

DENISE TORRES DA CRUZ REIS

**ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MECÂNICOS DE TÍBIAS DE  
FRANGOS DE CORTE**

Tese 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  
2005

DENISE TORRES DA CRUZ REIS

**ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MECÂNICOS DAS TÍBIAS DE  
FRANGOS DE CORTE**

Tese 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: 21 de fevereiro de 2005

---

Prof. Robledo de Almeida Torres  
(Conselheiro)

---

Prof. Ricardo Marius Della Lucia

---

Profª Tânia Toledo de Oliveira

---

Profª Ana Cláudia Peres Rodrigues

---

Prof. George Henrique Kling de Moraes  
(Orientador)

Dedico este trabalho aos meus pais,  
João e Rosalva, aos meus irmãos, Deise  
e João Filho, ao meu marido, Conrado.  
Por todo amor, confiança e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, pela oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação em Bioquímica Agrícola.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

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

Ao professor conselheiro Robledo de Almeida Torres, pelo apoio total dispensado à realização deste trabalho.

Aos professores Ricardo Della Lucia , Tânia Toledo de Oliveira, José Humberto de Queiroz, Luiz Cláudio de Almeida Barbosa, que gentilmente colocaram à disposição equipamentos necessários à realização dos ensaios de laboratório.

Às amigas do laboratório, Flávia Fanchiotti, Cibele Minafra, Marcela Monteiro, pelos bons momentos de convivência e amizade.

Ao amigo Anderson Barbosa pela amizade e colaboração nas diversas etapas da realização deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, especialmente ao Eduardo Monteiro, Sr. Geraldo Dias, Carlos Ferreira (Carlão) e Reginaldo Barbosa.

Ao funcionário Jefferson Dias, do Laboratório de Bioquímico Animal, pela colaboração na realização das análises de laboratório e pela amizade.

Aos alunos do curso de Zootecnia, André, Rafael, Rodrigo, Marcos e Aroldo, pelo apoio e colaboração nos trabalhos realizados na granja do Departamento de Zootecnia (DZO).

A todos os amigos, professores e funcionários com os quais tive oportunidade de conviver neste período e com os quais, sem dúvida, muito aprendi, especialmente sobre a arte de viver.

## **BIOGRAFIA**

Denise Torres da Cruz Reis, filha de João Cruz Reis e Rosalva Torres da Cruz Reis, nasceu em 29 de novembro de 1974 na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. Em março de 1992 iniciou o curso de graduação em Farmácia e Bioquímica, na Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas gerais, colando grau em setembro de 1997. Em agosto de 2003 iniciou o curso de mestrado em Bioquímica Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se a defesa de tese no dia 21 de fevereiro de 2005.

## ÍNDICE

RESUMO	iv
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Tecido ósseo	4
2.1.1. Composição	4
2.1.2. Minerais	8
2.1.3. Aspectos físicos	11
2.1.4. Aspectos biomecânicos	12
2.2. Problemas de pernas em frangos de corte	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. Animais, instalações e manejo geral	21
3.2. Delineamento experimental	23
3.3. Parâmetros avaliados	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1. Efeitos dos cruzamentos	29
4.1.1. Aspectos físicos e de composição	29
4.1.2. Aspectos mecânicos	44
4.2. Efeitos de sexo	52
4.2.1. Aspectos físicos e de composição	52
4.2.2. Aspectos mecânicos	61
5. CONCLUSÕES	67
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICE	73

## RESUMO

REIS, Denise Torres da Cruz, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2005. **Aspectos físicos, químicos e mecânicos de tíbias de frangos de corte.** Orientador; George Henrique Kling de Moraes. Conselheiros: Robledo de Almeida Torres e Maria Goreti de Oliveira Almeida.

Foi realizado um experimento com o objetivo de determinar aspectos físicos, químicos e mecânicos das tíbias de frangos de corte. Foram avaliados o peso vivo das aves e peso, comprimento, densidade, porosidade, teores de cinzas e minerais das tíbias. Também foram estudadas a área da seção transversal, momento de inércia, carga máxima na flexão, resistência à flexão, rigidez e tenacidade dos referidos ossos. Os dados foram coletados no período de 21 a 42 dias de idade. Foram utilizados 600 pintos de um dia de idade, machos e fêmeas, oriundos de três cruzamentos, dois da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e um comercial, alojados em boxes de piso de cimento cobertos com cepilho de maravalha. Todos receberam as mesmas rações, inicial (1 a 21 dias), crescimento (22 a 35 dias) e final (36 a 42 dias), calculadas para atender as exigências nutricionais das aves em cada período. Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 2 (três cruzamentos e os dois sexos), cinco repetições e 10 aves por unidade experimental (boxe). Semanalmente, aos 21, 28, 35 e 42 dias de idade, foram amostrados aleatoriamente um macho e uma fêmea por boxe, num total de 5 boxes por cruzamento, sendo que a cada idade os boxes amostrados não se repetiam. O cruzamento comercial apresentou taxa de crescimento superior aos cruzamentos da UFV, causando respostas adaptativas das tíbias, que alteraram, principalmente, aspectos relacionados à sua geometria. Apesar do maior peso das

aves, a resistência óssea do cruzamento comercial não foi superior à dos demais. Desta forma, a continuidade do processo de melhoramento para ganho de peso pode resultar no aumento da ocorrência de problemas estruturais. Um dos cruzamentos da UFV (C1), além de apresentar pior desempenho no crescimento, apresentou ossos menos densos e menos resistentes aos 42 dias de idade, o que pode aumentar o risco de deformações e fraturas e, em conjunto, o torna menos interessante economicamente. Entre os sexos, as fêmeas, por apresentarem taxa de crescimento inferior aos machos (dimorfismo sexual), tenderam a desenvolver ossos de melhor qualidade, ou seja, mais densos, mais rígidos e mais resistentes, o que explica, em parte, porque a incidência de deformidades ósseas é menor neste sexo.

## ABSTRACT

REIS, Denise Torres da Cruz, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2005.  
**Physical, chemical and mechanical aspects of broilers tibial bones.** Adviser:  
George Henrique Kling de Moraes. Committee members: Robledo de Almeida  
Torres and Maria Goretti de Oliveira Almeida.

An experiment was carried out focused in the physical, chemical and mechanical aspects of broilers tibial bones. The main variables involved were: body weight and tibial weight, length, density, porosity, ash and mineral content. Also, cross-sectional area, moment of inertia, maximum load, strength, stiffness and toughness in bending of the bones were studied. The experimental period comprised the broilers growing fase (21 to 42 days). Six hundred day-old broilers, male and female, from three different lines, one comercial and two developed at Federal University of Viçosa (UFV), were reared in wood shaving covered floor. They were fed the starter (1 to 21 days), grower (22 to 35 days) and finisher (36 to 42 days) diets, designed to satisfy their nutritional requirements in each phase. The experiment design was completely randomized, in a factorial arrangement of treatments (three lines and two sexes) with 5 replicates and 10 birds per experimental unit. The comercial line grew at a faster rate than the UFV lines, resulting in bones adaptations by altering their morphological aspects. Although they had higher weights, their bones were not stronger than those from the other lines. Then, the ongoing process of selecting this line for body weight gain may result in a increasing occurrence of leg abnormalities and structural problems. One of the UFV lines presented the lowest growth performance, also developing less dense and less strong bones, rising the risk of deformities and fracture occurrence. Thus, with these features, this line seems to be of little comercial

interest. Considering sexual differences, as the females grew at lower rates (sexual dimorphism), they tended to develop bones with better quality, which means denser, stiffer and stronger. These aspects, partially explain why females are less susceptible to bone deformities than males.

## 1. INTRODUÇÃO

A expansão da indústria avícola e o aumento da eficiência de produção nas últimas três décadas são, em grande parte, resultado de programas de melhoramento genético. Neste período, através das práticas de seleção, os frangos de corte tiveram sua taxa de crescimento triplicada, aumentaram o rendimento de carcaça, melhoraram a conversão e se tornaram mais eficientes (Figueiredo e Schimidit, 2004).

Entretanto, programas de seleção focados, principalmente, na taxa de crescimento e ganho de peso, têm sido responsáveis pelo aumento da ocorrência de problemas cardiorespiratórios e músculo-esqueléticos, como a morte súbita e os problemas de pernas (Julian, 1998). Acredita-se que a seleção e as práticas de manejo, que enfatizam o crescimento, comprometem a maturação, a resistência e a qualidade do osso, resultando no aumento do risco de fraturas e no surgimento dos problemas de pernas (Rath et al, 1999).

Tais problemas, comprometem a eficiência final da produção, pois contribuem para um aumento de mortalidade, baixa de produtividade, aumento das condenações de carcaça e aumento de ocorrências de fraturas durante transporte e processamento das aves (Emmerson et al, 1991). Na Grã-Bretanha, como decorrência dos problemas de pernas, 19,5% de seis milhões de carcaças foram condenadas (Yogarathnam, 1995). Nos Estados Unidos, a

fraqueza óssea afeta 20% das aves, sendo 11% afetada pela a discondroplasia tibial. Com uma produção anual de 8 a 9 bilhões de aves nos EUA, as perdas causadas por estes problemas somam centenas de milhões de dólares devido à mortalidade e condenações de carcaça. No Brasil, as perdas foram estimadas em 12 milhões de quilos de carne anualmente nos abatedouros (Freitas e Nunes, 2001).

Embora haja uma forte correlação entre problemas de pernas e taxa de crescimento, experimentos têm demonstrado que a seleção genética contra algumas dessas desordens, como a discondroplasia tibial, é possível (Kestin et al, 1999). Além disso, outros fatores que não os genéticos, como altos níveis de proteínas na dieta, criação em sistemas de alta densidade e baixa exposição à luz, também parecem favorecer a ocorrência de problemas de pernas (Rath et al, 2000).

As alterações na composição do osso, bem como na forma como seus constituintes se organizam no espaço (geometria do osso), como decorrência dos diferentes fatores citados, refletem nas propriedades mecânicas do osso, podendo comprometer a rigidez, a resistência e torná-lo mais vulnerável a ocorrência de deformidades e de fraturas (Currey, 2003b). A correlação entre parâmetros bioquímicos e mecânicos tem sido o foco de pesquisas com a finalidade de caracterizar a robustez do esqueleto das aves, relacionando-a a diferentes fatores como dieta, manejo e genética. A robustez já vem sendo mensurada para auxiliar na identificação e eliminação de linhagens com potencial para apresentarem problemas de pernas, de maneira que somente as aves mais resistentes permanecem nos programa de seleção e podem deixar descendentes (Avicultura Industrial, 2003).

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar aspectos físicos, mecânicos e químicos das tíbias de frangos de corte de diferentes cruzamentos e sexo, no período de 21 a 42 dias, submetidos a um mesmo tratamento nutricional.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Tecido ósseo**

#### **2.1.1. Composição:**

O osso é um tecido multifuncional, metabolicamente ativo, constituído de diversos elementos celulares imersos em uma matriz orgânica mineralizada. Provê suporte mecânico ao corpo e é responsável pela sustentação da musculatura. Além disso, o tecido esquelético protege órgãos vitais e serve de reserva metabólica de cálcio e fósforo ao organismo, os quais podem ser mobilizados durante distúrbios da homeostase (Macari et al, 2002).

A população heterogênea de células que incluem condrócitos, osteoblastos, osteócitos, células endoteliais e células hematopoiéticas, entre outras, produzem uma variedade de reguladores biológicos que controlam o metabolismo ósseo local. Diversos hormônios calciotrópicos sistêmicos, como hormônio da paratireóide (PTH), estrógeno, 1,25(OH)<sub>2</sub> colecalciferol (vitamina D<sub>3</sub>), além de diversos fatores autócrinos e parácrinos, incluindo prostaglandinas (PGs), citocinas, e fatores de crescimento, atuam em conjunto regulando as atividades celulares de modelamento do osso que garantem o crescimento dos

ossos, dando forma, aumentando o comprimento e o diâmetro (Seifert e Watkins, 1997).

O processo de crescimento do osso inclui atividades de formação e mineralização da matriz e reabsorção óssea. A matriz é produzida e mineralizada através da atividade dos osteoblastos, células mononucleadas derivadas das células mesenquimais, que sintetizam e secretam ativamente matriz orgânica, além de manterem uma alta atividade de fosfatase alcalina e produzirem diversos fatores reguladores como PGs e fatores de crescimento. A reabsorção é atividade dos osteoclastos, que durante este processo produzem e liberam enzimas lisossomais, prótons de hidrogênio e radicais livres, garantindo a dissolução do mineral e degradação da matriz orgânica. Do balanço entre as atividades dos osteoblastos e osteoclastos resulta uma arquitetura óssea capaz de promover o suporte mecânico e manter níveis séricos normais de cálcio e fósforo do organismo (Seifert e Watkins, 1997).

Os ossos longos das aves, assim como de mamíferos, são compostos de osso cortical compacto revestindo o osso esponjoso e a medula óssea. O osso esponjoso é normalmente encontrado no interior das epífises de ossos longos e possui grandes espaços medulares, rodeados por finas placas ósseas chamadas trabéculas, constituídas de inúmeras lamelas. O osso compacto é mais denso do que o osso esponjoso, com menos vazios, e sua organização lamelar é mais ordenada e desenvolvida (Gartner e Hiatt, 2002). Comparado ao osso cortical, o osso esponjoso é mais poroso, menos calcificado e encontra-se em processo contínuo de remodelamento, exercendo principalmente funções metabólicas. Por outro lado, o osso cortical exerce principalmente funções mecânicas e de proteção (Seifert e Watkins, 1997).

A dureza do osso, que o diferencia de outros tecidos conjuntivos, é função da sua composição, sendo composto aproximadamente por 70% de minerais, 20% de matriz orgânica e cerca de 10% de água (Rath et al, 2000). A matriz mineral ou inorgânica é formada predominantemente por cálcio (Ca) e fósforo (P) na forma de cristais de hidróxiapatita,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , 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 hidróxiapatita, que compõe 80% da fase mineral, outros minerais também são encontrados, como o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), 13% e o fosfato de magnésio ( $\text{Mg}(\text{PO}_4)_2$ ), 2% (Field, 2000).

Em qualquer estágio de desenvolvimento, o mineral ósseo não é uma substância pura. Numerosas substituições e deleções na estrutura do cristal mantêm a sua reatividade química permitindo que o osso funcione como reserva mineral (Williamns et al, 2000 a). Além disso, variações quanto aos teores de elementos minerais entre os ossos são responsáveis pelas diferenças observadas nas propriedades mecânicas, principalmente rigidez. Ossos com maior teor de elementos minerais geralmente são mais rígidos, deformando-se menos quando submetidos a ensaios mecânicos ( Currey, 2003b e Rath, 2000).

O colágeno tipo I é o maior constituinte da fase orgânica, representando cerca de 80 a 90% desta, e contribui para resistência à tração do osso, além de servir de suporte orientado para a deposição da matriz mineral (Rath, et al, 2000 ). O colágeno é uma proteína fibrosa, formada por uma hélice tripla de cadeias  $\alpha$ , que variam de 600 a 3000 aminoácidos. As cadeias contêm repetições da sequência de aminoácidos Gly-X-Y, onde X e Y

podem ser qualquer aminoácido, embora freqüentemente X seja prolina e Y hidróxiprolina. Após serem sintetizadas, as cadeias são extensivamente modificadas por enzimas dentro das células. Uma importante modificação é a adição dos grupos hidroxila (OH) aos aminoácidos prolina e lisina, pois participam da formação de ligações cruzadas na molécula. As moléculas de colágeno são então secretadas da célula para o meio extracelular e se alinham formando uma rede de fibras 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 modulação das propriedades de resistência à tração conferida ao osso pelo colágeno (Velleman, 2000).

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 (Wang et al, 2001 e Currey, 2003a). Inúmeros exemplos de mutações simples, envolvendo uma única base de genes de colágeno, parecem afetar a conformação da hélice tripla e das fibras de colágeno, resultando em profundos efeitos sobre os ossos dos indivíduos afetados, como por exemplo, *osteogenesis imperfecta*. Além disso, novas teorias sugerem que certas ligações cruzadas covalentes intracolágeno sejam sacrificadas para a liberação de energia quando o osso é submetido ao *stress* mecânico (Young, 2003).

Além do colágeno, os outros 10 a 15% da fase orgânica são formados por proteoglicanos, lipídeos e proteínas não colagenosas. As proteínas não colagenosas contribuem para uma variedade de funções que incluem estabilização da matriz, calcificação e outras atividades metabólicas (Rath et al, 2000). Várias destas proteínas não colagenosas são proteínas plasmáticas que foram seqüestradas pela fase mineralizada e outras são proteínas próprias do osso, sintetizadas por células ósseas. As mais abundantes proteínas não colagenosas componentes do osso são a osteonectina e a proteína-Gla, também denominada de osteocalcina. A osteocalcina é uma proteína específica do osso e representa 10 a 20% do total das proteínas não colagenosas. Ela contém três resíduos de  $\gamma$ -carbóxi glutamato que são formados pós-tradução através de uma reação de carboxilação dependente de vitamina K. É sintetizada exclusivamente pelos osteoblastos e se liga tanto a hidróxiapatita quanto ao cálcio. A osteonectina é uma glicoproteína fosforilada e representa 23% das proteínas não colagenosas. Apresenta alta afinidade pelo cálcio, hidróxiapatita e colágeno tipo I (Raif e Harmand, 1993).

A osteocalcina parece estar envolvida no controle do processo de mineralização do osso, prevenindo a mineralização excessiva (Young, 2003) e a osteonectina parece atuar como regulador negativo do crescimento do cristal (Roach, 1994).

### **2.1.2. Minerais**

O cálcio, mineral mais abundante no organismo da ave, encontra-se localizado principalmente no osso (90%), que funciona como um grande

reservatório de cálcio. A fração restante encontra-se no fluido extracelular e nas células, onde desempenha importantes funções fisiológicas (Macari, 2002).

O cálcio plasmático existe em três formas: ligado à proteínas, complexado com ácidos orgânicos ou ionizado. Em sua forma ionizada, o cálcio participa da regulação da permeabilidade das membranas plasmáticas, da excitabilidade neuromuscular, do processo de coagulação sanguínea, da liberação de hormônios, da ativação e regulação alostérica de enzimas, da transmissão de impulsos nervosos e da contração muscular. Sua absorção ocorre no intestino delgado e sua concentração plasmática é mantida pela ação de hormônios que controlam sua absorção, excreção e o metabolismo ósseo, sendo eles o hormônio da paratireóide (PTH), 1,25-dihidróxicolecalciferol (vitamina D<sub>3</sub>) e calcitonina (Henry, 1995).

A homeostase de cálcio é fundamental para manutenção da resistência óssea. Baixos níveis de cálcio estimulam a secreção de PTH e síntese de vitamina D, que estimulam a reabsorção óssea. Portanto, níveis adequados de cálcio tornam-se necessários para diminuir o *turnover* ósseo (Rath et al, 2000).

O cálcio é também o maior componente das cinzas dos ossos. Embora a porcentagem de cinzas varie com a idade, o teor de cálcio nas cinzas se mantém relativamente constante, variando pouco entre espécies e localização anatômica dos ossos (Field, 2000).

O fósforo também participa da composição da matriz inorgânica do osso juntamente com o cálcio formando hidróxiapatita. Além disso, participa da composição de fosfolípidios da membrana celular, dos ácidos nucleicos, da formação de metabólitos fosforilados durante os processos degradativos, do

transporte de energia e da regulação da atividade de várias enzimas (Henry, 1995). A absorção do fósforo ocorre no intestino delgado, principalmente no duodeno e a relação cálcio e fósforo da dieta parece ter influência na absorção deste mineral. Seus níveis sanguíneos, assim como os do cálcio, são controlados pelo PTH, vitamina D e calcitonina (Macari, 2002).

A insuficiente suplementação destes dois elementos minerais, cálcio e fósforo, reduzem a taxa de crescimento da ave e a mineralização óssea e o excesso de cálcio, de maneira semelhante, induz a uma moderada redução do crescimento e redução do teor de cinzas nos ossos (Bar et al, 2003). De acordo com Field (2000), embora o teor de cinzas diminua com dietas deficientes em cálcio ou fósforo, a porcentagem de cálcio nas cinzas se mantém constante em aproximadamente 37% (Field, 2000). Tem sido sugerido que variações na relação cálcio e fósforo (Ca:P) no osso podem resultar em alterações na estrutura do cristal mineral produzindo ossos mais susceptíveis a fraturas (Thorp e Waddington, 1997). Entretanto, Williamns et al (2000b) demonstraram que apesar de variações na relação Ca:P, a carga de ruptura dos ossos não foi afetada e sugerem que a geometria do osso e a proporção de colágeno e mineral seriam mais importantes para resistência do que a forma exata do cristal.

O magnésio, quarto cátion mais abundante no corpo, é essencial para muitos processos físico-químicos. Atua como ativador de várias enzimas (fosfatases, carboxilases, hexoquinase, etc) sendo também essencial à preservação da estrutura macromolecular do DNA, RNA e ribossomos. Cerca de 50% do magnésio no organismo está presente nos ossos e os outros 50% em tecidos moles. Aproximadamente 99% do magnésio total do organismo é

intracelular, com apenas 1% no espaço extracelular. Um terço do magnésio plasmático está ligado à proteínas, especialmente a albumina. O restante existe na forma ionizada ou complexada com íons filtráveis (oxalato, fosfato, citrato) estando disponível para filtração glomerular (Henry, 1995).

O magnésio extracelular é mantido em equilíbrio com o magnésio dos ossos, rins, intestino e outros tecidos. Os principais fatores controladores da homeostase do magnésio são a absorção gastrointestinal e a excreção renal. Diferentemente de outros íons, a excreção urinária de magnésio não sofre modulação hormonal e o osso, a principal reserva de magnésio, não entra em equilíbrio imediato com o magnésio do fluido extracelular. Em função desta dificuldade em mobilizar reservas de magnésio, em estados de balanço negativo deste íon as perdas acontecem inicialmente no fluido extracelular e os estoques do tecido ósseo só começam a ser mobilizados após várias semanas.

### **2.1.3. Aspectos físicos**

A habilidade do tecido ósseo de exercer eficientemente sua função estrutural depende essencialmente do proporcionamento entre seus constituintes principais (mineral, colágeno e água), da qualidade destes constituintes e da forma como eles se organizam no espaço (Currey, 2003a). Ou seja, assim como qualquer outro material, natural ou produzido pelo homem, o potencial estrutural de um componente ósseo depende de sua composição e geometria.

Nas aves de corte, a forma com que o esqueleto se adapta às altas taxas de crescimento é fazendo com que os ossos aumentem de dimensões (comprimento e área da seção transversal) mais rapidamente. Entretanto, o

crescimento acelerado dos ossos não permite que ocorra uma mineralização adequada, sendo que esses ossos mais imaturos apresentam maior porosidade e conseqüentemente menor densidade (Williams et al, 2000a e 2004; Yalçin et al, 1998), acarretando em menor resistência mecânica e maior propensão à fraturas (Currey, 1999).

A estreita relação entre o desenvolvimento do esqueleto e a taxa de crescimento das aves de corte foi observada em experimento onde uma dieta de baixa energia foi empregada, reduzindo a taxa de crescimento (Leterrier et al, 1998). Nas aves que ganharam menos peso (cresceram mais lentamente), as tíbias apresentaram menor comprimento e menor área da seção transversal quando comparadas às aves de mesma origem genética cuja dieta mais energética produziu uma taxa de crescimento superior.

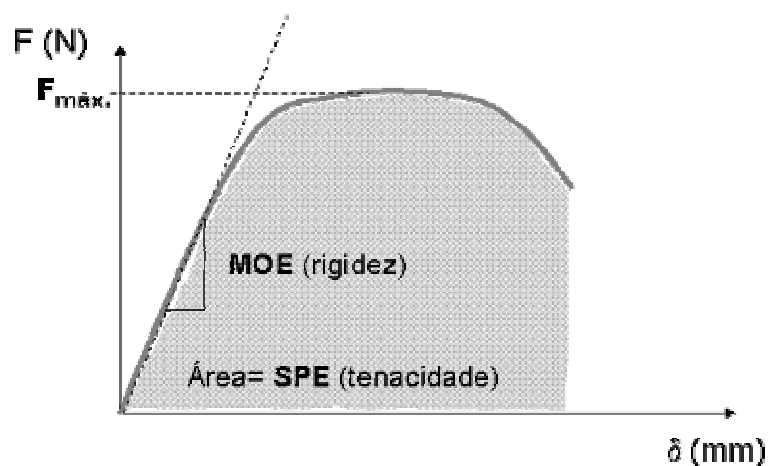
A diferença da taxa de crescimento entre machos e fêmeas, normalmente atribuída ao dimorfismo sexual, também permite observar os efeitos do crescimento sobre os aspectos ligados à geometria do osso. As fêmeas, que de um modo geral crescem menos, apresentam ossos menores, com menor volume e área da seção transversal (Rose et al,1996, Yalçin et al, 2001).

#### **2.1.4. Aspectos biomecânicos**

A capacidade de suporte de um componente ósseo pode ser traduzida em termos de suas propriedades mecânicas, ou biomecânicas, obtidas a partir de ensaios onde o osso passa a ser avaliado sob a ótica da engenharia. Uma vasta gama de propriedades podem ser determinadas a partir de diferentes ensaios mecânicos. Dentre os ensaios básicos, podem ser citados os de

tração, compressão e flexão (Turner e Burr, 1993). No caso dos componentes ósseos de forma predominantemente cilíndrica, como as tíbias consideradas deste estudo, as curvaturas variáveis usualmente observadas ao longo da diáfise representam dificuldades práticas para a realização de testes de tração e compressão, com a força sendo aplicada na direção longitudinal dos componentes. Em consequência, as propriedades mecânicas de ossos longos têm sido determinadas principalmente a partir de testes de flexão, cujos procedimentos são padronizados pela Sociedade Americana de Engenharia Agrícola (ANSI/ASAE S459-98).

Em um ensaio de flexão, o arranjo mais comum ocorre com o elemento sendo disposto sobre dois apoios extremos e a carga (ou força,  $F$ ) aplicada a uma distância média entre eles. Sob este carregamento, o componente sofre deflexão, que para um mesmo nível de carga é tanto maior quanto maior a distância entre os apoios adotada. Sendo a força aplicada de forma contínua, o comportamento do componente em teste é descrito por uma série de pares de pontos, força ( $F$ ) vs. deflexão ( $\delta$ ). Juntos, estes pontos compõem uma curva de carregamento (Figura 1), a partir da qual são determinadas as propriedades mecânicas.



**Figura 1** – Curva força versus deflexão

Segundo Turner e Burr (1993) esta curva pode ser dividida em duas regiões (ou fases): a região de deformação elástica e a região de deformação plástica. Na fase elástica, a deformação do osso aumenta linearmente com o aumento da carga e, após a retirada desta, o osso tem a capacidade de retornar à sua forma original. A inclinação da fase elástica representa a rigidez intrínseca do componente (ou elemento), caracterizada pelo módulo de elasticidade (MOE), que define a deformabilidade do material ao carregamento. Ultrapassada a carga limite da fase linear (limite de proporcionalidade), parte das deformações passam a ser permanentes, característica da deformação plástica. Nesta fase do carregamento, o osso, apesar de irreversivelmente alterado, pode continuar absorvendo energia e se deformar até que a fratura definitiva ocorra.

A comparação de resultados com trabalhos da literatura acerca do comportamento mecânico de ossos de frangos de corte é expressivamente dificultado pelo fato de diferentes autores expressarem de formas distintas os parâmetros de resistência do material. A falta de padronização e rigor no relato do comportamento mecânico chega a impossibilitar análises comparativas. Assim, as propriedades mecânicas empregadas na caracterização das tíbias de frangos de corte deste estudo passam a ser detalhadas.

A força máxima suportada por um material não representa, por si só, sua resistência, mas é resultado tanto da composição quanto da geometria específica do componente testado. A determinação da resistência intrínseca de um material leva em consideração tanto a força máxima suportada por um componente composto por este material, quanto a geometria deste

componente, bem como o arranjo adotado no teste mecânico. A maneira como a forma de um componente 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, componentes de um mesmo material cujas seções transversais possuem mesma área, mas com formas distintas, apresentarão valores diferentes de carga de ruptura, sendo as diferenças expressas pelos momentos de inércia dos componentes (Turner e Burr, 1993).

A medida da área sob a curva (incluindo região elástica e plástica) é uma medida da quantidade de energia necessária para causar a fratura do osso e é denominada de tenacidade na flexão (SPE). Essa propriedade é muito importante em biomecânica porque um osso mais tenaz pode ser mais resistente à fratura mesmo que a carga máxima que ele resista seja menor (Turner e Burr, 1993). Tem sido demonstrado que o colágeno é o constituinte que contribui com a tenacidade do tecido ósseo. Wang et al (2001) demonstraram que a desnaturação do colágeno por calor resultou em diminuição da tenacidade na flexão e da resistência sem alterar o módulo de elasticidade. Currey (2003a), de maneira semelhante, observou que a irradiação das moléculas de colágeno resultava em diminuição da resistência, deixava o osso mais frágil, porém não afetava o módulo de elasticidade. Demonstrou também que quanto maior o teor de elementos minerais, maior o módulo de elasticidade, ou seja, maior a rigidez do osso. Porém, observou que o aumento da rigidez torna o osso mais frágil, mais susceptível à pequenas trincas. Sugere portanto, que a tenacidade do osso seja determinada pelo colágeno e a rigidez pelo mineral (Currey, 2003a). Sugere ainda que o

conteúdo mineral seja o principal determinante das diferenças observadas nas propriedades mecânicas entre os ossos e que tais diferenças sirvam para otimizar o equilíbrio entre rigidez e tenacidade-flexibilidade destes ossos (Currey, 2003b).

A importância das dimensões e da geometria dos ossos na determinação das propriedades mecânicas foi demonstrada por Crenshaw et al (1981), em um experimento com suínos. Embora os machos apresentassem um momento de inércia superior ao das fêmeas, quando a força aplicada nos testes mecânicos foi expressa por unidade de área do osso, os machos apresentaram ossos menos resistentes que os das fêmeas. Ou seja, a propriedade de resistência intrínseca dos ossos dos machos foi inferior e estes compensaram esta deficiência alterando a geometria dos ossos aumentando a área da seção transversal.

## **2.2. Problemas de pernas em frangos de corte**

As anormalidades do sistema locomotor têm sido observadas desde o início da produção confinada das aves. Em 1871 já se discutia dedos recurvos, pernas inchadas, reumatismo e fraturas ósseas (Freitas e Nunes, 2001). Atualmente os problemas de pernas causam enormes prejuízos ao setor avícola, com perdas estimadas em 120 milhões de dólares por ano nos Estados Unidos (Cook, 2000), sendo atribuídos a fatores diversos que incluem o crescimento rápido, as deficiências nutricionais, toxinas, predisposição genética, infecções e impropriedade de manejo (Freitas e Nunes, 2001).

De um modo geral, as aves que são acometidas por estes problemas apresentam dificuldade de locomoção, sentem dor, desconforto físico e sofrem de restrições de comportamento. Foi demonstrado através de experimentos que essas aves tiveram sua taxa de crescimento reduzida (Yalçin et al, 1998) e que seu comportamento e estratégia de alimentação foram dramaticamente modificados. Elas permanecem a maior parte do tempo deitadas e o número de vezes com que se alimentam é reduzido praticamente pela metade com o agravamento do problema (Weeks et al, 2000). Por estas razões, essas aves se tornam menos capazes de competir por ração e água e acabam sofrendo de má nutrição, desidratação, injúrias, muitas vezes chegando a morrer (Kestin et al, 1992). Desta forma, os problemas de pernas, além de causarem deformidades ósseas e aumentarem o risco de fraturas e infecções, diminuem o desempenho no crescimento e aumentam a mortalidade e as condenações de carcaça (Rath et al, 1999).

Segundo Lilburn (1994) há uma categoria mais geral de problemas de pernas. Consiste de problemas estruturais que causam torção de ossos longos, deformações angulares e discondroplasia tibial. São mais comumente observados durante a metade final do período de crescimento e são provavelmente função do aumento de ganho de peso e do desenvolvimento desproporcional do músculo do peito, criando um desequilíbrio esquelético-biomecânico.

Outros estudos também atribuem às mudanças no crescimento e desenvolvimento da carcaça, o aumento da incidência dos problemas de pernas. Foi observado que a seleção para ganho de peso resultou em aumento proporcional de músculo de peito, não acompanhado de desenvolvimento

relativo dos músculos e ossos das pernas (Emmerson et al, 1991); sendo sugerido que essa desproporção no crescimento torna-se incompatível com a habilidade normal de locomoção (Nestor et al, 1985).

De acordo com Julian (1998), os problemas de pernas apresentam maior relação com a imaturidade do sistema ósseo e com o peso do que com o próprio crescimento rápido. Foi demonstrado que o osso demora mais tempo para atingir a maturidade, isto é, seu máximo potencial físico e mecânico, do que gasta para crescer (Rath et al, 2000). Ou seja, o desenvolvimento e a maturidade do osso não acompanham a taxa de crescimento, resultando em excesso de carga (peso) sobre ossos imaturos, predispondo a deformidade e fragilidade dos mesmos.

Foi demonstrado que há uma correlação genética positiva entre o peso vivo das aves e os problemas de pernas (Mercer e Hill, 1984), e também, que é possível reduzir alguns dos problemas, como a discondroplasia tibial, através de práticas de seleção genética. Entretanto, é necessário ter cautela, uma vez que o uso destas medidas pode resultar também na redução do peso vivo das aves (Kestin et al, 1999).

Aspectos ligados à nutrição das aves também têm sido bastante discutidos como fator importante no surgimento dos problemas de pernas, uma vez que um grande número de nutrientes exerce papel fundamental no metabolismo e manutenção do tecido ósseo. Um balanço nutricional inadequado, deficiente de vitamina D, piridoxina, cálcio, fósforo, manganês, entre outros, pode contribuir para a incidência das desordens ósseas. A exigência nutricional das aves muda com a idade e pode variar com o potencial de crescimento de cada linhagem (Williams, 2000a). Além disso, devido às

diferenças em prioridades de desenvolvimento dos tecidos nervoso, reprodutivo, esquelético, muscular e adiposo (listados em ordem de prioridade), o nível de nutrição não apenas influencia o desenvolvimento dos vários tecidos do corpo, mas também causa maior variabilidade no desenvolvimento de alguns tecidos do que de outros (Figueiredo e Schmidt, 2004). Foi demonstrado que os níveis de cálcio e fósforo necessários para formação de ossos mais resistentes se mostraram maiores que os exigidos para a obtenção de melhores respostas biológicas, como ganho de peso (Bar et al, 2003; Sá et al, 2004). A suplementação da dieta com 1,25 dihidróxicolecalciferol demonstrou ser eficiente na redução da incidência de discondroplasia tibial (Edwards Jr, 2000) e a deficiência de piridoxina demonstrou afetar as propriedades mecânicas do osso, aumentando o risco de fraturas (Masse´et al, 1996).

O sexo também é um fator importante na predisposição ao desenvolvimento de problemas ósseos. Fêmeas normalmente são menos susceptíveis ao desenvolvimento de deformidades ósseas do que os machos. Um estudo demonstrou que a ocorrência de valgus-varus nas fêmeas (8,85%) foi significativamente menor que nos machos (19,9%) (Rose et al, 1996). Yalçın et al (1998) também observaram que a porcentagem de aves que não apresentaram problemas em se locomoverem era maior em fêmeas (85,3%) do que em machos (56,4%). Evidenciaram ainda diferenças entre os sexos quanto às características morfológicas e composição das tíbias, tendo atribuído tais diferenças ao dimorfismo sexual (Yalçın et al, 2001).

Entre outros fatores que também comprometem a qualidade da formação do osso e contribuem para o aumento da ocorrência dos problemas

de pernas, pode-se citar a exposição inadequada à luz ultravioleta, envolvida na ativação da vitamina D, essencial ao metabolismo normal do osso, e sistemas de criação em alta densidade, que restringem o movimento e exercício das aves, essenciais para manutenção da integridade e resistência óssea. Foi demonstrado que a falta de atividade física resulta em diminuição da massa óssea e da área cortical, além da perda da curvatura longitudinal normal da tíbia, que confere ao osso a capacidade de resistir a maior carga sem que haja uma deformação excessiva (Biewener e Bertram, 1994).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. Animais, instalações e manejo geral**

O experimento foi realizado na Granja de Melhoramento de Aves do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e compreendeu o período de 21 a 42 dias de idade das aves, correspondendo à metade final do crescimento. Foram utilizados 600 pintos de um dia de idade, machos e fêmeas, provenientes de dois híbridos da UFV (C1 e C2) e de uma marca comercial (C3). Todos os animais foram identificados, vacinados contra Bouda Aviária e Marek, separados por cruzamento, 200 pintos por grupo genético, e distribuídos ao acaso em 60 boxes (20 boxes / cruzamento), cada boxe contendo 10 pintos, entre machos e fêmeas. Semanalmente, aos 21, 28, 35 e 42 dias de idade, foram amostrados aleatoriamente um macho e uma fêmea por boxe, num total de 5 boxes por cruzamento, sendo que a cada idade os boxes amostrados não se repetiam.

Os boxes utilizados possuem dimensões de 1,25 x 1,80 m, com piso de cimento e cobertos com cepilho de maravalha, contidos num galpão de alvenaria com pé direito de 3,0 metros de altura e coberto com telhas de

cimento amianto. O galpão possui lanternim e laterais com muretas dotadas de cortinas plásticas para controle da temperatura e de correntes de ar.

Durante o experimento foi adotado o programa de luz contínuo, com 24 horas de luz (natural + artificial), utilizando-se lâmpadas de 60 W. Todas as aves receberam o mesmo tratamento, sendo fornecidos água e ração à vontade. Foi utilizado um esquema nutricional composto por três rações: ração inicial (1 a 21 dias), crescimento (22 a 35 dias) e final (36 a 42 dias), utilizadas pelo programa de melhoramento genético de aves do Departamento de Zootecnia da UFV e calculadas para atender as exigências nutricionais segundo Rostagno (2000), tabela 1.

**Tabela 1-** Composição percentual das rações experimentais

<b>Ingredientes (%)</b>	<b>Inicial (1 a 21 dias)</b>	<b>Crescimento (22 a 35 dias)</b>	<b>Final (36 a 42 dias)</b>
Farelo de soja	38,9	33,6	28,31
Milho	53,48	59,07	65,24
Óleo de soja	3,10	3,6	3,10
Fosfato bicálcico	2,64	1,88	1,8
Calcário calcítico	0,83	0,89	0,84
DL-Metionina (99%)	0,24	0,21	0,14
L-Lisina	0,10	0,08	-
Sal comum	0,39	0,39	0,39
Cloreto de colina 60%	0,10	0,06	0,03
Mistura vitamínica <sup>1</sup>	0,10	0,10	0,10
Mistura mineral <sup>2</sup>	0,05	0,05	0,05
Salomicina sódica 12%	0,06	0,05	-
Hidróxi Butil - Tolueno	0,01	0,01	0,01
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
<b>Composição calculada</b>	<b>Inicial (1 a 21 dias)</b>	<b>Crescimento (22 a 35 dias)</b>	<b>Final (36 a 42 dias)</b>
Energia metabolizável (Kcal/g)	2960	3066	3125
Proteína Bruta (%)	22,30	20,37	18,48
Cálcio (%)	1,111	0,93	0,881
Fósforo disponível (%)	0,604	0,458	0,439
Lisina (%)	1,324	1,167	0,967
Metionina (%)	0,5822	0,529	0,434

<sup>1</sup> 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 – 2,0g; vitamina B6 – 4,0g; ac. Pantotênico – 12,0g; biotina – 0,10g; vitamina K3 – 3,0g; ácido fólico – 1,0g; ácido nicotínico – 50,0g; vitamina B12 – 15.000mcg; selênio – 0,25g e veículo q.s.p – 1.000g.

<sup>2</sup> Níveis de garantia por quilo de produto: manganês - 16,0g; ferro – 100,0g; zinco – 100,0g; cobre – 20,0g; cobalto – 2,0g; iodo – 2,0g e veículo q.s.p. – 1.000g.

### **3.2. Delineamento experimental**

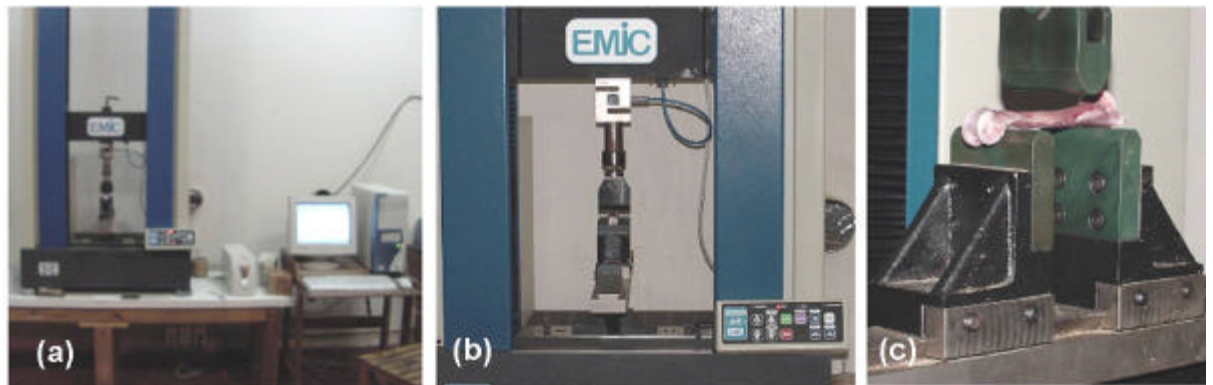
O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 (três grupos genéticos e dois sexos) com 5 repetições para cada idade.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Sistema para análises Estatísticas e Genéticas (SAEG), versão 7.0, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, 1997. Foram feitas análises de variância (5% de significância) e para efeitos significativos as médias foram testadas pelo teste SNK (Student Newman Keuls). Em alguns casos foram feitas análises de regressão.

### **3.3. Parâmetros avaliados**

Semanalmente, aos 21, 28, 35 e 42 dias de idade, um macho e uma fêmea por boxe, num total de 5 boxes por grupo genético foram pesados, sacrificados por deslocamento cervical e tiveram as pernas direita e esquerda removidas. Após a remoção de todo tecido aderente, as tíbias foram pesadas, medidos seus comprimentos com um paquímetro (precisão de 0,02 mm) e congeladas a -20°C. Para determinação dos parâmetros biomecânicos, as tíbias das pernas direitas foram descongeladas até atingir temperatura ambiente e, posteriormente, submetidas a um ensaio de flexão segundo a norma ANSI/ASAE S459-98 (1992), sendo utilizado uma máquina universal de ensaios mecânicos da marca EMIC, Figura 2a e 2b. Todos os ossos foram testados em posição idêntica, com suas extremidades apoiadas em dois suportes e carga sendo aplicada no centro do vão livre (região da diáfise do

osso) a uma velocidade constante de 10 mm/min (Figura 2c). A distância total entre os dois suportes variou com a idade testada, acompanhando o aumento do comprimento longitudinal dos ossos, sendo 42, 48, 56 e 66 mm aos 21, 28, 35 e 42 dias de idade, respectivamente.



**Figura 2** – Equipamento utilizado nos ensaios mecânicos de flexão (a,b), detalhe do posicionamento dos ossos durante os ensaios (c)

Durante a aplicação do carregamento, os pares de pontos carga x deflexão foram continuamente armazenados pelo sistema de aquisição de dados acoplados à máquina de ensaios, resultando na curva carga x deflexão ( $F \times \delta$ ) esquematizada na Figura 1.

A partir desta curva ( $F \times \delta$ ) são determinados os parâmetros utilizados na caracterização do comportamento mecânico do osso. A resistência à flexão, ou módulo de ruptura, MOR [Pa ou  $N/m^2$ ] é dada pela equação 1:

$$MOR = \frac{FLc}{4I} \quad 1$$

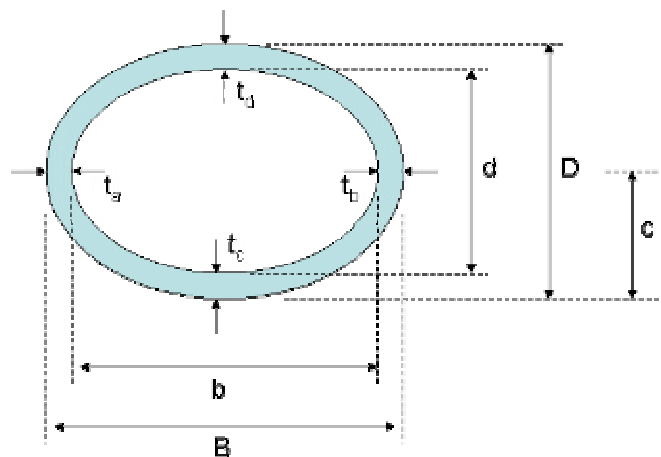
onde: F é a força máxima aplicada [N], L é a distância entre os suportes [m], c é a posição na seção transversal onde a tensão é máxima, ou seja, na face tracionada ou comprimida, cuja posição equivale à metade da altura da seção

transversal (1/2 do diâmetro) (Figura 3), e  $I$  é o momento de inércia [ $m^4$ ] calculado pela equação 2.

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

2

As variáveis geométricas empregadas na determinação do momento de inércia e da área da seção transversal do osso são mostradas na figura 3, considerando-se a seção transversal do osso uma elipse oca.



**Figura 3** – Variáveis geométricas determinadas na seção transversal da tíbia, considerando-o uma elipse oca

Na Figura 3,  $D$  representa o diâmetro externo correspondente à altura da seção transversal, pela disposição do osso no ensaio de flexão e  $d$  o diâmetro interno.  $B$  representa o diâmetro externo correspondente à largura do osso e  $b$  o diâmetro interno. Para a determinação dos diâmetros internos, foram empregados valores da espessura,  $t_a$ ,  $t_b$ ,  $t_c$  e  $t_d$  medidos no sentido da largura e altura. Com base nas médias das espessuras, os diâmetros internos ( $b$  e  $d$ ) foram calculados pelas equações 3 e 4. A área da seção transversal é determinada pela equação 5.

$$b = B - 2\left(\frac{t_a + t_b}{2}\right) \quad 3$$

$$d = D - 2\left(\frac{t_c + t_d}{2}\right) \quad 4$$

$$A = \pi(BD - bd) \quad 5$$

Para a determinação destas variáveis geométricas, após os ensaios de flexão a medula óssea foi removida com jatos de água destilada, e na região da diáfise onde houve aplicação da carga foi feita a determinação do diâmetro e da espessura do osso com auxílio de um paquímetro (precisão de 0,02 mm).

O módulo de elasticidade ou rigidez (MOE) [GPa], é dado pela equação 6, onde  $\text{tg}\theta$  representa a inclinação da fase linear da curva de carregamento, ou seja,  $\text{tg}\theta = \Delta F / \Delta \delta$ .

$$\text{MOE} = \text{tg}\theta \cdot \frac{L^3}{48.I} \quad 6$$

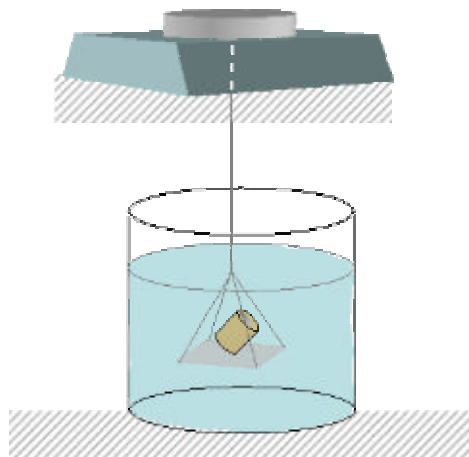
A tenacidade na flexão foi calculada dividindo-se o valor da área sob a curva pela área da seção transversal da amostra, permitindo a comparação entre amostras de dimensões diferentes.

As tíbias submetidas à flexão tiveram, após os testes, uma porção central da diáfise, de cerca de 5 mm removida (a medula óssea foi retirada) para a determinação da densidade,  $d$  [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ], e porosidade,  $P$  [em %], usando o princípio de Archimedes (Rath et al, 1999). De acordo com este princípio, a densidade e a porosidade são determinadas através da relação entre as massas seca, saturada e submersa das amostras, como descrito a seguir e representado pelas equações 7 e 8.

$$d = \frac{P_{\text{sec}}}{\text{Vol.}} = \frac{P_{\text{sec}}}{P_{\text{sat}} - P_{\text{sub}}} \quad 7$$

$$P = 100 \cdot \frac{\text{Vol.}_{\text{vazios}}}{\text{Vol.}} = 100 \cdot \frac{P_{\text{sat}} - P_{\text{sec}}}{P_{\text{sat}} - P_{\text{sub}}} \quad 8$$

A massa seca,  $P_{\text{sec}}$ , foi determinada após a secagem do osso em estufa a 100°C por 16 horas ou peso constante em pesagens consecutivas. A determinação da massa saturada,  $P_{\text{sat}}$ , foi feita a seguir, após um período de saturação do osso de 24 horas em água. De acordo com as equações 7 e 8, tanto a densidade quanto a porosidade são calculadas conhecendo-se o volume das amostras,  $\text{vol} [\text{cm}^3]$ , que pelo princípio de Archimedes, é dado pela diferença  $P_{\text{sat}} - P_{\text{sub}} [\text{g}]$ . A massa submersa,  $P_{\text{sub}}$ , é obtida com a pesagem do osso saturado imerso em um recipiente com água, como ilustrado na Figura 4.



**Figura 4** – Esquema da pesagem da massa submersa utilizada nas determinações de densidade e porosidade

Para a determinação dos teores de cinzas e minerais uma seção de aproximadamente 3 cm foi removida da região central da diáfise das tíbias direitas. A medula óssea foi removida com jatos de água destilada e a gordura foi extraída utilizando-se éter de petróleo (temperatura de ebulição entre 40°C e

60°C), durante 12 horas, em aparelho Soxhlet. As amostras foram então secas em estufa a 100°C por 16 horas e o peso do osso seco e desengordurado, determinado. Posteriormente, as amostras foram incineradas em mufla, a 550°C por 12 horas, resfriadas e novamente pesadas. Os resultados foram expressos em termos de porcentagem de cinzas em relação ao peso do osso seco e desengordurado como em Thorp e Waddington (1997).

Para a determinação dos teores de cálcio, fósforo e magnésio nas cinzas, 10 ml de ácido clorídrico (6 M) foram adicionados às cinzas obtidas anteriormente após terem sido resfriadas. Estas amostras, contidas em cadinhos de porcelana, foram colocadas sobre uma placa de aquecimento e a solução foi evaporada até secar completamente. O precipitado foi então dissolvido através da adição de água destilada e deionizada e a solução filtrada em papel filtro em uma proveta de 100 ml (Thorp e Waddington, 1997).

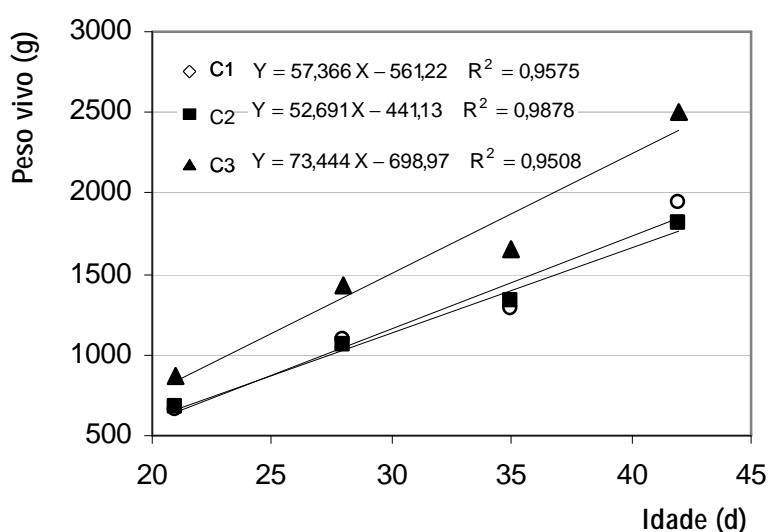
O teores de cálcio e o magnésio foram, posteriormente, determinados por espectrometria de absorção atômica, nos comprimentos de onda 422,7 e 285,2 nm respectivamente, utilizando-se o aparelho SpectrAA 220 FS da Varian. Os resultados foram expressos em termos de porcentagem de cálcio e magnésio em relação ao peso de cinzas das amostras. O fósforo foi determinado colorimetricamente no comprimento de onda 340 nm em um auto-analisador paramétrico (Alizeé).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Efeitos dos cruzamentos

#### 4.1.1. Aspectos físicos e de composição

O cruzamento comercial (C3) foi superior aos cruzamentos da UFV (C1 e C2) quanto ao peso vivo individual em todas as idades analisadas ( $P < 0,01$ ) e C1 e C2 não diferiram entre si, como pode ser observado na Tabela 2. Embora tenha sido observado um menor crescimento das aves no intervalo de 28 a 35 dias seguido de um maior crescimento entre 36 a 42 dias, o aumento do peso vivo com a idade se deu de forma linear para os três cruzamentos, mostrado pela Figura 5.



**Figura 5** - Variação do peso vivo com a idade em dias (d) para os três cruzamentos

**Tabela 2** - Peso vivo e aspectos físicos das tíbias dos diferentes cruzamentos de frangos de corte período de 21 a 42 dias de idade

Variável	Idade (dias)	C1	C2	C3
Peso (g)	21	663,8 ± 70,82 <sup>b</sup>	668,9 ± 62,73 <sup>b</sup>	864,8 ± 91,03 <sup>a</sup>
	28	1093,6 ± 143,65 <sup>b</sup>	1066,8 ± 150,13 <sup>b</sup>	1434,4 ± 188,99 <sup>a</sup>
	35	1280,4 ± 229,67 <sup>b</sup>	1327,4 ± 193,76 <sup>b</sup>	1653,4 ± 189,89 <sup>a</sup>
	42	1937,8 ± 227,05 <sup>b</sup>	1811,5 ± 390,70 <sup>b</sup>	2505,5 ± 362,96 <sup>a</sup>
Peso do osso (g)	21	5,76 ± 1,00 <sup>b</sup>	5,88 ± 0,97 <sup>b</sup>	7,26 ± 1,07 <sup>a</sup>
	28	9,28 ± 1,57 <sup>b</sup>	9,57 ± 1,57 <sup>b</sup>	11,72 ± 1,97 <sup>a</sup>
	35	11,88 ± 1,98 <sup>b</sup>	12,61 ± 2,35 <sup>b</sup>	14,43 ± 2,02 <sup>a</sup>
	42	17,26 ± 3,23 <sup>ns</sup>	17,6 ± 3,52 <sup>ns</sup>	19,4 ± 4,01 <sup>ns</sup>
Comprimento do osso (cm)	21	7,1 ± 0,23 <sup>b</sup>	7,18 ± 0,24 <sup>b</sup>	7,38 ± 0,22 <sup>a</sup>
	28	8,37 ± 0,27 <sup>b</sup>	8,47 ± 0,29 <sup>b</sup>	8,75 ± 0,19 <sup>a</sup>
	35	9,34 ± 0,42 <sup>b</sup>	9,5 ± 0,36 <sup>ab</sup>	9,75 ± 0,26 <sup>a</sup>
	42	10,46 ± 0,37 <sup>ns</sup>	10,7 ± 0,58 <sup>ns</sup>	10,75 ± 0,54 <sup>ns</sup>
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	21	1,05 ± 0,06 <sup>ns</sup>	1,08 ± 0,09 <sup>ns</sup>	1,04 ± 0,04 <sup>ns</sup>
	28	1,16 ± 0,07 <sup>ns</sup>	1,14 ± 0,07 <sup>ns</sup>	1,12 ± 0,08 <sup>ns</sup>
	35	1,22 ± 0,07 <sup>ns</sup>	1,30 ± 0,10 <sup>ns</sup>	1,31 ± 0,09 <sup>ns</sup>
	42	1,07 ± 0,09 <sup>b</sup>	1,19 ± 0,09 <sup>a</sup>	1,21 ± 0,07 <sup>a</sup>
Porosidade (%)	21	44,81 ± 1,15 <sup>ab</sup>	43,80 ± 2,56 <sup>b</sup>	45,85 ± 0,08 <sup>a</sup>
	28	39,72 ± 2,26 <sup>ns</sup>	41,25 ± 1,73 <sup>ns</sup>	40,64 ± 2,23 <sup>ns</sup>
	35	36,89 ± 3,39 <sup>ns</sup>	36,27 ± 2,26 <sup>ns</sup>	34,83 ± 1,96 <sup>ns</sup>
	42	36,42 ± 3,74 <sup>ns</sup>	36,85 ± 2,42 <sup>ns</sup>	35,78 ± 2,42 <sup>ns</sup>
Área (cm <sup>2</sup> )	21	0,18 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,17 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,21 ± 0,04 <sup>a</sup>
	28	0,23 ± 0,05 <sup>b</sup>	0,24 ± 0,05 <sup>ab</sup>	0,28 ± 0,07 <sup>a</sup>
	35	0,23 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,24 ± 0,05 <sup>b</sup>	0,28 ± 0,05 <sup>a</sup>
	42	0,43 ± 0,09 <sup>a</sup>	0,31 ± 0,07 <sup>b</sup>	0,35 ± 0,07 <sup>b</sup>

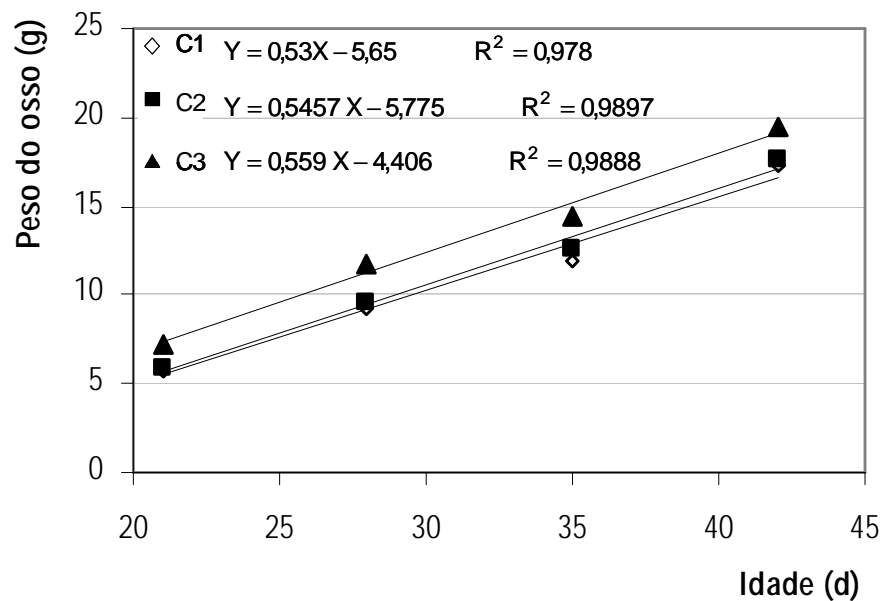
As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste SNK (P>0,05).

<sup>ns</sup>- não significativo

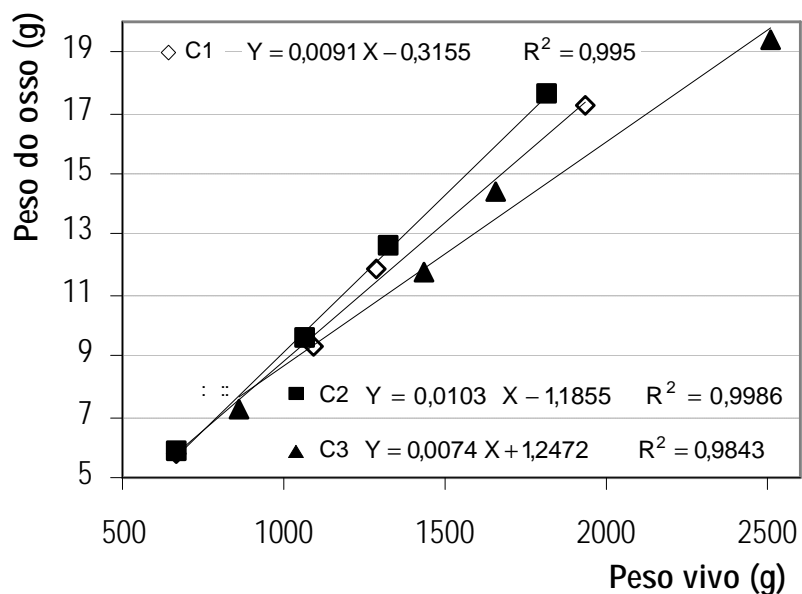
Avaliações relativas ao ganho de peso e conversão alimentar demonstraram que C3 também apresentou um maior ganho de peso e uma melhor conversão que cruzamentos C1 e C2 em todas as idades analisadas, ressaltando a superioridade genética deste cruzamento (Teixeira et al, 2004 e Paiva et al, 2004).

As tíbias do cruzamento C3 foram mais pesadas que as tíbias dos cruzamentos C1 e C2 aos 21, 28 e 35 dias (P<0,01) com as tíbias de C1 e C2 não diferindo entre si neste período (Figura 6). Aos 42 dias não foi observado efeito significativo entre os cruzamentos (P>0,05), Tabela 2. O aumento do peso dos ossos acompanhou a tendência de crescimento das aves,

aumentando linearmente com a idade e com o peso vivo, como mostrado nas Figuras 6 e 7.



**Figura 6** – Variação do peso das tíbias com a idade em dias (d) para os três cruzamentos

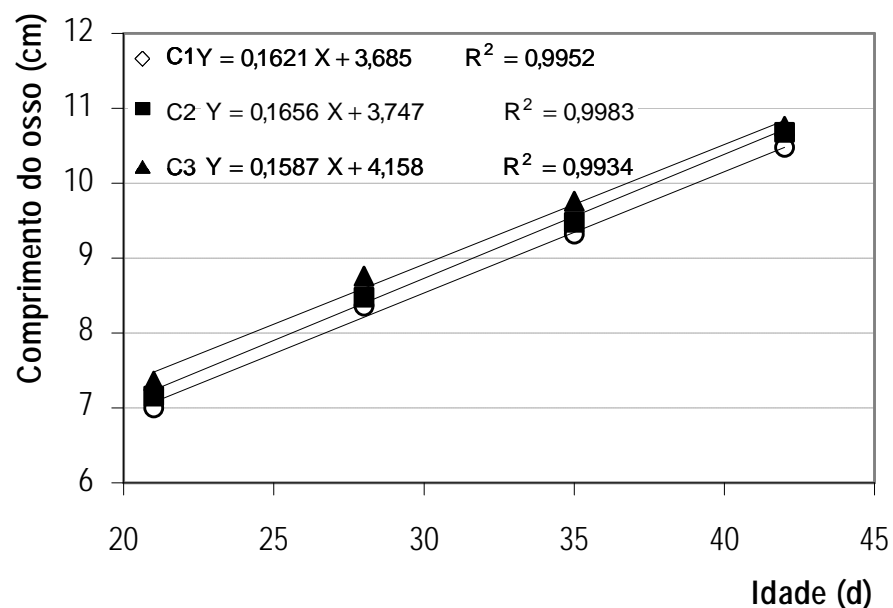


**Figura 7** – Variação do peso das tíbias com o peso vivo para os três cruzamentos

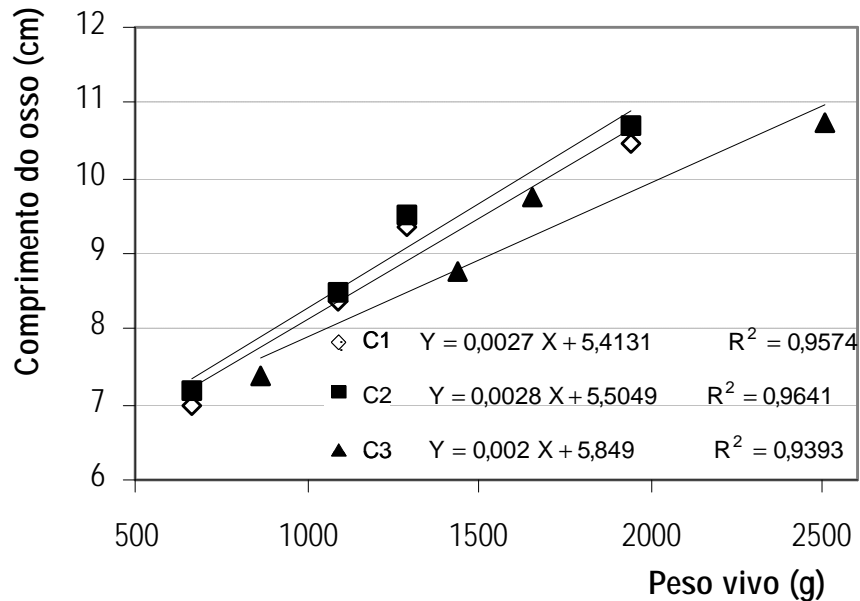
Os resultados encontrados estão de acordo com a literatura, onde experimentos demonstraram haver uma relação entre o peso das tíbias e o

peso vivo das aves (Leterrier et al, 1998), com a massa óssea variando isometricamente com mudanças no peso corporal (Biewener e Bertram, 1994).

Aos 21 e 28 dias C3 apresentou tíbias mais longas que C1 e C2 ( $P < 0,05$ ) e as tíbias destes não diferiram entre si (Figura 8). Aos 35 dias as tíbias do C3 foram significativamente mais longas que do C1 ( $P < 0,05$ ) e C2 não diferiu de ambos. Aos 42 dias não foi observado efeito significativo ( $P > 0,05$ ), entre os cruzamentos para esta característica (Tabela 2). O crescimento longitudinal das tíbias acompanhou a tendência de crescimento das aves, assim como o peso do osso, variando linearmente com o a idade e com o aumento do peso vivo para os três cruzamentos, como mostrado pelas Figuras 8 e 9.



**Figura 8** – Variação do comprimento das tíbias com a idade em dias (d) para os três cruzamentos

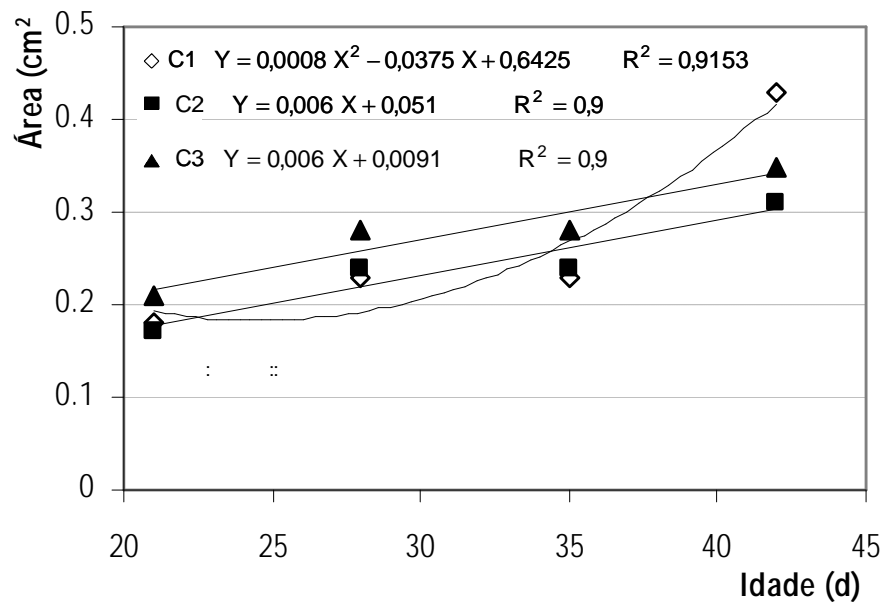


**Figura 9-** Variação do comprimento das tíbias com o peso vivo para os três cruzamentos

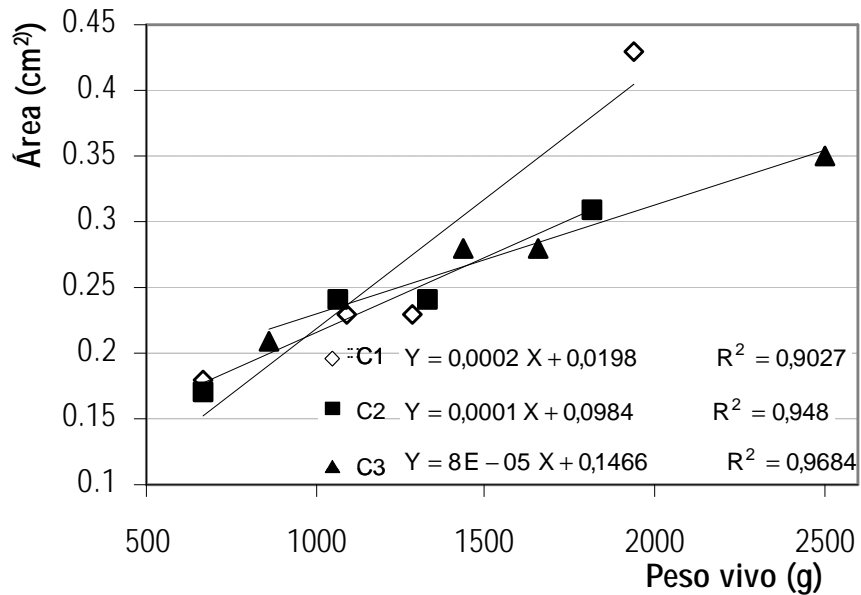
Os dados experimentais coincidem com as observações feitas por Williams et al (2000a) que, estudando o desenvolvimento dos ossos entre linhagens no período de 4 a 39 dias de idade, também observaram que aves que cresceram mais rápido (mais pesadas) produziram ossos mais longos e que a diferença no comprimento entre linhagens aumentava com a idade.

A área da seção transversal da tíbia do cruzamento C3 foi maior que da tíbia do C1 e do C2 aos 21 e 35 dias ( $P < 0,05$ ) e C1 e C2 não diferiram entre si (Figura 10). Aos 28 dias C3 apresentou tíbias com maior área que C1 ( $P < 0,05$ ) e não diferiu em relação a C2. As áreas dos C1 e C2 também não diferiram entre si nesta idade. Aos 42 dias, C1 apresentou área superior a C2 e C3 ( $P < 0,01$ ) e estes não diferiram entre si, (Tabela 2). Foi observado que a área da seção transversal aumentou linearmente com a idade das aves para C3 e C2, e que para C1 este aumento se deu de forma quadrática, como mostrado pela Figura 10. Todavia a variação da área da seção transversal em

relação ao peso vivo, se deu de forma linear para os três cruzamentos (Figura 11).



**Figura 10** - Variação da área da seção transversal das tíbias com a idade em dias (dias) para os três cruzamentos

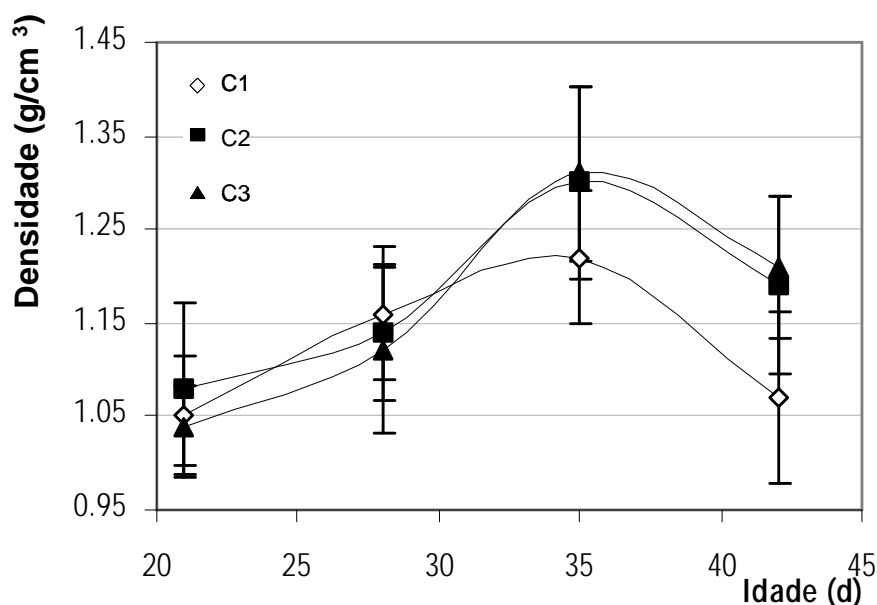


**Figura 11** – Variação da área da seção transversal das tíbias com o peso vivo para os três cruzamentos

A relação linear entre o aumento da área da seção transversal e o aumento do peso vivo também foi observada em outros experimentos

(Biewener e Bertran, 1994 e Leterrier et al, 1998), indicando que alterações na geometria óssea funcionam como respostas adaptativas do osso ao aumento de carga durante o processo de crescimento. Áreas da seção transversal variando entre 0,29 cm<sup>2</sup> aos 26 dias e 0,66 cm<sup>2</sup> aos 42 dias foram observadas Leterrier et al (1998), sendo maiores que os dados experimentais observados nesta última idade.

Não foram observadas diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre a densidade óssea dos três cruzamentos aos 21, 28 e 35 dias (Figura 12). Leterrier et al (1998) também observaram valores de densidade semelhante entre aves que apresentaram taxas de crescimento diferentes, tendo inclusive encontrado valores semelhantes ao deste estudo (1,16 g/cm<sup>3</sup> aos 26 dias e 1,19 g/cm<sup>3</sup> aos 42 dias). Entretanto, aos 42 dias, o cruzamento C1 apresentou tíbias menos densas ( $P < 0,01$ ) que C3 e C2 (Tabela 2 e Figura 12). Nesta mesma idade, como mostrado na Figura 10, C1 apresentou um grande aumento da área da seção transversal, sendo superior aos demais ( $P < 0,01$ ). A rápida expansão da circunferência e o aumento do comprimento do osso, resultando em aumento do volume deste, não acompanhado de um aumento significativo do peso do osso nesta idade, aponta para a formação de ossos menos densos.



**Figura 12** – Variação da densidade óssea das tíbias com a idade em dias (d) para os três cruzamentos

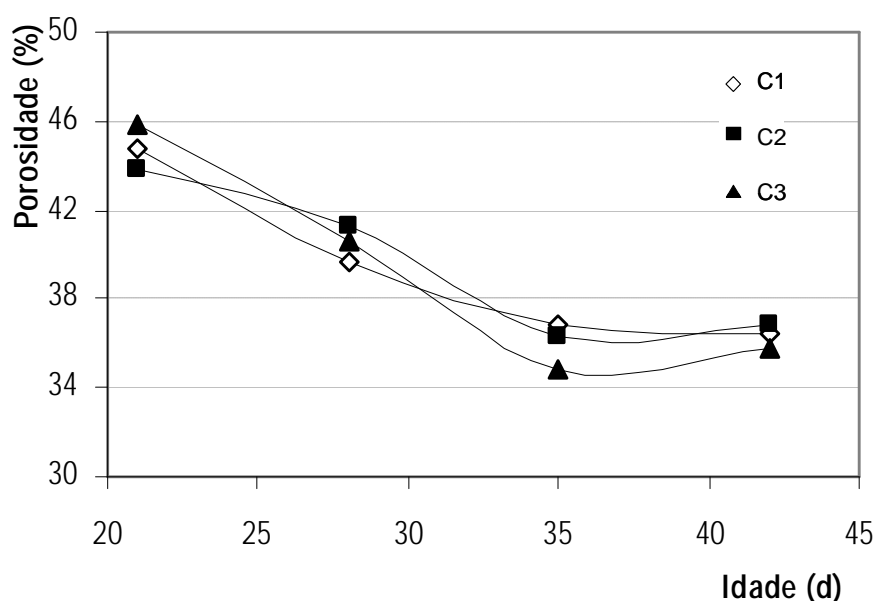
**Tabela 3** - Aspectos da composição das tíbias dos diferentes cruzamentos de frangos de corte no período de 21 a 42 dias de idade

Variável	Idade (dias)	C1	C2	C3
Teor de cinzas (%)	21	60,10 ± 1,01 <sup>a</sup>	55,87 ± 3,18 <sup>b</sup>	55,54 ± 5,03 <sup>b</sup>
	28	61,34 ± 1,18 <sup>ns</sup>	61,57 ± 0,80 <sup>ns</sup>	60,46 ± 3,66 <sup>ns</sup>
	35	61,47 ± 1,58 <sup>ns</sup>	62,00 ± 1,32 <sup>ns</sup>	62,37 ± 1,17 <sup>ns</sup>
	42	60,80 ± 1,27 <sup>ns</sup>	60,82 ± 0,91 <sup>ns</sup>	61,00 ± 1,53 <sup>ns</sup>
Cálcio (%)	21	34,20 ± 4,35 <sup>ns</sup>	35,29 ± 1,98 <sup>ns</sup>	36,21 ± 3,71 <sup>ns</sup>
	28	34,99 ± 3,02 <sup>ab</sup>	36,21 ± 2,48 <sup>a</sup>	32,09 ± 4,32 <sup>b</sup>
	35	31,85 ± 5,93 <sup>ns</sup>	31,79 ± 3,98 <sup>ns</sup>	32,45 ± 6,03 <sup>ns</sup>
	42	31,74 ± 3,10 <sup>ns</sup>	29,69 ± 2,86 <sup>ns</sup>	28,78 ± 3,66 <sup>ns</sup>
Fósforo (%)	21	14,69 ± 1,25 <sup>ns</sup>	15,37 ± 2,42 <sup>ns</sup>	15,61 ± 2,20 <sup>ns</sup>
	28	14,31 ± 2,26 <sup>ns</sup>	14,57 ± 1,31 <sup>ns</sup>	13,38 ± 2,49 <sup>ns</sup>
	35	13,17 ± 1,00 <sup>ns</sup>	13,56 ± 0,39 <sup>ns</sup>	12,88 ± 1,16 <sup>ns</sup>
	42	14,08 ± 1,30 <sup>ns</sup>	13,93 ± 0,81 <sup>ns</sup>	14,09 ± 1,43 <sup>ns</sup>
Magnésio (%)	21	0,77 ± 0,11 <sup>ns</sup>	0,76 ± 0,09 <sup>ns</sup>	0,79 ± 0,08 <sup>ns</sup>
	28	0,80 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,80 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,70 ± 0,10 <sup>b</sup>
	35	0,71 ± 0,14 <sup>ns</sup>	0,71 ± 0,09 <sup>ns</sup>	0,71 ± 0,16 <sup>ns</sup>
	42	0,74 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,70 ± 0,08 <sup>ab</sup>	0,62 ± 0,09 <sup>b</sup>
Relação Ca:P	21	2,32 ± 0,15 <sup>ns</sup>	2,35 ± 0,50 <sup>ns</sup>	2,33 ± 0,15 <sup>ns</sup>
	28	2,47 ± 0,23 <sup>ns</sup>	2,49 ± 0,14 <sup>ns</sup>	2,43 ± 0,32 <sup>ns</sup>
	35	2,42 ± 0,41 <sup>ns</sup>	2,34 ± 0,26 <sup>ns</sup>	2,50 ± 0,31 <sup>ns</sup>
	42	2,25 ± 0,10 <sup>ns</sup>	2,13 ± 0,22 <sup>ns</sup>	2,04 ± 0,23 <sup>ns</sup>

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste SNK (P>0,05).

<sup>ns</sup>- não significativo

Os dados experimentais deste estudo só foram significativos em relação à porosidade aos 21 dias. Nesta idade, as tíbias do cruzamento C3 foram mais porosas que as tíbias do C2 ( $P < 0,05$ ) e C1 não diferiu de C2 e C3, tabela 2 e figura 13. Esse resultado não está de acordo com Williams et al (2004), que observaram que as aves cresceram mais rapidamente apresentaram ossos mais porosos (menos mineralizados).



**Figura 13** – Variação da porosidade das tíbias com a idade em dias (d) para os três cruzamentos

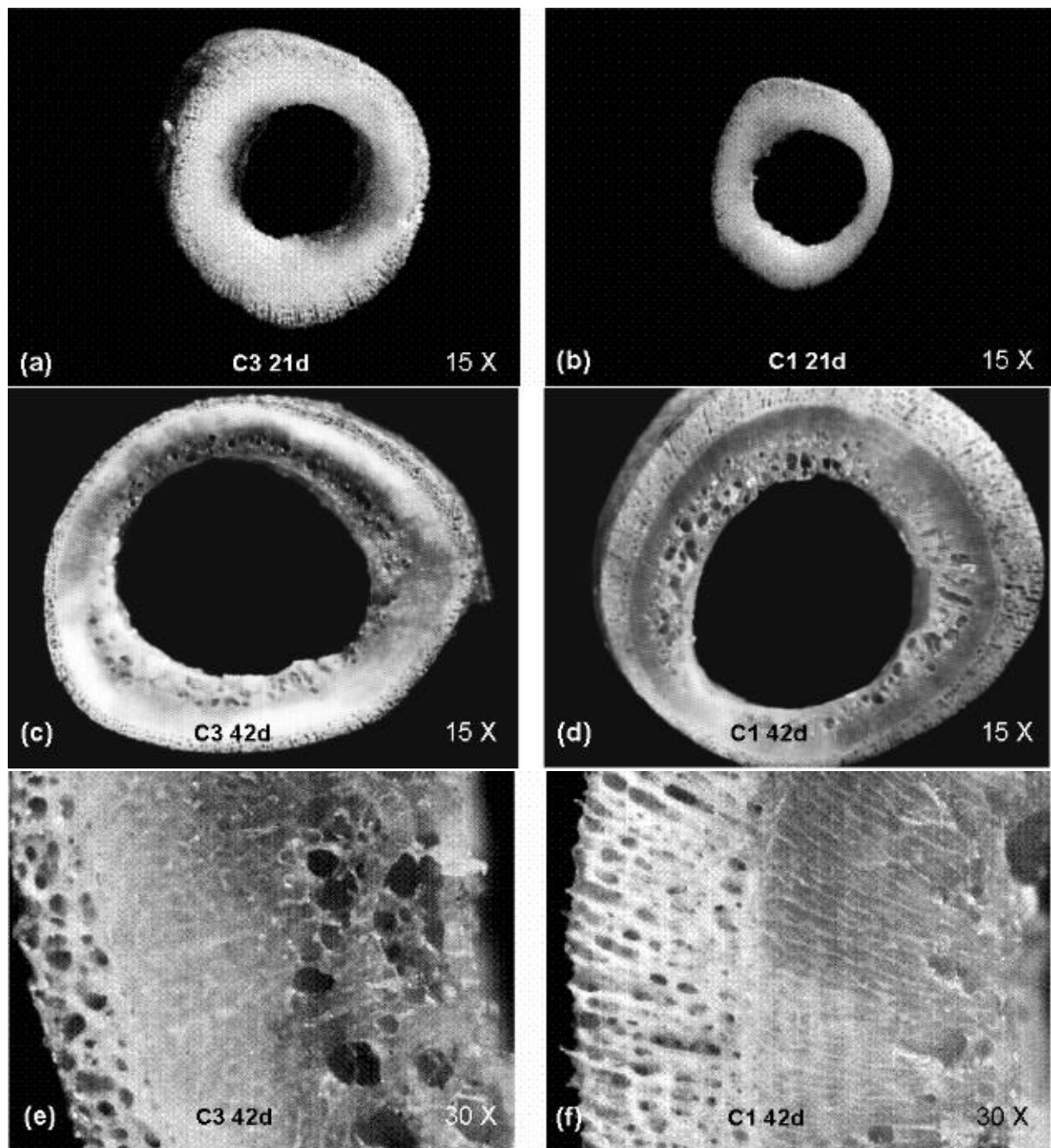
É importante lembrar que a metodologia empregada tanto para a determinação da densidade quanto da porosidade, baseou-se na relação entre as massas seca, saturada e submersa de amostras das tíbias (princípio de Arquimedes). Volumes pequenos de água superficial (residual) não absorvido pelo osso, podem causar um falso aumento da massa saturada e, conseqüentemente, do volume de poros calculado. Como as amostras utilizadas foram pequenas (pouco menos de 1 cm), essas variações no volume

de poros são mais significativas, resultando em uma maior dispersão dos resultados da densidade e, principalmente, da porosidade.

Vale ressaltar que a diferença de peso entre as linhagens estudadas por Williams et al (2004) foi cerca de 55% aos 42 dias, enquanto que neste experimento a diferença foi de aproximadamente 23% entre a linhagem mais pesada e a mais leve nesta mesma idade.

A Figura 14 mostra imagens de superfície da área da seção transversal das tíbias obtidas com auxílio de lupa (aumentos de 15 vezes para a, b, c, d e 30 vezes para e, f). Elas apontam para a diferença de crescimento da área da seção transversal entre os cruzamentos C3 e C1 nas idades de 21 (a, b) e 42 dias (c, d, e, f), ressaltando como a rápida expansão da área ocorrida no cruzamento C1 no intervalo de 36 a 42 dias comprometeu a qualidade do osso formado.

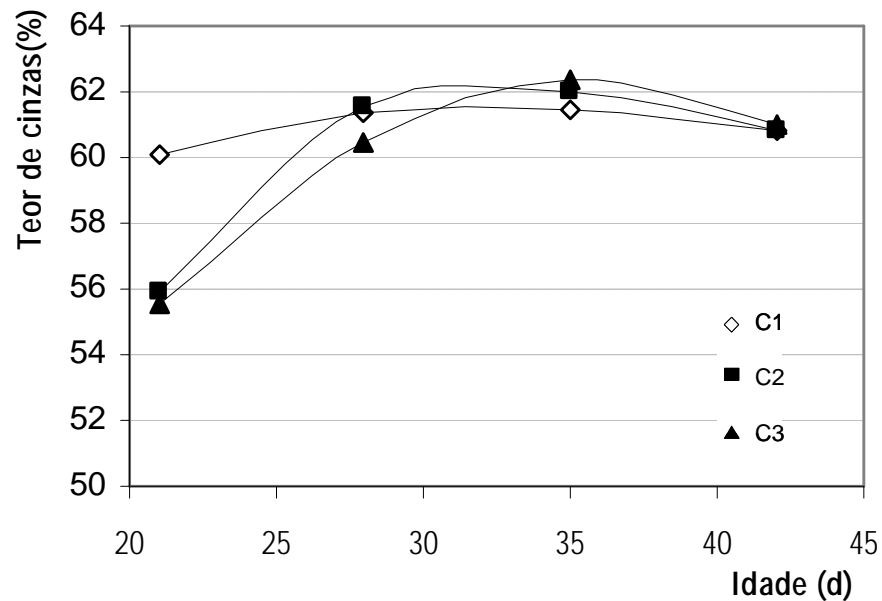
É possível notar no detalhe (e, f) uma maior espessura do córtex de C1 (f) comparado com C3 (e), e também, embora distribuídos de forma organizada, um maior número de poros na superfície próxima do periósteo, caracterizando a formação de osso recente, como mostrado por Thorp e Waddington (1997). Embora a porosidade não tenha sido significativamente maior, em função das dispersões comentadas anteriormente, fica claro que ela contribuiu para a menor densidade observada pelo C1 aos 42 dias.



**Figura 14** – Imagens da seção transversal das tíbias obtidas com lupa (aumentos de 15 e 30 vezes) de C3 e C1 aos 21 dias (a,b), aos 42 dias (c,d), e detalhe do córtex aos 42 dias (e,f)

Os teores de cinzas nas tíbias só foram significativos entre os cruzamentos aos 21 dias, quando C1 apresentou maior teor de cinzas que C2 e C3 ( $P < 0,05$ ), e estes últimos não diferiram entre si (Tabela 3 e Figura 15). Os dados obtidos coincidem com os encontrados por Rath et al (1999), que

observaram teor de cinzas do osso cortical variando entre 59,8% aos 25 dias e 63,9% aos 42 dias.

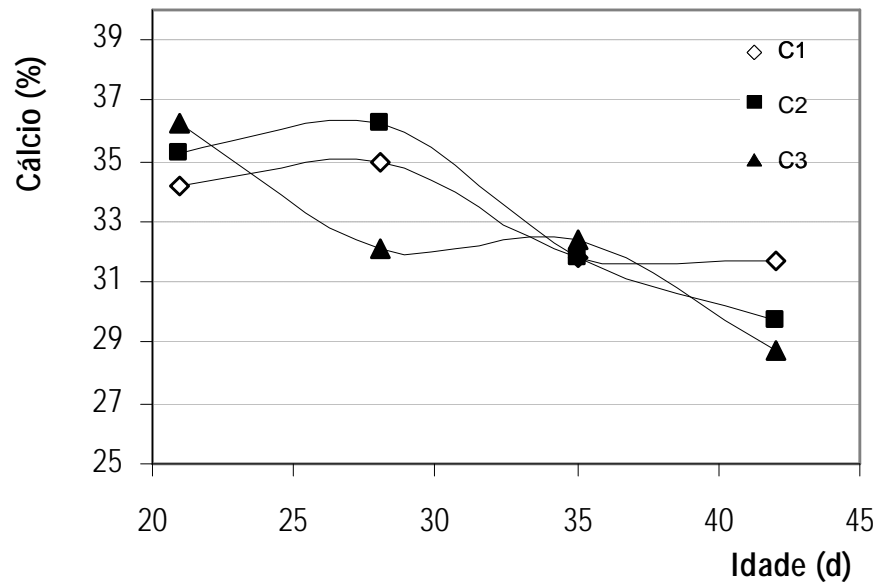


**Figura 15** – Variação do teor de cinzas das tíbias com a idade em dias (d) para os três cruzamentos

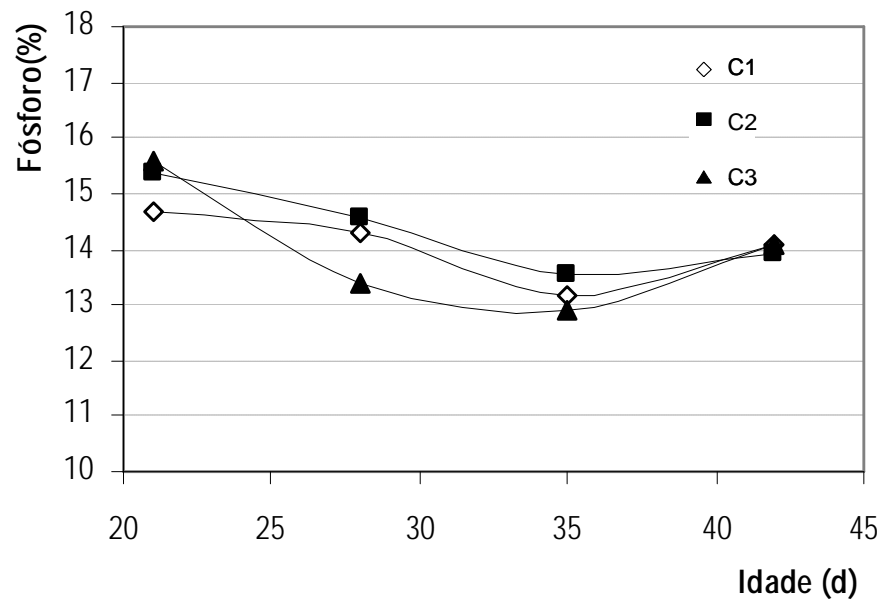
É interessante observar que para os três cruzamentos houve uma tendência da diminuição da porosidade e aumento do teor de cinzas e densidade com a idade no período de 21 a 35 dias. Leterrier et al (1998) também observaram diminuição da porosidade com a idade e Nestor et al (1987) observaram um aumento da densidade com a idade em diferentes linhagens de peru selecionadas para ganho de peso. No período de 36 a 42 dias, entretanto, essa tendência não se manteve, ocorrendo pequena diminuição no teor de cinzas e densidade e aumento ou manutenção da porosidade. Este período coincide com a troca da ração de crescimento pela ração de terminação, cujos teores de cálcio e fósforo são menores e cuja maior energia visam o aumento do ganho de peso.

Segundo Macari et al (2002) há um comportamento característico de crescimento nas aves, na qual o esqueleto, o músculo e o tecido adiposo são desenvolvidos sucessivamente e que, em determinado momento, a prioridade é ou o crescimento do tecido ósseo ou do tecido muscular ou do tecido adiposo. Desta forma, em cada fase do desenvolvimento há uma necessidade específica de afluxo de nutrientes para o tecido em crescimento, o que provavelmente explica os dados observados neste estudo. Com o uso da ração final na última semana pode ter havido uma priorização do ganho de peso, resultando em ossos que tenderam a ser menos densos, menos mineralizados e mais porosos .

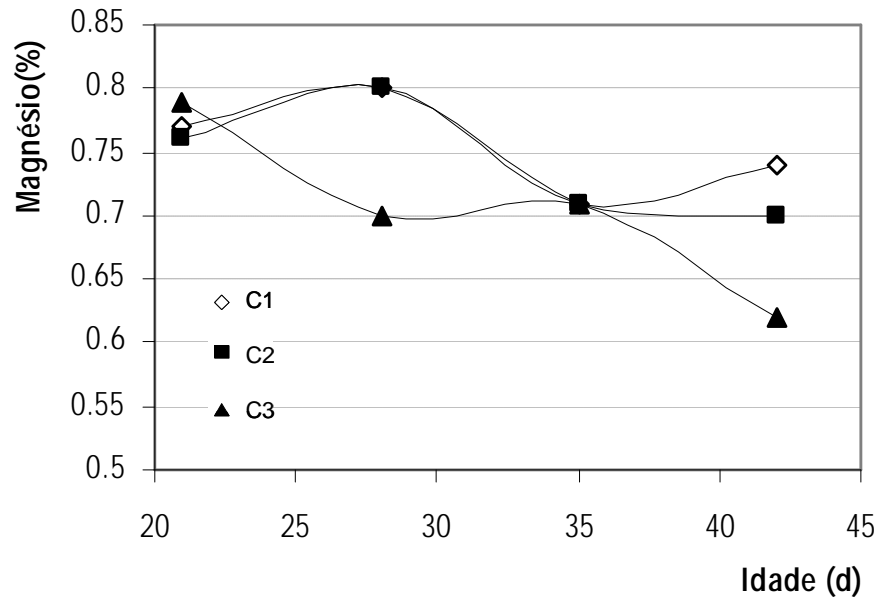
Não foi observado efeito significativo entre os cruzamentos quanto ao teor de cálcio nas cinzas aos 21, 35 e 42 dias ( $P>0,05$ ). Aos 28 dias, somente C2 e C3, diferiram significativamente, o primeiro apresentando teor de cálcio maior que o último (Tabela 3 e Figura 16). O teor de fósforo, não foi significativo entre os cruzamentos ( $P>0,05$ ) em nenhuma das idades analisadas (Tabela 3 e Figura 17). O teor de magnésio também não foi significativo entre os cruzamentos aos 21 e 35 dias ( $P>0,05$ ). Aos 28 dias o cruzamento C3 apresentou teores significativamente menores ( $P<0,05$ ) que C1 e C2 e estes não diferiram entre si. Aos 42 dias o cruzamento C3 também apresentou teores menores que C1 ( $P<0,05$ ), mas não diferiu em relação a C2, que por sua vez não diferiu de C1 (Tabela 3 e Figura 18).



**Figura 16** – Variação dos teores de cálcio nas cinzas com a idade em dias (d) para os três cruzamentos



**Figura 17** - Variação dos teores de fósforo nas cinzas com a idade em dias (d) para os três cruzamentos



**Figura 18** - Variação dos teores de magnésio nas cinzas com a idade em dias (d) para os três cruzamentos

Williams et al (2004) também não observaram diferenças quanto ao teor de cálcio entre as linhagens estudadas embora tenham observado um aumento de cálcio com a idade. O teor de fósforo também aumentou com idade e aos 42 dias foi significativo para linhagens. Entretanto, nos dados experimentais o que se observou foi uma variação dos valores de cálcio e fósforo entre as idades estudadas, não havendo um comportamento claro de variação com a idade, estando de acordo com as observações feitas por Williams et al (2000a).

Embora Field (2000) admita que a porcentagem de cálcio nas cinzas permaneça constante em aproximadamente 37%, variando pouco entre espécies, localização anatômica do osso e dieta, quando expressos em relação ao peso do osso, os teores de Ca e P variaram bastante, até entre regiões de um mesmo osso (proximal, média, distal) (Williams et al (2000a).

A relação Ca:P não foi significativa entre os cruzamentos em nenhuma das idades analisadas ( $P > 0,05$ ). As variações observadas nos teores de cálcio

e fósforo resultaram em relações médias de Ca:P variando de 2,04 a 2,5 (Tabela 3). Teoricamente a relação ideal deve estar próxima de 2:1, devido à composição mineral do cristal ósseo (Hocking et al, 2002). É sugerido que alterações nesta relação podem comprometer a resistência do osso através de alterações na estrutura do cristal (Thorp e Waddington, 1997), embora Williams et al (2000b) tenham demonstrado que relações Ca:P acima de 2,97:1 não comprometeram a resistência óssea).

#### **4.1.2. Aspectos mecânicos**

O momento de inércia (I) não foi significativo  $P(>0,05)$  entre os cruzamentos nas idades de 21 e 28 dias, Figura 19. Aos 35 e 42 dias o momento de inércia foi semelhante para os três cruzamentos (Tabela 4). Houve uma tendência de aumento da inércia com a idade, acompanhando a variação das outras características relacionadas a geometria do osso (comprimento e área). Foi observado também que sua variação se deu de forma linear com o peso vivo para os três cruzamentos, de maneira muito semelhante à variação da área da seção transversal (Figuras 11 e Figura 20). Em experimento avaliando o efeito da taxa de crescimento sobre a composição e as propriedades mecânicas das tíbias de frangos de corte, Leterrier e Nys (1992) também observaram o aumento do momento de inércia com a idade, aumentando de  $0,7 \times 10^{-11} \text{ m}^4$  aos 8 dias para  $23,3 \times 10^{-11} \text{ m}^4$  aos 42 dias, valor semelhante ao observado neste experimento.

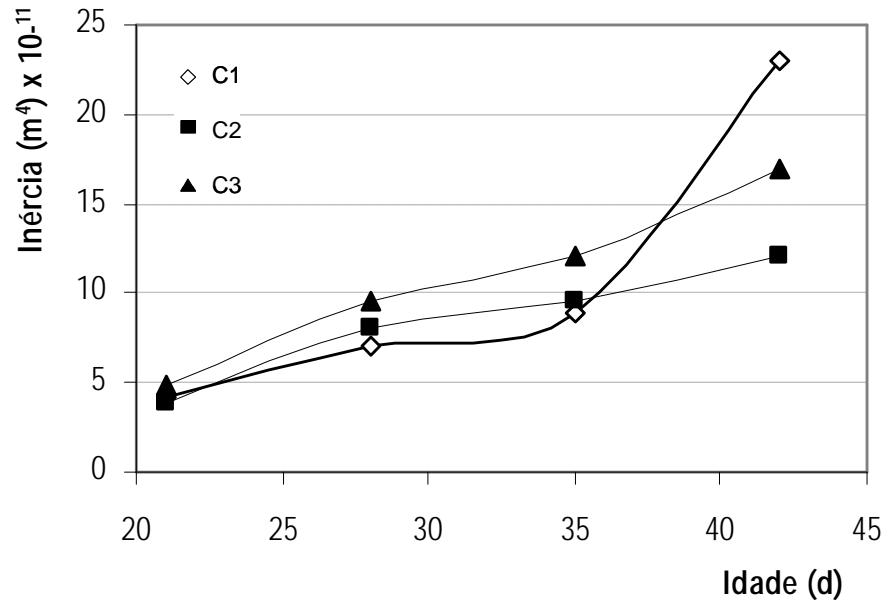


Figura 19 – Variação do momento de inércia com a idade em dias (d) para os três cruzamentos

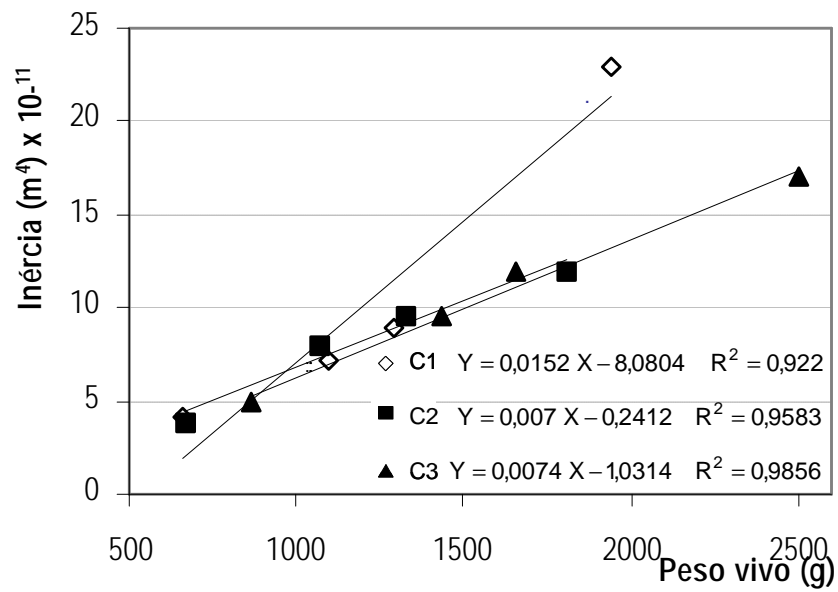


Figura 20- Variação do momento de inércia com peso vivo para os três cruzamentos

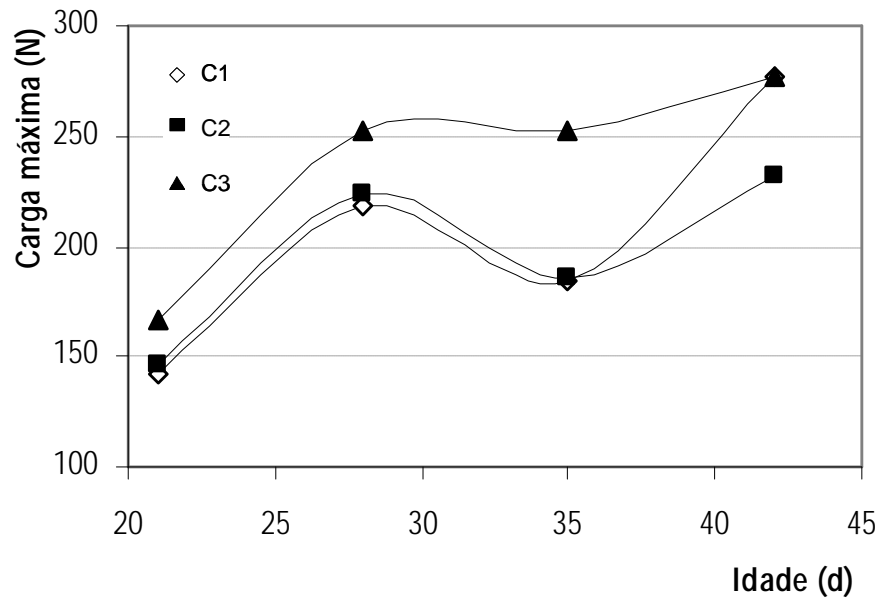
**Tabela 4** - Aspectos mecânicos das tíbias dos diferentes cruzamentos de frangos de corte no período de 21 a 42 dias de idade

Variável	Idade (dias)	C1	C2	C3
Força máxima (F) [N]	21	142,32 ± 34,88 <sup>ns</sup>	146,29 ± 26,14 <sup>ns</sup>	166,12 ± 31,89 <sup>ns</sup>
	28	217,83 ± 49,97 <sup>ns</sup>	223,30 ± 55,07 <sup>ns</sup>	185,62 ± 69,41 <sup>ns</sup>
	35	183,84 ± 53,80 <sup>b</sup>	185,62 ± 39,13 <sup>b</sup>	252,64 ± 69,92 <sup>a</sup>
	42	277,13 ± 80,89 <sup>ns</sup>	231,37 ± 77,18 <sup>ns</sup>	276,51 ± 57,92 <sup>ns</sup>
Resistência à flexão (MOR) [MPa]	21	100,24 ± 21,02 <sup>ns</sup>	108,05 ± 14,57 <sup>ns</sup>	100,10 ± 14,04 <sup>ns</sup>
	28	117,66 ± 18,46 <sup>ns</sup>	112,48 ± 25,82 <sup>ns</sup>	108,85 ± 17,05 <sup>ns</sup>
	35	-	-	-
	42	86,36 ± 23,66 <sup>b</sup>	111,18 ± 22,96 <sup>a</sup>	104,92 ± 15,69 <sup>ab</sup>
Tenacidade à flexão (SPE) [KJ/m <sup>2</sup> ]	21	9,13 ± 1,35 <sup>ns</sup>	10,05 ± 1,67 <sup>ns</sup>	10,24 ± 1,88 <sup>ns</sup>
	28	10,96 ± 1,04 <sup>ns</sup>	11,93 ± 2,42 <sup>ns</sup>	11,23 ± 1,18 <sup>ns</sup>
	35	12,79 ± 1,65 <sup>ab</sup>	11,24 ± 1,68 <sup>b</sup>	13,67 ± 2,65 <sup>a</sup>
	42	10,47 ± 2,31 <sup>b</sup>	11,12 ± 2,76 <sup>b</sup>	14,43 ± 2,74 <sup>a</sup>
Inércia x10 <sup>-10</sup> (I) [m <sup>4</sup> ]	21	0,42 ± 1,71 <sup>ns</sup>	0,38 ± 1,28 <sup>ns</sup>	0,49 ± 1,47 <sup>ns</sup>
	28	0,71 ± 3,23 <sup>ns</sup>	0,80 ± 4,34 <sup>ns</sup>	0,95 ± 5,14 <sup>ns</sup>
	35	0,89 ± 2,52 <sup>a</sup>	0,96 ± 4,75 <sup>a</sup>	1,20 ± 4,12 <sup>a</sup>
	42	2,30 ± 10,16 <sup>a</sup>	1,20 ± 5,88 <sup>a</sup>	1,70 ± 6,65 <sup>a</sup>
Módulo de Elasticidade (MOE) [GPa]	21	3,437 ± 0,82 <sup>ns</sup>	3,601 ± 0,50 <sup>ns</sup>	3,160 ± 0,51 <sup>ns</sup>
	28	3,895 ± 1,39 <sup>ns</sup>	3,920 ± 1,21 <sup>ns</sup>	3,922 ± 0,87 <sup>ns</sup>
	35	-	-	-
	42	3,294 ± 1,01 <sup>b</sup>	5,088 ± 1,24 <sup>a</sup>	4,821 ± 1,34 <sup>a</sup>

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste SNK (P>0,05).

<sup>ns</sup>- não significativo

A carga máxima na flexão (F) não foi significativa entre os cruzamentos nas idades de 21, 28 e 42 dias (P>0,05), mas mostrou uma tendência de C3 em apresentar maior carga máxima (F) que C1 e C2. Somente aos 35 dias C3 apresentou carga máxima significativamente superior a C1 e C2 (P<0,05), que não diferiram entre si (Tabela 4 e Figura 21).



**Figura 21** – Variação da carga máxima com a idade em dias (d) para os três cruzamentos

A determinação da resistência à flexão (MOR), parâmetro que corrige os valores de F em função da geometria do osso e do teste aplicado, representando a resistência intrínseca do material, não apresentou efeito significativo aos 21 e aos 28 dias entre os cruzamentos ( $P > 0,05$ ). Aos 35 dias observou-se uma interação cruzamento x sexo, quando machos e fêmeas do C2 diferiram significativamente ( $P < 0,05$ ), com machos apresentando valores inferiores de resistência (Tabela 5). Aos 42 dias C2 apresentou MOR superior a C1 e C3 não diferiu de ambos (Tabela 4 e Figura 22). A menor resistência (MOR) do C1 aos 42 dias é provavelmente devido à rápida expansão da circunferência do osso observada neste cruzamento no intervalo de 36 a 42 dias (Figura 14d e 14f), o que resultou em ossos significativamente menos densos e conseqüentemente menos resistentes.

**Tabela 5** - Interações cruzamento x sexo aos 35 dias

<b>Resistência à flexão (MOR)</b>		
Cruzamentos	Machos	Fêmeas
C1	97,88 <sup>a</sup>	88,62 <sup>a</sup>
C2	81,09 <sup>b</sup>	116,43 <sup>a</sup>
C3	102,82 <sup>a</sup>	101,52 <sup>a</sup>

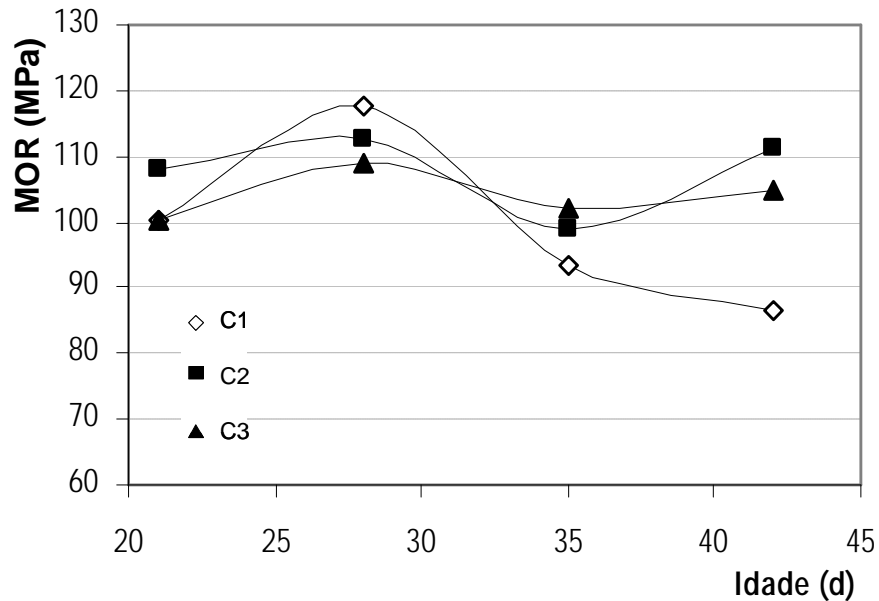
  

<b>Módulo de elasticidade (MOE)</b>		
Cruzamentos	Machos	Fêmeas
C1	4,105 <sup>a</sup>	3,880 <sup>a</sup>
C2	3,169 <sup>b</sup>	6,142 <sup>a</sup>
C3	3,521 <sup>b</sup>	5,012 <sup>a</sup>

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste SNK ( $P > 0,05$ ).

<sup>ns</sup> não significativo

Em um experimento comparando linhagens que apresentaram taxa de crescimento diferente, Williams et al (2004) também observaram que as aves de crescimento mais lento apresentaram uma menor carga máxima (F) e que, após a correção destes valores, levando-se em conta as diferenças de peso corporal, estas linhagens mostram-se mais resistentes ou tão resistentes quanto as aves que cresceram mais rapidamente. Foi evidenciado que a taxa de crescimento afetou a qualidade do osso formado, resultando em alterações nas propriedades biomecânicas.

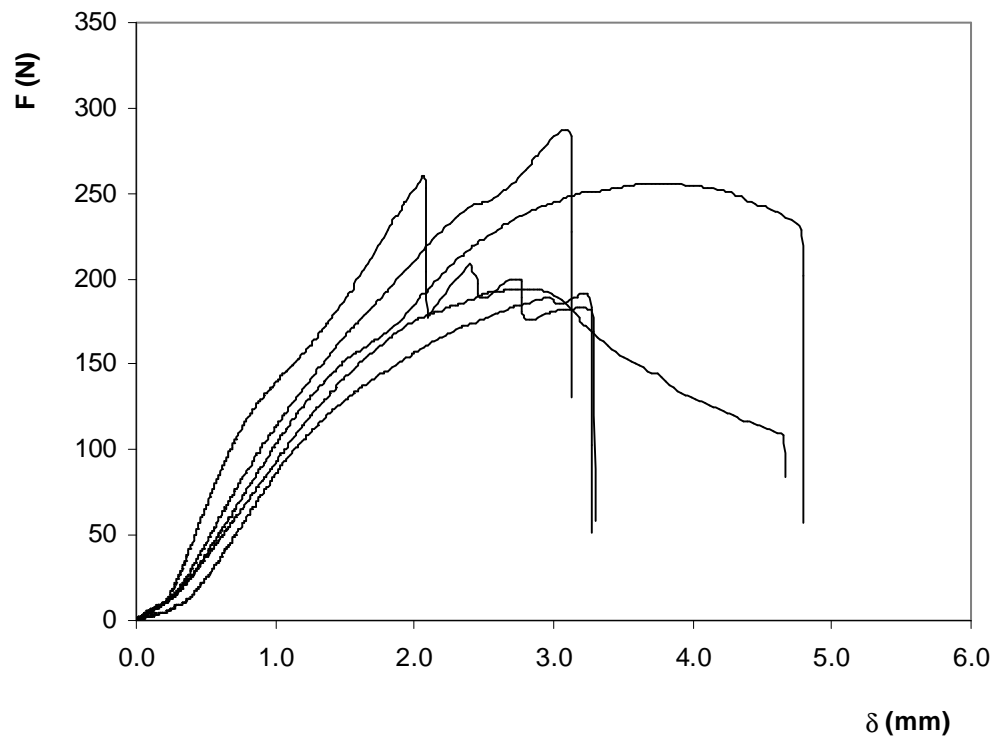


**Figura 22** – Variação da resistência à flexão, ou módulo de ruptura (MOR), com a idade em dias (d) para os três cruzamentos

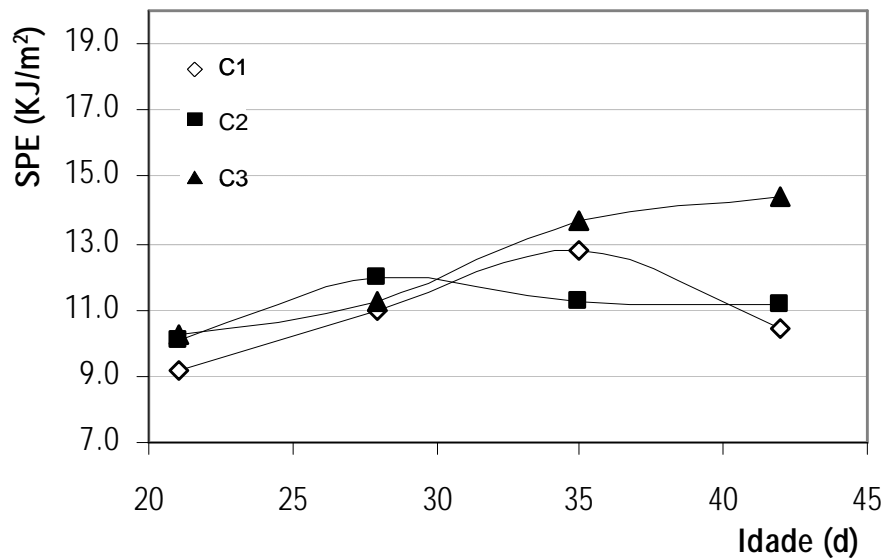
Neste experimento, acredita-se que a qualidade do osso do C3 tenha sido comprometido, pois era esperado que seus ossos tivessem maior capacidade de suportar carga, uma vez que são aves mais pesadas. Como o momento de inércia comportou de maneira semelhante para os três cruzamentos com o aumento do peso, acredita-se que o comprometimento da resistência não é devido a alterações na geometria do osso e sim de seus componentes.

Uma vez que as curvas carga x deflexão não apresentaram um padrão comum entre aves do mesmo cruzamento, sexo e idade, mostrando grande variabilidade especialmente após a carga máxima (Figura 23), optou-se por não determinar a tenacidade na flexão (SPE) através da área total sob a curva. A tenacidade à flexão foi então determinada considerando-se a área sob curva até a carga máxima. Desta forma, não foi observado efeito significativo entre os cruzamentos aos 21 e 28 dias ( $P > 0,05$ ). Aos 35 dias C3 apresentou tíbias com maior tenacidade que C2 ( $P < 0,05$ ) e C1 não diferiu de C2 e C3. Aos 42 dias C3

foi mais tenaz que C1 e C2 ( $P < 0,01$ ) que não diferiram entre si (Tabela 4 e Figura 24). Não foi observada tendência clara de variação da tenacidade com a idade entre os cruzamentos. Este parâmetro correlaciona-se não apenas com o teor de colágeno presente no osso, mas principalmente com a qualidade do colágeno, determinada pelo grau e tipo de ligação cruzada presente na molécula (Currey, 2003a). A ausência destas informações, além da variabilidade dos valores obtidos, limita a análise destes resultados.

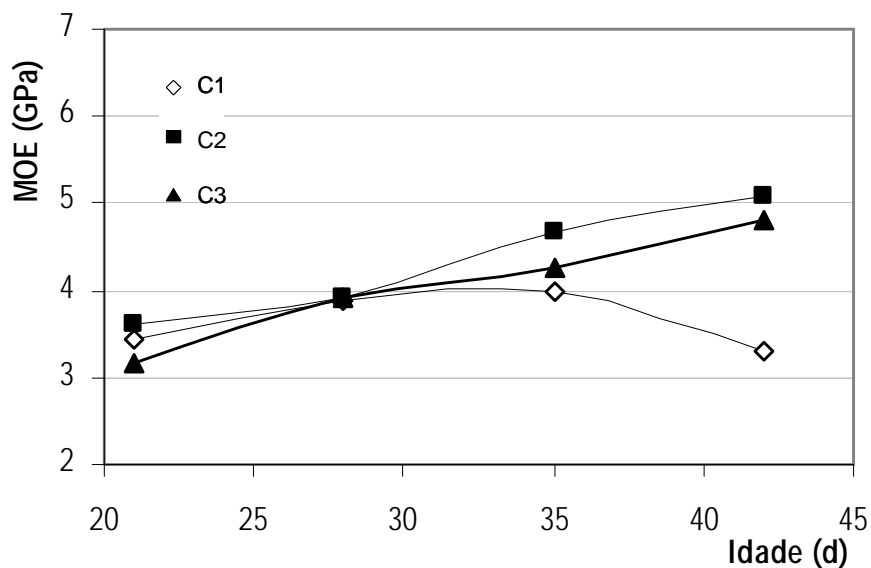


**Figura 23** – Resultados dos testes de flexão realizados em tíbias de machos do cruzamento C2 aos 35 dias.



**Figura 24** – Comportamento da tenacidade com a idade em dias (d) para os três cruzamentos

A rigidez (MOE) não foi significativa entre os cruzamentos aos 21 e 28 dias ( $P > 0,05$ ). Aos 35 dias foi observada uma interação cruzamento x sexo, quando machos e fêmeas do cruzamento C1 foram estatisticamente iguais ( $P < 0,01$ ), Tabela 5. Aos 42 dias os cruzamentos C2 e C3 foram estatisticamente iguais ( $P < 0,01$ ) e superiores a C1 (Tabela 4 e Figura 25). Foi observada uma tendência de aumento da rigidez com a idade para os três cruzamentos, com exceção do C1, que apresentou uma redução da rigidez no intervalo de 36 a 42 dias. Neste intervalo, como mostrado anteriormente, C1 apresentou um grande aumento da área da seção transversal, que resultou em ossos menos densos. Embora não tenha apresentado porosidade significativamente maior, em função da dispersão dos resultados, a menor rigidez observada é mais um indício de que a porosidade também tenha aumentado com o aumento da área da seção transversal. Como consequência deste processo, C1 apresentou ossos menos resistentes à flexão aos 42 dias (Figura 22).



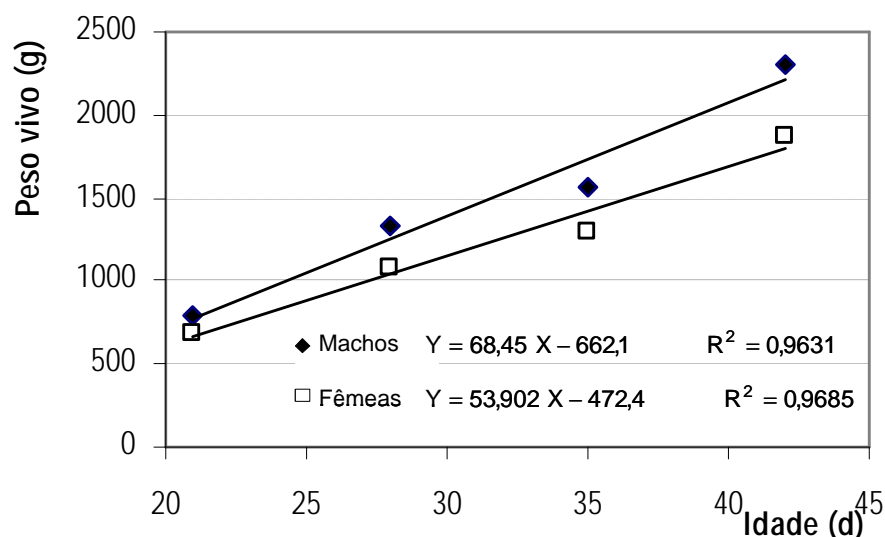
**Figura 25** – Variação da rigidez (MOE) com idade em dias (d) para os três cruzamentos

## 4.2. Efeitos de sexo

### 4.2.1. Aspectos físicos e de composição

Os machos foram significativamente mais pesados que as fêmeas em todas as idades analisadas ( $P < 0,01$ ) (Tabela 6), e a análise de regressão demonstrou ter havido um aumento linear do peso com a idade para ambos os sexos (Figura 26).

Diversos trabalhos também apontam para esta diferença e a atribuem ao dimorfismo sexual (Rose et al, 1996; Kocamis et al, 2000; Applegate e Lilburn, 2002).



**Figura 26** – Variação do peso vivo com a idade em dias (d) de machos e fêmeas

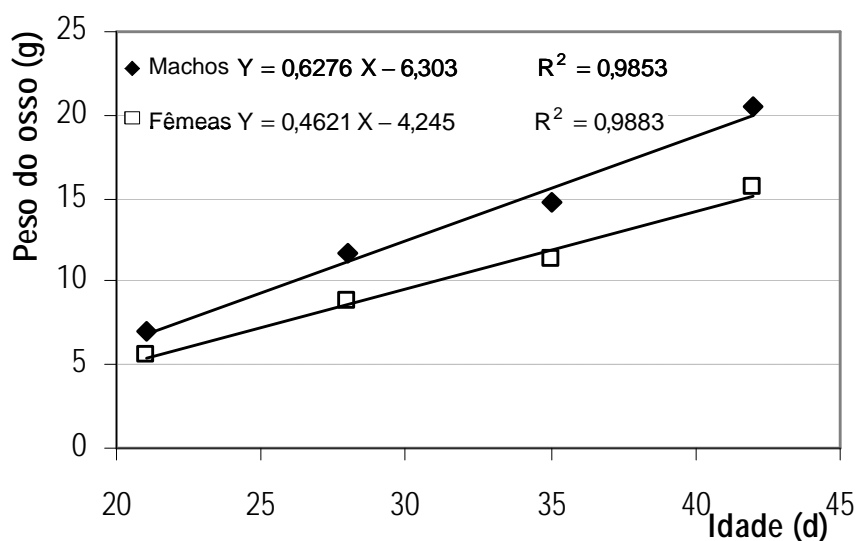
**Tabela 6** - Peso vivo e aspectos físicos das tíbias de machos e fêmeas no período de 21 a 42 dias

Variável	Idade(dias)	Machos	Fêmeas
Peso (g)	21	785,8 ± 121,29 <sup>a</sup>	679,2 ± 96,45 <sup>b</sup>
	28	1325,46 ± 212,19 <sup>a</sup>	1071,06 ± 170,11 <sup>b</sup>
	35	1559,33 ± 228,59 <sup>a</sup>	1286,80 ± 211,43 <sup>b</sup>
	42	2305,06 ± 381,47 <sup>a</sup>	1865,00 ± 401,15 <sup>b</sup>
Peso do osso (g)	21	6,95 ± 1,26 <sup>a</sup>	5,65 ± 0,77 <sup>b</sup>
	28	11,65 ± 1,42 <sup>a</sup>	8,73 ± 1,16 <sup>b</sup>
	35	14,66 ± 1,96 <sup>a</sup>	11,29 ± 1,63 <sup>b</sup>
	42	20,59 ± 2,88 <sup>a</sup>	15,58 ± 2,12 <sup>b</sup>
Comprimento do osso (cm)	21	7,33 ± 0,26 <sup>a</sup>	7,11 ± 0,19 <sup>b</sup>
	28	8,68 ± 0,26 <sup>a</sup>	8,38 ± 0,27 <sup>b</sup>
	35	9,72 ± 0,28 <sup>a</sup>	9,35 ± 0,40 <sup>b</sup>
	42	10,96 ± 0,41 <sup>a</sup>	10,32 ± 0,34 <sup>b</sup>
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	21	1,04 ± 0,05 <sup>ns</sup>	1,08 ± 0,07 <sup>ns</sup>
	28	1,12 ± 0,05 <sup>ns</sup>	1,16 ± 0,09 <sup>ns</sup>
	35	1,25 ± 0,08 <sup>ns</sup>	1,30 ± 0,10 <sup>ns</sup>
	42	1,14 ± 0,09 <sup>ns</sup>	1,17 ± 0,11 <sup>ns</sup>
Porosidade (%)	21	45,00 ± 1,71 <sup>ns</sup>	44,63 ± 1,96 <sup>ns</sup>
	28	40,65 ± 1,83 <sup>ns</sup>	40,42 ± 2,35 <sup>ns</sup>
	35	36,34 ± 2,27 <sup>ns</sup>	34,83 ± 3,03 <sup>ns</sup>
	42	36,27 ± 2,94 <sup>ns</sup>	36,44 ± 2,84 <sup>ns</sup>
Área (cm <sup>2</sup> )	21	0,21 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,16 ± 0,02 <sup>b</sup>
	28	0,29 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,21 ± 0,03 <sup>b</sup>
	35	0,29 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,22 ± 0,03 <sup>b</sup>
	42	0,41 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,32 ± 0,09 <sup>b</sup>

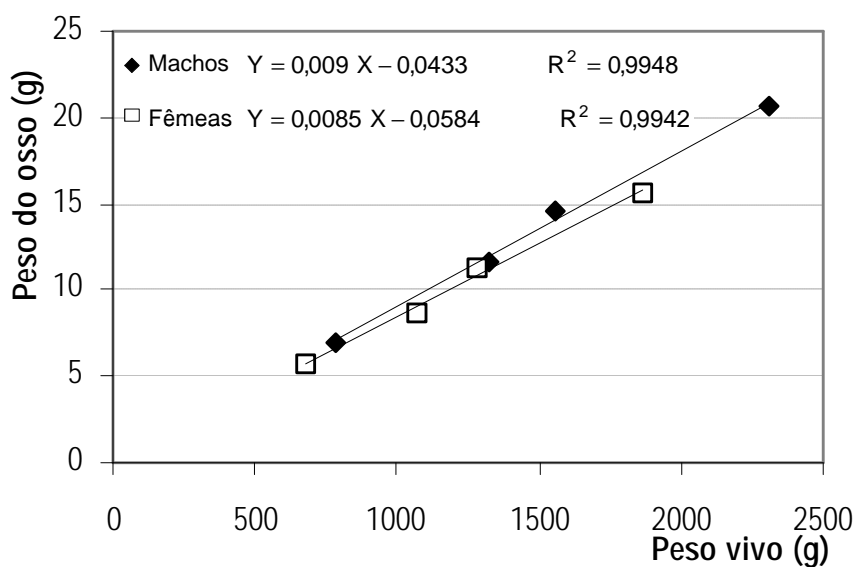
As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste SNK (P>0,05).

<sup>ns</sup>- não significativo

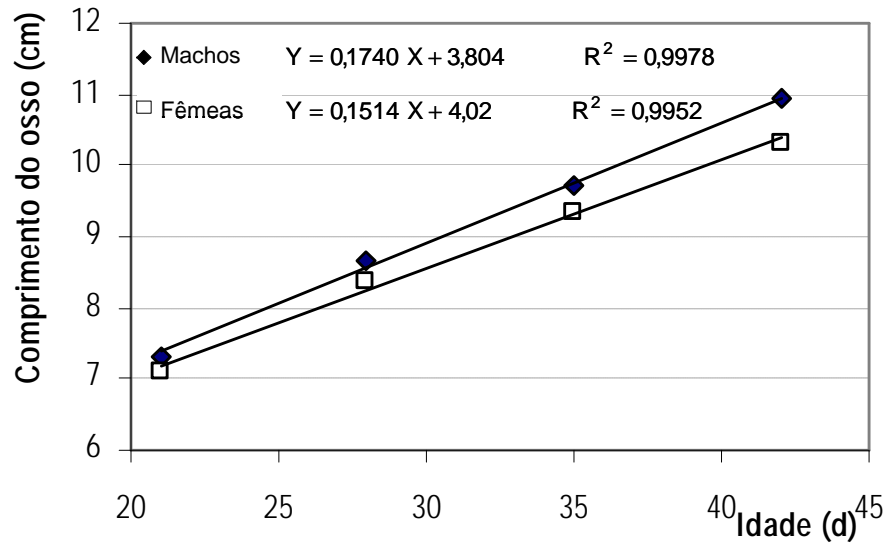
O peso e o comprimento das tíbias dos machos também foram significativamente ( $P < 0,01$ ) superiores aos das fêmeas em todas as idades analisadas (Tabela 6), e acompanharam o crescimento das aves, aumentando de forma linear com a idade e com o peso (Figuras 27, 28, 29 e 30).



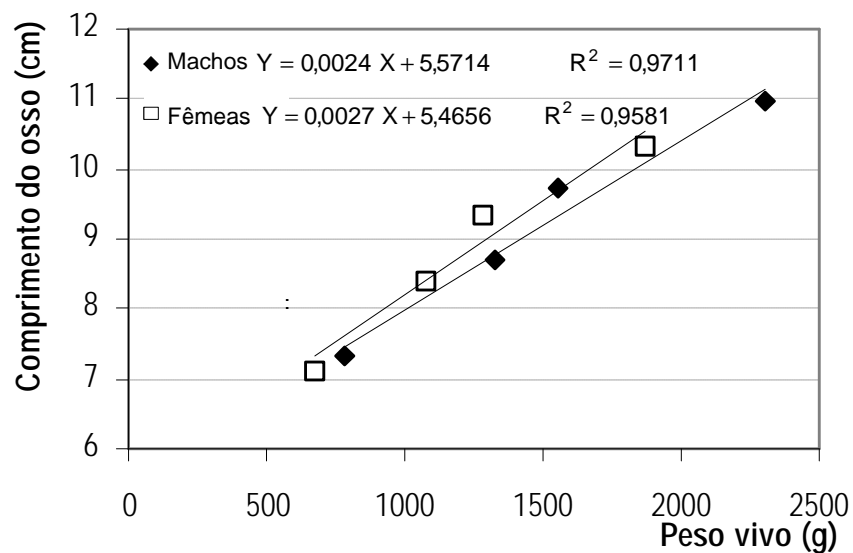
**Figura 27** - Variação do peso das tíbias com a idade em dias (d) de machos e fêmeas



**Figura 28** - Variação do peso das tíbias com o peso vivo de machos e fêmeas



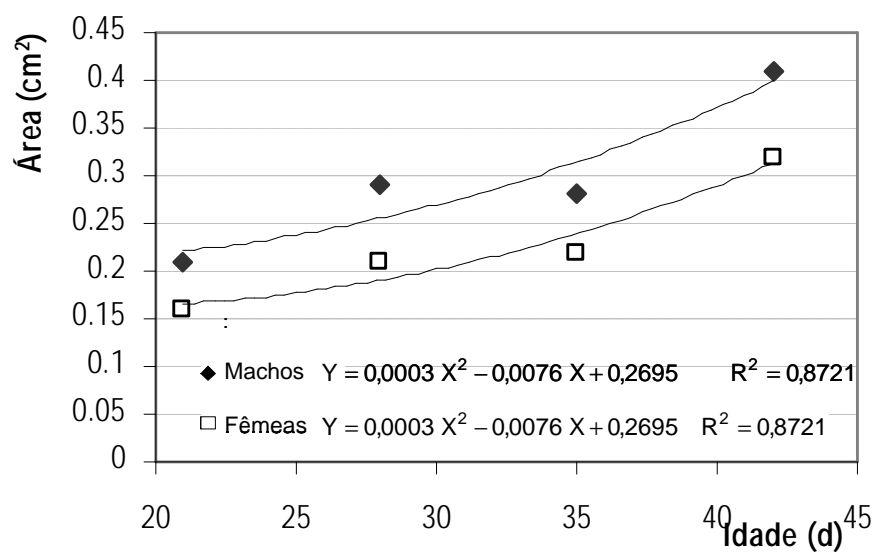
**Figura 29** – Variação do comprimento das tíbias com a idade em dias (d) de machos e fêmeas



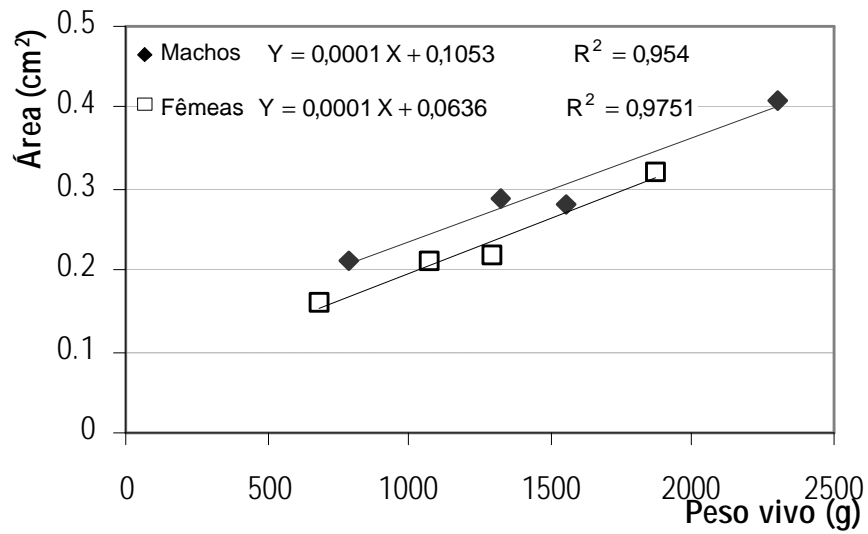
**Figura 30** - Variação do comprimento das tíbias com o peso vivo de machos e fêmeas

Os dados experimentais estão de acordo com Yalçın et al (2001), que também evidenciaram o efeito do sexo sobre o crescimento do osso em aves de 16 a 48 dias, com as fêmeas apresentando valores inferiores. Entretanto, Rose et al (1996) observaram que as tíbias das fêmeas foram mais leves a partir dos 26 dias e que as diferenças quanto ao comprimento só foram significativas a partir dos 42 dias.

A área da seção transversal foi significativamente ( $P < 0,01$ ) maior nos machos em todas as idades analisadas (Figura 31 e Tabela 6), estando de acordo com as observações feitas por Rose et al (1996) e Applegate e Lilburn (2002). O aumento da área da seção transversal se deu de forma linear com o peso para os dois sexos (Figura 32), já em relação à idade a equação que melhor se ajustou foi a quadrática (Figura 31). Uma provável explicação para estas observações é que no intervalo de 28 a 35 dias houve um menor crescimento das aves (ganho de peso) e, como a área da seção transversal varia linearmente com o peso, o crescimento desta também foi menor neste período, voltando a aumentar novamente na última semana (36 a 42 dias).

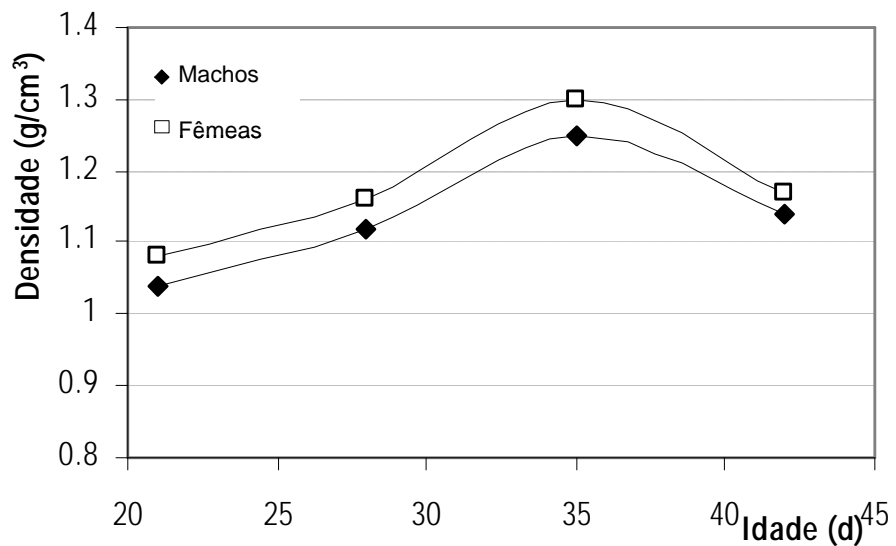


**Figura 31** – Variação da área da seção transversal das tíbias com a idade em dias (d) de machos e fêmeas

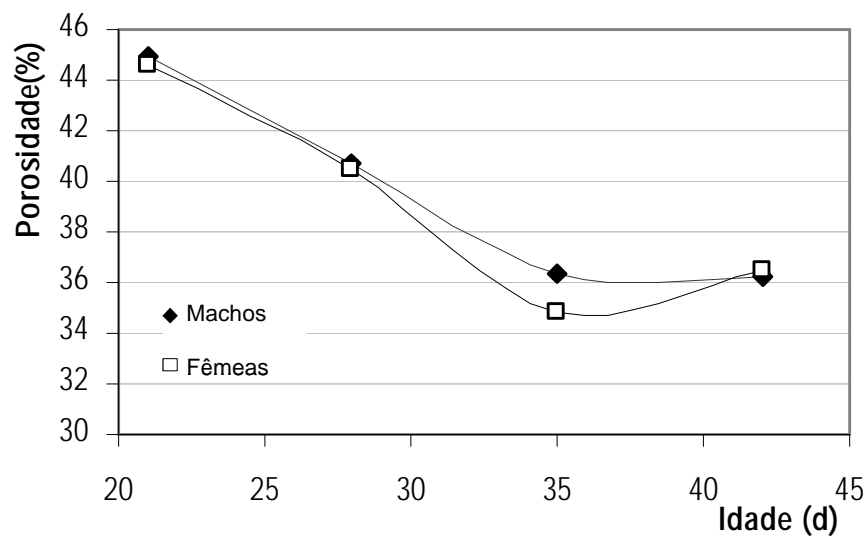


**Figura 32** - Variação da área da seção transversal das tíbias com o peso vivo de machos e fêmeas

Não foram observados efeitos significativos ( $P > 0,05$ ) entre os sexos para densidade e porosidade (tabela 6, Figuras 33 e 34). O mesmo ocorrendo com os teores cinzas, cálcio, fósforo e magnésio, bem como a relação Ca:P (Tabela 7, Figuras 35, 36, 37, 38).



**Figura 33** – Variação da densidade das tíbias com a idade em dias (d) de machos e fêmeas



**Figura 34** - Variação da porosidade das tíbias com a idade em dias (d) de machos e fêmeas

Observa-se entretanto, que as fêmeas tendem a apresentar ossos mais densos, menos porosos e com maior teor de cinzas. Além disso, observa-se que a densidade e o teor de cinzas tendem a aumentar com a idade (21 a 35 dias) e a porosidade tende a diminuir, embora no período de 36 a 42 dias essa tendência não tenha se mantido, como observado também entre os cruzamentos (Figuras 12,13 e 15).

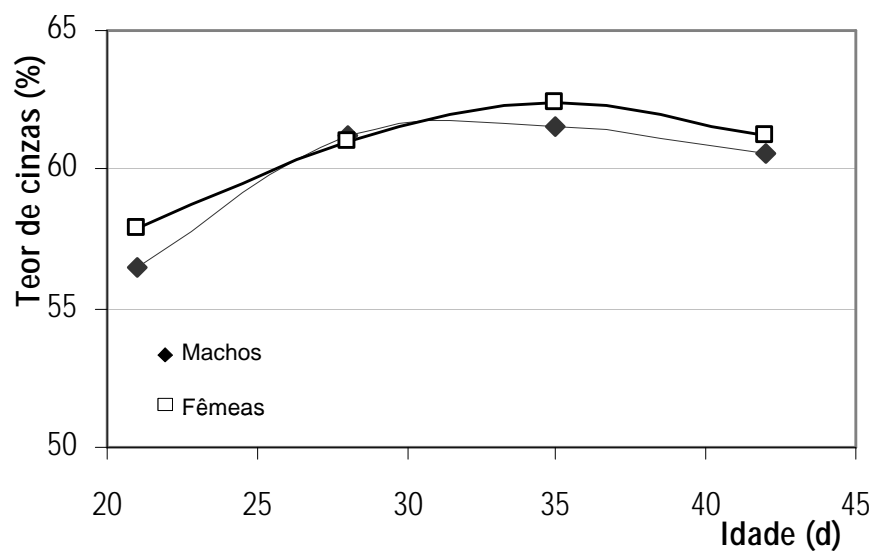
É sugerido que a menor taxa de crescimento das fêmeas seja responsável pela formação de ossos de melhor qualidade, como mostrado por estes dados.

**Tabela 7** - Aspectos da composição das tíbias de machos e fêmeas no período de 21 a 42 dias

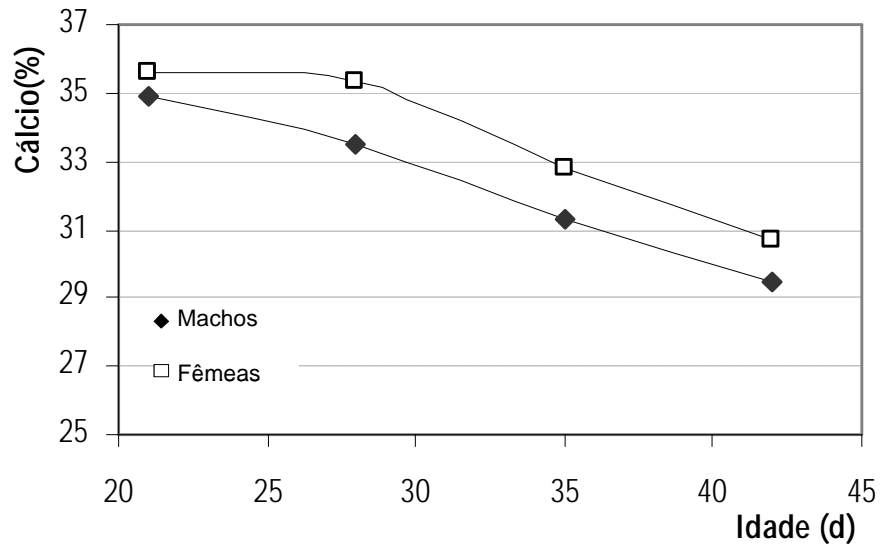
Variável	Idade(dias)	Machos	Fêmeas
Teor de cinzas (%)	21	56,4 ± 7 4,82 <sup>ns</sup>	57,86 ± 2,94 <sup>ns</sup>
	28	61,26 ± 1,86 <sup>ns</sup>	60,99 ± 2,57 <sup>ns</sup>
	35	61,50 ± 1,41 <sup>ns</sup>	62,40 ± 1,21 <sup>ns</sup>
	42	60,56 ± 1,24 <sup>ns</sup>	61,19 ± 1,18 <sup>ns</sup>
Cálcio (%)	21	34,91 ± 4,29 <sup>ns</sup>	35,56 ± 2,97 <sup>ns</sup>
	28	33,52 ± 3,58 <sup>ns</sup>	35,33 ± 3,48 <sup>ns</sup>
	35	31,27 ± 4,71 <sup>ns</sup>	32,78 ± 5,70 <sup>ns</sup>
	42	29,43 ± 3,26 <sup>ns</sup>	30,71 ± 3,44 <sup>ns</sup>
Fósforo (%)	21	15,22 ± 2,64 <sup>ns</sup>	15,23 ± 0,91 <sup>ns</sup>
	28	13,38 ± 1,77 <sup>ns</sup>	14,80 ± 2,05 <sup>ns</sup>
	35	12,98 ± 0,78 <sup>ns</sup>	13,43 ± 0,98 <sup>ns</sup>
	42	13,68 ± 1,40 <sup>ns</sup>	14,38 ± 0,89 <sup>ns</sup>
Magnésio (%)	21	0,78 ± 0,11 <sup>ns</sup>	0,77 ± 0,08 <sup>ns</sup>
	28	0,75 ± 0,09 <sup>ns</sup>	0,78 ± 0,07 <sup>ns</sup>
	35	0,71 ± 0,12 <sup>ns</sup>	0,70 ± 0,13 <sup>ns</sup>
	42	0,70 ± 0,09 <sup>ns</sup>	0,68 ± 0,09 <sup>ns</sup>
Relação Ca:P	21	2,33 ± 0,39 <sup>ns</sup>	2,33 ± 0,16 <sup>ns</sup>
	28	2,52 ± 0,25 <sup>ns</sup>	2,40 ± 0,18 <sup>ns</sup>
	35	2,41 ± 0,33 <sup>ns</sup>	2,43 ± 0,36 <sup>ns</sup>
	42	2,15 ± 0,13 <sup>ns</sup>	2,14 ± 0,25 <sup>ns</sup>

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste SNK ( $P > 0,05$ ).

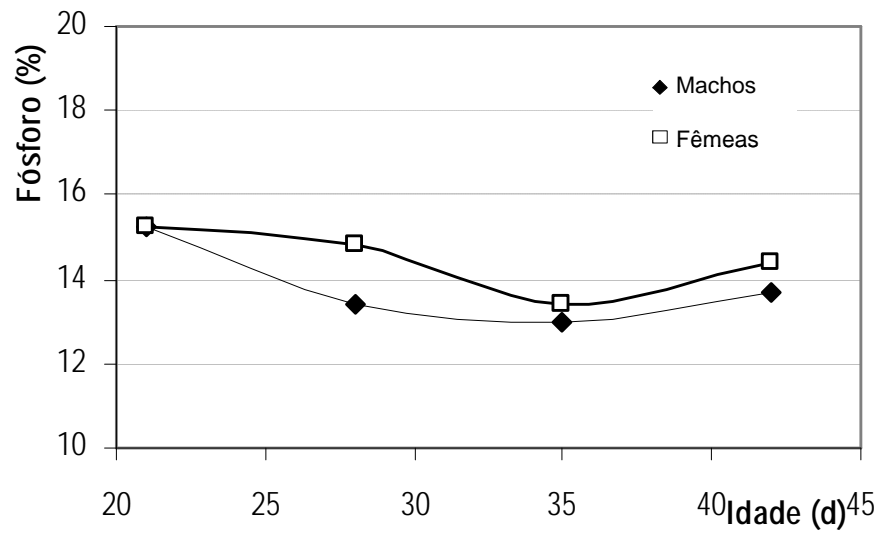
<sup>ns</sup>- não significativo



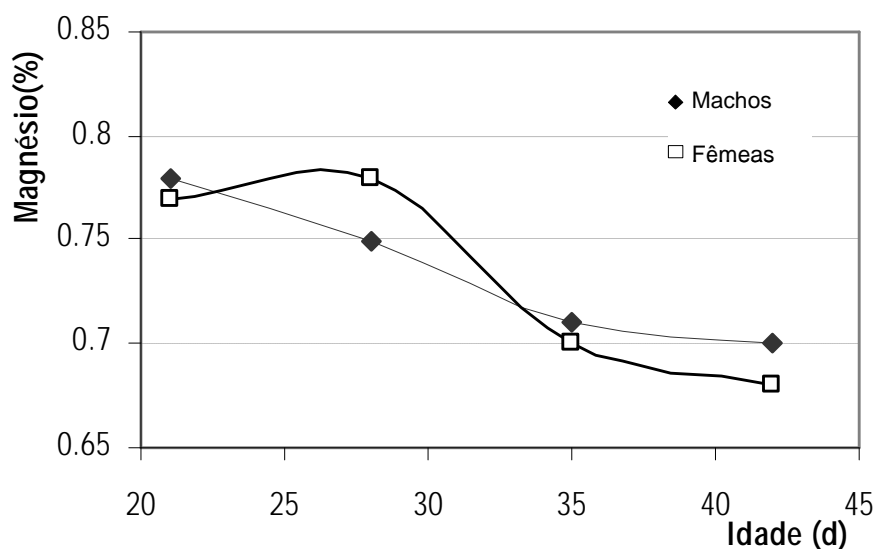
**Figura 35** – Variação do teor de cinzas com a idade em dias (d) de machos e fêmeas



**Figura 36** - Variação do teor de cálcio nas cinzas com a idade em dias (d) de machos e fêmeas



**Figura 37** - Variação do teor de fósforo nas cinzas com a idade em dias (d) de machos e fêmeas

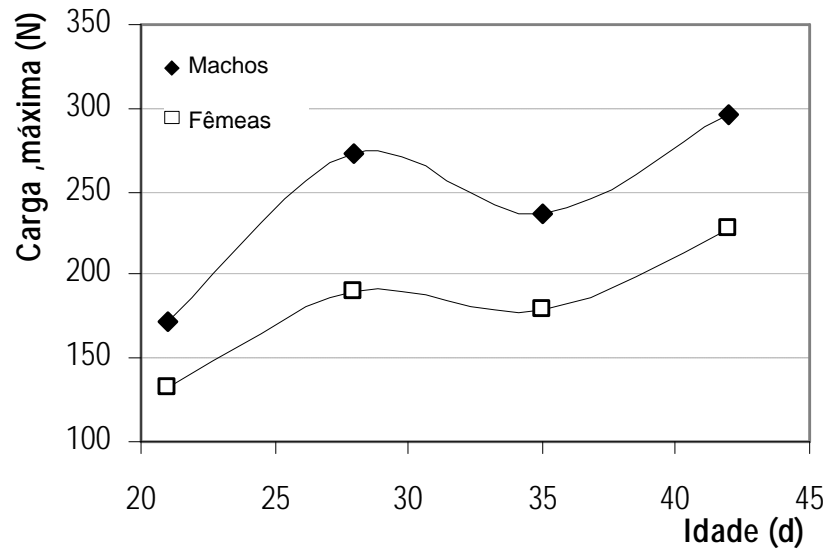


**Figura 38** - Variação do teor de magnésio nas cinzas com a idade em dias (d) de machos e fêmeas

Os dados experimentais coincidem com dados encontrados na literatura. Segundo Cresnhaw et al (1981), a porcentagem de cinzas também não diferiu entre os sexos em suínos, mas tendeu a ser menor nos machos. Bond et al (1991) observaram que o teor de cinzas aumentava com idade em ambos os sexos (0 a 9 semanas), e que as fêmeas apresentaram maior teor de cinzas a partir da 5ª semana. Rose et al (1996) observaram que as tíbias das fêmeas foram menos porosas e mais mineralizadas a partir dos 12 dias de idade.

#### 4.2.2. Aspectos mecânicos:

Considerando-se a carga máxima suportada pelas tíbias à flexão (F), os machos apresentaram valores significativamente superiores às fêmeas em todas as idades estudadas ( $P < 0,01$ ), Tabela 8 e Figura 39.



**Figura 39**– Variação da carga máxima com a idade em dias (d) de machos e fêmeas

**Tabela 8** - Aspectos mecânicos das tíbias de machos e fêmeas no período de 21 a 42 dias de idade

Variável	Idade(dias)	Machos	Fêmeas
Força máxima (F) [N]	21	171,12 ± 24,90 <sup>a</sup>	132,04 ± 24,68 <sup>b</sup>
	28	272,34 ± 49,40 <sup>a</sup>	190,08 ± 28,45 <sup>b</sup>
	35	235,86 ± 67,19 <sup>a</sup>	178,87 ± 51,49 <sup>b</sup>
	42	296,50 ± 61,43 <sup>a</sup>	226,83 ± 69,22 <sup>b</sup>
Resistência à flexão (MOR) [MPa]	21	100,00 ± 15,31 <sup>ns</sup>	105,64 ± 17,44 <sup>ns</sup>
	28	107,55 ± 22,57 <sup>ns</sup>	118,44 ± 14,98 <sup>ns</sup>
	35	-	-
	42	95,72 ± 20,34 <sup>ns</sup>	105,92 ± 24,55 <sup>ns</sup>
Tenacidade à flexão (SPE) [KJ / m <sup>2</sup> ]	21	9,76 ± 1,57 <sup>ns</sup>	9,86 ± 1,80 <sup>ns</sup>
	28	11,57 ± 1,77 <sup>ns</sup>	11,17 ± 1,74 <sup>ns</sup>
	35	13,26 ± 2,42 <sup>a</sup>	11,88 ± 1,68 <sup>b</sup>
	42	12,83 ± 2,53 <sup>ns</sup>	11,18 ± 3,26 <sup>ns</sup>
Inércia x 10 <sup>-10</sup> (I) [m <sup>4</sup> ]	21	5,19 ± 1,38 <sup>a</sup>	3,53 ± 1,05 <sup>b</sup>
	28	10,82 ± 4,32 <sup>a</sup>	5,70 ± 1,44 <sup>b</sup>
	35	12,81 ± 3,72 <sup>a</sup>	7,96 ± 3,11 <sup>b</sup>
	42	21,30 ± 7,84 <sup>a</sup>	13,90 ± 7,91 <sup>b</sup>
Módulo de Elasticidade (MOE) [GPa]	21	3,053 ± 0,50 <sup>b</sup>	3,745 ± 0,60 <sup>a</sup>
	28	3,138 ± 0,89 <sup>b</sup>	4,686 ± 0,69 <sup>a</sup>
	35	-	-
	42	3,697 ± 0,79 <sup>b</sup>	5,105 ± 1,52 <sup>a</sup>

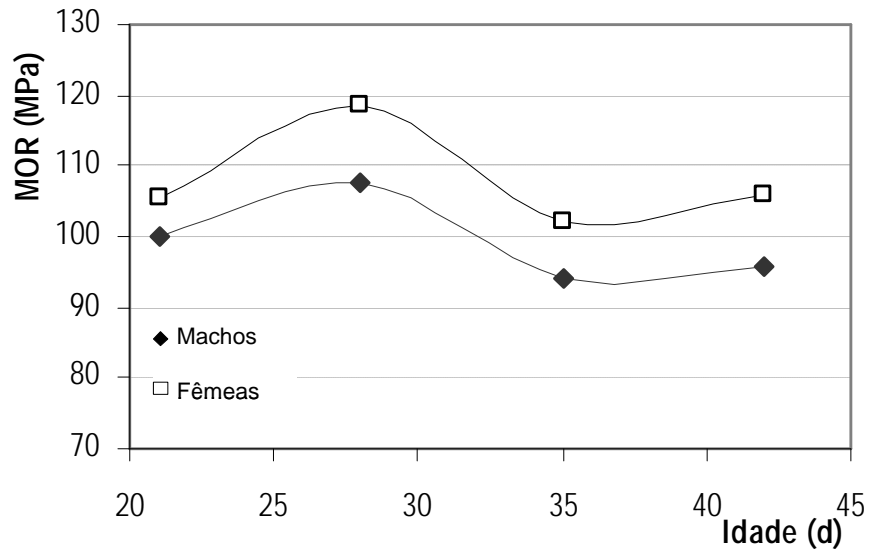
As médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste SNK (P>0,05).

<sup>ns</sup> não significativo

O momento de inércia ( $I$ ) das tíbias dos machos também foi significativamente ( $P < 0,01$ ) superior ao das fêmeas em todas as idades analisadas, Tabela 8 e Figura 40, estando de acordo com as observações feitas por Kocamis et al (2000). Entretanto, quando se leva em conta a geometria do osso, e a do teste de flexão como um todo, através da determinação da resistência à flexão (MOR), não se observa efeito significativo entre os sexos aos 21, 28 e 42 dias ( $P > 0,05$ ). Somente aos 35 dias observa-se uma interação linhagem x sexo, onde os machos e fêmeas do C2 diferiram significativamente entre si ( $P < 0,05$ ), com os machos apresentando valores inferiores de resistência, seguindo a tendência geral observada nas demais idades (Tabela 5 e Figura 41).



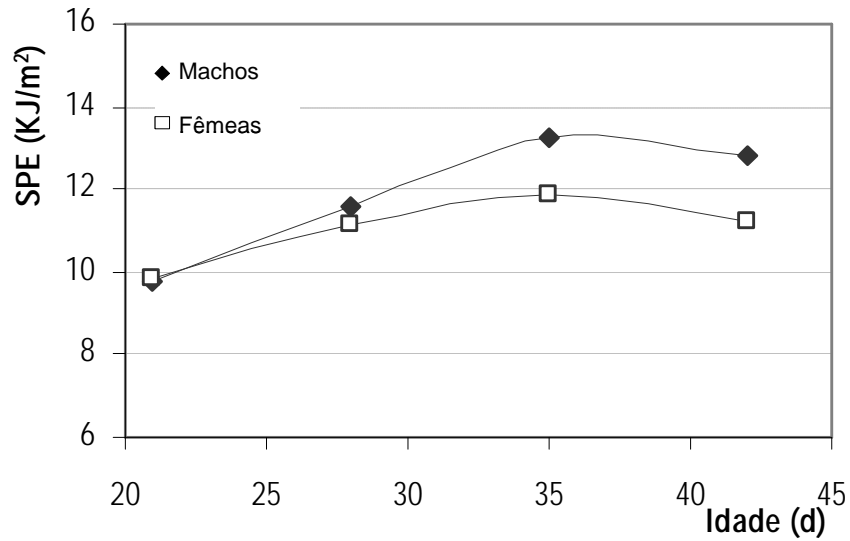
**Figura 40**– Variação do momento de inércia com a idade em dias (d) de machos e fêmeas



**Figura 41**– Variação do módulo de ruptura com a idade em dias (d) de machos e fêmeas

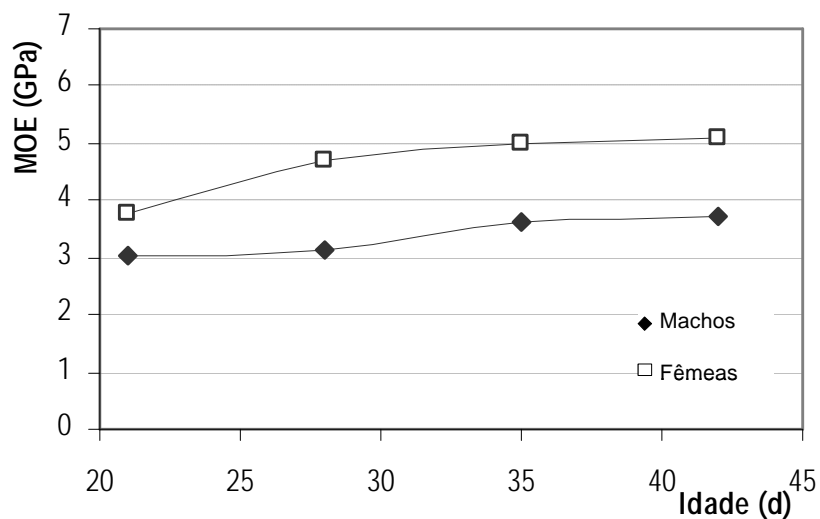
Estes dados ressaltam a importância de se levar em consideração a geometria do osso sobre o qual está sendo aplicada a carga. Sem a devida correção, o fato dos machos suportarem maior carga nos ensaios de flexão, induz a pensar que tenham ossos mais resistentes, quando na verdade, após a determinação da resistência pelo módulo de ruptura observa-se o contrário. Em um estudo com suínos, Crenshaw et al (1981) fizeram observações semelhantes. Embora os machos apresentassem maior momento de inércia e valores de carga máxima, as fêmeas apresentaram maior resistência, dada pelo módulo de ruptura. Como sugerido pelo autor, os ossos dos machos compensaram a menor resistência, resultante da tendência à menor densidade e teor de minerais, através de alterações na geometria, acarretando no aumento do momento de inércia observado.

A tenacidade (SPE) não foi significativa ( $P > 0,05$ ) entre os sexos aos 21, 28 e 42 dias. Aos 35 dias os machos apresentaram valores superiores de tenacidade ( $P < 0,05$ ) (Tabela 8 e Figura 42).



**Figura 42** – Variação da tenacidade com a idade em dias (d) de machos e fêmeas

As fêmeas apresentaram tíbias significativamente ( $P < 0,01$ ) mais rígidas que os machos aos 21, 28 e 42 dias (Tabela 8 e figura 43). Aos 35 dias foi observada interação entre cruzamento e sexo, quando machos e fêmeas do C1 apresentaram rigidez estatisticamente semelhantes ( $P < 0,01$ ), Tabela 5. Valores de rigidez semelhantes aos encontrados neste experimento foram reportados por Rath et al (2000), onde machos de 5 semanas de idade apresentaram rigidez de 3,61 GPa.



**Figura 43** – Variação da rigidez com a idade em dias (d) de machos e fêmeas

Como a rigidez apresenta relação positiva com o teor de minerais (Currey,1999), o fato das fêmeas terem apresentado ossos mais rígidos, está de acordo com a tendência observada delas apresentarem ossos mais mineralizados e mais densos e por essas razões, mais resistentes à flexão.

A maior rigidez dos ossos das fêmeas pode também ter contribuído para a tendência destas apresentarem menor tenacidade (SPE). Isto porque a área sob a região elástica da curva, cuja inclinação é proporcional ao valor da rigidez (MOE), é tanto menor quanto maior a inclinação desta, para um mesmo nível de carregamento.

## 5. CONCLUSÕES

A maior taxa de crescimento e peso corporal do cruzamento comercial observado em relação aos cruzamentos da UFV foi responsável por alterações significativas principalmente de aspectos relacionados à geometria e tamanho do osso. Tal diferença de crescimento no entanto, não alterou a composição do osso formado, levando-se em conta os parâmetros avaliados, uma vez que, de um modo geral, não houve diferença significativa entre os cruzamentos. Desta forma, o fato do cruzamento comercial não ter diferido significativamente quanto à resistência à flexão em relação aos demais cruzamentos, é um indício de que embora os teores dos componentes do osso não tenham sido afetados pelo ritmo de crescimento, de certa forma, a estrutura e disposição destes componentes no espaço foi comprometida. Por serem mais pesadas, esperava-se que estas aves apresentassem ossos mais resistentes; como não o foram, se tornam mais susceptíveis à deformações e ao surgimento dos problemas de pernas. Isto indica que a seleção continuada deste cruzamento para ganho de peso pode resultar também no aumento da ocorrência de tais problemas de pernas.

O cruzamento da UFV, aqui denominado de C1, demonstrou não ser um cruzamento economicamente viável, tanto por ter apresentado menor ganho de peso e pior conversão alimentar, quanto por ter apresentado uma

tendência a desenvolver ossos menos densos e menos resistentes. Esta característica parece estar ligada à genética deste cruzamento, uma vez que o cruzamento C2, também da UFV, tendo sido submetido ao mesmo tratamento e tendo apresentado taxa de crescimento semelhante, não apresentou alterações que indiquem o comprometimento do desenvolvimento ósseo.

Entre os sexos, foi observado um claro dimorfismo sexual das variáveis associadas à geometria e tamanho dos ossos, com os machos sempre apresentando valores superiores. Embora as variáveis relacionadas à composição do osso não tenham diferido significativamente, foi possível observar claramente que as fêmeas, por se desenvolverem mais lentamente, tendem a formar ossos de melhor qualidade, ou seja, mais densos, mais mineralizados e menos porosos. Esta tendência se torna mais evidente através dos valores de rigidez significativamente superiores das fêmeas, uma vez que para qualquer material, uma maior rigidez implica em maior densidade e menor porosidade. Por essa razão, as tíbias das fêmeas também tenderam a ser mais resistentes à flexão (MOR).

Desta forma, esses resultados em parte explicam porque as fêmeas são consideradas como sendo menos susceptíveis a deformidades ósseas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

APPLEGALET, T. J., LILBURN, M. S. Growth of the femur and tibia of a commercial broiler line. **Poultry Science**, v.81, n.9, p. 1289-1294, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPORTADORES DE FRANGO- ABEF. Consumo brasileiro de carne de frangos.- Série histórica (1989-2003). [www.abef.com.br](http://www.abef.com.br) acessado em 16 de dezembro de 2004.

AVICULTURA INDUSTRIAL

[http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/dinamica.asp?id=11173&tipo\\_tabela=negocios&categoria=exportacao](http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/dinamica.asp?id=11173&tipo_tabela=negocios&categoria=exportacao), acessado em 05 de Janeiro de 2005.

AVICULTURA INDUSTRIAL. Mudando as exigências. **Avicultura Industrial**, v.8, p.30-32, 2003.

BAR, A.; SHINDER, D.; YOSEFI, S. et al. Metabolism and requirements for calcium and phosphorus in the fast-growing chicken as affected by age. **British Journal of Nutrition**, v.89, n.1, p.51-60. 2003.

BIEWENER, A.A.; BERTRAM, J.E. Structural response of growing bone to exercise and disuse. **Journal of Applied Physiology**, v.76, n.2, p.946-955, 1994.

BOND, P.L.; SULLIVAN, T.W.; DOUGLAS, J.H. et al. Influence of age, sex and method of rearing on tibia length and mineral deposition in broilers. **Poultry Science**, v.70, n.9, p.1936-1942, 1991.

COOK, M.E. Skeletal deformities and their causes: Introduction. **Poultry Science**, v.79, n.7, p.982-984, 2000.

CRENSHAW, T.D.; PEO JR., E.R.; LEWIS, B.D. et al. Influence of age, sex and calcium and phosphorus levels on the mechanical properties of various bones in swine. **Journal of Animal Science**, v.52, n.6, p.1319-1329, 1981.

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

CURREY, J.D. The many adaptations of bone. **Journal of Biomechanics**, v.36, n.10, p.1487-1495, 2003b.

- CURREY, J.D. What determines the bending strength of compact bone? **The Journal of Experimental Biology**, v.202, n.18, p.2495-2503, 1999.
- EDWARDS, Jr.; H.M. Nutrition and skeletal problems in poultry. **Poultry Science**, v.79, n.7, p.1018-1023, 2000.
- EMMERSON, D. A.; ANTHONY, N., B., NESTOR, K., E. et al. 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.
- FIELD, R. A. Ash and calcium as measures of bone in meat and bone mixtures. **Meat Science**, v.55, n.3, p. 255-264, 2000.
- FIGUEIREDO, F. E.A.; SCHIMIDT, G.S. Genética do crescimento e da produção de carne e ovos em galinhas. EMBRAPA Suínos e aves. <http://www.cnpsa.embrapa.br/?/artigos/2002/artigo-2002-n017.html>; ano=2002 acessado em 16 /12/2004.
- FREITAS, B. C. F.; NUNES, I. J. Fraqueza das pernas em frangos de corte: aspectos nutricionais. **Cad.Téc. Vet. Zootec**, v 34, p.45-51, 2001.
- GARTNER, L.P.; HIATT, J.L. **Atlas colorido de histologia**. 3ª ed. Guanabara Koogan, 2002. 413p.
- GUEDES ,P.P. Perspectivas sobre 2004 para a aviculture de corte. Embrapa suínos e aves <http://www.cnpsa.embrapa.br/?/artigos/2004/artigo-2004-n012.html>; ano=2004 acessado em 16 de dezembro de 2004
- HENRY, J.B. **Diagnósticos clínicos e tratamento por métodos laboratoriais**. 18ªed. Brasil: Editora Manole Ltda, 1995.1678p.
- HOCKING, P.M; WILSON, S.; DICK, L. et al. role of dietary calcium and available phosphorus in the aetiology of tibial dyscondroplasia in growing turkeys. **British Poultry Science**, v.43, n.3, p.432-441.
- JULIAN, R. J. Rapid growth problems: Ascites and skeletal deformities in broilers. **Poultry Science**, v.77, n.12, p.1773-1780, 1998.
- KESTIN, S, C; KNOWLES, T. G.; TINCH; A. E. et al. Prevalence of leg weakness in broiler chickens and its relationship with genotype. **The Veterinary Record**, v.131, n.9, p.190-194, 1992.
- KESTIN, S. C.; SU, G.; AND SORENSEN, P. Different commercial broiler crosses have different susceptibilities to leg weakness. **Poultry Science**, v.7, n.8, p.1085-1090, 1999.
- KOCAMIS, H.; YENI, Y.N.; BROWN, C.U. et al. Effect of in ovo administration of Insulin-Like Growth Factor-I on composition and mechanical properties of chicken bone. **Poultry Science**, v.79, n.9, p.1345-1350, 2000.
- 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. et al. 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

- LILBURN, M. S. Skeletal growth of commercial poultry species. **Poultry Science**, v.73, n.6, p.897-903, 1994.
- MACARI, M.; FURLAN, R.L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada à frangos de corte**.ed.Jaboticabal:FUNEP/UNESP, 2002. 375p.
- MASSÉ, P.G.; RIMNAC, C.M.; YAMAUCHI, M. et al. Pyridoxine deficiency affects biomechanical properties of chick tibial bone. **Bone**, v.18, n.6, p.567-574, 1996.
- McNAMEE, P. T., McCULLAG, J. J., THORP, B. H. et al. Study of leg weakness in two commercial broiler flocks. **The Veterinary Record**, v.143, n.5, p.1312-135, 1998.
- MERCER, J.T; HILL, W.G. Estimation of genetic parameters for skeletal defects in broiler chickens. **Heredity**, v.53, n1, p.193-203, 1984.
- NESTOR, K.E.; BACON, W.L.; SAIF, Y.M. et al. The influence of genetic increases in shank width on body weight, walking ability and reproduction of turkeys. **Poultry Science**, v.64, n.12, p.2248-2255, 1985.
- NESTOR, K.E.; BACON, W.L., MOORHEAD, P.D. et al. Comparison of boné and muscle growth in turkey lines selected for increased body weight and increased shank width. **Poultry Science**, v.66, n.9, p.1421-1428, 1987.
- PAIVA,A.L.C.; TEIXEIRA, R.F.; SILVA, R.F. et al. Avaliação de peso individual e ganho de peso de três híbridos de frango de corte. In: **Zootec, 2004**. Brasília 2004.
- RAIF, E.M.; HARMAND, M.F. Molecular interface characterization in human bone matrix. **Biomaterials**, v.14, n.13, p.978-984, 1993.
- RATH, N. C., HUFF, G. R. AND BALOG, J. M. Factors regulating bone maturity and strength in poultry. **Poultry Science**, v.79, n.7, p.1024-1032, 2000.
- RATH, N.C., BALOG, J.M., HUFF, G.R. et al. Comparative differences in the composition and biomechanical properties of tibia of seven- and seventy-two-week-old male and female broiler breeder chickens. **Poultry Science**, v.78, n.8, p.1232-1239, 1999.
- ROACH, H.I. Why does bone matrix contain non-collagenous proteins? The possible roles of osteocalcin, osteopontin and bone sialoprotein in bone mineralization and resorption. **Cell Biology International**, v. 18, n. 6, p. 617-628, 1994
- 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. **Tabelas brasileiras para aves e suínos- Composição de alimentos e exigências nutricionais**. 2ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2000.141p.
- 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, 2004.
- SEIFERT, M.F.; WATKINS, B.A. Role of dietary lipid and antioxidants in bone metabolism. **Nutrition Research**, v.17, n. 7, p. 1209-1228, 1997.

- SILVA, J.F. Brazil poultry and products. Annual Report 2004. **USDA Gain Report**, nºBR4620, 31/08/2004.
- SULLIVAN, T. W. Skeletal problems in poultry: Estimated Annual cost and descriptions. **Poultry Science**, v.73, n.6, p.879-882, 1994.
- TEIXEIRA, R.B.; PAIVA, A.L.C.; YAMAKI, M. et al. Avaliação da conversão alimentar e consume de ração de três híbridos de frango de corte. In: **Zootec**, 2004, Brasília 2004.
- 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, 1993.
- VELLEMAN, S. G. The role of the extracellular matrix in skeletal development. **Poultry Science**, v. 79, n.7, p.985-989, 2000.
- WANG, X.; BANK, R.A.; TEKOPPELE, J.M. et al. The role of collagen in determining bone mechanical properties. **Journal of Orthopaedic Research**, v.19, n.6, p.1021-1026, 2001.
- WEEKS, C.A.; DANBURY, T.D.; DAVIES, H.C. et al. The behavior of broiler chickens and its modification by lameness. **Applied Animal Behaviour Science**, v.67, n1-2, p.111-125, 2000.
- WILLIAMNS, B.; SOLOMON, S.; WADDINGTON, D. et al. Skeletal development in the meat type chicken. **British Poultry Science**, v.41, n.2, p.141-149, 2000a.
- 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 b.
- WILLIAMS, B.; WADDINGTON, D.; MURRAY, D.H. et al. Bone strength during growth: influence of growth rate on cortical porosity and mineralization. **Calcif. Tissue Int.**, v.74, n.3, p.236-245, 2004.
- YALÇIN, S., SETTAR, P. AND DICLE, O. Influence of dietary protein and sex on walking ability and bone parameters of broilers. **British Poultry Science**, v.39, n.2, p.251-256, 1998.
- YALÇIN, S.; ÖZKAN, S.; COSKUNER, E. et al. Effects of strain, maternal age and sex on morphological characteristics and composition of tibial bone in broilers. **British Poultry Science**, v.42, n.2, p.184-190, 2001.
- YOGARATNAM, V. Analysis of the causes of high rates of carcass rejection at a poultry processing plant. **The Veterinary Record**, v.137, n.9, p.215-217, 1995.
- YOUNG, M.F. Bone matrix proteins: their function, regulation, and relationship to osteoporosis. **Osteoporos Int**, v.14, n. 3, p. 35-42, 2003.

## APÊNDICE

**Tabela 1a** - Análise de variância do peso vivo dos frangos de corte (PV) e do peso (PO) e comprimento (CO) das tíbias no período de 21 a 42 dias.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		PV (g) 21 d	PV (g) 28 d	PV (g) 35 d	PV (g) 42 d
Linhagem	2	131339.7**	419987.7**	401703.3**	1365632**
Sexo	1	85226.70**	485395.2**	557058.1**	1452440**
Linha X Sexo	2	1357.300 <sup>ns</sup>	12040.00 <sup>ns</sup>	1464.133 <sup>ns</sup>	61628.03 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	2951.450	7143.467	22962.87	59823.07
CV (%)		7,417	7.053	10.648	11.731
		PO (g) 21 d	PO (g)28 d	PO (g) 35 d	PO (g) 42 d
Linhagem	2	6.994330**	17.70296**	17.23177**	13.26964 ns
Sexo	1	12.54533**	64.18181**	84.77283**	188.2007**
Linha X Sexo	2	0.4302433 <sup>ns</sup>	0.2275833 <sup>ns</sup>	2.678760 <sup>ns</sup>	1.357323 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	0.6656350	0.4835200	2.144617	6.284507
CV (%)		12.942	6.822	11.282	13.857
		CO (cm) 21 d	CO (cm) 28 d	CO (cm) 35 d	CO (cm) 42 d
Linhagem	2	0.2096533**	0.4058133**	0.4342633*	0.2492500 ns
Sexo	1	0.3542533 **	0.6600833**	1.034163**	3.052830**
Linha X Sexo	2	0.4853333E-02 <sup>ns</sup>	0.1241333E-01 <sup>ns</sup>	0.1864633 <sup>ns</sup>	0.1784100 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	0.4476333E-01	0.5062333E-01	0.8890333E-01	0.1319283
CV (%)		2.929	2.637	3.127	3.413

\*\*efeito significativo (P<0,01); \* efeito significativo (P<0,05); ns não significativo

**Tabela 2a** - Análise de variância da densidade (d), porosidade (p) e área da seção transversal (A) das tíbias de frangos de corte no período de 21 a 42 dias

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		D (g/cm <sup>3</sup> ) 21 d	D (g/cm <sup>3</sup> ) 28 d	D (g/cm <sup>3</sup> ) 35 d	D (g/cm <sup>3</sup> ) 42 d
Linha	2	0.3117175E-02 <sup>ns</sup>	0.3939267E-02 <sup>ns</sup>	0.2513618E-01 <sup>ns</sup>	0.5826146E-01**
Sexo	1	0.1376358E-01 <sup>ns</sup>	0.1368163E-01 <sup>ns</sup>	0.1504237E-01 <sup>ns</sup>	0.4635001E-02 <sup>ns</sup>
Linha X Sexo	2	0.6972617E-02 <sup>ns</sup>	0.1259038E-02 <sup>ns</sup>	0.1060718E-01 <sup>ns</sup>	0.3792225E-02 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	0.4005556E-02	0.5974731E-02	0.7392610E-02	0.7606252E-02
CV (%)		5.949	6.770	6.720	7.512
		PR (%) 21 d	PR (%) 28 d	PR (%) 35 d	PR (%) 42 d
Linha	2	10.42598*	5.903267 <sup>ns</sup>	11.19561 <sup>ns</sup>	2.888237 <sup>ns</sup>
Sexo	1	1.027581 <sup>ns</sup>	0.4217348 <sup>ns</sup>	3.392679 <sup>ns</sup>	0.2221676 <sup>ns</sup>
Linha X Sexo	2	2.390159 <sup>ns</sup>	2.424391 <sup>ns</sup>	3.530783 <sup>ns</sup>	19.79960 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	2.859572	4.520509	7.145013	7.873658
CV (%)		3.773	5.245	7.424	7.718
		A (cm <sup>2</sup> ) 21 d	A (cm <sup>2</sup> ) 28 d	A (cm <sup>2</sup> ) 35 d	A (cm <sup>2</sup> ) 42 d
Linha	2	0.3547283E-02*	0.6897396E-02*	0.7444228E-02*	0.3827746E-01**
Sexo	1	0.1919131E-01**	0.5324522E-01**	0.3272683E-01**	0.6174582E-01**
Linha X Sexo	2	0.1332676E-03 <sup>ns</sup>	0.8558048E-03 <sup>ns</sup>	0.4737085E-02*	0.4765034E-02 <sup>s</sup>
Resíduo	24	0.8909165E-03	0.1785986E-02	0.1546959E-02	0.4634393E-02
CV (%)		15.707	16.553	15.461	18.468

\*\*efeito significativo (P<0,01); \* efeito significativo (P<0,05); ns não significativo

**Tabela 3a** - Análise de variância do teor de cinzas (TC), teor de cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e relação Ca:P (Ca:P) das tíbias de frangos de corte no período de 21 a 42 dias.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		TC(%) 21 d	TC (%) 28 d	TC (%) 35 d	TC (%) 42 d
Linha	2	64.662968*	3.463622 <sup>ns</sup>	2.033237 <sup>ns</sup>	0.1120855 <sup>ns</sup>
Sexo	1	14.53409 <sup>ns</sup>	0.5649059 <sup>ns</sup>	6.171991 <sup>ns</sup>	3.020813 <sup>ns</sup>
Linha X Sexo	2	1.816669 <sup>ns</sup>	6.556841 <sup>ns</sup>	1.871067 <sup>ns</sup>	0.5100383 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	13.10565	5.071095	1.713202	1.664404
CV (%)		6.332	3.684	2.113	2.119
		<b>Ca (%) 21 d</b>	<b>Ca (%) 28 d</b>	<b>Ca (%) 35 d</b>	<b>Ca(%) 42 d</b>
Linha	2	10.07597 <sup>ns</sup>	44.86115*	1.322738 <sup>ns</sup>	23.03419 <sup>ns</sup>
Sexo	1	3.158025 <sup>ns</sup>	24.60346 <sup>ns</sup>	17.08738 <sup>ns</sup>	12.36519 <sup>ns</sup>
Linha X Sexo	2	27.68970 <sup>ns</sup>	6.097891 <sup>ns</sup>	35.21084 <sup>ns</sup>	0.9636106 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	12.77838	10.34978	28.90503	11.14845
CV (%)		10.144	9.343	16.784	11.102
		<b>P (%)21 d</b>	<b>P (%) 28 d</b>	<b>P (%) 35 d</b>	<b>P (%) 42 d</b>
Linha	2	2.275465 <sup>ns</sup>	3.929774 <sup>ns</sup>	1.156403 <sup>ns</sup>	0.7694965E-01 <sup>ns</sup>
Sexo	1	0.2073393E-02 <sup>ns</sup>	15.13258 <sup>ns</sup>	1.501118 <sup>ns</sup>	3.718523 <sup>ns</sup>
Linha X Sexo	2	7.330866 <sup>ns</sup>	0.5131497 <sup>ns</sup>	1.811514 <sup>ns</sup>	1.498264 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	3.774204	3.935992	0.6796184	1.495333
CV (%)		12.755	14.078	6.242	8.711
		<b>Mg (%) 21 d</b>	<b>Mg (%) 28 d</b>	<b>Mg (%) 35 d</b>	<b>Mg (%) 42 d</b>
Linha	2	0.2465570E-02 <sup>ns</sup>	0.2939007E-01*	0.2942366E-03 <sup>ns</sup>	0.3706973E-01*
Sexo	1	0.9079254E-04 <sup>ns</sup>	0.5385718E-02 <sup>ns</sup>	0.5605708E-03 <sup>ns</sup>	0.1509058E-02 <sup>ns</sup>
Linha X Sexo	2	0.1358713E-01 <sup>ns</sup>	0.7830688E-02	0.2619712E-01 <sup>ns</sup>	0.3015193E-02 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	0.1041169E-01	0.5671720E-02	0.1760380E-01	0.6758319E-02
CV (%)		13.087	9.752	18.577	11.862
		<b>Ca:P 21 d</b>	<b>Ca:P 28 d</b>	<b>Ca:P 35 d</b>	<b>Ca:P 42 d</b>
Linha	2	0.2987544E-02 <sup>ns</sup>	0.9388422E-02 <sup>ns</sup>	0.6686556E-01 <sup>ns</sup>	0.1082882 <sup>ns</sup>
Sexo	1	0.3682518E-04 <sup>ns</sup>	0.1030083 <sup>ns</sup>	0.6064214E-02 <sup>ns</sup>	0.9457631E-03 <sup>ns</sup>
Linha X Sexo	2	0.9334954E-01 <sup>ns</sup>	0.5823442E-02 <sup>ns</sup>	0.1512752 <sup>ns</sup>	0.6051912E-01 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	0.1011806	0.5696165E-01	0.1218922	0.3610218E-01
CV (%)		13.614	9.676	14.400	8.846

\*\*efeito significativo (P<0,01); \* efeito significativo (P<0,05); ns não significativo

**Tabela 4a** – Análise de variação da carga máxima (F), resistência á flexão ou modulo de ruptura (MOR) e momento de inércia (I) das tíbias de frangos de corte no período de 21 a 42 dias.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		F (N) 21 d	F (N) 28 d	F (N) 35 d	F(N) 42 d
Linha	2	1626.147 <sup>ns</sup>	3475.323 <sup>ns</sup>	15382.18*	6885.560 <sup>ns</sup>
Sexo	1	11452.71**	50743.73**	24363.28**	36405.71**
Linha X Sexo	2	3.24325 <sup>ns</sup>	824.4452 <sup>ns</sup>	96.84383 <sup>ns</sup>	7029.118 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	581.5945	1538.075	2890.592	3837.648
CV (%)		15.910	16.962	25.927	23.674
		<b>MOR (MPa) 21d</b>	<b>MOR (MPa) 28d</b>	<b>MOR (MPa) 35d</b>	<b>MOR (MPa) 42d</b>
Linha	2	210.4448 <sup>ns</sup>	196.1317 <sup>ns</sup>	202.5304 <sup>ns</sup>	1666.726*
Sexo	1	238.3139 <sup>ns</sup>	889.0800 <sup>ns</sup>	511.9537 <sup>ns</sup>	781.3020 <sup>ns</sup>
Linha X Sexo	2	60.17237 <sup>ns</sup>	18.06276 <sup>ns</sup>	1414.626*	5.422113 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	291.9288	410.3916	306.6899	453.5969
CV (%)		16.617	17.928	17.859	21.124
		<b>I (m<sup>4</sup>) 21 d</b>	<b>I (m<sup>4</sup>) 28 d</b>	<b>I (m<sup>4</sup>) 35 d</b>	<b>I (m<sup>4</sup>) 42 d</b>
Linha	2	0.2945783E-21 <sup>ns</sup>	0.1463416E-20 <sup>ns</sup>	0.3747622E-20*	0.2852432E-19**
Sexo	1	0.2062227E-20**	0.1971918E-19**	0.1763826E-19**	0.4175026E-19**
Linha X Sexo	2	0.8479794E-23 <sup>ns</sup>	0.1821806E-21 <sup>ns</sup>	0.2299153E-20 <sup>ns</sup>	0.1973325E-20 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	0.1523080E-21	0.1073244E-20	0.8722759E-21	0.4702184E-20
CV (%)		28.248	39.635	28.436	38.889
		<b>SPE (KJ/m<sup>2</sup>) 21d</b>	<b>SPE(KJ/m<sup>2</sup>) 28d</b>	<b>SPE(KJ/m<sup>2</sup>) 35d</b>	<b>SPE(KJ/m<sup>2</sup>) 42d</b>
Linha	2	3.501698 <sup>ns</sup>	2.526356 <sup>ns</sup>	15.14842*	45.24381**
Sexo	1	0.6938761E-01 <sup>ns</sup>	1.215248 <sup>ns</sup>	14.31465*	20.48959 <sup>ns</sup>
Linha X Sexo	2	3.712898 <sup>ns</sup>	4.802270 <sup>ns</sup>	8.517112 <sup>ns</sup>	2.385131 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	2.733315	3.004463	3.126241	6.025938
CV (%)		16.849	15.233	14.065	20.436
		<b>MOE (GPa) 21d</b>	<b>MOE (GPa) 28d</b>	<b>MOE (GPa) 35d</b>	<b>MOE (GPa) 42d</b>
Linha	2	0.4972105 <sup>ns</sup>	0.233376E-02 <sup>ns</sup>	1.112087 <sup>ns</sup>	9.372419**
Sexo	1	3.590511**	17.96046**	14.97660**	14.85811**
Linha X Sexo	2	0.2633562E-01 <sup>ns</sup>	1.288533 <sup>ns</sup>	6.404333**	1.522925 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	0.3185779	0.6415595	0.4534248	0.8147489
CV (%)		16.602	20.472	15.643	20.509

\*\*efeito significativo (P<0,01); \* efeito significativo (P<0,05); ns não significativo