.194-202, 1990.

FERNANDES, G.; LAWRENCE, R. D.; SUN, D. Protective role of n-3 lipids and soy protein in osteoporosis. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids** v.68, p.361-372, 2003.

GALOBART, J.; BARROETA, A. C.; CORTINAS, L.; BAUCCELLS, M. D.; CODONY, R. Accumulation of  $\alpha$ -tocopherol in eggs enriched with  $\omega$ 3 and  $\omega$ 6 polyunsaturated fatty acids. **Poultry Science**, v.81, p.1873-1876, 2002.

HAAG, M.; MAGADA, O. N.; CLAASSEN, N.; BOHMER, L. H.; KRUGER, M. C. Omega-3 fatty acids modulate ATPases involved in duodenal Ca absorption. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v.68, p.423-429, 2003.

HURWITZ, S. 1992. The role of vitamin D in poultry bone biology. Bone growth and turnover. In: WHITEHEAD, C. C. (Ed.). **Bone biology and skeletal disorders in poultry**. Abingdon: Carfax Publ., 1992. p.87-102. (Poultry Science Symposium)

IGARASHI, K.; HIRAFUJI, M.; ADACHI, H.; SHINODA, H.; MITANI, H. Effects of bisphosphonates on alkaline phosphatase activity, mineralization, and prostaglandin E2 synthesis in the clonal osteoblast-like cell line MC3T3-E1. **Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v.56, p.121-125, 1997.

JOHNSON, A. L.. Reproduction in the female. In: WHITTOW, G. C. (Ed.). **Sturkie's avian physiology**. San Diego: Academic Press, 2000. p.569-596.

KAJII, T.; SUZUKI, K.; YOSHIKAWA, M.; IMAI, T.; MATSUMOTO, A.; NAKAMURA, S. Long-term effects of prostaglandin PGE2 on the mineralization of a clonal osteoblastic cell line (MC3T3-E1). **Archives of Oral Biology**, v.44, p.233-241, 1999.

KORVER, D. R.; SAUNDERS-BLADES, J. L.; NADEAU, K. L.. Assessing bone mineral density in vivo: quantitative computed tomography. **Poultry Science**, v.83, p.222-229, 2004.

KRUEGER, M. C.; HORROBIN, D. F. Calcium metabolism, osteoporosis and essential fatty acids: a review. **Progress in Lipid Research**, v.36, p.131-151, 1997.

LEESON, S.; SUMMERS, J. D. Minerals. In: LEESON, S.; SUMMERS, J. D. (Ed.) **Nutrition of the chicken**. Guelph: University Books, 2001. p.331-428.

LI, Y.; SEIFERT, M. F.; NEY, D. M.; GRAHN, M.; GRANT, A. L.; ALLEN, K.

G. D.; WATKINS, B. A. Dietary conjugated linoleic acids alter serum IGF-I and IGF binding protein concentrations and reduce bone formation in rats fed (n6) or (n3) fatty acids. **Journal of Bone and Mineral Research**, v.14, p.1153-1162, 1999.

MARKS, S. C. JR.; MILLER, S. C. Prostaglandins and the skeleton: the legacy and challenge of two decades of research. **Endocrine Journal**, v.1, p.337-344, 1993.

MAZZUCO, H.; HESTER, P. Y. The effect of an induced molt and a second cycle of lay on skeletal integrity of White Leghorns. **Poultry Science**, v.84, p.771-781, 2005.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of poultry**. 9 ed. rev. Washington, DC: National Academy Press, 1994. p.155.

RATH, N. C.; HUFF, G. R.; HUFF, W. E.; BALOG, J. M. Factors regulating bone maturity and strength in poultry. **Poultry Science**, v.79, p.1024-1032, 2000.

SCANES, C. G.; GRIMINGER, P. Endocrine-nutrition interactions in birds. **Journal of Experimental Zoology**, v.4, p.98-105, 1990.

WATKINS, B. A. Importance of essential fatty acids and their derivatives in poultry. **Journal of Nutrition**, v.121, p.1475-1485, 1991.

WATKINS, B. A. Biochemical and physiological aspects of polyunsaturates. **Poultry and Avian Biology Reviews**, v.6, p.1-18, 1995.



WATKINS, B. A.; SHEN, C. L.; ALLEN, K. G. D.; SEIFERT, M. F. Dietary (n3) and (n6) polyunsaturates and acetylsalicylic acid alter ex vivo PGE2 biosynthesis, tissue IGF-I levels, and bone morphometry in chicks. **Journal of Bone and Mineral Research**, v.11, p.1321-1332, 1996.

WATKINS, B. A.; LI, Y.; ALLEN, K. G.; HOFFMANN, W. E.; SEIFERT, M. F. Dietary ratio of (n-6)/n-3 polyunsaturated fatty acids alters the fatty acid composition of bone compartment and biomarkers of bone formation in rats. **Journal of Nutrition**, v.130, p.2274-2284, 2000.

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, p.387-398, 2003.

WATKINS, B. A.; LIPPMAN, H. E.; LE BOUTEILLER, L.; LI, Y.; SEIFERT, D. M. F. Bioactive fatty acids: role in bone biology and bone cell function. **Progress in Lipid Research**, v.40, p.125-148, 2001

WEAVER, C. Calcium. In: BOWMAN, B. A.; RUSSEL, R. M. (Ed.). **Present knowledge in nutrition**. Washington: ILSI Press, 2001. p.273-280.

WEBSTER, A. B. Welfare implications of avian osteoporosis. **Poultry Science**, v.83, p.184-192, 2004.

WEILER, H. A.; FITZPATRICK-WONG, S. C. Modulation of essential (n6):(n3) fatty acid ratios alters fatty acid status but not bone mass in piglets. **Journal of Nutrition**, v.132 p.2667-2672, 2002.

WHITEHEAD, C. C. Overview of bone biology in the egg-laying hen. **Poultry Science**, v.83, p.193-199, 2004a.

WOHL, G. R.; LOEHRKE, L.; WATKINS, B. A.; ZERNICKE, R. F. Effects of high-fat diet on mature bone mineral content, structure, and mechanical properties. **Calcified Tissue International**, v.63, p.74-79, 1998.

XU, H.; WATKINS, B. A.; ADKISSON, H. D. Dietary lipids modify the fatty acid composition of cartilage, isolated chondrocytes and matrix vesicles. **Lipids**, v.29, p.919-625, 1994.

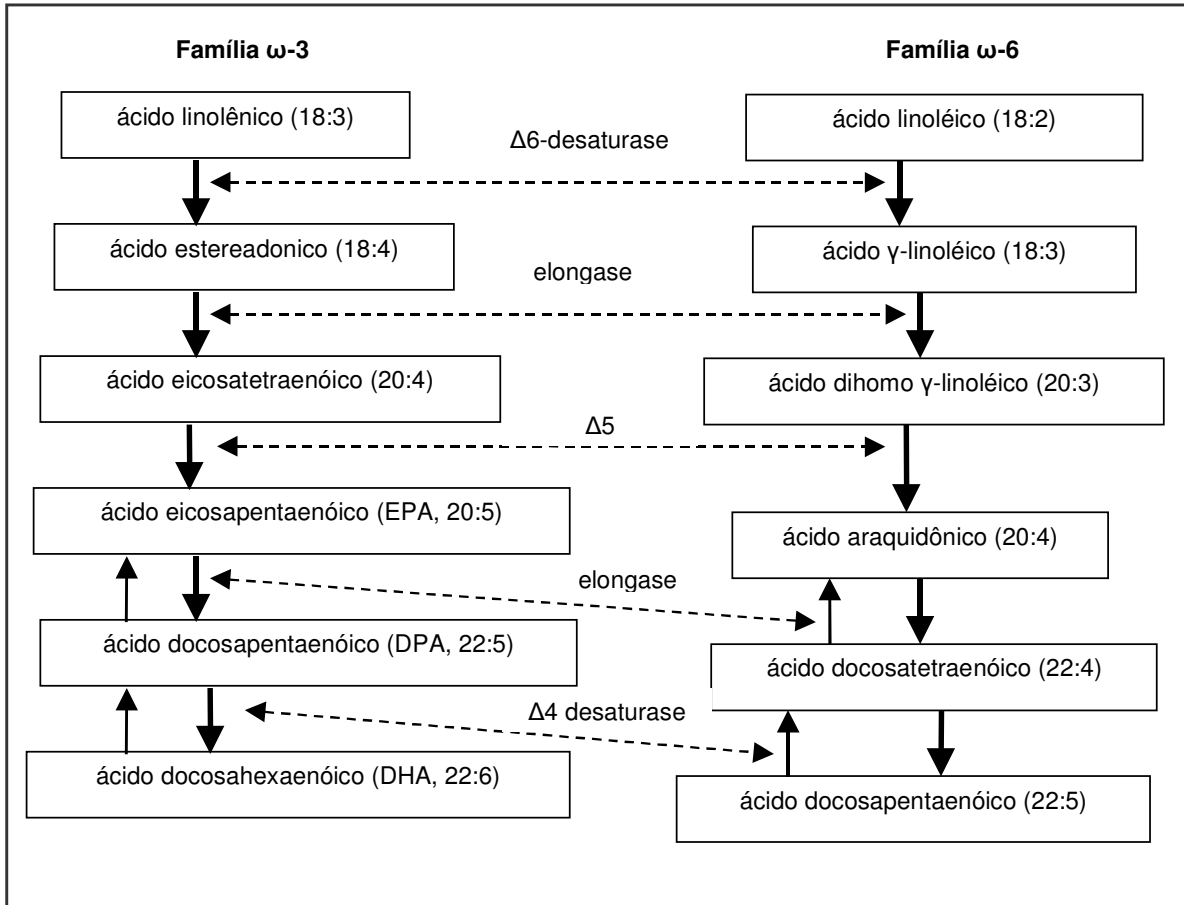


Fig. 1. Síntese e metabolismo das famílias de ácidos graxos poliinsaturados  $\omega$ -3 e  $\omega$ -6.

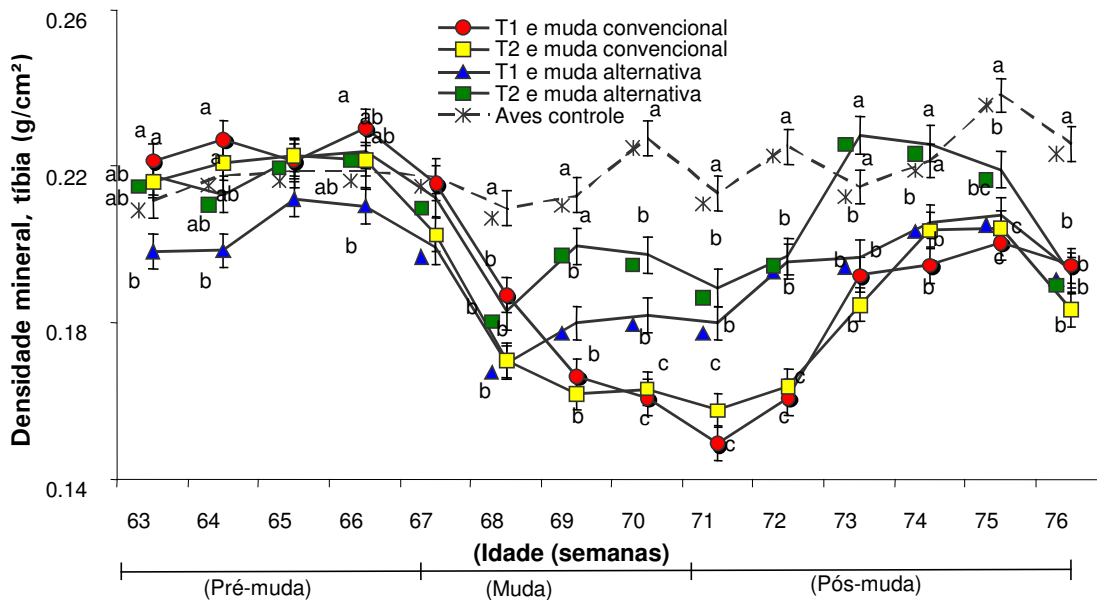
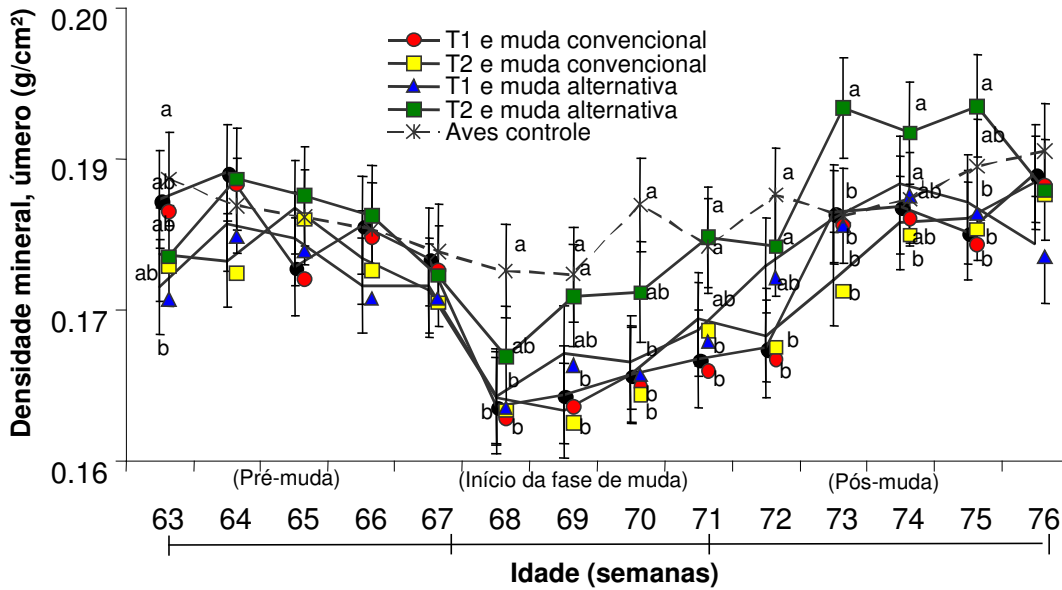
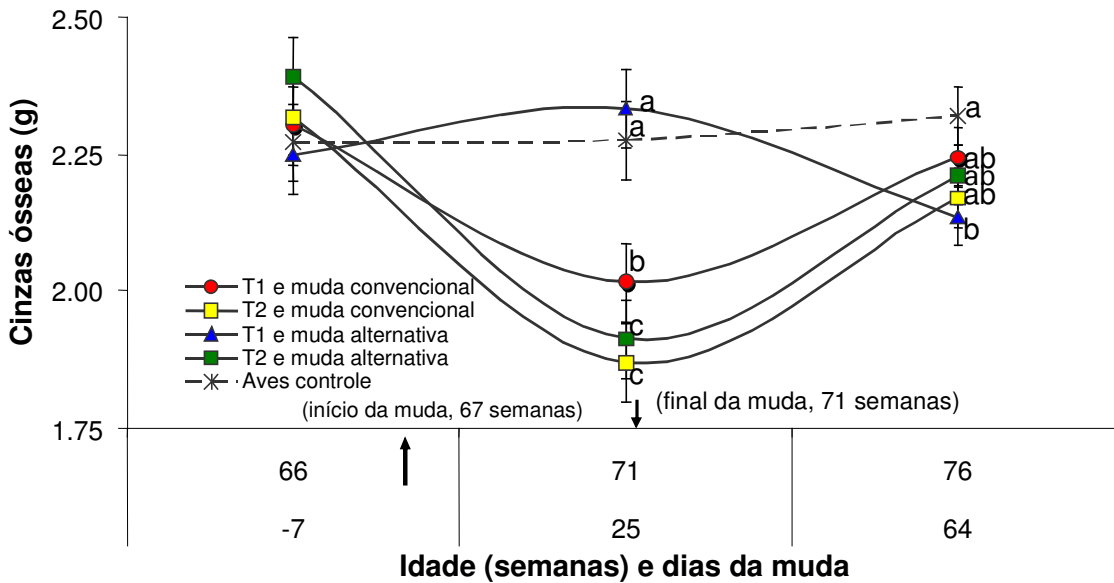


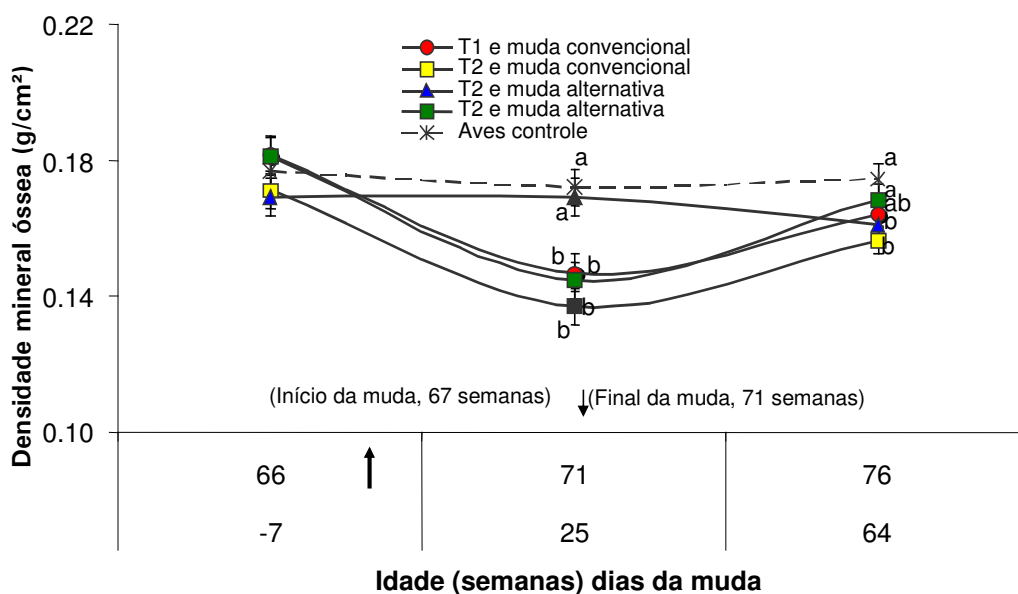
Fig. 2. Densidade mineral da tíbia ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) de poedeiras que receberam dietas enriquecidas com ácidos graxos poliinsaturados ômega-6 (T1) ou ômega-3 (T2) nas fases de pré e pós-muda e, submetidas à muda convencional (10 dias de jejum + 7 dias de consumo de milho moído + 10 dias de consumo de dieta pré-postura) e muda alternativa (consumo de uma dieta contendo subproduto do beneficiamento do trigo durante 27 dias) comparadas com aves controle (não submetidas à muda). Entre diferentes tratamentos e na mesma idade, médias com letras distintas são significativamente diferentes (Interação: tratamento x osso x idade,  $P \leq 0,0001$ ).



**Fig. 3.** Densidade mineral do úmero de poedeiras que receberam dietas enriquecidas com ácidos graxos poliinsaturados ômega-6 (T1) ou ômega-3 (T2) nas fases de pré e pós-muda e, submetidas à muda convencional (10 dias de jejum + 7 dias de consumo de milho moído + 10 dias de consumo de dieta pré-postura) e muda alternativa (consumo de uma dieta contendo subproduto do beneficiamento do trigo durante 27 dias) comparadas às aves “Controle” (não submetidas à muda). Entre diferentes tratamentos e na mesma idade, médias com letras distintas são significativamente diferentes (Interação: tratamento x osso x idade,  $P \leq 0,0001$ ).



**Fig. 4.** Cinzas ósseas (tíbia e úmero) oriundas de poedeiras sacrificadas para retirada dos ossos e que receberam dietas enriquecidas com ácidos graxos poliinsaturados ômega-6 (T1) ou ômega-3 (T2) nas fases de pré e pós-muda e, submetidas à muda convencional (10 dias de jejum + 7 dias de consumo de milho moído + 10 dias de consumo de dieta pré-postura) e muda alternativa (consumo de uma dieta contendo subproduto do beneficiamento do trigo durante 27 dias) comparadas às aves “Controle” (não submetidas à muda). Entre diferentes tratamentos e na mesma idade, médias com letras distintas são significativamente diferentes (Interação: tratamento x idade,  $P \leq 0,0001$ ).



**Fig. 5.** Dados de densidade mineral óssea (tíbia), oriundas de poedeiras sacrificadas para retirada dos ossos e que receberam dietas enriquecidas com ácidos graxos poliinsaturados ômega-6 (T1) ou ômega-3 (T2) nas fases de pré e pós-muda e, submetidas à muda convencional (10 dias de jejum + 7 dias de consumo de milho moído + 10 dias de consumo de dieta pré-postura) e muda alternativa (consumo de uma dieta contendo subproduto do beneficiamento do trigo durante 27 dias) comparadas às aves “Controle” (não submetidas à muda). Entre diferentes tratamentos e na mesma idade, médias com letras distintas são significativamente diferentes (Interação: tratamento x idade,  $P \leq 0,001$ ).

**Circular Técnica, 47**

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Suínos e Aves  
Endereço: Br 153, Km 110,  
Vila Tamanduá, Caixa postal 21,  
89700-000, Concórdia, SC  
Fone: 49 34410400  
Fax: 49 34428559  
E-mail: sac@cnpsa.embrapa.br

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento



1ª edição

1ª impressão: 2006

Tiragem: 1.000

**Comitê de Publicações**

**Presidente:** Claudio Bellaver  
**Membros:** Marisa T. Bertol, Cícero J. Monticelli,  
Gerson N. Scheuermann, Airton Kunz, Valéria M.  
N. Abreu.  
**Suplente:** Arlei Coldebella

**Revisores Técnicos**

Cícero J. Monticelli, Fátima R. F. Jaenisch,  
Gerson N. Scheuermann e Irene Z.P. Camera

**Expediente**

**Coordenação editorial:** Tânia M.B. Celant  
**Normalização bibliográfica:** Irene Z.P. Camera  
**Editoração eletrônica:** Vivian Fracasso  
**Fotos da Capa:** Paulo G. Abreu