

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**MORFOMETRIA DO CASCO E DENSITOMETRIA MINERAL  
ÓSSEA DO METACÁRPICO E FALANGES DE BOVINOS  
NELORE EM CONFINAMENTO E NA PASTAGEM**

**Fabiana Cirino dos Santos**  
**Médica Veterinária**

**2015**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**MORFOMETRIA DO CASCO E DENSITOMETRIA MINERAL  
ÓSSEA DO METACÁRPICO E FALANGES DE BOVINOS  
NELORE EM CONFINAMENTO E NA PASTAGEM**

**Fabiana Cirino dos Santos**

Orientadora: **Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lizandra Amoroso**

Coorientador: **Prof. Dr. José Correa de Lacerda Neto**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Medicina Veterinária, Área: Clínica Médica Veterinária

**2015**

S237m Santos, Fabiana Cirino dos  
Morfometria do casco e densitometria mineral óssea do metacárpico e falanges de bovinos Nelore em confinamento e na pastagem / Fabiana Cirino dos Santos. -- Jaboticabal, 2015  
xv, 59 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015  
Orientadora: Lizandra Amoroso  
Banca examinadora: Silvana Martinez Baraldi Artoni, Mário Jefferson Louzada.  
Bibliografia

1. Aparelho ungueal. 2. Análise de correspondência. 3. Gado de corte. 4. Ruminantes. 5. DXA. 6. Densidade mineral óssea. 7. Conteúdo mineral ósseo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 619:616.71:636.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: “MORFOMETRIA DO CASCO E DENSITOMETRIA MINERAL ÓSSEA DO METACÁRPICO E FALANGES DE BOVINOS NELORE EM CONFINAMENTO E NA PASTAGEM”**

**AUTORA: FABIANA CIRINO DOS SANTOS**

**ORIENTADORA: Profa. Dra. LIZANDRA AMOROSO**

**CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE CORREA DE LACERDA NETO**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM MEDICINA VETERINÁRIA, Área: CLÍNICA MÉDICA VETERINÁRIA, pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dra. LIZANDRA AMOROSO

Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dra. SILVANA MARTINEZ BARALDI ARTONI

Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. MARIO JEFFERSON QUIRINO LOUZADA

Departamento de Apoio, Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba

Data da realização: 30 de novembro de 2015.

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

FABIANA CIRINO DOS SANTOS – nascida em 10 de julho de 1988, em Barbacena, MG. Ingressou no curso de graduação em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, em março de 2007, concluindo em janeiro de 2012. Em agosto de 2013, iniciou o curso de mestrado junto ao Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária (área de concentração: Clínica Médica Veterinária) pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, atualmente em fase de conclusão.

“A sabedoria não nos é dada. É preciso descobri-la por nós mesmos, depois de uma viagem que ninguém nos pode poupar ou fazer por nós.”  
(Marcel Proust)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais Antonio e Angela, e às minhas irmãs Ana Cláudia e Ana Carolina que sempre me proporcionam valiosos ensinamentos e que, com sua constante acolhida e apoio, mostram todos os dias que família é o alicerce e bem mais precioso de nossas vidas.

Dedico também aos animais, objeto de estudo, admiração e respeito.

## AGRADECIMENTOS

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lizandra Amoroso, pela acolhida e apoio, pela solicitude, leveza e carinho constantes. Pela confiança, otimismo e dedicação durante toda a orientação.

Ao Prof. Dr. Antonio Sérgio Ferraud, pelos ensinamentos e grande apoio e ajuda para a realização deste estudo. Pela atenção e simpatia constantes.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>a. Silvana Martinez Baraldi Artoni pela solicitude e disponibilidade do laboratório para as análises deste estudo.

Ao Prof. Dr. José Corrêa de Lacerda Neto pela disponibilidade e apoio na coorientação.

A todos os professores e funcionários da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, aqueles que em algum momento contribuíram para este estudo, de forma solícita e atenciosa.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), ao Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, pela oportunidade, acolhida e apoio na realização deste estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos meus professores da Universidade Federal de Viçosa, aqueles que me inspiraram e ensinaram importantes lições na Medicina Veterinária e também na vida.

Aos amigos e colegas que conquistei durante minha estada em Jaboticabal, em especial de república, Raquel e Jéssica, que com o convívio se tornaram boas amigas. E também às boas amizades conquistadas durante a época da pensão, as quais tenho um carinho imenso. A todos, meus agradecimentos pelo apoio, amizade e compreensão.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a execução desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

A Deus, pela vida, família e amigos. Que continue a me conduzir pelo caminho da retidão e do bem.



| <b>SUMÁRIO</b>  | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| LISTA DE TABELAS .....  | xi            |
| LISTA DE FIGURAS .....  | xii           |
| Morfometria do casco e densitometria mineral óssea do metacárpico e falanges de bovinos nelore em confinamento e na pastagem .....    | xiv           |
| Morphometry of the hooves and bone mineral densitometry metacarpal and phalanx of Nelore cattle in feedlot and pasture .....          | xv            |
| INTRODUÇÃO .....  | 1             |
| REFERÊNCIAS .....   | 3             |
| CAPÍTULO I – Análise multivariada na morfometria do casco de bovinos Nelore confinados e criados na pastagem .....                    | 4             |
| Multivariate analysis in hoof morphometry in Nelore cattle in feedlot and grazing breeding systems .....                              | 5             |
| 1.1 INTRODUÇÃO .....  | 6             |
| 1.2 REVISÃO DE LITERATURA .....   | 8             |
| 1.3 OBJETIVOS .....   | 12            |
| 1.4 MATERIAL E MÉTODOS .....  | 13            |
| 1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 18            |
| 1.6 CONCLUSÃO .....   | 24            |
| 1.7 REFERÊNCIAS .....   | 25            |
| CAPÍTULO II – Densitometria mineral óssea pela absorciometria por raios X de dupla energia de bovinos em dois regimes de manejo ..... | 29            |
| Bone mineral densitometry by dual energy x-ray absorptiometry of cattle in two breeding systems .....                                 | 30            |
| 2.1 INTRODUÇÃO .....  | 31            |
| 2.2 REVISÃO DE LITERATURA .....   | 33            |
| 2.2.1 Metabolismo ósseo .....   | 33            |
| 2.2.2 Densidade e conteúdo mineral ósseo .....  | 33            |
| 2.3 OBJETIVOS .....   | 38            |
| 2.4 MATERIAL E MÉTODOS .....  | 39            |
| 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 41            |
| 2.6 CONCLUSÃO .....   | 51            |
| 2.7 REFERÊNCIAS .....   | 52            |

**CEUA- COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS**

**CERTIFICADO**

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado “Morfometria do casco e densidade mineral óssea de bovinos Nelore confinados e criados a pasto”, sob a responsabilidade da Profª Drª Lizandra Amoroso, foi analisado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA). O projeto não se enquadra nas responsabilidades da CEUA, visto que utiliza peças anatômicas oriundas de abatedouro no seu escopo.

Jaboticabal, 05 de outubro de 2015



Profª Dra Paola Castro Moraes

Coordenadora CEUA

**LISTA DE TABELAS**

|   | Página |
|---|--------|
| <b>Tabela 1.1.</b> Valores médios e desvio padrão (cm) e CV(%) da biometria do casco de bovinos confinados e criados no pasto.  | 18     |
| <b>Tabela 2.1.</b> Valores médios e desvios padrões da densidade mineral óssea (g/cm <sup>2</sup> ) e CV (%) para as regiões analisadas a partir de imagens obtidas pelo escaneamento no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic® das extremidades dos membros torácicos de bovinos confinados e no pasto.  | 42     |
| <b>Tabela 2.2.</b> Análise de variância da densidade mineral óssea para as regiões analisadas a partir de imagens obtidas pelo escaneamento no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic® das extremidades dos membros torácicos de bovinos confinados e no pasto.  | 42     |
| <b>Tabela 2.3.</b> Valores de densidade mineral óssea do metacárpico, falange média lateral, falange média distal, falange distal lateral e falange distal medial, em g/cm <sup>2</sup> , das medidas de posição Mínimo, Q1 (primeiro quartil), Mediana, Média, Q3 (terceiro quartil) e Máximo referente aos grupos de dados coletados a partir de imagens obtidas pelo escaneamento no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic® das extremidades dos membros torácicos de bovinos confinados e no pasto. | 44     |
| <b>Tabela 2.4.</b> Valores médios e desvios padrões (g), CV (%) e valor de p para o conteúdo mineral ósseo (BMC) do III metacárpico de bovinos confinados e no pasto. Valores obtidos a partir do escaneamento das extremidades dos membros torácicos no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic®.  | 48     |
| <b>Tabela 2.5.</b> Análise de variância dos valores do conteúdo mineral ósseo (BMC) do III metacárpico de bovinos confinados e no pasto. Valores obtidos a partir do escaneamento das extremidades dos membros torácicos no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic®.   | 49     |

## LISTA DE FIGURAS

|   | Página |
|---|--------|
| <b>Figura 1.1.</b> Vistas lateral (A) e solear (B) do casco bovino. Adaptado de Blowey (1993).  | 9      |
| <b>Figura 1.2.</b> Fotografias do casco de bovino nas regiões cranial (A), solear (B) e lateral (C) evidenciando a altura da parede abaxial (1), altura da parede axial (2), comprimento da sola (3), largura da sola (4), comprimento do bulbo (5), largura do bulbo (6), altura do bulbo (7) e o comprimento da parede lateral (8). Todos os valores mensurados estão em cm.  | 15     |
| <b>Figura 1.3.</b> Mapa perceptual resultante da análise de correspondência múltipla contendo as medidas obtidas classificadas como altas (A) ou baixas (B), nos dois ambientes em que os animais foram alocados (Confinados e Pasto), os membros pélvicos (Membro_P), torácicos (Membro_T) e os dígitos laterais (Dígito_L) e mediais (Dígito_M). As medidas presentes no mapa são altura da parede abaxial (ABA), altura da parede axial (AXI), comprimento da sola (CSO), largura da sola (LSO), comprimento do bulbo (CBU), altura do bulbo (ABU) e o comprimento da parede lateral (LPA). Setas cheias representam associações para $p \leq 0,05$ e as setas pontilhadas para $p \leq 0,10$ .  | 19     |
| <b>Figura 2.1.</b> Imagens obtidas pelo escaneamento da extremidade do membro torácico de bovinos no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic®. Imagens A, C, E provenientes de animal confinado e B, D, F, animal no pasto. Regiões delimitadas 1 e 2 correspondem ao III metacárpico, 3 e 4, falanges médias e 5 e 6, falanges distais.  | 42     |
| <b>Figura 2.2.</b> Análise descritiva dos dados. Gráficos de caixa (Boxplot) mostrando a distribuição dos valores de densidade mineral óssea, em $g/cm^2$ , marcados na linha vertical lateral esquerda. Os gráficos são referentes às medidas das regiões do III metacárpico (A), da falange média lateral (B), da falange média medial (C), da falange distal lateral (D) e da falange distal medial (E). Os grupos de animais estão representados na legenda como G1 (confinados) e G2 (no pasto). Os traços contínuos horizontais delimitam limites superiores (traços superiores) ou limites inferiores (traços inferiores) dos dados, calculados conforme descrito no texto. Os retângulos cinzas estão delimitados, na porção superior, pelo terceiro quartil (Q3) e, na porção inferior, pelo primeiro quartil (Q1). Os traços pretos horizontais, localizados dentro dos retângulos cinzas, representam as medianas de cada grupo de dados. Os círculos pretos vazados mostram valores outliers. | 46     |

**Figura 2.3.** Médias e desvios padrões das medidas de densidade mineral óssea, em  $\text{g}/\text{cm}^2$ , obtidas a partir de imagem capturada após escaneamento das extremidades dos membros torácicos de bovinos com uso do aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic®. Os animais confinados estão representados pelas colunas com listras verticais e os animais no pasto, pelas colunas com listras diagonais. Os desvios padrões estão representados pelos traços sobre cada coluna. Os dados agrupados a cada duas colunas, que representam cada uma das regiões, estão na seguinte sequência: III metacárpico (A), falange média lateral (B), falange média medial (C), falange distal lateral (D) e falange distal medial (E). 47

**Figura 2.4.** Médias e desvios padrões do conteúdo mineral ósseo, em g, do III metacárpico de bovinos confinados (I) e no pasto (II). Os desvios padrões estão representados pelos traços sobre cada coluna. Os valores de conteúdo mineral ósseo foram obtidos a partir de escaneamentos das extremidades dos membros torácicos com uso de aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic®. 49

## MORFOMETRIA DO CASCO E DENSITOMETRIA MINERAL ÓSSEA DO METACÁRPIO E FALANGES DE BOVINOS NELORE EM CONFINAMENTO E NA PASTAGEM

**RESUMO** – A locomoção é fator de grande importância para a saúde dos bovinos. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi, primeiramente, avaliar o possível impacto de dois tipos de manejo sobre a morfologia do casco de bovinos, bem como avaliar diferenças entre os cascos dos membros torácico e pélvico e dígitos laterais e mediais fazendo uso da análise de correspondência. Em uma segunda abordagem, com uso da densitometria óssea, em que é possível avaliar a densidade do esqueleto, tivemos como objetivo avaliar a densidade mineral óssea do III metacárpico e falanges de bovinos Nelore confinados e criados na pastagem. Vinte e quatro extremidades de membros de bovinos, sendo 12 mantidos em confinamento e 12, no pasto, foram coletadas de animais abatidos aos 20 meses de idade. As extremidades foram seccionadas na articulação carpometacárpica/tarsometatarsica. Foram realizadas oito medidas macroscópicas dos aparelhos ungueais, associando o ambiente em que os animais foram alocados e o sistema de produção. As amostras foram mensuradas com fita métrica milimetrada no dígito lateral e medial dos membros torácicos e pélvicos para obtenção dos dados a seguir – altura da parede abaxial, altura da parede axial, comprimento da sola, largura da sola, comprimento do bulbo, largura do bulbo, altura do bulbo e o comprimento da parede lateral do casco. Após mensuração macroscópica, as extremidades do membro torácico, distais à articulação carpometacárpica foram escaneadas pelo equipamento de absorciometria de raios X em dupla energia Hologic® e foram obtidos os valores de densidade mineral óssea (BMD) e conteúdo mineral ósseo (BMC) do III metacárpico, falanges média medial e lateral, falanges distal medial e lateral. Com os dados das medidas macroscópicas dos cascos, a análise exploratória multivariada de correspondência múltipla mostrou associação entre os membros pélvicos e torácicos, bem como dos dígitos mediais e laterais em animais mantidos em confinamento e em pasto. Animais confinados apresentaram cascos mais altos nas paredes axial e abaxial, altura do bulbo maior e sola menor. Cascos de animais mantidos no solo da pastagem apresentaram bulbo baixo e maior comprimento de sola. As alterações na anatomia do casco decorrentes do impacto causado por tipos diferentes de piso devem ser consideradas ao se investigar as causas de claudicação em bovinos de corte, com outros fatores que influenciam na conformação dessa estrutura. Os dados de densidade mineral óssea do nosso experimento indicam que há heterogeneidade no perfil da densidade mineral óssea em bovinos de acordo com o sistema de criação, tipo de osso e estresse mecânico. A técnica da absorciometria de raios X em dupla energia mostrou-se eficaz para obtenção de valores de referência da BMD e BMC do III metacárpico e falanges de bovinos adultos, podendo ser utilizada em ensaios experimentais para a quantificação indireta da qualidade óssea e do conteúdo mineral ósseo.

**Palavras-chave:** análise de correspondência, aparelho ungueal, gado de corte, ruminantes, pastejo, DXA, densidade mineral óssea, conteúdo mineral ósseo

## MORPHOMETRY OF THE HOOVES AND BONE MINERAL DENSITOMETRY OF THE METACARPAL AND PHALANX OF NELLORE CATTLE IN FEEDLOT AND PASTURE

**ABSTRACT** - Locomotion is very important factor for the health of cattle. In this sense, the objective of this study was, first, to assess the possible impact of two types of management on the morphology of cattle hoof, and to evaluate differences between the hooves of the thoracic and pelvic limbs and lateral and medial digits using the correspondence analysis. In a second approach, using bone densitometry was possible to evaluate the skeletal density. In this second phase we evaluated the bone mineral density of the third metacarpal and phalanx of Nellore confined and raised in the pasture. Twenty-four ends of cattle members, 12 kept in confinement and 12, in the pasture, were collected after they were slaughtered at 20 months of age. The ends of the limbs were sectioned in carpometacarpal/tarsometatarsal joint. Eight macroscopic measurements of the nail apparatus were carried out, involving the environment in which the animals were allocated and the production system. The samples were measured with a millimeter tape in the lateral and medial digit of the fore and hindlimbs to obtain the following data - abaxial wall height, axial wall height, sole length, sole width, bulb length, bulb width, bulb height and lateral wall length. After macroscopic measurement, the ends of forelimb, distal to the carpometacarpal joint were scanned by of dual-energy X-ray absorptiometry equipment Hologic®. Multivariate exploratory analysis of multiple correspondence showed an association between the pelvic and thoracic limbs and digits of the medial and lateral animal feedlot and pasture. Confined animals had higher hooves in the axial and abaxial walls, the highest and lowest sole bulb height. Hooves of animals kept in the pasture soil had low bulb and greater length of the sole. Changes in the anatomy of the hoof resulting from the impact of different types of flooring should be considered when investigating the causes of lameness in beef cattle, with other factors that influence the conformation of this structure. The data of bone mineral density from our experiment indicate that there is heterogeneity in the profile of bone mineral density in cattle according to the housing system, type of bone and mechanical stress. The technique of absorptiometry X-ray dual-energy was effective to obtain reference values of BMD and BMC of the third metacarpal and phalanx of adult bovine animals and can be used in experimental trials for the indirect quantification of bone quality and mineral content bone.

**Keywords:** correspondence analysis, hooves, beef cattle, ruminants, grazing, DXA, bone mineral density, bone mineral content

## INTRODUÇÃO

As enfermidades locomotoras, especificamente nos cascos, estão entre as três afecções mais frequentes em bovinos de leite e corte, ao lado de afecções reprodutivas e da glândula mamária. A incidência anual das enfermidades podais nos rebanhos é bastante variável, situando-se entre 5,0 e 120,0% (FERREIRA et al. 2005). As enfermidades que afetam os cascos são de origem multifatorial e se relacionam com problemas nutricionais (manejo e dieta), ambientais (pisos, camas, caminhos, estresse), manejo preventivo e corretivo dos cascos, falhas no diagnóstico, genética, doenças sistêmicas predisponentes (toxêmicas, metabólicas, infecciosas, entre outras) (FERREIRA et al., 2005).

Nos bovinos leiteiros de raças européias, pesquisas sobre podologia bovina são frequentes, entretanto, há carência de dados na literatura sobre esse tema em bovinos de corte, principalmente em zebuínos. A possibilidade das raças zebuínas possuírem cascos mais resistentes deve ser explorada para compreensão de possíveis fatores que favorecem essa propriedade, o que pode contribuir na prevenção e de controle das raças taurinas, possivelmente mais susceptíveis.

Ollhoff e Ortolani (2001) e Mendonça et al. (2006) estudaram, respectivamente, aspectos morfológicos e de crescimento e desgaste, comparando cascos de bovinos zebuínos e taurinos. Essa avaliação comparativa é necessária para determinar características específicas para cada grupo genético de animais, pois a frequência, casuística e intervenção das afecções podais são variáveis.

As afecções que acometem regiões profundas ao casco podem envolver o coxim plantar ou palmar, ligamentos, tendões e ossos. Quando há comprometimento ósseo, a densitometria pode ser instrumento favorável à análise da qualidade óssea.

Considerando a lacuna na literatura sobre a extremidade distal do sistema locomotor de bovinos, sugerimos o presente trabalho que foi dividido em dois capítulos. O primeiro capítulo aborda a morfometria do casco, feita em material *ex vivo*, oriundo de animais da raça Nelore confinados e criados na pastagem para avaliar as possíveis diferenças na conformação anatômica dos cascos desses animais decorrente do piso em que o animal está alocado. Também foi estudada a eficiência do uso da análise exploratória multivariada na identificação de



dependências entre os parâmetros biométricos dos cascos, sendo a análise de correspondência múltipla a técnica utilizada. Após análise da morfologia externa dos dois grupos experimentais, observamos que os animais confinados apresentaram maior parede do casco, e os criados na pastagem apresentaram solas mais desenvolvidas. Com esses resultados sugerimos que o tipo de solo pode modificar significativamente a distribuição de forças dos cascos no contato com o solo, algo que poderia ser objeto de estudo em pesquisas futuras. No presente trabalho, também evidenciamos que a análise de correspondência múltipla foi válida para identificar as dependências entre categorias dos parâmetros morfométricos externos dos cascos de bovinos.

No segundo capítulo, foi realizada a avaliação indireta da qualidade óssea dos metacárpicos e falanges de bovinos confinados e criados no pasto por meio do densitometria mineral óssea. Entre os animais domésticos de médio e grande porte, a maioria dos estudos avalia a densidade mineral óssea em pequenos ruminantes e equinos, respectivamente, o que justifica a nossa abordagem.

Os resultados encontrados mostram que, nas condições do presente estudo, os animais confinados apresentaram valores maiores da densidade mineral óssea (BMD) no metacárpico, quando comparado aos animais criados pasto.

As falanges apresentaram comportamento diferente quando comparadas com o metacárpico. As falanges médias laterais e mediais e falanges distais laterais tiveram valores inferiores de BMD nos animais confinados em relação aos criados na pastagem. A falange distal medial não apresentou diferença entre os grupos para valores densitométricos. Isso ocorreu, provavelmente, devido à distribuição de forças durante a locomoção, que exige menos da falange distal medial, enquanto a falange distal lateral exerce maior pressão sob o solo. Após análise exploratória dos dados observamos que há diversidade no padrão da densidade mineral óssea em bovinos de acordo com o sistema de criação, tipo de osso e estresse mecânico. A técnica da absorciometria de raios X em dupla energia mostrou-se eficaz para a mensuração da BMD e o conteúdo mineral ósseo (BMC) em metacárpicos e falanges de bovinos adultos podendo ser utilizada em ensaios experimentais para a quantificação indireta da qualidade óssea e do conteúdo mineral ósseo.

## REFERÊNCIAS

FERREIRA, P. M.; CARVALHO, A. U.; FACURY-FILHO, E. J.; FERREIRA, M. G.; FERREIRA, R. G. Afecções do Sistema Locomotor dos Bovinos. In: **II Simpósio Mineiro de Buiatria**. 2005. Belo Horizonte. Disponível em <<http://www.ivis.org/proceedings/abmg/2005/pdf04.pdf?>>.

MENDONÇA, A. C.; DA SILVA, L. A. F.; FIORAVANTI, M. C. S.; DE MORAES, J. O. R.; ALMEIDA, C. F.; OLIVEIRA, K. S.; DA SILVA, L. M. Aspectos morfológicos dos dígitos de bovinos das raças Gir e Holandesa. **Ciência Animal Brasileira**, v. 4, n. 1, p. 53-60, 2006.

OLLHOFF, R. D.; ORTOLANI, E. L. Rates of hoof growth and wear in zebuine and taurine cattle. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, p. 67-71, 2001. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000100011>>.

## **CAPÍTULO I – Análise multivariada na morfometria do casco de bovinos Nelore confinados e criados na pastagem**

**RESUMO** – O manejo intensivo favorece a ocorrência de afecções podais inflamatórias ou infecciosas nos animais de produção. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o possível impacto de dois tipos de manejo sobre a morfologia do casco de bovinos, bem como avaliar diferenças entre os cascos dos membros torácico e pélvico e dígitos laterais e mediais. Vinte e quatro animais, sendo 12 mantidos em confinamento e 12, no pasto, foram abatidos aos 20 meses de idade no Frigorífico Minerva S. A. Seccionados na articulação carpometacárpica/tarsometatarsica, as extremidades dos membros torácicos dos 24 bovinos foram encaminhadas ao Laboratório de Densitometria Óssea do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal da UNESP, FCAV. Foram realizadas oito medidas macroscópicas dos aparelhos ungueais, associando o ambiente em que os animais foram alocados e o sistema de produção. As amostras foram mensuradas com fita métrica milimetrada no dígito lateral e medial dos membros torácicos e pélvicos para obtenção dos dados a seguir – altura da parede abaxial, altura da parede axial, comprimento da sola, largura da sola, comprimento do bulbo, largura do bulbo, altura do bulbo e o comprimento da parede lateral do casco. A análise exploratória multivariada de correspondência múltipla mostrou associação entre os membros pélvicos e torácicos, bem como dos dígitos mediais e laterais em animais mantidos em confinamento e em pasto. O confinamento, caracterizado por piso de concreto, influenciou a morfologia externa do casco. Animais confinados apresentaram cascos mais altos nas paredes axial e abaxial, altura do bulbo maior e sola menor. Cascos de animais mantidos no solo da pastagem apresentaram bulbo baixo e maior comprimento de sola. Embora haja variação individual na morfometria do casco, o ambiente modifica a sua estrutura anatômica. As alterações na anatomia do casco decorrentes do impacto causado por tipos diferentes de piso devem ser consideradas ao se investigar as causas de claudicação em bovinos de corte, com outros fatores que influenciam na conformação dessa estrutura.

**Palavras-chave:** análise de correspondência, aparelho ungueal, gado de corte, ruminantes, pastejo

## **Multivariate analysis in hoof morphometry in Nelore cattle in feedlot and grazing breeding systems**

**Abstract** – Intensive breeding system prompts the occurrence of inflammatory or infectious foot problems in farm animals. In this sense, the objective of this study was to evaluate morphological characteristics of the hoof from feedlot and grazing cattle, as well to evaluate differences between the hooves from fore and hind limbs, and lateral and medial digits. Twenty-four animals, 12 kept in feedlot and 12 , in the grazing, were slaughtered at 20 months of age in Minerva S.A. Slaughterhouse. Sectioned at the height of the carpometacarpal/tarsometatarsal joint, the extremities of the forelimbs of 24 cattle were sent to Bone Densitometry Laboratory of the Department of Animal Morphology and Physiology of UNESP, FCAV. Eight macroscopic measurements of the hoof were held, involving the environment in which the animals were allocated and the production system. The samples were measured with millimetric tape on the lateral and the medial sides of the digits from fore and hind limbs to obtain the following data: abaxial wall height, axial wall height, sole length, sole width, bulb length, bulb width, bulb height and lateral wall length. Multivariate exploratory analysis of multiple correspondence was used with purpose of seeking the association between fore and hind limbs, digits of medial and lateral sides and feedlot and grazing systems. Feedlot, which had concrete floor, influenced the external morphology of the hoof. Animals in feedlot had higher hooves in the abaxial and axial walls, bigger bulb height and smaller soles. Hooves from grazing cattle had smaller bulbs and bigger soles width. Although there is individual variation in hooves morphology, the environment modifies its anatomical structure. Anatomical changing resulting from the impact caused by different kinds of floor must be considerate when investiganting for lameness causes in beef cattle, along the other factors that influences the conformation of this structure.

**Keywords:** correspondence analysis, hooves, hull, beef cattle, ruminants, pasture

## 1.1 INTRODUÇÃO

O Brasil conta com o segundo maior rebanho bovino do mundo, atrás apenas da Índia, sendo o brasileiro, o maior rebanho comercial. O rebanho bovino brasileiro atualmente possui um contingente de 208,628 milhões de cabeças, o que equivale a 20,1% do rebanho mundial (ANUALPEC, 2014). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), o rebanho brasileiro ao final de 2012 era de 211,3 milhões de cabeças.

A extensão territorial do Brasil favorece a exploração de gado de corte ao evitar competição por espaço com o homem. Por ser um país de clima tropical, há maior período para pastejo e grande variedade de forrageiras, o que permite adaptação de muitas raças. Grande parte da produção é extensiva (SOUZA et al., 2003).

A pecuária de corte requer menos cuidados quando comparada à exploração leiteira, e o rebanho conta com maior número de cabeças. Embora existam alguns entraves, há uma tendência visível de intensificação da produção e melhoria do setor. A pecuária de corte brasileira pode ser, em muitas situações, conduzida em sistemas altamente intensivos, competitivos, sustentáveis e economicamente viáveis (SOUZA et al., 2003).

O ambiente no qual o gado é mantido deve ser considerado de acordo com as suas necessidades de bem estar e deve ser projetado para protegê-los de desconforto físico e térmico, medo e estresse, e deve permitir que o gado desenvolva seu comportamento natural (CERTIFIED HUMANE®, 2014).

Nos confinamentos de bovinos os animais são dispostos em piquetes ou currais com área restrita, onde água e alimentação são fornecidas em cochos. A utilização desse sistema é comum na fase de terminação dos bovinos, embora outras categorias também possam ser assim manejadas (QUADROS, -)

As instalações destinadas à produção de bovinos sofreram modificações ao longo do tempo, com intuito de intensificar a produção e aumentar a produtividade por área. Nessas instalações, muitas vezes com pisos de concreto ou outros materiais impermeáveis, que facilitam a limpeza, os animais passam maior período de pé e sofrem com o desconforto, sem local adequado para descansar. O piso

nunca deve ser tão rugoso que cause danos no casco ou tão liso que resulte em escorregão (CERTIFIED HUMANE®, 2014).

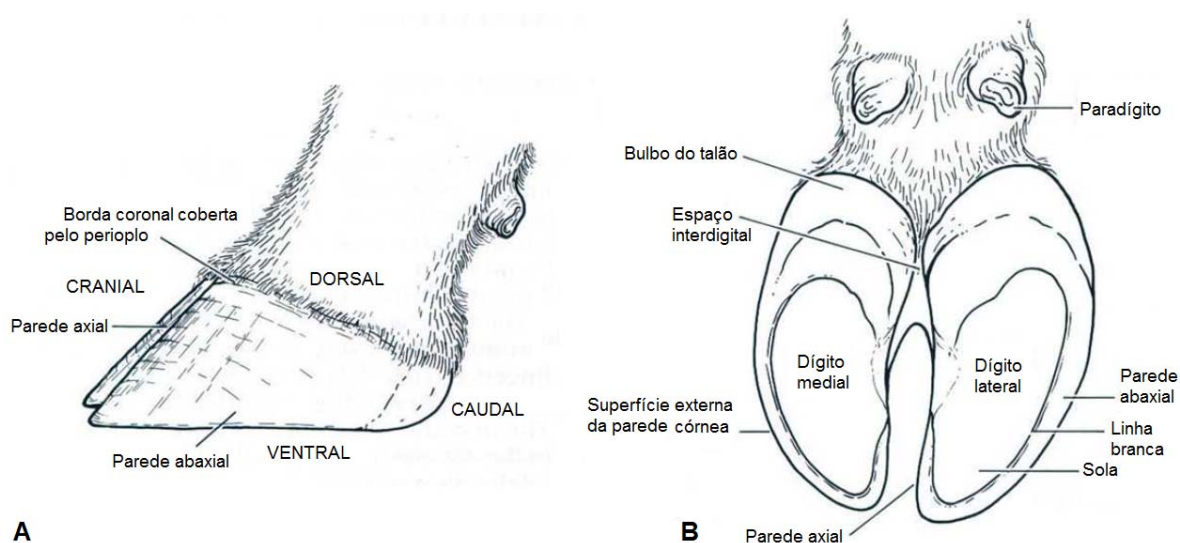
Uma grande preocupação dos criatórios de bovinos são os cascos. Nicoletti (2004), cita que 90% da claudicação em bovinos tem origem podal. Cascos saudáveis são imprescindíveis para o animal se locomover. Afecções nos cascos geram estresse ao animal, reduzindo a ingestão de alimentos, o que leva, conseqüentemente, à perda de peso, diminuição da produção e comprometimento da reprodução. As causas das afecções podais são variadas, entre as mais importantes estão a alimentação e o desgaste irregular do material córneo do casco, principalmente em animais confinados. Na estação chuvosa há um amolecimento dos cascos devido à alta umidade no piso (por acúmulo de barro e lama ou fezes, por exemplo), o que contribui para o desgaste desregulado (EMBRAPA, 2011).

## 1.2 REVISÃO DE LITERATURA

O casco bovino, também denominado úngula, constitui o revestimento da porção terminal do dígito. O dígito do bovino é composto de três tipos de tecidos: 1) epiderme queratinizada, 2) a derme, denominada *corium* ou cório, e 3) o subcutâneo, formado pelo coxim digital (NICOLETTI, 2004). A área de união entre a pele e o casco é denominada perioplo, seguida da borda coronal e da parede do casco. A parede é subdividida em dorsal (face cranial), axial (face medial) e abaxial (face lateral). A sola, região palmar ou plantar (de apoio), separa-se da parede pela linha branca, e a parte mais caudal é o bulbo, que corresponde ao calcanhar (FERREIRA et al., 2005) (Figura 1.1).

Existem cinco segmentos a serem identificados: segmento perióplico ou limbo ou perioplo, segmento coronário ou coroa, segmento parietal ou parede, segmento solear ou sola, e coxim ungueal ou bulbo (KÖNIG; LIEBICH, 2011). A coroa cresce cerca de quatro a 8 milímetros (mm) por mês, dependendo da raça, da faixa etária e da alimentação.

Distante da derme, o tecido córneo de outras partes do casco cresce em torno de cinco mm por mês; em bezerros esse processo é mais rápido (DYCE et al., 2010). Para adequado apoio do membro, deve haver boa distribuição das forças de choque, boa nutrição e metabolismo do cório altamente vascularizado (CARDONA; CANO, 2003).



**Figura 1.1** – Vistas lateral (A) e solear (B) do casco bovino. Adaptado de Blowey (1993).

Anatomicamente, os pés e os membros dos bovinos são adaptados aos pisos macios como terra e pasto, onde a superfície permite melhor condição para caminhada. Os bovinos possuem reduzida capacidade de absorver impactos causados por pisos duros. Isso se deve à pequena área de apoio solear e à reduzida capacidade de amortecimento, especialmente dos membros pélvicos, além do peso excessivo, característica comum na espécie. O bovino deve estar em condição de conforto seja quando está deitado, em pé ou caminhando. A relação entre o tempo que o animal permanece em pé ou deitado influencia diretamente a saúde dos pés (FERREIRA et al., 2015).

A interação entre cascos dos bovinos e o piso é de grande importância. Quando o piso tem pouco atrito, seja por *design* inadequado ou presença de lama, ocorrem mudanças consideráveis na marcha dos animais (PHILLIPS; MORRIS, 2000, 2001). As interações do atrito entre cascos e pisos dependem do tamanho e formato do próprio casco. O volume e a conformação do casco influenciam nesse fator (PHILLIPS et al., 1998). De acordo com Van Der Tol et al. (2003), a agressão sofrida pelo estojo córneo é uma das causas das desordens do casco.

Por outro lado, o exercício é uma atividade positiva para a saúde dos pés.



Quando os bovinos se movimentam, há aumento do fluxo sanguíneo nas extremidades, trazendo oxigênio e nutrientes e, ao mesmo tempo, retirando dos cascos CO<sub>2</sub> e metabólitos. Quando os animais permanecem muito tempo em pé e sem movimento, o sangue não circula nas extremidades, reduzindo trocas gasosas e de nutrientes, o que pode comprometer a saúde dos cascos (FERREIRA et al., 2015).

A dureza do piso afeta a locomoção do gado de forma positiva ou negativa por intermédio do aumento das propriedades de atrito e redução do escorregamento e por aumentar o desgaste do casco. Isso acarreta em paredes menos salientes, solas mais delgadas e, por consequência, claudicação (BONSER et al., 2003).

Os pisos de concreto são amplamente utilizados nas propriedades tecnificadas. Pisos duros e ásperos contribuem com mudanças na conformação dos cascos e na dinâmica da locomoção, o que pode favorecer a ocorrência de enfermidades que têm a claudicação como sinal clínico. Mecanicamente, o piso de concreto não fornece fricção suficiente para permitir locomoção adequada do gado. A tração deve ser um dos critérios de *design* importantes para o gado leiteiro, de modo que as superfícies do piso possam permitir o comportamento locomotor característico de animais clinicamente sadios (VAN DER TOL et al., 2003).

No ambiente natural, os cascos interagem com solos mais ou menos elásticos. Isso permite que o casco afunde no solo, o que facilita a transmissão de cargas. Ao escolher o tipo de piso a ser utilizado no confinamento, deve-se considerar mais aspectos além da distribuição de cargas (HINTERHOFER et al., 2006). Os fatores fisiológicos que controlam a dureza do casco, seu desgaste e crescimento, são complexos. Incluem dieta, idade, entre outros (VERMUNT; GREENOUGH, 1995).

Mensurações do tamanho e da forma do casco são utilizadas para determinar a sua qualidade e para avaliar o impacto do manejo e do sistema de criação sobre a sua conformação (VERMUNT; GREENOUGH, 1995). A harmonia do casco proporciona boa condição biomecânica para que os bovinos possam expressar seu potencial produtivo (CORRÊA, 2001).

A maioria das alterações nos cascos resulta em claudicação, o sinal mais comum de dor, e prejudica o bem estar animal (BERGSTEN, 2001). Animais com dificuldades na locomoção têm dificuldade de se alimentar e beber água

(TELEZHENKO et al., 2008). Na abordagem sobre afecções podais, a maioria dos trabalhos avalia animais de aptidão leiteira e principalmente os de origem taurina. Existem poucos relatos sobre os aspectos macroscópicos do casco de bovinos zebuínos e de corte nos últimos anos.

O uso das técnicas de análise multivariada está reservado aos grandes centros de pesquisa, às grandes empresas e ao ambiente acadêmico. Essas técnicas são interessantes porque utilizam simultaneamente todas as variáveis resposta na interpretação teórica do conjunto de dados, levando em conta correlações existentes entre elas. Uma das principais barreiras para a utilização dessas técnicas é o desconhecimento por pesquisadores interessados na pesquisa quantitativa. A disseminação do uso das técnicas multivariadas valoriza a qualidade das pesquisas, proporciona economia relativa de tempo e de custo, e facilitar a interpretação da estrutura de dados, diminuindo a perda de informação (SARTORIO, 2008).

### **1.3 OBJETIVOS**

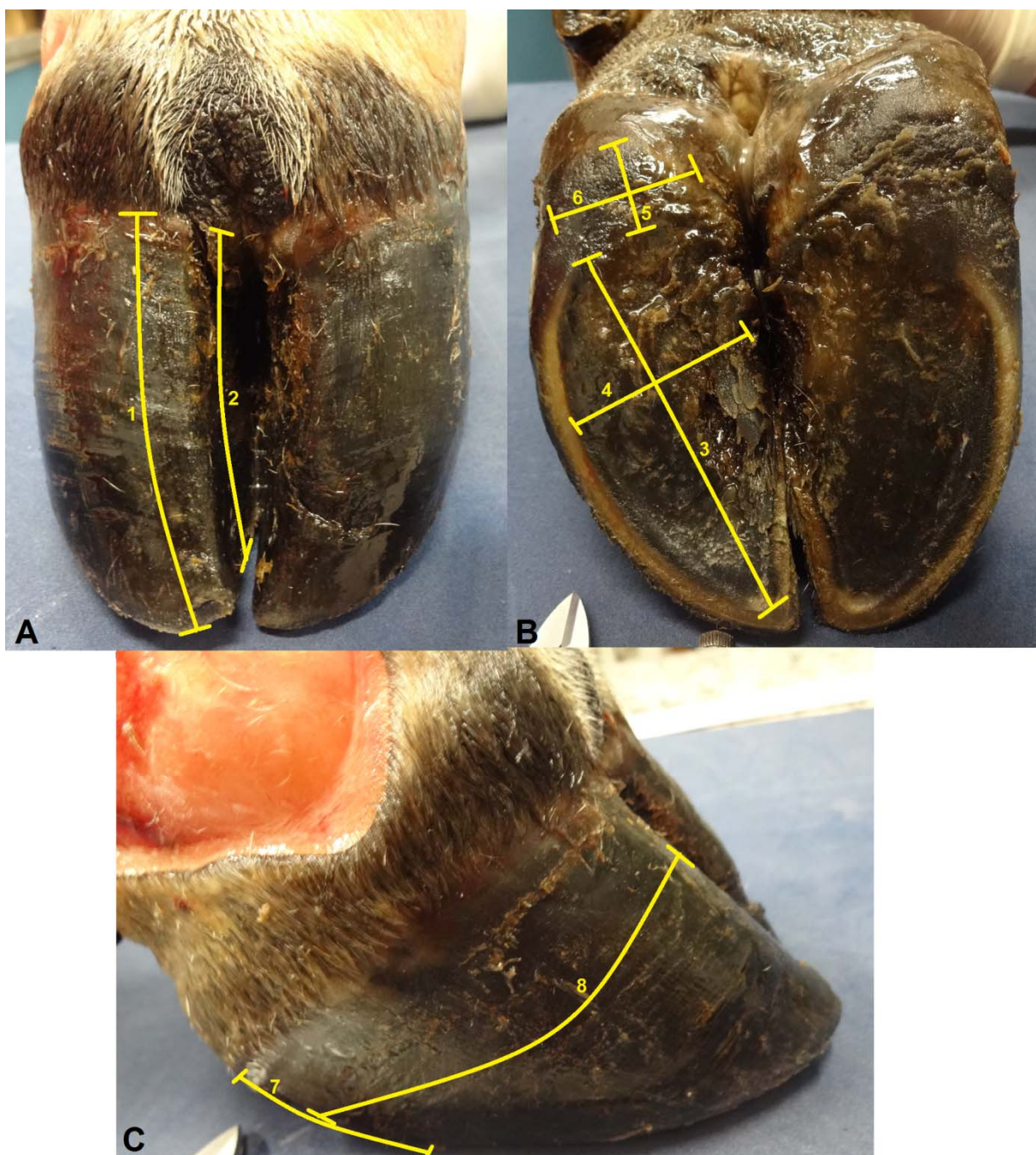
Considerando a relevância do ambiente sobre a estrutura ungueal, a finalidade deste estudo foi analisar a morfometria externa dos cascos de bovinos de corte confinados e criados na pastagem e verificar a eficácia do uso da análise exploratória multivariada para o presente conjunto de dados.

## 1.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizado material proveniente da extremidade dos membros de 24 bovinos da raça Nelore, machos, com idade de entrada aproximada de 15 meses e abatidos aos 20 meses, momento da coleta das amostras. Doze animais foram submetidos ao regime de confinamento em baias individuais e 12 animais no pasto, distribuídos em piquetes. Os animais estavam alocados no Setor de Confinamento do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, local em que permaneceram durante o período que compreende a aquisição até o abate, momento da coleta das amostras. Durante esse período, os animais confinados foram alojados em baias individuais. O confinamento possuía baias individuais de 14 m<sup>2</sup> com piso concretado, parcialmente cobertas, providas de cochos individuais e bebedouros para cada duas baias. Os animais na pastagem foram mantidos em dois piquetes de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. Cada piquete de dois hectares com seis animais por piquete. A oferta de água era livre em bebedouros de caixa d'água de 1500L. Em cada piquete existiam cochos de quatro metros (m) de comprimento e acesso bilateral. Os animais de ambos sistemas de produção eram provenientes da mesma fazenda. Os dois grupos de animais receberam a mesma dieta balanceada nos cochos, sendo que na pastagem os animais contavam também com o acesso à forrageira.

Durante o abate, realizado no frigorífico Minerva S.A., Barretos, SP, foram coletadas as extremidades dos membros torácicos e pélvicos. As secções foram feitas com faca de açougueiro na região das articulações carpometacárpica/tarsometatarsica. As amostras foram refrigeradas e transportadas para o laboratório de Anatomia Macroscópica do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal onde foram congeladas em freezer horizontal a 20 graus Celsius negativos para posterior análise. As amostras foram mensuradas com fita métrica milimetrada no dígito lateral e no medial para obtenção da altura da parede abaxial (da coroa até o ápice da pinça, na região abaxial), altura da parede axial (da coroa até o ápice da pinça, na região axial), comprimento da sola (da base do coxim até a região mais cranial da sola), largura da sola (maior distância da região lateral até a região medial da sola), comprimento do bulbo (maior distância da região mais caudal

até a mais cranial do bulbo), largura do bulbo (maior distância da região lateral até a região medial do bulbo), altura do bulbo (da coroa até a região que entra em contato com o chão) e o comprimento da parede lateral (da curvatura caudal da parede lateral do casco até a curvatura que separa as paredes abaxial de axial). Todos os valores mensurados estão em centímetros, conforme mostra a Figura 1.2. As medidas foram adaptadas de Lima et al. (2013).



**Figura 1.2** – Fotografias do casco de bovino nas regiões cranial (A), solear (B) e lateral (C) evidenciando a altura da parede abaxial (1), altura da parede axial (2), comprimento da sola (3), largura da sola (4), comprimento do bulbo (5), largura do bulbo (6), altura do bulbo (7) e o comprimento da parede lateral (8). Todos os valores mensurados estão em cm.

Foram pesquisadas associações entre membros torácicos e pélvicos, entre dígitos mediais e laterais e entre animais confinados ou mantidos no pasto.

Análises descritivas univariadas mostraram resultados individuais de cada variável. A estrutura de dependência contida entre as variáveis e grupos, membros e dígitos foi explorada pela análise de correspondência múltipla a partir da tabela de Burt (GREENACRE, 1984) gerada da tabela de contingência que contém os resultados dos respondentes. Para o processamento da análise, os valores encontrados para cada variável foram categorizados em “alto”, quando maior que a média ou “baixo”, quando menor que a média.

As tabelas de contingência registram frequências de ocorrências segundo dupla classificação, representada pelas variáveis consideradas. A análise da tabela de contingência é realizada pela verificação da distribuição dessas ocorrências na tabela, para saber se ela é aleatória (hipótese  $H_0$ ) ou se esconde algum padrão proposital, o que sugeriria relação entre as variáveis contingenciadas. A fórmula utilizada para seu cálculo é:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

onde  $O_{ij}$  é a frequência observada e  $E_{ij}$  a frequência esperada na  $i$ -ésima linha e  $j$ -ésima coluna; " $l$ " é o número de linhas e " $c$ " é o número de colunas da tabela. O qui-quadrado geral informa apenas se existem ou não associações entre linhas e colunas. Em complemento, avaliam-se os resíduos (diferença entre o observado e o esperado) buscando-se associações particulares. A medida do resíduo sugere a probabilidade de ocorrência do valor observado na tabela de contingência, instrumentalizando a distinção entre ocorrências casuais e causais detectadas pelo teste  $\chi^2$ . Os valores dos resíduos são calculados pela fórmula:

$$Z_{res} = \frac{O_{ij} - E_{ij}}{\sqrt{E_{ij}}}$$

onde  $i = 1, 2, \dots, l$ , e  $j = 1, 2, \dots, c$  e  $Z$  uma variável aleatória com distribuição de probabilidade normal padrão.

A informação original, medida pela inércia, é visualizada em mapas bidimensionais denominados de mapas perceptuais construídos com os autovetores a partir dos autovalores extraídos da matriz original de dados (GREENACRE, 1984).

A tabela de Burt definida por  $X'X$ , onde  $X$  é a matriz original de dados e  $X'$  sua transposta, foi utilizada no processamento das análises. Todas as análises estatísticas foram processadas no software Statistica 7®<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Statistica 7®. (Statsoft Inc. 2007).

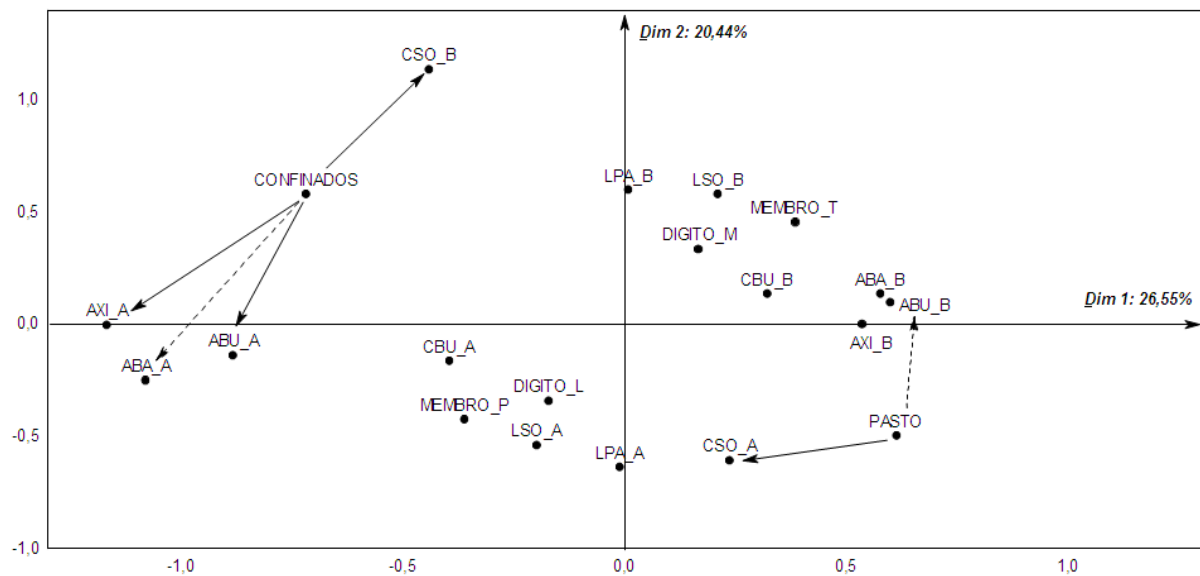


## 1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das médias e seus respectivos desvios padrão e coeficiente de variação (CV) para as medidas realizadas estão descritos na tabela 1.1.

**Tabela 1.1** – Valores médios e desvio padrão (cm) e CV(%) da biometria do casco de bovinos confinados e criados no pasto.

|                   |                               | <b>Membro pélvico</b>  |        |               |        |
|-------------------|-------------------------------|------------------------|--------|---------------|--------|
|                   |                               | Dígito lateral         | CV (%) | Dígito medial | CV (%) |
| <b>Confinados</b> | Altura da parede abaxial      | 7,627 ± 0,698          | 9,16   | 7,527 ± 0,805 | 10,70  |
|                   | Altura da parede axial        | 6,582 ± 0,813          | 12,36  | 6,759 ± 0,968 | 14,32  |
|                   | Comprimento da sola           | 8,245 ± 0,543          | 6,59   | 7,918 ± 0,653 | 8,25   |
|                   | Largura da sola               | 3,864 ± 0,211          | 5,45   | 3,886 ± 0,278 | 7,16   |
|                   | Comprimento do bulbo          | 1,886 ± 0,516          | 27,34  | 1,859 ± 0,397 | 21,37  |
|                   | Largura do bulbo              | 4,045 ± 0,510          | 12,60  | 4,186 ± 0,371 | 8,86   |
|                   | Altura do bulbo               | 4,809 ± 0,762          | 15,84  | 4,755 ± 0,710 | 14,94  |
|                   | Comprimento da parede lateral | 9,636 ± 0,412          | 4,28   | 9,468 ± 0,573 | 6,05   |
|                   |                               | Dígito lateral         | CV (%) | Dígito medial | CV (%) |
| <b>Pasto</b>      | Altura da parede abaxial      | 6,825 ± 0,454          | 6,65   | 6,692 ± 0,535 | 8,00   |
|                   | Altura da parede axial        | 5,792 ± 0,394          | 6,81   | 5,733 ± 0,470 | 8,19   |
|                   | Comprimento da sola           | 8,300 ± 0,295          | 3,56   | 8,317 ± 0,393 | 4,72   |
|                   | Largura da sola               | 3,917 ± 0,376          | 9,60   | 3,675 ± 0,536 | 14,59  |
|                   | Comprimento do bulbo          | 1,792 ± 0,318          | 17,72  | 1,608 ± 0,385 | 23,93  |
|                   | Largura do bulbo              | 4,125 ± 0,545          | 13,20  | 3,825 ± 0,603 | 15,77  |
|                   | Altura do bulbo               | 3,517 ± 0,718          | 20,43  | 3,442 ± 0,795 | 23,09  |
|                   | Comprimento da parede lateral | 9,567 ± 0,605          | 6,32   | 9,375 ± 1,015 | 10,83  |
|                   |                               | <b>Membro torácico</b> |        |               |        |
|                   |                               | Dígito lateral         | CV (%) | Dígito medial | CV (%) |
| <b>Confinados</b> | Altura da parede abaxial      | 7,075 ± 0,752          | 10,64  | 6,905 ± 0,836 | 12,10  |
|                   | Altura da parede axial        | 6,330 ± 0,818          | 12,92  | 6,115 ± 0,878 | 14,36  |
|                   | Comprimento da sola           | 7,040 ± 0,517          | 7,35   | 7,035 ± 0,562 | 7,99   |
|                   | Largura da sola               | 3,515 ± 0,379          | 10,78  | 3,315 ± 0,380 | 11,47  |
|                   | Comprimento do bulbo          | 2,100 ± 0,602          | 28,65  | 1,680 ± 0,635 | 37,82  |
|                   | Largura do bulbo              | 3,885 ± 0,432          | 11,12  | 5,025 ± 7,067 | 11,50  |
|                   | Altura do bulbo               | 4,070 ± 0,748          | 18,39  | 3,950 ± 0,819 | 20,74  |
|                   | Comprimento da parede lateral | 9,050 ± 0,437          | 4,83   | 8,885 ± 0,528 | 5,95   |
|                   |                               | Dígito lateral         | CV (%) | Dígito medial | CV (%) |
| <b>Pasto</b>      | Altura da parede abaxial      | 7,042 ± 0,370          | 5,26   | 6,908 ± 0,323 | 4,68   |
|                   | Altura da parede axial        | 5,783 ± 0,607          | 10,50  | 5,975 ± 0,249 | 4,17   |
|                   | Comprimento da sola           | 8,392 ± 0,345          | 4,11   | 8,492 ± 0,637 | 7,51   |
|                   | Largura da sola               | 3,975 ± 0,267          | 6,71   | 3,817 ± 0,395 | 10,35  |
|                   | Comprimento do bulbo          | 1,858 ± 0,340          | 18,28  | 1,783 ± 0,371 | 20,82  |
|                   | Largura do bulbo              | 3,992 ± 0,326          | 8,17   | 3,675 ± 0,490 | 13,34  |
|                   | Altura do bulbo               | 3,950 ± 0,593          | 15,02  | 3,367 ± 0,634 | 18,84  |
|                   | Comprimento da parede lateral | 9,533 ± 0,466          | 4,89   | 9,750 ± 0,460 | 4,72   |



**Figura 1.3** – Mapa perceptual resultante da análise de correspondência múltipla contendo as medidas obtidas classificadas como altas (A) ou baixas (B), nos dois ambientes em que os animais foram alocados (Confinados e Pasto), os membros pélvicos (Membro\_P), torácicos (Membro\_T) e os dígitos laterais (Dígito\_L) e mediais (Dígito\_M). As medidas presentes no mapa são altura da parede abaxial (ABA), altura da parede axial (AXI), comprimento da sola (CSO), largura da sola (LSO), comprimento do bulbo (CBU), altura do bulbo (ABU) e o comprimento da parede lateral (LPA). Setas cheias representam associações para  $p \leq 0,05$  e as setas pontilhadas para  $p \leq 0,10$ .

Foram identificadas duas correspondências relevantes: uma envolvendo as categorias altura do bulbo alto (ABU\_A), comprimento de sola baixo (CSO\_B), comprimento de parede axial alto (AXI\_A), comprimento de parede abaxial alto (ABA\_A), CONFINADOS e outra envolvendo as categorias altura do bulbo baixo (ABU\_B), comprimento de sola alto (CSO\_A) e no PASTO. Essas correspondências constam do mapa perceptual da Figura 1.3: as setas cheias representam associações para  $p \leq 0,05$  e as setas pontilhadas para  $p \leq 0,10$ . As duas dimensões do mapa perceptual representam 46,99% da inércia contida nos dados originais (26,55% na dimensão 1 e 20,33% na dimensão 2). Esse mapa perceptual foi construído com autovalores maiores que 0,2, pois retém informação relevante (HAIR et al., 2006).

De acordo com Bonser et al. (2003), pisos de coeficientes de atrito semelhantes podem ter efeitos muito diferentes sobre o atrito do casco com o solo.

Isso ocorre devido a complexas interações entre o estado de hidratação do material córneo, a rugosidade da superfície ungueal e os mecanismos pelos quais a queratina é removida durante a abrasão.

Segundo Sagues (2002), a sustentação do peso corporal pelos dígitos varia de acordo com a superfície em que o animal está. Em superfícies macias, partes da parede e da região bulbar afundam-se no solo e a área de sustentação do peso aumentará na região axial da sola. A exposição ao piso de concreto aumentou a frequência de desordens no casco de vacas quando comparadas com as mantidas sobre a palha (SOMERS et al., 2005). Essa diferença pode ser explicada pela dureza e abrasividade dos pisos de concreto (FRANCK; DE BELIE, 2006). No presente estudo, as correspondências distintas entre os animais de cada grupo e as diferentes medidas são análogas aos estudos citados.

A área de sustentação do peso que absorve o impacto inicial da locomoção é a parede, que apresenta desgaste mais rápido (TOUSSAINT RAVEN, 1989). As associações observadas, agrupadas na Figura 1.3, sugerem que o piso duro utilizado no confinamento promoveu alterações, resultando em altos valores nas medidas de parede axial e altura do bulbo ( $p \leq 0,05$ ) e parede abaxial ( $p \leq 0,10$ ). Segundo Toussaint Raven et al. (1977), as funções de apoio e suporte de carga dos dígitos dos bovinos são realizadas pela parede epidermal do casco, em sua maioria, na porção abaxial e na região bulbar da sola. Acredita-se que a alteração na distribuição das forças durante o apoio e a locomoção dos animais pode reduzir o comprimento da sola. Infere-se, também, que esse achado esteja relacionado com menor desgaste na região mediocranial do casco, e provavelmente, com maior carga na região cranial do casco.

Nos animais confinados, observou-se que os valores de parede abaxial foram maiores ( $p \leq 0,05$ ). De acordo com Van Der Tol et al. (2003), enquanto o animal está em estação, a pressão concentra-se na região bulbar da parede da dígito lateral. Em locomoção, a força total aplicada no membro pode ser duas vezes maior em relação à força aplicada em estação. Na superfície plana e dura, a pressão suportada pelo dígito atinge valores altos durante a locomoção.

Segundo Van Der Tol et al. (2003), o suporte do peso corporal pelo dígito pode ser transferido da parede para a sola ou ao bulbo. Considerando os achados

do referido autor, sugere-se que valores altos para parede do casco em animais confinados estejam relacionados com menor desgaste dessa região e menor transferência de peso para a sola.

O pasto é um piso considerado mais próximo ao ambiente natural do ruminante, portanto é de esperar que ocorram desgaste e crescimento uniformes dos cascos sob essas condições, como foi verificado por Tranter e Morris (1992). Neste presente estudo, o regime de pastagem está associado aos altos comprimentos de sola ( $p \leq 0,05$ ) e baixos valores de altura do bulbo ( $p \leq 0,10$ ). Em superfícies rígidas, devido à inclinação axial da sola, somente a margem abaxial da parede e da sola entram em contato com o solo. Em terrenos macios, a sola irá contribuir mais com a função de suporte de carga (FRANCK et al., 2006). Nesse sentido, podemos inferir que o piso mais macio permite maior absorção do impacto, e, conseqüentemente, o desenvolvimento da sola no seu comprimento.

O equilíbrio entre desgaste e crescimento do casco, evidenciado por Tranter e Morris (1992) e Van Der Tol et al. (2003), também pode estar relacionado com a menor altura do bulbo em animais criados na pastagem, conforme observado neste estudo. A parede dos dígitos desses animais suporta a maior parte do peso exercido sobre elas e a sola e o bulbo também auxiliam nesse suporte em graus variáveis (VAN DER TOL et al., 2003). Provavelmente há menor deposição de material queratinizado proveniente desta região devido ao desgaste uniforme do casco. Em superfícies macias e lisas, o crescimento supera o desgaste e os cascos devem ser aparados com frequência para que a pinça não cresça no sentido cranial (DYCE et al., 2010).

Os dígitos dos membros torácicos são similares entre si em termos de tamanho e estabilidade. Além disso, os membros torácicos são conectados ao corpo por tendões e ligamentos que amortizam os efeitos da variação do peso corporal sustentados pelos dígitos, diferentemente dos membros pélvicos que estão conectados ao corpo através de uma articulação (TOUSSAINT RAVEN, 1989; SAGUES, 2002). Animais em estação distribuem o seu peso corporal de tal forma que os membros torácicos suportam, aproximadamente, 60% do peso e os membros pélvicos, o restante (FESSL, 1968). Os membros pélvicos têm como principal papel impulsionar o animal para frente (GREENOUGH; WEAVER, 1997). Esse fato

contribui para que cascos dos membros pélvicos de animais em locomoção suportem maior peso, contribuindo para maior desgaste do tecido córneo. Entretanto, no presente estudo, não foi possível detectar diferenças ( $p > 0,10$ ) nas medidas entre os membros torácicos e pélvicos nos animais avaliados, o que se assemelha aos resultados de Ollhoff e Ortolani (2001).

Este presente estudo não evidenciou associações entre as medidas realizadas e os dígitos laterais e mediais. Também não houve associações entre os dígitos e os membros. Relatos anteriores, como de Toussaint Raven (1989), demonstraram que a distribuição do peso sob os dígitos proporciona diferenças no comprimento do dígito lateral com relação à medial. Os dígitos laterais dos membros pélvicos apresentam maior área de contato com o solo e sofrem maior pressão quando comparadas aos dígitos mediais (VAN DER TOL et al., 2002; MEYER; WEISHAUPT; NUSS, 2007). Ainda segundo Van Der Tol et al. (2002), nos cascos do membro torácico evidencia-se maior pressão sobre o dígito medial. A pressão máxima exercida concentra-se na parte anterior dos dígitos mediais nos membros torácicos e na parte posterior dos dígitos laterais dos membros pélvicos. Durante a fase de apoio, o bulbo é o primeiro elemento a entrar em contato com o solo, em seguida, o dígito lateral e, posteriormente o dígito medial. O apoio assimétrico dos dígitos em superfícies rígidas pode sobrecarregar o dígito lateral (MEYER; WEISHAUPT; NUSS, 2007).

Resultados obtidos por Lima et al. (2013) não expressaram dimensões distribuídas de forma linear, e, a variação dentro dos achados morfométricos impossibilitou o estabelecimento de padrão para os animais Nelorados utilizados no estudo. A diversidade de dados sobre parâmetros morfométricos dos cascos dos bovinos demonstra a necessidade de desenvolver novas abordagens para esse tipo de estudo. Túlio (2006) ressaltou a importância de conhecer a anatomia e, assim, desenvolver melhores condições de manejo, profilaxia e tratamento para os cascos dos animais que habitam regiões tropicais. O impacto causado pelo índice pluviométrico no ambiente também é considerado relevante, assim como constatou Bonser et al. (2003) ao observar que existe influência tanto pela dureza do piso quanto pelo estado de hidratação do casco. Os padrões são baseados no efeito que a hidratação promove sobre a tenacidade, a dureza e a elasticidade do material do

casco.

De acordo com nossos dados, observa-se que o tipo de piso interfere na morfologia do casco, foi destacado por Verdon (2014) ao enfatizar a qualidade do piso atua diretamente sobre a estrutura ungueal e que a saúde do casco é preocupação diária do produtor. As alterações anatômicas do casco, decorrentes do impacto causado por tipos diferentes de piso, devem ser consideradas ao se investigar as causas de claudicação em bovinos de corte, em conjunto com outros fatores que influenciam na conformação dessa estrutura. Dessa forma, destacamos que a manutenção do casco é fundamental para a prevenção e controle da claudicação e afecções relacionadas.

## **1.6 CONCLUSÃO**

Maior parede do casco em bovinos confinados sugere menor desgaste da estrutura queratinizada, enquanto que, o maior desenvolvimento da sola em animais criados na pastagem pode estar relacionado com melhor distribuição das forças na superfície de apoio. Assim, embora haja variação individual na morfometria do casco, o ambiente modifica a sua estrutura anatômica. A análise de correspondência múltipla é eficiente na identificação de dependências entre categorias dos parâmetros morfométricos externos dos cascos de bovinos.

## 1.7 REFERÊNCIAS

ANUALPEC. **Anuário da Pecuária Brasileira**. São Paulo: Angra FNP Pesquisas, 2014. 360p.

BERGSTEN, C. Effects of conformation and management system on hoof and leg diseases and lameness in dairy cows. **The veterinary clinics of North America. Food animal practice**, v. 17, n. 1, p. 1-23, 2001.

BLOWEY, R. **Cattle lameness and hoof care, an illustrated guide**. 1ª edição. Londres: Diamond Farm Book Pubns, 1993. 96p.

BONSER, R. H. C.; FARRENT, J. W.; TAYLOR, A. M. Assessing the frictional and abrasion-resisting properties of hooves and claws. **Biosystems engineering**, v. 86, n. 2, p. 253-256, 2003.

CARDONA, J.; CANO, N. Alteraciones digitales en el ganado bovino del trópico bajo. **Revista MVZ Córdoba**, v. 8 n.1, p. 249-253, 2003.

CERTIFIED HUMANE®. **Human Farm Animal Care - Animal Care Standards (Beef Cattle)**. jan 2 ed. Herndon: Humane Farm Animal Care, 2014. 53p.

CORRÊA, M. P. C. **Efeitos de grupos genéticos e de castração sobre o desempenho e características de carcaça em bovinos de corte suplementados a pasto**. 2001. 69p. Dissertação (Mestrado) Escola de Veterinária, Programa de pós graduação em Ciência Animal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

DYCE, K. M.; WENSING, C. J. G.; SACK, W. O. **Tratado de anatomia veterinária**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 856p.

EMBRAPA. **Sistemas de produção de leite para diferentes regiões do Brasil**. Juiz de Fora, MG. Embrapa Gado de Leite, 2011. Disponível em: <<http://www.cnp.gl.embrapa.br/sistemaproducao/>> . Acesso em: 20 de setembro de 2015.

FERREIRA, P. M., CARVALHO, A. U. C.; FACURY FILHO, E. J. MENESES, R. M.; FERREIRA, M. G.; FERREIRA, R. G. Manqueiras em vacas leiteiras: Biomecânica e Fatores de Risco. **Revista Leite Integral**. ed. 7. fev. 2015.

FERREIRA, P. M.; CARVALHO, A. U.; FACURY-FILHO, E. J.; FERREIRA, M. G.; FERREIRA, R. G. Afecções do Sistema Locomotor dos Bovinos. In: **II Simpósio Mineiro de Buiatria**. 2005. Belo Horizonte. Disponível em <<http://www.ivis.org/proceedings/abmg/2005/pdf04.pdf?>>>.



FESSL, L. Biometric studies on the ground surface of bovine claws and the distribution of the weight on the extremities. **Zentralblatt für Veterinärmedizin. Reihe A.**, v.15, n. 9, p.844-860, 1968.

FRANCK, A.; DE BELIE, N. Concrete floor–bovine claw contact pressures related to floor roughness and deformation of the claw. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 8, p. 2952-2964, 2006. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72567-X.

FRANCK, A.; COCQUYT, G.; SIMOENS, P.; DE BELIE, N. Biomechanical properties of bovine claw horn. **Biosystems engineering**, v. 93, n. 4, p. 459-467, 2006.

GREENOUGH, P.R.; WEAVER, A.D. **Lameness in cattle**. Philadelphia, London, Toronto, Montreal, Sydney, Tokyo: Saunders, 1997. 324p.

GREENACRE, M. J. **Theory and applications of correspondence analysis**. New York: Academic Press. 1984. 364p.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre. RS, 5ª ed., 2006. 688p.

HINTERHOFER, C.; FERGUSON, J. C.; APPRICH, V.; HAIDER, H; STANEK, C. Slatted floors and solid floors: Stress and strain on the bovine hoof capsule analyzed in finite element analysis. **Journal of Dairy Science**. v. 89, n. 1, p. 155–162, 2006. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72079-3.

IBGE. Banco de Dados Agregados. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 20 de setembro de 2015.

KÖNIG, H. E.; LIEBICH, H. G. **Anatomia dos animais domésticos. Texto e atlas colorido**. 4ª ed., Porto Alegre: Artmed, 2011. 788p.

LIMA, E. M. M.; BORGES, J. R. J.; LIMA, F. B.; SILVA, F. O. C.; LEONARDO, A. S.; VIANNA, A. R. C. B. Morfometria do casco de bovinos nelorados em diferentes sistemas de criação. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 2, p. 412-418, mar/abr. 2013.

MEYER, S. W.; WEISHAUPT, M. A.; NUSS, K. A. Gait pattern of heifers before and after claw trimming: a high-speed cinematographic study on a treadmill. **Journal of Dairy Science**. v. 90, n. 2, p. 670-676, 2007. doi:10.3168/jds.S0022-0302(07)71549-7.

NICOLETTI, J. L. M. **Manual de podologia bovina**. 1ª ed. Manole: São Paulo, 2004. 130p.

OLLHOFF, R. D.; ORTOLANI, E. L. Rates of hoof growth and wear in zebuine and taurine cattle. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, p. 67-71, 2001. doi:10.1590/S0103-84782001000100011.

PHILLIPS, C. J.; COE, R.; COLGAN, M.; DUFFUS, C.; INGOLDBY, L.; POND, M.; POSTLETHWAITE, S. Effect of hoof characteristic on the propensity of cattle to slip. **The Veterinary Record**, v. 142, n. 5, p. 242-245, 1998. doi:10.1136/vr.142.10.242.

PHILLIPS, C. J. C.; MORRIS, I. D. The locomotion of dairy cows on concrete floors that are dry, wet or covered with slurry of excreta. **Journal of Dairy Science**. v. 83, n.8, p. 1767–1772, 2000. doi:0.3168/jds.S0022-0302(00)75047-8.

PHILLIPS, C. J. C.; MORRIS, I. D. The locomotion of dairy cows on floor surfaces with different frictional properties. **Journal of Dairy Science**. v. 84, n. 3, p. 623-628, 2001. doi:10.3168/jds.S0022-0302(01)74517-1.

QUADROS, D. G. Confinamento de bovinos de corte. Disponível em < [http://www.neppa.uneb.br/textos/publicacoes/cursos/confinamento\\_bovinos\\_corte.pdf](http://www.neppa.uneb.br/textos/publicacoes/cursos/confinamento_bovinos_corte.pdf) >. Acesso em 20 de setembro de 2015.

SAGUES, A. G. The biomechanics of weight bearing and its significance with lameness. In: **Proceedings of the 12th International Symposium on Lameness in Ruminants**. 9-13 jan. 2002. Orlando, EUA. p. 117-121.

SARTORIO, S.D. **Aplicações de técnicas de análise multivariada em experimentos agropecuários usando o software R**. 2008. 130f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Estatística e Experimentação Agrícola). Programa de Pós Graduação em Agronomia. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

SOMERS, J. G. C. J.; SCHOUTEN, W. G. P.; FRANKENA, K.; NOORDHUIZEN-STASSEN, E. N.; METZ, J. H. M. Development of claw traits and claw lesions in dairy cows kept on different floor systems. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 1, p. 110-120, 2005. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)72668-0.

SOUZA, C.F., TINOCO, I. F. F.; SARTOR, V. Apostila de Informações básicas para projetos de construções rurais (Unidade 2) - Bovinos de corte. 22f. Viçosa, Minas Gerais. 2003.

VAN DER TOL, P. P. J.; METZ, J. H. M.; NOORDHUIZEN-STASSEN, E. N.; BACK, W.; BRAAM, C. R.; WEIJS, W. A. The pressure distribution under the bovine claw during square standing on a flat substrate. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 6, p. 1476-1481, 2002. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74216-1.

VAN DER TOL, P. P. J.; METZ, J. H. M.; NOORDHUIZEN-STASSEN, E. N.; BACK, W.; BRAAM, C. R.; WEIJS, W. A. The vertical ground reaction force and the pressure distribution an the claws of dairy cows while walking on a flat substrate. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 9, p. 2875-2883, 2003. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73884-3.

VERDON, L. **The effect of environmental factor on the occurrence of hoof diseases in irishdairy cattle herds**. 2014. 46p. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária. Szent Istvam University, Faculty of Veterinary Science.

VERMUNT, J. J.; GREENOUGH, P. R. Structural characteristics of the bovine claw: horn growth and wear, horn hardness and claw conformation. **British Veterinary Journal**. v. 151, n. 2, p. 157-180, 1995. doi:10.1016/S0007-1935(95)80007-7.

TELEZHENKO, E.; BERGSTEN, C.; MAGNUSSON, M.; VENTORP, M.; NILSSON, C. Effect of different flooring systems on weight and pressure distribution on claws of dairy cows. **Dairy Science**, v. 91, n. 5, p. 1874-1884, 2008. doi:10.3168/jds.2007-0742.

TOUSSAINT RAVEN, E. **Cattle footcare and claw trimming**. Farming Press Books, 1989, 127p.

TOUSSAINT RAVEN E.; et al. **Klauwverzorging bij het rund. [Cattle footcare]**. De Uithof, Utrecht, The Netherlands. 1977. 128p.

TRANTER, W. P.; MORRIS, R. S. Hoof growth and wear in pasture-fed dairy cattle. **New Zealand veterinary journal**, v. 40, n. 3, p. 89-96, 1992.

TÚLIO, L. M. **Estudo biométrico do casco bovino e bubalino: avaliação de características anátomo-fisiológicas do casco sadio**. 2006. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba.

## **CAPÍTULO II – Densitometria mineral óssea pela absorciometria por raios X de dupla energia de bovinos em dois regimes de manejo**

**RESUMO** – Diversas doenças que afetam o metabolismo ósseo são causadas por deficiência mineral, alterações na absorção de nutrientes, desequilíbrio hormonal, inatividade e exposição solar limitada. Com a densitometria óssea é possível avaliar a densidade do esqueleto, estudar o crescimento e maturidade óssea, e observar alterações ósseas que prejudicam a saúde. A técnica é pouco utilizada em bovinos necessitando de padronização. Neste sentido, realizamos o presente trabalho com o objetivo de avaliar a densidade mineral óssea do III metacárpico e falanges de bovinos Nelore confinados e criados na pastagem. Os animais foram abatidos aos 20 meses de idade no Frigorífico Minerva S. A. Seccionados na articulação carpometacárpica, as extremidades dos membros torácicos de 23 bovinos, sendo 11 mantidos em confinamento e 12, no pasto, foram encaminhados ao Laboratório de Densitometria Óssea do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal da UNESP, FCAV. As extremidades do membro torácico, distais à articulação carpometacárpica foram escaneadas pelo equipamento Hologic®. Foram obtidos os valores de densidade mineral óssea (BMD) e conteúdo mineral ósseo (BMC) do III metacárpico, falanges média medial e lateral, falanges distal medial e lateral. Os valores médios e desvios padrão obtidos de BMD para as regiões avaliadas foram, para os animais confinados: III metacárpico  $0,89 \pm 0,07$ , falange média lateral  $0,90 \pm 0,09$ , falange média medial  $0,90 \pm 0,1$ , falange distal média  $0,65 \pm 0,06$ , e para os animais no pasto: metacárpico  $0,74 \pm 0,07$ , falange média lateral  $0,99 \pm 0,06$ , falange média medial  $0,99 \pm 0,08$  e falange distal medial  $0,73 \pm 0,05$ . Todos os valores em  $\text{g/cm}^2$ . Na avaliação da BMD ( $\text{g/cm}^2$ ), BMC (g), os valores médios e desvios padrão encontrados nos III metatársicos foram, para os animais confinados: BMD  $0,89 \pm 0,07$  e BMC  $129,33 \pm 10,60$ , e para os animais no pasto: BMD  $0,74 \pm 0,07$  e BMC  $110,87 \pm 10,93$ . Os dados do nosso experimento indicam que há heterogeneidade no perfil da densidade mineral óssea em bovinos de acordo com o sistema de criação, tipo de osso e estresse mecânico. A técnica da absorciometria de raios X em dupla energia mostrou-se eficaz para obtenção de valores de referência da BMD e BMC do III metacárpico e falanges de bovinos adultos, podendo ser utilizada em ensaios experimentais para a quantificação indireta da qualidade óssea e do conteúdo mineral ósseo.

**Palavras-chave:** DXA, densidade mineral óssea, conteúdo mineral ósseo, metacárpico, falange, gado de corte, Nelore

## **Bone mineral densitometry by dual energy x-ray absorptiometry of cattle in two breeding systems**

**ABSTRACT** – Several diseases that affect bone metabolism are caused by mineral deficiency, changes in the absorption of nutrients, hormonal imbalance, inactivity and limited sun exposure. By measuring bone densitometry it is possible to evaluate the skeletal density, study the bone growth and maturity, and observe bone abnormalities that damage health. The technique is not often used in cattle and it needs standardization. In this matter, we conducted this study in order to assess bone mineral density of the III metacarpal and phalanges of Nelore confined and raised in the pasture. Twenty months old animals were slaughtered at in Minerva SA Slaughterhouse. Sectioned at the height of the carpometacarpal joint, 23 forelimbs extremities, 11 from animals in feedlot and 12 from animals in grazing were taken to the Bone Densitometry Laboratory of the Department of Morphology and Animal Physiology, at UNESP/FCAV. The extremities from the forelimbs, distal to the carpometacarpal joints, were scanned by Hologic® equipment. The values of bone mineral density (BMD), bone mineral content (BMC) and area were obtained of the III metacarpal, lateral middle phalanx, medial middle phalanx, lateral distal phalanx and medial distal phalanx. The mean values and standard deviations obtained from BMD for the evaluated bones were in feedlot animals: III metacarpal  $0.89 \pm 0.07$ , lateral middle phalanx  $0.90 \pm 0.09$ , medial middle phalanx  $0.90 \pm 0.1$ , medial distal phalanx  $0.65 \pm 0.06$ , and the in grazing animals: III metacarpal  $0.74 \pm 0.07$ , lateral middle phalanx  $0.99 \pm 0.06$ , medial middle phalanx  $0.99 \pm 0.08$  and medial distal phalanx  $0.73 \pm 0.05$ . All values are in  $\text{g}/\text{cm}^2$ . In the evaluation of BMD ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) and BMC (g), the mean and standard deviations values found for the feedlot bovines: BMD  $0.89 \pm 0.07$  and BMC  $129.33 \pm 10.60$ , and in grazing bovines: BMD  $0.74 \pm 0.07$ , BMC  $10.93 \pm 110.87$ . The data of our experiment indicate that there is heterogeneity in the profile of bone mineral density in cattle according to the breeding system, type of bone and mechanical stress. The technique of dual-energy X-ray absorptiometry was effective to obtain reference values of BMD and BMC of the third metacarpal and phalanges of adult bovine animals and can be used in experimental trials for the indirect quantification of bone quality and mineral composition bone.

**Keywords:** DXA, bone mineral density, bone mineral content, metacarpal, phalanges, beef cattle, Nelore

## 2.1 INTRODUÇÃO

As afecções que acometem o aparelho locomotor dos animais, nas porções mais proximais, afetam músculos e ossos. Nos ossos, a avaliação da qualidade óssea serve para acompanhamento de diversas enfermidades e pode ser feita com radiografia simples ou com uso de outras técnicas que permitam determinar a densidade mineral óssea (BMD) e a conteúdo mineral ósseo (BMC).

Nos animais, os valores da densidade mineral óssea (BMD) variam entre espécies, raças, gênero e idade. Cada uma dessas categorias ainda sofre alterações decorrentes da alimentação, genética, exposição ao sol e atividade. Dentre as espécies utilizadas em estudos densitométricos, temos as cobaias (GIRO, 2006; AMARAL, 2014), coelhos (VAZ, 2006), gatos (BORGES et al., 2008), cães (LOUZADA et al., 1998; ROBSON et al., 2006), suínos (CASTRO; TRENTO, 2009), pequenos ruminantes (LOUZADA; BELANGERO; MARTINS, 2006; JIMENEZ, 2009; ZARRINKALAM et al., 2009), equinos (TÓTH et al., 2010), gansos (CHARUTA et al., 2014), frangos (LOUZADA et al., 1997; PAZ, 2006; OLIVEIRA et al., 2014), primatas (MANN; GOULD; COLLINS, 1990), iguanas (ZOTTI et al., 2004) e golfinhos (LUCIC et al., 2010), entre outras espécies.

Ao determinar o valor da BMD é possível fazer o diagnóstico do grau de mineralização do esqueleto, o que permite identificar afecções que promovem mudanças nos teores de minerais nos ossos, além de contribuir para avaliar as condições nutricionais (SHORES, 1993; ODEN et al., 1998, ARAÚJO et al., 2006; VEIGA, 2009). Também auxilia na determinação da maturidade, sendo que a precocidade é desejada na produção de bovinos. A maturidade esquelética e a puberdade estão intimamente associadas, pois hormônios gonadais possuem fatores reguladores do desenvolvimento ósseo (VANDERSCHUEREN et al., 2004).

A avaliação óssea em animais vivos beneficia veterinários que acompanham o desempenho de animais de corrida, por exemplo, pois contribui com a detecção precoce de pontos de fraqueza óssea e risco de fratura. Na pesquisa, as aplicações da determinação da BMD incluem estudos farmacológicos (efeito das drogas nos ossos), fisiológicos (monitoração de crescimento ou desempenho em exercício), patológicos (doenças endócrinas e metabólicas que afetam os ossos) e nutricionais

(efeito de dietas na BMD) (DONABEDIAN et al., 2005).

Zotti et al. (2004) citam que a mensuração da BMD em animais pode contribuir além da pesquisa, pois tem potencial para uso clínico, de rotina. As iguanas foram objeto de estudo de Zotti et al. (2004), mas a aplicabilidade relatada se estende para todas as espécies domésticas. Na clínica e cirurgia, a determinação da densitometria contribui, ao determinar o conteúdo mineral do osso, no diagnóstico de osteopenia, na monitoração seriada da densidade em resposta a enfermidades ósseas, nas intervenções cirúrgicas e de terapia, e nas estratégias preventivas relacionadas ao metabolismo ósseo (MURAMOTO et al., 2005).

A mensuração da BMD possibilita a avaliação da resposta do metabolismo ósseo aos diferentes tipos de dietas (com ou sem condições de deficiência mineral ou na avaliação de diversos componentes) como foi feito por Williams et al. (1991) em bovinos e Faitarone et al., (2012), em frangos, por exemplo.

Em cobaias (sendo as fêmeas inteiras ou ovariectomizadas), são feitos diversos tipos de estudos de densidade óssea e exercício físico (ANTONIETTO, 2010; FERNANDES et al., 2014), osteopenia (MAIA, et al., 2014) e osteoporose induzida (GIRO, 2006; AMARAL, 2014), além do estudo envolvendo efeitos de drogas (PINTO et al., 2006). Estudo da osteoporose utilizando cães como modelo experimental não se mostraram eficientes por terem o metabolismo endócrino muito diferente de mulheres (GRIER, 1996). Como alternativa ao uso de cobaias, as ovelhas e as cabras são consideradas bom modelo experimental para o estudo da osteoporose pós-menopausa em humanos devido à similaridade com o perfil hormonal de mulheres (NEWMAN; TURNER; WARK, 1995; POUILLES et al., 2000; TURNER, 2002; ZARRINKALAM, et al., 2009).

Em bovinos, as mensurações de BMD e BMC se mostram úteis para avaliar dietas e alterações nutricionais, bem como o desenvolvimento e maturação óssea, pois pode contribuir para detectar animais precoces, principalmente os destinados ao corte. A predição de fraturas pode ser útil para animais de alto valor zootécnico, como os touros de centrais de coleta de sêmen. Nos bovinos leiteiros, o estudo da BMD e BMC podem contribuir para acompanhar o metabolismo ósseo durante o pré-parto e todo o período de lactação, além de favorecer a avaliação de problemas ortopédicos ou alterações ósseas degenerativas.

## **2.2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.2.1 Metabolismo ósseo**

O osso é um tecido multifuncional, metabolicamente ativo e está em equilíbrio dinâmico com processo de remodelação tecidual durante a vida. A remodelação é o termo usado para descrever processos de reabsorção e formação de tecido mineralizado, que, quando equilibrados, mantém a estrutura óssea. O acoplamento dos dois processos é mantido por hormônios, fatores físicos e humorais locais e sistêmicos (HOLICK, et al., 2002; JOHNSON, 2003).

Idade, doenças osteometabólicas, mobilidade diminuída e alguns medicamentos podem alterar o equilíbrio entre formação e reabsorção, com consequências metabólicas como hiper ou hipocalcemia e osteoporose (MUNDY, 1999). A homeostase mineral depende da capacidade das células ósseas em sequestrar e mobilizar os íons específicos de forma contínua, durante toda a vida, e não somente no desenvolvimento e maturação óssea (STEVEN, 1990, HOLICK, et al., 2002).

As afecções causadas por deficiência mineral podem ser leves ou graves, agudas ou crônicas. Muitas delas dificilmente são diagnosticadas devido à ausência de sintomas específicos (HOLICK, et al., 2002; SUTTLE, 2010).

### **2.2.2 Densidade e conteúdo mineral ósseo**

A densidade mineral óssea é a concentração de minerais por unidade de volume ósseo. Os minerais estão incrustados na matriz orgânica do osso fornecendo ao esqueleto a sua dureza e rigidez (MCCLURE et al., 2001).

Métodos não invasivos para determinar o teor de mineralização e a conteúdo mineral ósseo (BMC) têm sido desenvolvidos ao longo do tempo, incluindo absorção direta por fótons (CAMERON et al.1968), análise de ativação por nêutrons (AL-HITI et al., 1976), tomografia computadorizada (REICH et al., 1976) e ultrassom (PRATT Jr., 1980).



Um dos métodos para determinar a BMD é por meio da radiografia, que tem baixo custo. Densitometria radiográfica ou fotodensitometria óssea, expressa a quantidade de mineral no osso, equivalente em densidade, em milímetros de alumínio. Densitometria radiográfica é uma técnica válida para avaliação local do osso e tem alta correlação com o teor de cinzas do osso (HIMES, 1978).

A radiografia simples tem baixa sensibilidade, pois só diferencia perda de massa óssea, ou osteopenia, da osteoporose, quando esta for superior a 30%. Desse modo os achados radiográficos só possibilitariam observar casos severos (PUN; WONG, 1991). Entretanto, com o avanço da técnica da densidade óptica em imagens radiográficas, há possibilidade de identificação de retirada desde 12% de cálcio em peças ósseas efetuando-se a setorização das curvas características e a correção do efeito da não uniformidade da radiação X (LOUZADA, 1994). Os sistemas de análise digital são 20 vezes mais precisos que o olho humano (BOULD et al., 1999). A alta correlação entre valores médios de cinza (MGV) e BMD indicou que a análise pela densitometria radiográfica é uma alternativa confiável para absorciometria por raios X de dupla energia (DXA) para avaliar a densidade óssea radiográfica (VACCARO et al., 2012).

A DXA é amplamente usada em Medicina Humana para mensuração de massa e BMC, sendo considerada pela OMS, desde 1994, a técnica padrão-ouro no diagnóstico e acompanhamento da osteoporose (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1994; MEIRELLES, 1999; SAMPAIO NETTO; COUTINHO; SOUZA, 2007). Na Medicina Veterinária, a DXA já foi utilizada e descrita em roedores, gatos, coelhos, cães, porcos, primatas não-humanos, ovelhas e cavalos (GRIER, 1996), entre outras espécies.

O princípio da técnica envolve um conjunto de medidas ponto a ponto da atenuação dos feixes de raios-X que passam através do corpo do paciente em materiais que contém hidroxiapatita e tecidos moles adjacentes. O resultado da BMD é a aquisição média da BMD por área. Por fim, a BMD é multiplicada pela área óssea para obtenção do conteúdo mineral ósseo (BMC) (CARSTANJEN et al., 2003, BLAKE et al. 2014).

A DXA foi um grande avanço no estudo da osteoporose em cobaias, entretanto, o longo tempo de escaneamento é uma desvantagem, pois requer

sedação ou anestesia dos animais para que permaneçam imóveis durante o exame (GRIER, 1996).

O posicionamento correto é o aspecto mais crítico durante o exame densitométrico em animais e humanos. Isso se deve ao fato do DXA converter estruturas 3D em imagens 2D e ossos elípticos podem apresentar diferentes valores de BMC, dependendo do posicionamento do osso. Nos animais quadrúpedes a repetição no escaneamento da mesma região de interesse pode apresentar valores diferentes decorrentes do posicionamento inexato, em especial na avaliação de ossos como fêmur e úmero, mais proximais nos membros. Vários estudos mostraram que escaneamentos por DXA em ratos foram altamente acurados e precisos, mas isso pode variar dependendo do local mensurado. Uma das razões para diferenças na reprodução dos dados é a dificuldade de definir a região de interesse (GRIER, 1996; TURNER, 2002).

Dentre os estudos com uso do método DXA nos grandes animais, trabalhos com equinos são mais comuns. Em equinos o metacárpico é frequentemente utilizado como região de interesse no estudo densitométrico (LAWRENCE; OTT, 1985; HANSON; MARKEL; VANDERBY, 1995; MCCLURE et al., 2001; VAN HARREVELD et al., 2002; CARSTANJEN et al., 2003; DONABEDIAN et al., 2005, TÓTH et al., 2010). A absorciometria por raios X de duas energias pode ser utilizada para mensurar a densidade mineral óssea no metacárpico de equinos com rigor e precisão (MCCLURE et al., 2001; CARSTANJEN et al., 2003). No estudo de Tóth et al. (2010), foram mensurados valores de BMD e BMC no metacárpico e falange proximal de equinos, sendo que, de acordo como o autor, seu estudo foi o primeiro a mensurar a falange proximal.

Em estudo de Tóth et al. (2010), não foram encontradas diferenças significativas na BMD entre o posicionamento lateromedial e dorsopalmar no escaneamento de metacárpicos de equinos com uso da DXA.

Em equinos, a DXA é mais utilizada em estudos *ex vivo* (MCCLURE et al., 2001; CARSTANJEN et al., 2003; DONABEDIAN et al., 2005). Um estudo em equinos vivos (DONABEDIAN et al., 2005) foi feito utilizando o aparelho PIXI® (LUNAR Corp., Madison, WI., U.S.A.). Tal aparelho foi desenvolvido para escaneamento de extremidades de humanos. O aparelho é portátil, e a possibilidade

de resultados precisos e acurados no uso em animais vivos e a campo deve ser investigada.

O metacárpico é dos ossos mais comumente analisados pela densitometria radiográfica em equinos devido à alta porcentagem de fraturas nesse local em animais de corrida (TÓTH et al., 2010). Em estudo conduzido por Donabedian et al. (2005), em que utilizaram o equipamento PIXI® (LUNAR Corp., Madison, WI, U.S.A.) para a mensuração *in vivo* do metacárpico de equinos em estação, foram obtidos resultados considerados acurados e precisos. O dispositivo PIXI® é utilizado na Medicina Humana para avaliar ossos do antebraço e calcâneo (DONABEDIAN et al., 2005).

Diferente da Medicina Humana, a metodologia empregada para obtenção da BMD por meio da DXA não é comumente utilizada na Veterinária. Isso se deve ao custo do aparelho e necessidade de imobilização ou procedimento anestésico para que os animais permaneçam imóveis durante o exame. Desta forma, a densitometria radiográfica, por ser eficaz, mais barata e de simples execução, é mais frequente na Medicina Veterinária (LOUZADA, 1994, COATES et al., 2015).

Williams et al. (1991) determinaram, *in vitro*, o conteúdo mineral ósseo no terceiro metacárpico de 14 novilhas Angus, alimentadas com dietas diferentes em fósforo (normal e deficiente). O experimento avaliou a capacidade dos métodos de DXA, fotometria radiográfica e ultrassonografia na determinação da densitometria óssea. Os autores concluíram que, mesmo com valores de CV diferentes para cada uma das técnicas, todas as três técnicas avaliadas foram consideradas úteis para prognosticar o conteúdo mineral ósseo.

Outra importante aplicação do DXA é na investigação de fraturas e no monitoramento pós-cirúrgico (GUERRA; VULCANO; ROCHA, 2006). Nos animais de grande porte, o tratamento das fraturas de ossos longos é um grande desafio. Em muitos casos, o tipo de fratura, o local acometido e o grau de contaminação, impedem o tratamento e o acidente pode se tornar incompatível com a vida (MCCLURE; WATKINS; ASHMAN, 1998). Dessa forma, a predição de possíveis fraturas pode ajudar a evitar acidentes em determinados casos, preservando a vida do animal. Nos bovinos as fraturas mais comuns ocorrem no esqueleto apendicular, principalmente em bezerros. Os ossos mais acometidos são metacárpico e

metatársico, em seguida a tíbia, rádio e ulna, úmero e fêmur (TULLENNERS, 1986, ANDERSON; JEAN, 2004). As fraturas do esqueleto axial e falanges são raras (TULLENNERS, 1986). Em cães, a densitometria é utilizada para avaliar a formação do calo ósseo (GUERRA; VULCANO; ROCHA, 2006), e variação da densidade óssea em animais submetidos ao treinamento físico (OLIVEIRA, 2007).

Como o DXA fornece resultados precisos com doses muito baixas de radiação ionizante, boa precisão e capacidade comprovada de predizer risco de fratura (BLAKE et al. 2014), há necessidade de determinar valores de referência na Medicina Veterinária para que seu uso seja popularizado e o exame densitométrico seja aplicado na prática clínica.

### **2.3 OBJETIVOS**

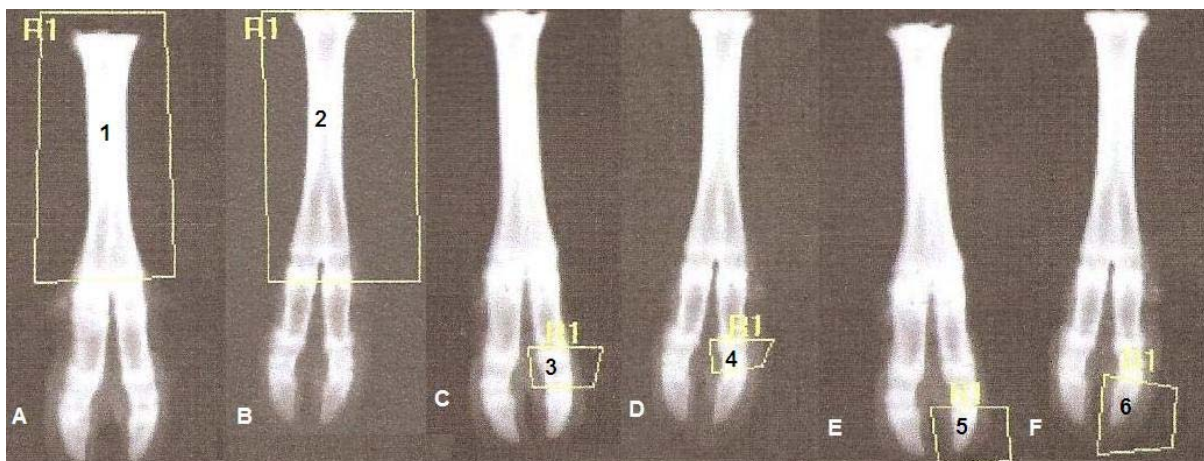
O presente trabalho teve o objetivo de avaliar a influência do sistema de criação sobre a densidade mineral óssea dos metacárpicos e falanges de bovinos, e a viabilidade da técnica de absorciometria por raios X de dupla energia na determinação de valores de referência na espécie.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados 23 bovinos da raça Nelore, machos, com idade inicial aproximada de 15 meses e abatidos aos 20 meses. Onze animais submetidos ao regime de confinamento em baias individuais e 12 animais alocados no pasto, distribuídos em piquetes. O experimento foi conduzido no Setor de Confinamento pertencente ao Departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, SP. O confinamento possuía baias individuais de 14 m<sup>2</sup> com piso concretado, parcialmente cobertas, providas de cochos individuais e bebedouros para cada duas baias. Os animais alocados no pasto foram mantidos em dois piquetes de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. Cada piquete com dois hectares com seis animais por piquete. A oferta de água era livre em bebedouros de caixa d'água de 1500L. Em cada piquete existiam cochos de quatro metros de comprimento e acesso bilateral. Os animais de ambos os grupos eram provenientes da mesma fazenda. Os dois grupos receberam a mesma dieta balanceada nos cochos, com suplementação de concentrado com inclusão de minerais, sendo que nos animais no pasto, estes contavam também com o acesso à forrageira.

Durante o abate, realizado no frigorífico Minerva S.A. de Barretos, SP, foram coletadas as extremidades dos membros torácicos. As secções foram feitas na região das articulações carpometacárpicas. As amostras foram refrigeradas e transportadas para o laboratório de Anatomia Macroscópica do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal na FCAV, UNESP, onde foram congeladas em freezer horizontal a 20 graus Celsius negativos para posterior análise. Foram mensurados os valores da densidade mineral óssea, em gramas por centímetros quadrados, no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic®. O aparelho utiliza pulsos alternando a fonte de raios X para criar dois picos fotoelétricos diferentes de 80 e 140 kV em 3 mA. Antes do escaneamento, o aparelho foi calibrado com um *phantom* (modelo similar às vértebras fornecido pelo fabricante). Foi realizado o escaneamento de toda extremidade do membro torácico (distal à articulação carpometacárpica), no sentido dorsopalmar, no modo corpo inteiro infantil, para áreas com até 80 cm de comprimento. As mensurações foram

feitas pela seleção de regiões correspondentes à região do metacárpico (Figura 2.1), das falanges média lateral, média medial, distal lateral e distal medial.



**Figura 2.1** – Imagens obtidas pelo escaneamento da extremidade do membro torácico de bovinos no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic®. Imagens A, C, E provenientes de animal confinado e B, D, F, animal no pasto. Regiões delimitadas 1 e 2 correspondem ao III metacárpico, 3 e 4, falanges médias e 5 e 6, falanges distais.

Após a obtenção dos dados, foi feita a análise estatística com uso do software R (R-project® - R Development Core Team, 2011). Os resultados foram submetidos à análise de variância, ANOVA. Constatadas diferenças entre as médias, os valores foram comparados pelo teste de Tukey a 5,0% de significância.

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi feita a comparação das médias dos valores de BMD entre os grupos para cada região óssea da extremidade do membro analisada. As médias e desvios padrão de cada região estão apresentados na Tabela 2.1.

Verificou-se diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre as médias dos animais confinados e no pasto para o III metacápico, falange média medial, falange média lateral e falange distal medial (Tabela 2.2). A média dos bovinos confinados para a região metacárpica foi superior à dos animais no pasto (Tabela 2.1). As médias dos animais no pasto para as regiões falange média medial, falange média lateral e falange distal medial, foram maiores que as dos animais confinados (Tabela 2.1). Sugerimos que o pasto deve ter promovido efeito piezoelétrico sobre os osteócitos dos ossos mais distais do membro torácico, favorecendo a formação óssea das falanges durante o período analisado. De acordo com Fukada e Yasuda (1957), o efeito piezoelétrico e a tensão sobre os ossos são significativos em atividades em que o estresse mecânico é elevado. Quanto maior o estímulo sobre a matriz óssea, maior é a deposição de tecido ósseo. Como o pasto proporciona maior irregularidade de terreno em área mais ampla que o confinamento, as falanges médias e a falange distal medial provavelmente foram submetidas ao maior estímulo mecânico que o confinamento resultando em aumento da densidade mineral óssea das falanges média medial e lateral e a falange distal medial.

A falange distal lateral não apresentou diferença ( $p > 0,05$ ) entre as médias dos dois grupos avaliados talvez devido à distribuição heterogênea de forças durante a locomoção em bovinos. De acordo com Nicoletti (2004), Ferreira et al (2005), Túlio (2006) e Lima et al. (2009), nas úngulas dos membros torácicos, a maior pressão é sofrida pela úngula medial, sendo assim, as falanges distais laterais, menos estimuladas, mantiveram o padrão de BMD nos bovinos confinados e criados na pastagem.



**Tabela 2.1** – Valores médios e desvios padrões da densidade mineral óssea ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) e CV (%) para as regiões analisadas a partir de imagens obtidas pelo escaneamento no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic® das extremidades dos membros torácicos de bovinos confinados e no pasto.

| Região                 | Confinamento              |             |       | Pasto                     |             |       |
|------------------------|---------------------------|-------------|-------|---------------------------|-------------|-------|
|                        | Média $\pm$ desvio padrão |             | CV    | Média $\pm$ desvio padrão |             | CV    |
| Metacárpico            | 0,89                      | $\pm$ 0,07a | 7,60  | 0,74                      | $\pm$ 0,07b | 9,33  |
| Falange média lateral  | 0,90                      | $\pm$ 0,09b | 10,47 | 0,99                      | $\pm$ 0,06a | 5,87  |
| Falange média medial   | 0,90                      | $\pm$ 0,1b  | 10,63 | 0,99                      | $\pm$ 0,08a | 8,52  |
| Falange distal lateral | 0,66                      | $\pm$ 0,06  | 8,59  | 0,69                      | $\pm$ 0,09  | 12,45 |
| Falange distal medial  | 0,65                      | $\pm$ 0,06b | 9,27  | 0,73                      | $\pm$ 0,05a | 6,20  |

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 2.2** – Análise de variância da densidade mineral óssea para as regiões analisadas a partir de imagens obtidas pelo escaneamento no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic® das extremidades dos membros torácicos de bovinos confinados e no pasto.

| Região                 | Graus de liberdade | Quadrados médios | F      | valor de p | CV (%) |
|------------------------|--------------------|------------------|--------|------------|--------|
| Metacárpico            | 1                  | 0,1334           | 28,713 | 0,00       | 8,43   |
| Falange média lateral  | 1                  | 0,0501           | 8,3725 | 0,01       | 8,17   |
| Falange média medial   | 1                  | 0,0388           | 4,797  | 0,04       | 9,5    |
| Falange distal lateral | 1                  | 0,0077           | 1,4247 | 0,25       | 10,89  |
| Falange distal medial  | 1                  | 0,0416           | 14,988 | 0,00       | 7,64   |

Ocorrem diferenças entre valores de BMD entre ossos de um mesmo indivíduo. Em humanos, Martins et al. (2013), observaram que a diferença existente nos valores de BMD sobre as incidências de coluna lombar e colo femoral tornam necessárias que ambas as regiões sejam solicitadas nos exames de rotina, uma vez que as duas representem regiões com maior probabilidade de sofrer fratura.

Os valores médios de BMD para o III metacárpico encontrados foram de  $0,89 \text{ g}/\text{cm}^2$  para os animais confinados e  $0,74 \text{ g}/\text{cm}^2$  para os animais no pasto. Esses valores são inferiores aos observados em estudo em eqüinos (CARSTANJEN et al, 2003), aonde a BMD média dentre os III metacárpicos dos animais avaliados foi de

1,85 g/cm<sup>2</sup>. Outros fatores como genética, homeostase hormonal e alimentação interferem de forma determinante na BMD, entretanto, a intensidade da atividade física tem importante influência nessa variável. Apesar do mecanismo fisiológico não ser inteiramente claro, a ação osteogênica da atividade física parece ser mediada via efeito piezoelétrico (CADORE; BRENTANO; KRUEL, 2005).

Não foram encontrados dados publicados com valores em g/cm<sup>2</sup> para III metacárpico de bovinos. Em estudo realizado por Zulim (2005), os valores médios de BMD do terceiro metacárpico de animais criados em sistema extensivo, nos primeiros 24 meses de idade para machos foi de 12,75 mm/Al sendo que o mínimo encontrado para este sexo foi de 11,90 mm/Al o máximo de 13,15 mm/Al. Não existe padronização que permita comparar valores de BMD em g/cm<sup>2</sup> e m/Al.

Coates et al. (2015) utilizaram a absorciometria por fóton simples (SPA) na determinação da BMD em vértebra coccígea de bovinos e concluíram que a medição não invasiva permite a exploração *in vivo* da BMD em tais com precisão aceitável para muitos estudos em animais. Concluíram ainda que um instrumento para determinação da BMD com uso da SPA pode ser utilizado em estudos longitudinais ou sequencialmente para exames de rotina em bovinos. Citam, ainda, que o alto custo do aparelho para determinar BMD pela DXA e a dificuldade para uso no campo tornam a técnica não adequada para estudos nutricionais e fisiológicos envolvendo o metabolismo do cálcio e fósforo. Entretanto, usando o terceiro metacárpico de equinos, em estação, como exemplo, foi mostrado que o aparelho portátil PIXI® é adequado para monitoramento experimental ou clínico (DONABEDIAN et al., 2005).

A técnica utilizada no presente trabalho tem baixo erro e alta precisão. Entre as desvantagens temos que, para bovinos, é que ela pode ser mais utilizada no âmbito experimental do que na prática clínica, pois fica limitada ao uso de material *ex vivo* na avaliação de bovinos adultos, pois a mesa suporta até 200 Kg de peso. O uso de aparelho portátil, como utilizado por Donabedian et al. (2005), seria uma possibilidade na avaliação de bovinos vivos, técnica com potencial a ser explorada a campo, assim como a técnica usada por Coates et al. (2015).

Na Figura 2.2 tem-se a análise descritiva dos dados obtidos, mostrando a distribuição dos valores mensurados para cada região de cada grupo, no formato

*boxplot*. Os gráficos *boxplot* (Figura 2.2) foram feitos a partir dos valores mostrados na Tabela 2.3.

**Tabela 2.3** – Valores de densidade mineral óssea do metacárpico, falange média lateral, falange média distal, falange distal lateral e falange distal medial, em g/cm<sup>2</sup>, das medidas de posição Mínimo, Q1 (primeiro quartil), Mediana, Média, Q3 (terceiro quartil) e Máximo referente aos grupos de dados coletados a partir de imagens obtidas pelo escaneamento no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic® das extremidades dos membros torácicos de bovinos confinados e no pasto.

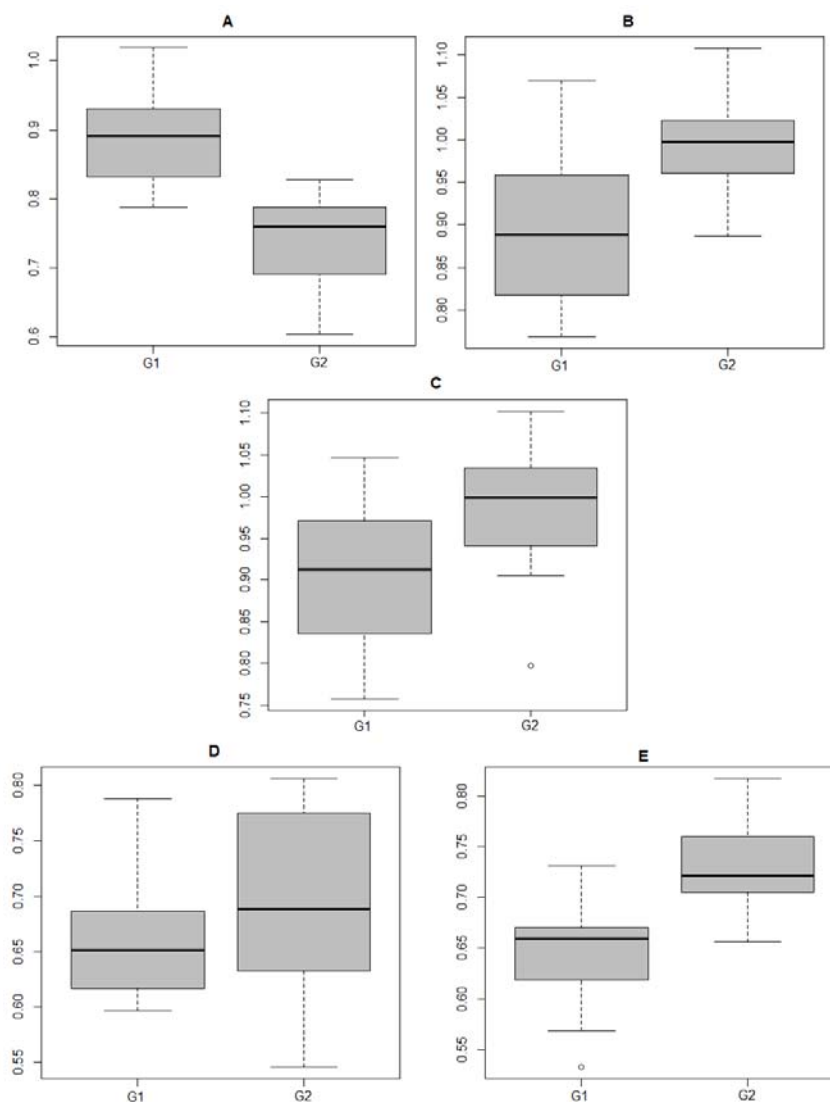
| Confinados                    |      |         |       |      |        | Pasto                         |      |         |       |      |        |
|-------------------------------|------|---------|-------|------|--------|-------------------------------|------|---------|-------|------|--------|
| <b>Metacárpico</b>            |      |         |       |      |        | <b>Metacárpico</b>            |      |         |       |      |        |
| Mínimo                        | Q1   | Mediana | Média | Q3   | Máximo | Mínimo                        | Q1   | Mediana | Média | Q3   | Máximo |
| 0,79                          | 0,83 | 0,89    | 0,89  | 0,93 | 1,02   | 0,6                           | 0,7  | 0,76    | 0,74  | 0,78 | 0,83   |
| <b>Falange média lateral</b>  |      |         |       |      |        | <b>Falange média lateral</b>  |      |         |       |      |        |
| Mínimo                        | Q1   | Mediana | Média | Q3   | Máximo | Mínimo                        | Q1   | Mediana | Média | Q3   | Máximo |
| 0,77                          | 0,82 | 0,89    | 0,9   | 0,96 | 1,07   | 0,89                          | 0,96 | 1       | 0,99  | 1,02 | 1,11   |
| <b>Falange média medial</b>   |      |         |       |      |        | <b>Falange média medial</b>   |      |         |       |      |        |
| Mínimo                        | Q1   | Mediana | Média | Q3   | Máximo | Mínimo                        | Q1   | Mediana | Média | Q3   | Máximo |
| 0,76                          | 0,84 | 0,91    | 0,9   | 0,97 | 1,05   | 0,8                           | 0,95 | 1       | 0,99  | 1,03 | 1,1    |
| <b>Falange distal lateral</b> |      |         |       |      |        | <b>Falange distal lateral</b> |      |         |       |      |        |
| Mínimo                        | Q1   | Mediana | Média | Q3   | Máximo | Mínimo                        | Q1   | Mediana | Média | Q3   | Máximo |
| 0,6                           | 0,62 | 0,65    | 0,66  | 0,69 | 0,79   | 0,55                          | 0,64 | 0,69    | 0,69  | 0,77 | 0,81   |
| <b>Falange distal medial</b>  |      |         |       |      |        | <b>Falange distal medial</b>  |      |         |       |      |        |
| Mínimo                        | Q1   | Mediana | Média | Q3   | Máximo | Mínimo                        | Q1   | Mediana | Média | Q3   | Máximo |
| 0,53                          | 0,62 | 0,66    | 0,65  | 0,67 | 0,73   | 0,66                          | 0,71 | 0,72    | 0,73  | 0,75 | 0,82   |

O *boxplot* é uma outra maneira de explorar os dados, assim como o histograma. O *boxplot* é formado pelo primeiro (Q1) e terceiro quartil (Q3) e pela mediana (Q2) (na estatística descritiva, um quartil é qualquer um dos três valores que divide o conjunto ordenado de dados em quatro partes iguais, e assim cada parte representa 1/4 da amostra ou população). Os traços inferiores e superiores se estendem, respectivamente, do quartil inferior até o menor valor não inferior ao limite inferior e do quartil superior até o maior valor não superior ao limite superior. Os limites são calculados da forma abaixo:

$$\text{Limite inferior: } \max\{\min(\text{dados}); Q1 - 1,5(Q3 - Q1)\}$$

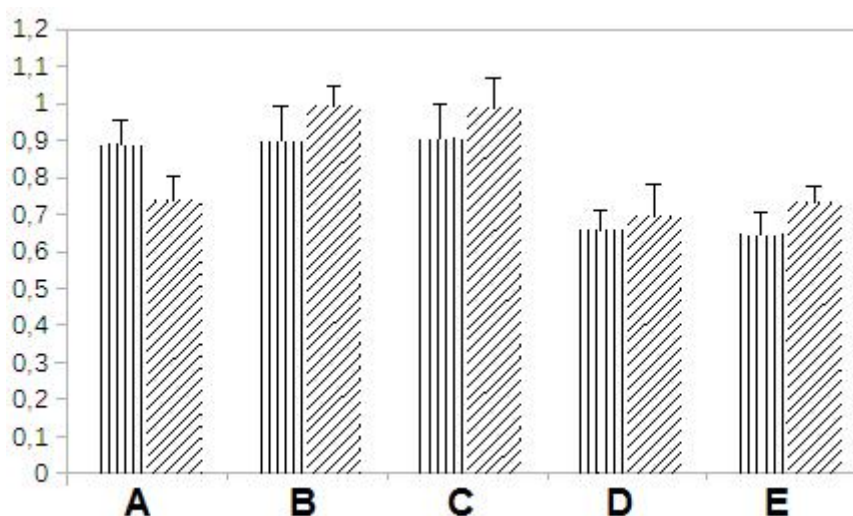
Limite superior:  $\min\{\max(\text{dados}); Q3 + 1,5(Q3 - Q1)\}$

Os pontos fora destes limites são considerados valores discrepantes (*outliers*) e são denotados por um círculo preto vazado. O centro da distribuição é indicado pela linha da mediana. A dispersão é representada pela altura do retângulo ( $Q3 - Q1$ ). O retângulo contém 50% dos valores do conjunto de dados. A posição da linha mediana no retângulo informa sobre a assimetria da distribuição. Uma distribuição simétrica teria a mediana no centro do retângulo. Se a mediana é próxima de  $Q1$  então os dados são positivamente assimétricos. Se a mediana é próxima de  $Q3$  os dados são negativamente assimétricos. Na Figura 2.3 as médias e desvios padrão estão representados na forma de gráfico.



**Figura 2.2** – Análise descritiva dos dados. Gráficos de caixa (*Boxplot*) mostrando a distribuição dos valores de densidade mineral óssea, em g/cm<sup>2</sup>, marcados na linha vertical lateral esquerda. Os gráficos são referentes às medidas das regiões do III metacárpico (A), da falange média lateral (B), da falange média medial (C), da falange distal lateral (D) e da falange distal medial (E). Os grupos de animais estão representados na legenda como G1 (confinados) e G2 (no pasto). Os traços contínuos horizontais delimitam limites superiores (traços superiores) ou limites inferiores (traços inferiores) dos dados, calculados conforme descrito no texto. Os retângulos cinzas estão delimitados, na porção superior, pelo terceiro quartil (Q3) e, na porção inferior, pelo primeiro quartil (Q1). Os traços pretos horizontais, localizados dentro dos retângulos cinzas, representam as medianas de cada grupo de dados. Os círculos pretos vazados mostram valores *outliers*.

Como pode ser visualizado a partir das informações dispostas na Tabela 2.3 e na Figura 2.2, os dados dos grupos I e II para metacárpico e falange média lateral têm distribuição mais simétrica do que àquelas referentes ao grupo de dados para falange média medial, falange distal lateral e falange distal medial, embora a distribuição dos grupos de dados para todas as medidas foram considerados Normais, segundo o teste de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ). A presença de *outliers* nas medidas da falange média medial dos animais no pasto e na falange distal medial dos animais confinados prejudica inferência estatística desses grupos de dados. A avaliação futura de um maior número de animais pode contribuir para que os dados se distribuam de forma mais simétrica, principalmente para as medidas de falanges.



**Figura 2.3** – Médias e desvios padrões das medidas de densidade mineral óssea, em g/cm<sup>2</sup>, obtidas a partir de imagem capturada após escaneamento das extremidades dos membros torácicos de bovinos com uso do aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic®. Os animais confinados estão representados pelas colunas com listras verticais e os animais no pasto, pelas colunas com listras diagonais. Os desvios padrões estão representados pelos traços sobre cada coluna. Os dados agrupados a cada duas colunas, que representam cada uma das regiões, estão na seguinte sequência: III metacárpico (A), falange média lateral (B), falange média medial (C), falange distal lateral (D) e falange distal medial (E).

Mensurações de BMD em falanges de animais domésticos são pouco exploradas. Tóth et al. (2010) avaliaram a BMD de falanges proximais de equinos, região em que fraturas são comuns nessa espécie, principalmente em atletas. Os autores encontraram diferenças na BMD e BMC entre os III metacárpicos e falange

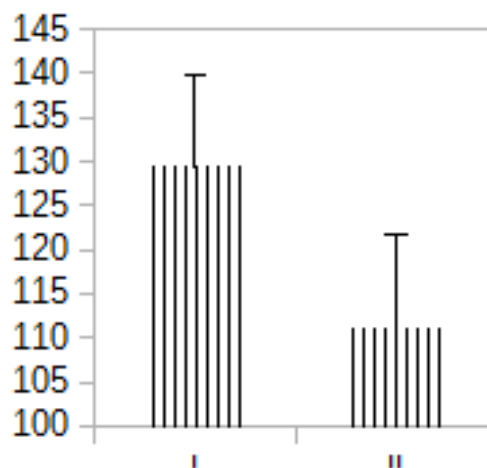
proximal, sendo a BMD do III metacárpico superior a da falange proximal. No nosso trabalho, os valores médios de BMD do III metacárpico foram semelhantes ou inferiores aos valores médios de BMD das falanges médias e superior aos das falanges distais. Estes resultados se justificam devido as particularidades anatomofisiológicas das falanges das referidas espécies. Os bovinos têm falanges menores e pares frente às dos equinos (únicas), e a dinâmica na locomoção é diferente.

Uma segunda abordagem dos dados foi realizada para comparar as médias dos conteúdos minerais ósseas (BMC), em g, dos III metacárpicos entre os dois grupos. As médias e desvios padrão estão apresentados na Tabela 2.4 e dispostos em formato de gráfico na Figura 2.4. As médias BMC apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 2.5), sendo as médias dos animais confinados superiores às dos animais no pasto (Tabela 2.4).

**Tabela 2.4** – Valores médios e desvios padrões (g), CV (%) e valor de p para o conteúdo mineral ósseo (BMC) do III metacárpico de bovinos confinados e no pasto. Valores obtidos a partir do escaneamento das extremidades dos membros torácicos no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic®.

| Medida | Confinamento          |      | Pastagem              |      |
|--------|-----------------------|------|-----------------------|------|
|        | Média ± desvio padrão | CV   | Média ± desvio padrão | CV   |
| BMC    | 129,33 ± 10,60 a      | 8,20 | 110,87 ± 10,93 b      | 9,86 |

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).



**Figura 2.4** – Médias e desvios padrões do conteúdo mineral ósseo, em g, do III metacárpico de bovinos confinados (I) e no pasto (II). Os desvios padrões estão representados pelos traços sobre cada coluna. Os valores de conteúdo mineral ósseo foram obtidos a partir de escaneamentos das extremidades dos membros torácicos com uso de aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic®.

**Tabela 2.5** – Análise de variância dos valores do conteúdo mineral ósseo (BMC) do III metacárpico de bovinos confinados e no pasto. Valores obtidos a partir do escaneamento das extremidades dos membros torácicos no aparelho de absorciometria por raios X em duas energias (DXA) Hologic®.

| Medida | Graus de liberdade | Quadrados médios | F    | valor de p | CV (%) |
|--------|--------------------|------------------|------|------------|--------|
| BMC    | 1                  | 1957,4           | 16,9 | 0,0005     | 9,00   |

Os animais confinados apresentaram maior conteúdo mineral depositados no III metacárpico do que os animais no pasto. Animais de uma mesma raça e sexo podem apresentar conteúdos minerais diferentes em um mesmo osso. O manejo diferente pode ser uma das causas dessa variação. Em estudo conduzido por Veiga (2009), foi feita avaliação densitométrica dos fêmures de cordeiros Île de France. Os cordeiros alimentados com 40% de silagem de milho e 60% de concentrado apresentaram maior BMD femoral em relação ao grupo alimentado com 60% de cana de açúcar e 40% de concentrado, evidenciando que a qualidade e proporção de alimento interfere diretamente no perfil ósseo. No presente estudo, os animais confinados receberam alimentação exclusiva no cocho e os animais estavam



confinados em baias individuais. Desse modo, os animais não tiveram que competir por espaço no cocho e a ingestão alimentar pôde ser acompanhada para cada animal. Enquanto que o consumo total de alimentos dos animais no pasto pôde ser apenas preditivo uma vez que apenas um cocho fornecia alimentos para grupos de seis animais. Além da ingestão de forrageiras pelos animais no pasto, também não mensurável. Isso pode ser um dos fatores que favoreceram o aumento do conteúdo mineral ósseo nos animais confinados, quando comparado aos animais no pasto. Alterações na quantidade e quantidade de nutrientes são fatores que alteram a BMD. No estudo de Williams et al. (1991), com novilhas Angus, animais alimentados com baixos níveis de fósforo apresentaram menor resistência óssea devido à baixa mineralização do III metacárpico e baixa percentagem das cinzas ósseas.

A determinação de BMD e BMC com uso da DXA não é técnica rotineira para estudos longitudinais e/ou acompanhamento clínico de bovinos. Entretanto, a mensuração de BMD e BMC para determinação de valores referência nesta espécie pode ser bastante útil, principalmente para acompanhamento do metabolismo ósseo e avaliação nutricional em bovinos leiteiros e de corte, tanto em estudos científicos quanto na rotina das propriedades. E ainda, na predição para posterior prevenção de fraturas de animais de alto valor zootécnico, com tempo prolongado de vida, como touros doadores de sêmen e vacas doadoras de oócitos.

## **2.6 CONCLUSÃO**

De acordo com os dados do nosso experimento, é possível concluir que há heterogeneidade no perfil da densidade mineral óssea em bovinos devido ao sistema de criação, ao tipo de osso e ao estresse mecânico.

Independente do sistema de criação há diferença na densidade mineral óssea entre metacárpicos e falanges do mesmo animal.

A técnica da absorciometria de raios X em dupla energia mostrou-se eficaz para a mensuração BMD e BMC em metacárpicos e falanges de bovinos adultos

## 2.7 REFERÊNCIAS

- AL-HITI, K.; THOMAS, B. J.; AL-TIKRITY, S. A.; ETTINGER, K. V.; FREMLIN, J. H.; DABEK, J. T. Spinal calcium: Its *in vivo* measurement in man. **The International Journal of Applied Radiation and Isotopes**, v. 27, n. 2, p. 27-97, 1976.
- AMARAL, G. G. **Fármacos isolados ou combinados no tratamento de ratas com osteoporose induzida**. 2014. 63 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Medicina Veterinária, Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, 2014.
- ANDERSON, D. E.; JEAN, G. St. **External fixation**. In: S. Fubini, N. Ducharme (Eds.), *Farm animal surgery*, WB Saunders, pp. 316–323, 2004.
- ANTONIETTO, E. **Densidade mineral óssea de vértebras de ratos Wistar suspensos pela cauda por 15 e 36 dias**. 2010. 27 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade Odontologia e Curso Medicina Veterinária, 2010.
- ARAÚJO, C. S. S.; ARTONI, S. M. B.; ARAÚJO, L. F.; JUNQUEIRA, O. M.; LOUZADA, M. J. Q.; OLIVEIRA, D. Densidade óssea de frangos de corte alimentados com diferentes níveis de aminoácidos e cálcio durante a fase final de criação. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 28, n. 2, p. 203-208, 2006.
- BLAKE, G.; ADAMS, J. E.; BISHOP, N. DXA em adultos e crianças. In.: ROSEN, C. J. **Manual de doenças osteometabólicas e distúrbios do metabolismo mineral**. 8.ed. Guanabara Koogan: São Paulo, 2014, p. 202-228.
- BOULD, M.; BARNARD, S.; LEARMONTH, I. D.; CUNNINGHAM, J. L.; HARDY, J. R. Digital image analyses: improving accuracy and reproducibility of radiographic measurement. **Clinical Biomechanics**, v. 14, n. 6, p. 434-7, 1999.
- BORGES, N. C.; VASCONCELLOS, R. S.; CANOLA, J. C.; PAULA, F. J. A.; CARCIOFI, A. C.; PEREIRA, G. T. Precisão da técnica de absorciometria de raios-x de dupla energia na determinação da composição corporal em gatos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, v. 60, n. 1, p. 263-266, 2008.
- CADORE, E. L; BRENTANO, M. A.; KRUEL, L. F. M. Efeitos da atividade física na densidade mineral óssea e na remodelação do tecido ósseo. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 11, n. 6, p. 373-9, 2005.
- CAMERON, J.R., MAZESS, R.B., SORENSON, J.A. Precision and accuracy of bone mineral determination by direct photon absorptiometry. **Investigative radiology**, v. 3, n. 3, p. 141-50, 1968.

CARSTANJEN, B.; DUBOEUF, F.; DETILLEUX, J.; LEPAGE, O. M. Equine Third Metacarpal Bone Assessment by Quantitative Ultrasound and Dual Energy X-Ray Absorptiometry: An *Ex vivo* Study. **Journal of Veterinary Medicine Series A**, v. 50, n. 1, p. 42-47, 2003.

CASTRO, A. L.; TRENTO, C. L. Densitometria óssea em mandíbula de suínos submetidos a enxerto ósseo autógeno e homólogo. **Revista dental press de periodontia e implantologia**, v. 3, n. 1, p. 78-85, 2009.

CHARUTA, A.; TATARA, M. R.; GRUŻEWSKA, A.; PIERZCHAŁA, M.; KALINOWSKI, L.; TRUSEWICZ, M.; ŁUSZCZEWSKA-SIERAKOWSKA, I. Morphological and densitometric research of the tibial bone in the post-natal development in domestic geese. **Animal Science Papers and Reports**, v. 32, n. 3, p. 251-260, 2014.

COATES, D. B.; DIXON, R. M.; MAYER, R. J.; MURRAY, R. M. Validation of single photon absorptiometry for on-farm measurement of density and mineral content of tail bone in cattle. **Animal Production Science**, 2015. doi: <<http://dx.doi.org/10.1071/AN15068>>.

DONABEDIAN, M.; DELGUSTE, C.; PERONA, G.; LEBECQUE, P.; DUBOEUF, F.; LEPAGE, O.; MARTIN-ROSSET, W. Third metacarpal bone mineral density assessment in the standing horse by dual X-ray absorptiometry Suitability, precision and accuracy. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 18, n. 1, p. 26-30, 2005.

FAITARONE, A. B. G.; GARCIA, E. A.; ARTONI, S. M. B.; SGAVIOLI, S.; SILVA, M. D. P.; GONÇALVES, H. C.; PELÍCIA, K. Qualidade óssea de poedeiras comerciais leves alimentadas com rações suplementadas com diferentes óleos vegetais. **Veterinária e Zootecnia**, v. 19, n.3, p. 356-365, set. 2012.

FERREIRA, P. M.; CARVALHO, A. U.; FACURY-FILHO, E. J.; FERREIRA, M. G.; FERREIRA, R. G. Afecções do Sistema Locomotor dos Bovinos. In: **II Simpósio Mineiro de Buiatria**. 2005. Belo Horizonte. Disponível em <<http://www.ivis.org/proceedings/abmg/2005/pdf04.pdf?>>>.

FERNANDES, B. B.; DEL CARLO, R. J.; GOUVEIA PELUZIO, M. D. C.; DRUMMOND, L. R.; OSORIO SILVA, C. H.; LOUZADA, Q.; NATALI, A. J. Efeitos do treinamento em natação sobre propriedades mecânicas e estruturais do fêmur de ratas ovariectomizadas. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 594-603, 2014.

FUKADA, Eiichi; YASUDA, Iwao. On the piezoelectric effect of bone. **Journal of the Physical Society of Japan**, v. 12, n. 10, p. 1158-1162, 1957.

GIRO, G. **Avaliação radiográfica e biomecânica da influência da osteoporose induzida em ratas, e seu tratamento com alendronato e estrógeno, sobre o tecido ósseo ao redor de implantes com osseointegração estabelecida**. 2006. 115 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Odontologia, 2006.

GRIER, S. J.; TURNER, A. S.; ALVIS, M. R. The use of dual-energy x-ray absorptiometry in animals. **Investigative radiology**, v. 31, n. 1, p. 50-62, 1996.

GUERRA, P. C., VULCANO, L. C., DE SOUSA ROCHA, N. Avaliação radiográfica, densitométrica e histológica do uso de perfurações ósseas para o estímulo de consolidação de fraturas do terço distal do rádio de cães. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 43, n. 2, p. 186-195, 2006.

HANSON, P. D.; MARKEL, M. D.; VANDERBY JR, R. Diaphyseal structural properties of equine long bones. **American Journal of Veterinary Research**, v. 56, n. 2, p. 233-240, 1995.

HIMES, J. H. Bone growth and development in protein-calorie malnutrition. **World Review of Nutrition and Dietetics**, v. 28, p. 143-187, 1978.

HOLICK, M.F., KRANE, S.M.. Introdução ao metabolismo ósseo e mineral. In: Braunwald E, Fauci AS, Kasper DL, Hauser SL, Longo DL, Jameson JL, editores. Harrison **Medicina Interna**. 15<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill; 2002. p. 2329-43.

JIMENEZ, K. N. **Aspectos morfológicos e biométricos da mão e densitométricos do metacarpo de ovinos da raça Santa Inês**. 2009. viii, 41 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009.

JOHNSON, L. R. **Fundamentos de fisiologia médica**. 2<sup>a</sup> ed., Ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, p. 502-511, 2003.

LAWRENCE, L. A.; OTT, E. A. The use of non-invasive techniques to predict bone mineral content and strength in the horse. In: **Proceedings of 9th Equine Nutrition and Physiology Symposium**, Michigan State University, MI. p. 110. 1985.

LIMA, I. R.; FONSECA, A. M.; SILVA, L. H.; COSTA, A. P. A.; SILVA, L. A. F.; BORGES, N. C. Estudo radiográfico das extremidades distais dos membros locomotores de bovinos com claudicação. In: VIII Congresso Brasileiro de Buiatria, 2009, Belo Horizonte. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, suplemento 1, p. 423-429, 2009.

LOUZADA, M. J. Q. **Otimização da técnica de densitometria óptica em imagens radiográficas de peças óssea**. Estudo *in vitro*. 1994. 129f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade de Campinas, Campinas, 1994.

LOUZADA, M. J. Q.; PELÁ, C. A.; BELANGERO, W. D.; SANTOS-PINTO, R. Densidade de peças ósseas de frangos. Estudo pela densitometria óptica radiográfica. **Veterinária e Zootecnia**, São Paulo, v. 9, p. 95-109, 1997.

LOUZADA, M. J. Q.; PELÁ, C. A.; BELANGERO, W. D.; SANTOS-PINTO, R. Avaliação de densidade óssea em imagens radiográficas: estudo em peças ósseas de cães. **Caderno de Engenharia Biomédica**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 47-64, 1998.

LOUZADA, M. J. Q.; BELANGERO, W. D.; MARTINS, L. E. B. Avaliação de parâmetros biomecânicos pela densitometria radiográfica. Estudo "in vitro" em osso cortical de tíbias de carneiros. **Brazilian Journal of Biomechanics = Revista Brasileira de Biomecânica**, v. 7, n. 12, p. 33-38, 2006.

LUCIC, H.; VUKOVIC, S.; POSAVAC, V.; GOMERCIC, M. D.; GOMERCIC, T.; GALOV, A.; ... GOMERCIC, H. Application of dual energy X-ray absorptiometry method for small animals in measuring bone mineral density of the humerus of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) from the Adriatic Sea. **Veterinarski Archiv**, v. 80, n. 2, p. 299-310, 2010.

MAIA, B. B. F.; DEL CARLO, R. J.; DRUMMOND, L. R.; PELUZIO, M. D. C. G.; SILVA, C. H. O.; LOUZADA, M. J. Q.; NATALI, A. J. Treinamento em corrida de baixa intensidade: propriedades estruturais e mecânicas da epífise proximal do fêmur de ratas osteopênicas. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, v. 36, n. 3, p. 685-691, 2014.

MANN, D. R.; GOULD, K. G.; COLLINS, D. C. Potential primate model for bone loss resulting from medical oophorectomy or menopause. **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 71, n. 1, p. 105-110, 1990.

MARTINS, G. S. B.; BEAL, J. R.; FIGUEIREDO, M. C.; SAMPAIO, P. R. D. L.; NETTO, O. S. Comparação da densidade mineral óssea de coluna lombar e colo femoral. **Revista de Medicina e Saúde de Brasília**, v. 2, n. 1, p. 19-25, 2013.

MCCLURE, S. R.; WATKINS, J. P.; ASHMAN, R. B. *In vitro* evaluation of intramedullary interlocking nail fixation of transverse femoral osteotomies in foals. **Veterinary Surgery**, v.27, n. 1, p.29-36, 1998.

MCCLURE, S. R.; GLICKMAN, L. T.; GLICKMAN, N. W.; WEAVER, C. M. Evaluation of dual energy x-ray absorptiometry for *in situ* measurement of bone mineral density of equine metacarpal. **American Journal of Veterinary Research**, v. 62, n. 5, p. 752-756, 2001.

MEIRELLES, E. S. Diagnóstico por imagem na osteoporose. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**. v.43, n.6, p. 423-427, 1999.

MUNDY, G. R. Bone remodeling. In: **Primer on the Metabolic Bone Diseases and Disorders of Mineral Metabolism**. 4th ed. Lippincott Williams e Wilkins. Philadelphia, p.30-38, 1999.

MURAMOTO, C.; STERMAN, F. A.; FONSECA, A. C. B. C. Estabelecimento de valores de densidade mineral óssea (DMO) das regiões metafisária e diafisária do rádio em cães da raça Poodle por meio da densitometria óptica radiográfica. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 42, n. 2, p. 89-97, 2005.

NEWMAN, E, TURNER, A. S.; WARK, J. D. The potential of sheep for the study of osteopenia: Current status and comparison with other animal models. **Bone**. v. 16, n. 4, p. 277-284, 1995.

NICOLETTI, J. L. M. **Manual de podologia bovina**. 1<sup>a</sup> ed. Manole: São Paulo, 2004. 130p.

ODEN, Z. M.; SELVITELLI, D. M.; HAYES, W. C.; MYERS, E. R. The effect of trabecular structure on DXA-based predictions of bovine bone failure. **Calcified tissue international**, v. 63, n. 1, p. 67-73, 1998.

OLIVEIRA, M. L. R. **Densidade mineral óssea em cães da raça pastor alemão sob treinamento físico**. 2007. 39 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2007.

OLIVEIRA, A. F. G.; BRUNO, L. D. G.; MARTINS, E. N.; DE MORAES GARCIA, E. R.; MONTEIRO, A. C.; DE PAULA LEITE, M. C.; SANGALI, C. P. Efeito da densidade de criação e do grupo genético sobre a composição mineral e desenvolvimento de ossos longos de frangos de corte. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 1023-1034, 2014.

PAZ, I. C. L. A. **Avaliação da densidade mineral óssea em matrizes pesadas por meio da técnica de densitometria óptica em imagens radiográficas**. 2006. xv, 81 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu, 2006.

PINTO, A. S.; OLIVEIRA, T. T.; DEL CARLO, R. J.; JORGE, T.; NAGEM, C. C. F.; FONSECA, C. C.; DE MORAES; G. H. K.; FERREIRA Jr, D. B.; CARDOSO, C. A. Efeitos de tratamento combinado de alendronato de sódio, atorvastatina cálcica e ipriflavona na osteoporose induzida com DXA metasona em ratas. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 42, n. 1, p. 99-107, 2006.

POUILLES, J. M; COLLARD, P.; TREMOLLIÈRES, F.; FRAYSSINET, P.; RAILHAC, J. J.; CAHUZAC, J. P.; RIBOT, C. Accuracy and precision of in vivo bone mineral measurements in sheep using dual-energy X-ray absorptiometry. **Calcified tissue international**, v. 66, n. 1, p. 70-73, 2000.

PRATT JR., G. W. An *in vivo* method of ultrasonically evaluating bone strength. In: **Proceedings Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners**, v. 13, p. 26-29, 1980.

PUN, K. K., WONG, F. H. W. Importance of bone densitometry in clinical practice. **Journal of the Western Pacific Orthopaedic Association**, v.28, p.23-31, 1991

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2011. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

REICH, N. E.; SEIDELMANN, F. E.; TUBBS, R. R., MAC INTYRE, W. J.; MEANEY, T. F.; ALFIDI, R. J.; PEPE, R. G. Determination of bone mineral content using CT scanning. **American Journal of Roentgenology**, v. 127, n.4, p. 593, 1976.

ROBSON, G. F.; BALIEIRO, J. C. C.; STERMAN, F. A.; FONSECA, A. C. B. C.; MIGLINO, M. A.; ZATZ, M.; AUADA, C. R. F. Estudo longitudinal da densidade mineral óssea em cães jovens da raça Golden Retriever: Correlações com idade e peso corpóreo. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 43, n. 5, p. 681-687, 2006.

SAMPAIO NETTO, O.; COUTINHO, L. O. L.; SOUZA, D. C. Análise da nova classificação de laudos de densitometria óssea. **Radiologia Brasileira**., São Paulo , v. 40, n. 1, p. 23-25, fev. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-39842007000100007>.

SHORES, A. Diagnostic imaging. The veterinary clinics of North America: **Small Animal Practice**, v.23, n.2, p. 11-15, 1993.

STEVEN, L. T. Skeletal growth and development. In: FAVUS, M. J. **Primer on metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism**. Kelseyville: American Society for Bone and Mineral Research, 1990. p. 7-11.

SUTTLE, N. F. **Mineral nutrition of livestock**. 4ª ed. Cabi Publishing, New York, 2010. 587 p.

TÓTH, P.; HORVÁTH, C.; FERENCZ, V.; NAGY, K.; GLIGOR, N.; SZENCI, O.; BODÓ, G. Assessment of the mineral density and mineral content of the equine third metacarpal and first phalanx bone by dual energy x-ray absorptiometry. **Acta Veterinaria Hungarica**, v. 58, n. 3, p. 317-329, 2010.

TÚLIO, L. M. **Estudo biométrico do casco bovino e bubalino: avaliação de características anátomo-fisiológicas do casco sadio**. 2006. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba.

TULLENERS, E. P. Management of bovine orthopedic problems, part 1: fractures **The Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian (USA)**, v. 8, p. 69-79, 1986.

TURNER, A. S. The sheep as a model for osteoporosis in humans. **The Veterinary Journal**, v. 163, n. 3, p. 232-239, 2002.



VACCARO, C.; Busetto, R.; Bernardini, D.; Anselmi, C.; Zotti, A. Accuracy and precision of computer-assisted analysis of bone density via conventional and digital radiography in relation to dual-energy x-ray absorptiometry. **American journal of veterinary research**, v. 73, n. 3, p. 381-384, 2012.

VAN HARREVELD, P. D.; LILLICH, J. D.; KAWCAK, C. E.; GAUGHAN, E. M.; MCLAUGHLIN, R. M.; DEBOWES, R. M. Clinical evaluation of the effects of immobilization followed by remobilization and exercise on the metacarpophalangeal joint in horses. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 63, n. 2, p. 282-288, 2002.

VANDERSCHUEREN, D.; VANDENPUT, L.; BOONEN, S.; LINDBERG, M. K.; BOUILLON, R.; OHLSSON, C. Androgens and bone. **Endocrine reviews**, v. 25, n. 3, p. 389-425, 2004.

VAZ, C. E. S. **Avaliação do efeito de centrifugado osteogênico de medula óssea na consolidação de fratura: estudo experimental em coelhos**. 2006. 97 f. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina, 2006.

VEIGA, C. A. C. **Avaliação morfométrica e densitométrica dos fêmures de cordeiros Ile de France tratados com rações contendo silagem de milho ou cana-de-açúcar em dois níveis de concentrado**. 2009. iii, 30 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009.

WILLIAMS, S. N.; MCDOWELL, L. R.; LAWRENCE, L. A.; WILKINSON, N. S.; FERGUSON, P. W.; WARNICK, A. C. Criteria to evaluate bone mineralization in cattle: II. Noninvasive techniques. **Journal of Animal Science**, v. 69, n. 3, p. 1243-1254, 1991.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. **WHO Technical Report Series**, 843. Génève: WHO, 1994.

ZARRINKALAM, M. R.; BEARD, H.; SCHULTZ, C. G.; MOORE, R. J. Validation of the sheep as a large animal model for the study of vertebral osteoporosis. **European Spine Journal**, v. 18, n. 2, p. 244-253, 2009.

ZOTTI, A.; SELLERI, P.; CARNIER, P.; MORGANTE, M.; BERNARDINI, D. Relationship between metabolic bone disease and bone mineral density measured by dual - energy X - ray absorptiometry in the green iguana (*Iguana iguana*). **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 45, n. 1, p. 10-16, 2004

ZULIM, R. M I. **Estudo do crescimento ósseo de bovinos da raça nelore até 24 meses de idade: padronização e correlação da densidade mineral óssea do (DMD) do III metacarpo com sexo, idade e peso.** 2005. 58 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2005.