

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA**  
**CAMPUS DE ARAÇATUBA**

**Programa computacional “ODR-ATA” para densitometria  
óssea baseado na densitometria radiográfica**

Márcio Teixeira Oliveira  
Analista de Sistemas

ARAÇATUBA – SP

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA**  
**CAMPUS DE ARAÇATUBA**

**Programa computacional “ODR-ATA” para densitometria  
óssea baseado na densitometria radiográfica**

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP - Campus de Araçatuba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência Animal (Fisiopatologia Médica e Cirúrgica).

**Márcio Teixeira Oliveira**

**Orientador: Prof. Adj. Mário Jefferson Quirino Louzada**

ARAÇATUBA – SP

2014

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

MÁRCIO TEIXEIRA OLIVEIRA - nascido em Araçatuba (SP) no dia 27 de junho de 1983, ingressou no curso de bacharelado em Ciências da Computação pela Universidade Paulista UNIP - Campus de Araçatuba (SP) em Janeiro de 2003, obtendo o título de bacharel em ciência da computação em janeiro de 2007. Em agosto de 2012 ingressou no curso de Mestrado em Ciência Animal pela UNESP - FMVA, Campus de Araçatuba (SP) sob orientação do Prof. Adj. Mário Jefferson Quirino Louzada, responsável pelas disciplinas de radioterapia e biomecânica No programa de pós-graduação em ciência animal e biofísica no curso de graduação em medicina veterinária. Realizou diversos cursos aplicados na área de desenvolvimento de software e informática avançada.

Atualmente exerce o cargo de professor no Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS) campus de Três Lagoas/MS.

Buscando aprimoramento profissional obteve os seguintes títulos:

- especialização em engenharia de componentes utilizando Java (FIO – Ourinhos SP);
- profissional certificado pela oracle corporation na plataforma Java;

## EPÍGRAFE

“O difícil se torna fácil, aprenda, busque conhecimento!!”

Márcio Teixeira Oliveira

## **DEDICATÓRIA**

**Dedico este trabalho a Deus, à minha família, aos meus amigos, a Loiane Massunari e ao meu orientador Prof. Adj. Mário Jefferson Quirino Louzada, por me auxiliarem nesta etapa tão importante de minha vida.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me dar sabedoria e saúde para realização deste projeto.

Ao meu Pai e minha Mãe pela ajuda e incentivo nos estudos e em todos os momentos de minha vida.

A todos os meus familiares pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu amigo e orientador, professor Dr. Mário Jefferson Quirino Louzada, por me aceitar com seu orientado e creditar sua confiança na construção deste trabalho.

A Loiane Massunari, por estar presente nos momentos mais difíceis de minha vida.

A todos os integrantes do laboratório de biofísica da FMVA, Bruna Rezende Silva Martins de Oliveira, Melise Jacon Peres Ueno, Ronaldo Anderson de Medeiros, Pedro Luís Florindo e Wellington de Lima Nogueira, por sempre me auxiliarem em todo o processo de desenvolvimento deste projeto.

A todos os colegas que fiz durante minha trajetória como aluno de pós-graduação, em especial, Carlos Eduardo Fabrice, Luiz Henrique Camargo Costa, Samuel Carvalho de Aragão e Saulo Vinicius Avanço.

Aos professores Cárís Maroni Nunes, Luís Eduardo Fonseca, Mário Jefferson Quirino Louzada, Wagner André Pedro e Wilson Roberto Poi pelos ensinamentos e amizade neste período de pós-graduação

Ao hospital veterinário Luiz Quintiliano de Oliveira da UNESP, em especial o setor de diagnóstico por imagem, liderado pela Profa. Dra. Luciana Del Rio Pinoti Ciarlini, por sempre estarem à disposição na confecção dos exames radiográficos.

À faculdade de medicina veterinária de Araçatuba – FMVA – universidade estadual paulista, aos docentes e funcionários, na pessoa do diretor Prof. Adj. Francisco Leydson Feitosa Formiga, que proporcionaram a melhor estrutura possível para a realização deste trabalho;

Aos funcionários da seção de pós-graduação, STAEPE e toda equipe da biblioteca;

A todos o meu muito obrigado!!!.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....  | 16 |
| 1.1 Informática Geral.....  | 17 |
| 1.2 Informática Aplicada na Medicina Veterinária.....   | 19 |
| 1.3 Densitometria Radiográfica.....   | 20 |
| 2 Objetivos .....   | 20 |
| 3 Referências.....  | 22 |
| <b>CAPÍTULO 2 – PROGRAMA COMPUTACIONAL “ODR-ATA” PARA DENSITOMETRIA ÓSSEA BASEADO NA DENSITOMETRIA RADIOGRÁFICA</b> ..... | 27 |
| 1 Introdução.....   | 29 |
| 2 Material e Métodos .....  | 30 |
| 2.1 Procedimentos para realização da metodologia do ODR-ATA .....   | 30 |
| 3 Resultados e Discussão .....  | 35 |
| 4 Conclusão.....  | 40 |
| 5 Referências.....  | 41 |



## LISTA DE ABREVIATURAS

3D = Tridimensional

CMO = Conteúdo Mineral Ósseo

DMO = Densidade Mineral Óssea

DPA = Dual-Photon Absorptiometry

DR = Densidade Radiográfica

DXA = Dual Energy X-ray Absorptiometry

ENIAC = Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer

Mm = Milímetros

PNG = Portable Network Graphics

RDI = Região de Interesse

SI = Sistemas de Informação

SPA = Single Photon Absorptiometry

SUS = Sistema Único de Saúde

TI = Tecnologia da Informação

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO I

|  |    |
|--|----|
| <b>FIGURA 1</b> – Dispositivo eletrônico e seus acessórios: a) Tabulador com classificação b) Cartão perfurado para armazenamento de dados c) Tabulador especial para contagem dos furos do cartão. .... | 17 |
| <b>FIGURA 2</b> – Ilustração da linguagem de programação Java <sup>®</sup> , multiplataforma compatível com qualquer equipamento que possua uma máquina virtual. ....                                    | 18 |
| <b>FIGURA 3</b> – Ilustração demonstrando a tecnologia do Rapsberry Pi no monitoramento de inúmeras funções de um indivíduo. ....  | 20 |

### CAPITULO II

|  |    |
|--|----|
| <b>FIGURA 1</b> a) papel quadriculado utilizado como referencial geométrico; b) chapa de ferro utilizada para referencial de tamanho da cunha; c) referência densitométrica - cunha de alumínio; d) objeto de estudo - escada de alumínio; e) chumbo utilizado como delimitador do final da escada. ....             | 31 |
| <b>FIGURA 2</b> – Janela responsável por selecionar o arquivo de imagem que será utilizada pelo software “ODR-ATA” ....  | 32 |
| <b>FIGURA 3</b> – Janela principal do software “ODR-ATA” com a imagem radiográfica recuperada. Pontos a e b – referencial geométrica na chapa de ferro (1). Imagem da cunha de referência (2). Escada de alumínio (3) utilizada como objeto de estudo. (4) Curva densidade radiográfica versus altura da cunha. .... | 33 |
| <b>FIGURA 4</b> – Janela responsável pelo gerenciamento das cunhas no software ODR-ATA.....  | 33 |
| <b>FIGURA 5</b> – Curva de dispersão dos valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada como referencial densitométrico. ....  | 36 |
| <b>Figura 6</b> – Médias das espessuras calculadas e reais dos degraus 4, 5, 6, 7 e 8 da escada de alumínio. ....  | 37 |
| <b>FIGURA 7</b> – Projeção tridimensional dos degraus 7 e 8 da escada de alumínio, com auxílio da biblioteca Gnuplot. ....   | 38 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1</b> – Valores em espessura, em mm, dos degraus da escada de alumínio utilizada como objeto de estudo: .....  | 31 |
| <b>Tabela 2</b> – Espessura média, desvio padrão, coeficiente de variância e erro experimental (em relação ao valor real de espessura dos degraus) obtidos pelo “ODR-ATA” através da imagem radiográfica dos degraus 4 à 8 da escada de alumínio. .... | 37 |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| <b>Equação 1</b> – Equação simplificada para cálculo de polinômio do 3º grau da equação de ajuste da curva do software ODR-ATA ..... | 34 |
| <b>Equação 2</b> – Teorema de Laplace para realizar a redução da matriz simplificada.....  | 34 |
| <b>Equação 3</b> – Regra de Sarrus para obter a determinante a ser utilizada para resolução da matriz da equação 3.....              | 34 |
| <b>Equação 4</b> – Função de ajuste polinomial para os dados obtidos .....   | 35 |

# Capítulo I

# PROGRAMA COMPUTACIONAL “ODR-ATA” PARA DENSITOMETRIA ÓSSEA BASEADO NA DENSITOMETRIA RADIOGRÁFICA

## RESUMO

A densitometria radiográfica é técnica que permite avaliar a densidade óssea, utilizando referências confeccionadas em material inerte (ex. alumínio), principalmente para investigação de alterações ósseas e doenças como a osteoporose. Para aumentar a precisão de técnica, alguns autores propõe o uso de equações matemáticas, como métodos dos mínimos quadrados, teorema de LaPlace e regra de Sarrus o que permitirá obter melhor ajuste da curva característica de absorção aos raios-X pelo objeto de estudo. O uso de tecnologias como Java, gnuplot, broffice calc, todas elas de código aberto, possibilitou-nos o desenvolvimento do software “ODR-ATA”, capaz de analisar e processar imagens radiográficas digitais ou digitalizadas e calcular valores de densidade próximos aos valores do objeto em estudo. Atualmente diversas soluções pagas possuem suporte para realizar a densitometria radiográfica. O objetivo deste estudo foi desenvolver uma solução computacional de código livre, para cálculo da densidade óssea a partir da densitometria radiográfica. Para testar o software, foi realizado um experimento a partir de uma tomada radiográfica de uma escada de alumínio de valores conhecidos. Foram feitas 10 repetições e avaliados os degraus 4, 5, 6, 7 e 8 da escada de alumínio. Os resultados obtidos pelo “ODR-ATA” para os degraus 5, 6, 7 e 8 demonstraram uma precisão e exatidão de ordem de 3,64% e 3,63% respectivamente, atestando a validade e confiabilidade na utilização do software na obtenção da densidade óssea obtida pela densidade radiográfica.

**Palavras-chave:** Sistemas de informação - Identificação de imagem radiográfica e Computação em Informática Médica.

# DEVELOPMENT OF COMPUTATIONAL PROGRAM "ODR-ATA" TO BONE DENSITOMETRY BASED ON THE RADIOGRAPHIC DENSITOMETRY

## ABSTRACT

The radiographic densitometry is the technic that allows the evaluation of bone density, which uses references created in inert material (e.g. aluminium) especially to the investigation of bone modifications and illnesses such as osteoporosis. To increase technical precision some authors suggest the use of mathematical equations, such as the least squares method, Laplace's theorem, and the Rule of Sarrus allowing better results when achieving the adjustment of the curve that is characteristic of X-ray absorption by what is being studied. The usage of technologies such as Java, gnuplot, broffice calc, all of open code, allowed us to develop the software "ODR-ATA", which is capable of analyzing and processing digital radiographic images and of calculating values of density close to the values of the object under study. Recently, various paid solutions have the support to perform radiographic densitometry. The purpose of this study is to develop a computational solution of free code to calculate bone density starting from the radiographic densitometry. In order to test the software I performed an experiment that started with the radiography of an aluminum ladder of unknown values. I performed 10 repetitions and evaluated steps 4,5,6,7, and 8 of the aluminum ladder. The results I achieved with "ODR-ATA" for steps of number 5,6,7, and 8 show a precision of 3,64%% and 3,63% respectively, which attest for the validity and reliability of the software in the discovery of the bone density obtained through the radiographic densitometry.

**Keywords:** Information systems - identification of radiographic image and computing in medical informatics.

## CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os raios-X, descobertos por volta de 1895, pelo físico alemão Wihelm Conrad Roentgen, é uma das fontes mais seguras de diagnóstico por imagem quando se trata de fraturas ósseas. Embora seja um exame fácil de realizar, a exposição excessiva ao tecido mole gera ionização, que pode causar danos biológicos significativos (THRALL; WIDMER, 2010).

No Brasil, na área de medicina veterinária, existem poucos centros especializados em diagnóstico por imagem o que é explicado pelo alto custo dos equipamentos e necessidade de adequação das salas de exames diante às normas de segurança vigentes no país.

Para Alcântara (2004), a radiografia é um exame importante tanto para o diagnóstico como para o acompanhamento de alterações no sistema ósseo, apesar da limitação de não se conseguir detectar perdas ósseas inferiores a 30%.

A osteoporose é uma doença causada pela diminuição progressiva da densidade óssea, cujo tratamento é realizado com medicamentos, sendo nos casos mais graves necessária a intervenção cirúrgica para reconstrução do membro afetado (VARELLA, 2014).

No Brasil, segundo dados do sistema único de saúde - SUS, em 2009, cerca de 10 milhões de brasileiros sofreram com a osteoporose, sendo gasto aproximadamente R\$ 57 milhões com internações (até outubro/2009) e R\$ 24,77 milhões com medicamentos para tratamento da osteoporose. De todos os casos, aproximadamente 75% foram diagnosticados após o indivíduo sofrer algum tipo de fratura óssea, já em um estado avançado da doença.

A densitometria mineral óssea (DMO) é um dos exames mais importantes para o diagnóstico de doenças do metabólicas, principalmente osteoporose (GRIER et al., 1996).

Atualmente existem inúmeros dispositivos que permitem investigar a perda de mineral óssea e fraturas ósseas. Dentre eles estão a SPA – “Single Photon Absorptiometry” – (absorção de feixe de fóton de uma energia), DPA – “Dual Photon Absorptiometry” – (absorção de feixe de fótons de dupla energia), QCT - Quantitative computed tomography – (tomografia computadorizada quantitativa), fotometria radiográfica, a ultrassonografia, DXA – “Dual Energy X-ray



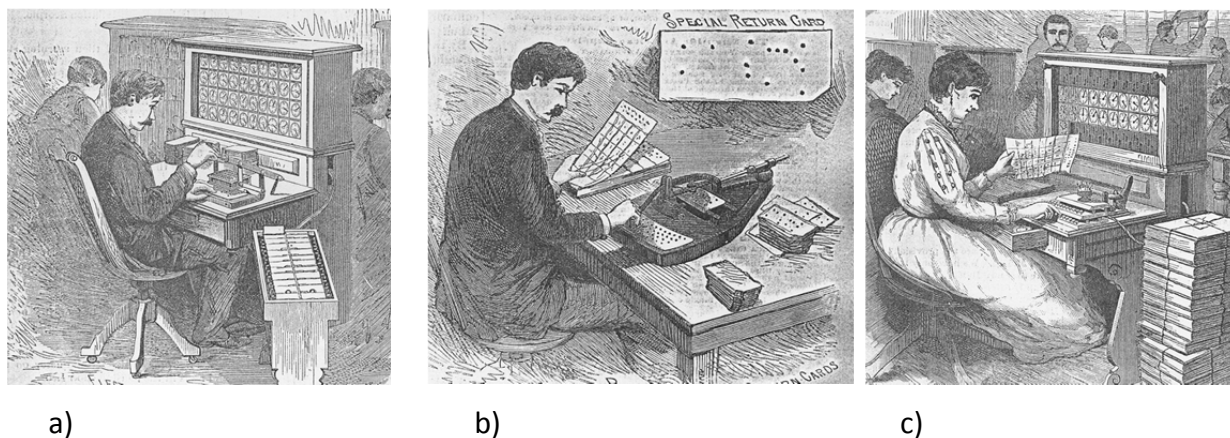
Absorptiometry” – (a absorciometria radiográfica de dupla energia) e a densitometria radiográfica (McCARTNEY; JEFFCOTT, 1987; FAULKNER et al., 1991; O’CALLAGHAN, 1991; LOUZADA, 1994; VULCANO, 2008; SAEED et al., 2009; UDDO, 2014).

A absorciometria radiográfica de dupla energia – DXA é exame padrão ouro para mensuração da densidade óssea, seu custo varia de R\$ 100,00 a R\$ 300,00. O sistema único de saúde – SUS oferece o exame gratuito, porém o paciente necessita de solicitação médica para realizar o agendamento, onde o tempo médio é de 6 meses para realização do exame (REVISTA VIVA SAÚDE, 2014).

### 1.1 Informática Geral

A informática iniciou-se antes da era dos computadores. Uns dos primeiros registros considerado como de informática é o ábaco chinês, descoberto há cerca de 2 mil anos. O equipamento foi utilizado na época para realizar operações matemáticas e armazenamento de números pela da manipulação de suas pedras (BARBER; SCHOLLES, 2014).

Em 1890, o governo dos Estados Unidos necessitava de uma solução eficiente para captar dados (idade, sexo, estado civil, naturalidade e ocupação) do censo demográfico. Naquele ano, o pesquisador Herman Holerith havia desenvolvido um dispositivo eletrônico (Figura 1), capaz de armazenar informações em cartões de papel. A partir desta ideia surgiu o conceito de programação de software (HEIDE, 1997).

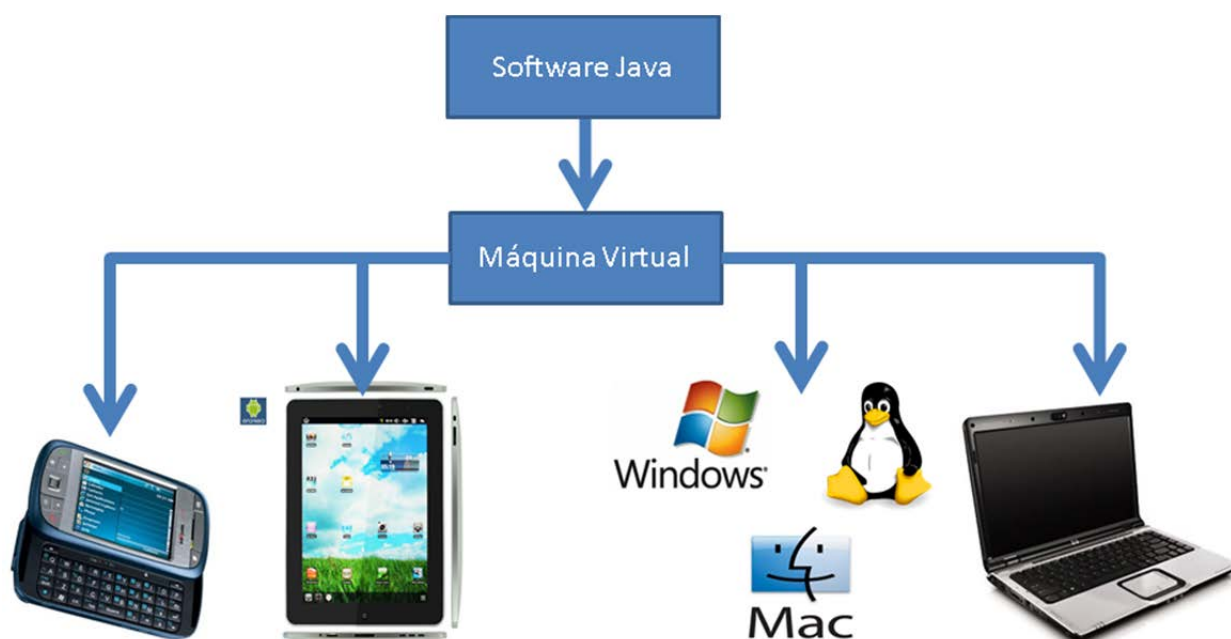


**FIGURA 1** – Dispositivo eletrônico e seus acessórios: a) Tabulador com classificação b) Cartão perfurado para armazenamento de dados c) Tabulador especial para contagem dos furos do cartão.

O ENIAC (“Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer”) é considerado o primeiro dispositivo eletrônico computacional e possuía capacidade de processar 5.000 operações por segundo e 160Kw de potência (WANG, 2008).

Em 1990, uma equipe de pesquisadores da empresa Sun Microsystems, liderados por James Gosling apresentaram em um congresso um projeto ambicioso que permitiria que dispositivos eletrônicos se comunicassem entre si, chamado “Green Project” mas devido à falta de demanda pelo mercado consumidor o projeto foi interrompido (WARD, 2005).

Com o início da popularização da internet, em 1994, Gosling decidiu reabrir o projeto (“Green Project”) e realizar algumas modificações e oferecer suporte a qualquer navegador de internet (*browser*) disponível no mercado. A tecnologia foi bem aceita e se tornou a principal tecnologia para desenvolvimento de aplicações para Web da época, muito se deve ao fato de ser código aberto e multiplataforma (Figura 2) (WARD, 2005).



**FIGURA 2** – Ilustração da linguagem de programação Java<sup>®</sup>, multiplataforma compatível com qualquer equipamento que possua uma máquina virtual.

## 1.2 Informática Aplicada na Medicina Veterinária

Desde a última década, a tecnologia da informação (TI) vem sendo empregada de forma eficaz no diagnóstico e tratamento de inúmeras doenças. Ludwick e Doucette (2009) destacam que a implantação de sistemas de informação (SI) na medicina não é recomendada por alguns profissionais da área da saúde, devido a problemas relacionados com privacidade, segurança dos pacientes, qualidade do serviço e eficiência.

A empresa Biosphera<sup>®</sup> desenvolveu um software que permite projetar imagens em terceira dimensão de animais utilizados como cobaias (cachorro e aves), permitindo visualizar membros, formas e posicionamento dos órgãos. (BIOSPHERA, 2001).

Pelissoni (2003) e Vulcano (2008) adotaram o software denominado Athena CROMOX<sup>®</sup> como solução computacional para cálculo da densidade óssea, respectivamente na influência do cetoprofeno na consolidação óssea de ulnas osteotomizadas de coelhos e na determinação da densidade mineral óssea da extremidade distal do rádio-ulna em gatos.

Dudas et al. (2013) utilizaram um hardware raspberry PI com web cam para realização da telecitologia a partir de microscópio, como ferramenta para transmissão de vídeo em tempo real em locais de difícil acesso.

Orha e Oniga (2013) destacam a importância da utilização de sistemas automatizados para registrar informações fisiológicas (temperatura corporal, pressão arterial, frequência respiratória, eletrocardiograma (ECG) e resistência da pele) (Figura 3) utilizando microcomputadores de baixo custo (arduino e raspberry PI) para processar informações e disponibiliza-las para profissionais através de rede de dados, permitindo o monitoramento médico a distância do paciente.

Paiva e Moreira (2014) utilizaram o micro equipamento computacional de baixo custo (USD \$35.00) raspberry PI, capaz de visualizar e processar imagens radiográficas e tomográficas em diversos formatos de imagem e com isso reduzir valores dos exames. Esta tecnologia permite visualizar arquivos DICOM (raios-X, mamografia, ultrassonografia, tomográfica computadorizada) sem a necessidade de impressão, permitindo a instalação de estações de processamento de imagens.



**FIGURA 3** – Ilustração demonstrando a tecnologia do Rapsberry Pi no monitoramento de inúmeras funções de um indivíduo.

### 1.3 Densitometria Radiográfica

A densitometria radiográfica é técnica que permite mensurar a densidade mineral óssea a partir de imagens radiográficas, utilizando referências confeccionadas de material inerte (ex. alumínio) sua principal vantagem em relação a outros métodos convencionais é o fato de ser um exame de baixo custo e capaz de mensurar densidade óssea em animais de pequeno e grande porte (LOUZADA, 1994; VULCANO, 2006; LOUZADA, 2009).

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo geral

Desenvolver o software “ODR-ATA” como ferramenta de diagnóstico aplicado ao estudo da densidade óssea tendo como base a densitometria radiográfica.

## **2.2 Objetivos específicos**

- Construir um software que permita mensurar a densidade óssea tendo como base radiografias digitalizadas.
- Testar o software em objetos confeccionados em alumínio para verificar sua confiabilidade e a aplicabilidade.

### 3 Referências

ALCÂNTARA, T.C.C. **Avaliação da perda óssea pela análise das radiografias panorâmicas e cefalométrica, comparando com a densitometria óssea lombar e femoral**". Dissertação (Mestrado) – Centro de Pesquisas Odontológicas São Leopoldo Mandic, Campinas, 2006.

BABAIANTZ, L. Les osteoporoses. **Radiologia clinica**. v. 16, p 291 – 322, 1947.

BARBER, B.; SCHOLLES, M. Reflections on the development of medical informatics. **Acta informatics medical**, v. 20, p. 18 – 24, 2014.

BIOSPHERA. **Portal biosfera**. Disponível em: <<http://www.biosphera.com.br/>>. 2001. Acesso em: 10 mai. 2014.

DUDAS, R.; VANDENBUSSCHE, C.; BARAS, A.; ALI, S.Z.; OLSON, M. T. Inexpensive telecytology solutions that use the Raspberry Pi and the iPhone, **Journal of the American Society of Cytopathology**. v. 3, p. 49 – 55, 2014

FAULKNER, K.G.; GLUER, C.; MAJUMDAR, M.; LANG, P.; ENGELKE, K.; GENANT, H. R. noninvasive measurements of Bone Mass, Structure and Strength: Current methods and Experimental Techniques. **American Journal Medicine**, v. 51, p. 49S – 53S, 1991.

GRIER, S.J.; TURNER, A.S. The use of dual-energy X-ray absorptiometry in animals **Investigative Radiology**, v. 31, p. 50 – 62 , 1996.

HEIDE, L. Shaping a technology: American punched card systems 1880-1914, **Annals of the History of Computing IEEE**, v. 19, p. 28 – 41, 1997.

LAUDO DENSITOMETRIA. Impacto financeiro da Osteoporose no SUS. **Portal Laudo Densitometria**, Disponível em: <<http://www.laudodensitometria.com.br/impacto-financeiro-da-osteoporose-no-sus/>>. Acesso em: 10 mai. 2014.

LOUZADA, M.J.Q. **Otimização da técnica de densitometria óptica em imagens radiográficas de peças ósseas, estudo “in vitro”**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Elétrica - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

LOUZADA, M.J.Q. **Densitometria radiográfica**. Tese (Livre Docência), – Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araçatuba, 2009.

LUDWICK, D. A.; DOUCETTE, J. Adopting electronic medical records in primary care: lessons learned from health information systems implementation experience in seven countries. **International Journal of Medical Informatics**, v. 78, p. 22 – 31, 2009.

McCARTNEY, R.N.; JEFFCOTT, L.B. Combined 2.25MHz ultrasound velocity and bone mineral density measurements in the equine metacarpus and their in vivo applications. **Medical & Biological Engineering & Computing**, v. 25, p. 620 – 626, 1987.

O'CALLAGHAN, M.W. A brief look at new technologies and their potencial application to equine diagnosis. **Veterinary Clinics of North America Equine Practice**, v. 7, n. 2, p. 467 – 469, 1991.

ORHA, I.; ONIGA, S.; Automated system for evaluating health status. **Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)**. p. 219 – 222, 2013.

PAIVA, O. A.; MOREIRA, R. O. Raspberry Pi: a 35-dollar device for viewing DICOM images, **Radiologia Brasileira**, v. 47 n. 2, p. 99 -100, 2014.

PELISSONI, L.G.R.; LOUZADA, M.J.Q.; SILVA, A.M.; BELANGERO, W.D. Influência do cetoprofeno na consolidação óssea de ulnas osteotomizadas de coelhos. Estudo qualitativo e quantitativo através de programas computacionais. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 18, p. 452 – 457, 2003.

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

REVISTA VIVA SAÚDE. 25 exames que seu médico deveria pedir. **Portal revista viva saúde**. Disponível em: <<http://revistavivasauade.uol.com.br/saude-nutricao/79/artigo154923-3.asp/>>. Acesso em 10 mai. 2014.

SAEED, I.; CARPENTER, R. D.; LEBLANC, A. D.; LI, J.; KEYAK, J. H.; SIBONGA, J.D.; LANG, T.F. Quantitative Computed Tomography Reveals the Effects of Race and Sex on Bone Size and Trabecular and Cortical Bone Density. **Journal of Clinical Densitometry: Assessment of Skeletal Health** , v. 12, n. 3 p 330 – 306, 2009.

THRALL, D.E; WIDMER, W.R. **Diagnóstico de radiologia veterinária**, 5/ ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 2.

UDDO. **Portal uddo**. Disponível em: <<http://www.uddo.com.br/osteoporose/infomed4.htm>>. 2014. Acesso em: 01 jun. 2014.

VARELLA, D. Osteoporose. **Portal do Dr. Drauzio Varella**, Disponível em: <<http://drauziovarella.com.br/mulher-2/osteoporose-3/>>. Acesso em: 10 mai. 2014.

VULCANO, L.C.; MENDES, R.G.; GODOY, C.L.B.; MACHADO, V. M. V.; BICUDO, A.L.C. Padronização da densidade mineral óssea (DMO) do acessório do carpo em equinos atletas da raça Quarto de Milha. **Ciência Rural**, v. 36, n 2, p. 520 – 524, 2006.

VULCANO, L.C.; SANTOS, F.A.M.; GODOY, C.L.B. Determinação da densidade mineral óssea da extremidade distal do rádio-ulna em gatos: correlação entre peso, sexo e idade. **Ciência Rural**, v. 38, n.1, p.124 – 128, 2008.



WANG, F. Social computing: fundamentals and applications. **Intelligence and Security Informatics, 2008. ISI 2008. IEEE International Conference on.** p. 35 – 38, 2008.

WARD, B. Computer society connection. **Computer.** v. 38, p. 82 – 84, 2005.

# Capítulo II

## **CAPÍTULO 2 – PROGRAMA COMPUTACIONAL “ODR-ATA” PARA DENSITOMETRIA ÓSSEA BASEADO NA DENSITOMETRIA RADIOGRÁFICA**

### **RESUMO**

A densitometria radiográfica é técnica que permite avaliar a densidade óssea, utilizando referências confeccionadas em material inerte (ex. alumínio), principalmente para investigação de alterações ósseas e doenças como a osteoporose. Para aumentar a precisão de técnica, alguns autores propõe o uso de equações matemáticas, como métodos dos mínimos quadrados, teorema de LaPlace e regra de Sarrus o que permitirá obter melhor ajuste da curva característica de absorção aos raios-X pelo objeto de estudo. O uso de tecnologias como Java, gnuplot, broffice calc, todas elas de código aberto, possibilitou-nos o desenvolvimento do software “ODR-ATA”, capaz de analisar e processar imagens radiográficas digitais ou digitalizadas e calcular valores de densidade próximos aos valores do objeto em estudo. Atualmente diversas soluções pagas possuem suporte para realizar a densitometria radiográfica. O objetivo deste estudo foi desenvolver uma solução computacional de código livre, para cálculo da densidade óssea a partir da densitometria radiográfica. Para testar o software, foi realizado um experimento a partir de uma tomada radiográfica de uma escada de alumínio de valores conhecidos. Foram feitas 10 repetições e avaliados os degraus 4, 5, 6, 7 e 8 da escada de alumínio. Os resultados obtidos pelo “ODR-ATA” para os degraus 5, 6, 7 e 8 demonstraram uma precisão e exatidão de ordem de 3,64% e 3,63% respectivamente, atestando a validade e confiabilidade na utilização do software na obtenção da densidade óssea obtida pela densidade radiográfica.

**Palavras-chave:** Sistemas de informação - Identificação de imagem radiográfica e Computação em Informática Médica.

## DEVELOPMENT OF COMPUTATIONAL PROGRAM "ODR-ATA" TO BONE DENSITOMETRY BASED ON THE RADIOGRAPHIC DENSITOMETRY

### ABSTRACT

The radiographic densitometry is the technic that allows the evaluation of bone density, which uses references created in inert material (e.g. aluminium) especially to the investigation of bone modifications and illnesses such as osteoporosis. To increase technical precision some authors suggest the use of mathematical equations, such as the least squares method, Laplace's theorem, and the Rule of Sarrus allowing better results when achieving the adjustment of the curve that is characteristic of X-ray absorption by what is being studied. The usage of technologies such as Java, gnuplot, broffice calc, all of open code, allowed us to develop the software "ODR-ATA", which is capable of analyzing and processing digital radiographic images and of calculating values of density close to the values of the object under study. Recently, various paid solutions have the support to perform radiographic densitometry. The purpose of this study is to develop a computational solution of free code to calculate bone density starting from the radiographic densitometry. In order to test the software I performed an experiment that started with the radiography of an aluminum ladder of unknown values. I performed 10 repetitions and evaluated steps 4,5,6,7, and 8 of the aluminum ladder. The results I achieved with "ODR-ATA" for steps of number 5,6,7, and 8 show a precision of 3,64%% and 3,63% respectively, which attest for the validity and reliability of the software in the discovery of the bone density obtained through the radiographic densitometry.

**Keywords:** Information systems - identification of radiographic image and computing in medical informatics.

## 1 Introdução

Os raios-X, descobertos por volta de 1895, pelo físico alemão Wihelm Conrad Roentgen, é uma das fontes mais seguras de diagnóstico por imagem quando se trata de fraturas ósseas. Embora seja um exame fácil de realizar, a exposição excessiva ao tecido mole gera ionização, que pode causar danos biológicos significativos (THRALL; WIDMER, 2010).

A densitometria radiográfica é técnica que permite avaliar a densidade mineral óssea a partir de imagens radiográficas, utilizando referências confeccionadas em alumínio. Sua principal vantagem em relação a outros métodos convencionais é o fato de ser exame de baixo custo, não invasivo e capaz de mensurar densidade óssea em animais de pequeno e grande porte (LOUZADA, 1994; VULCANO, 2006).

Um dos primeiros relatos científicos utilizando a técnica de densitometria radiográfica foi elaborado por Price (1901), para estimar a densidade de osso e do dente utilizando cunha confeccionada a partir do cobre como referência densitométrica. Mack et al. (1959) e Louzada (1994) utilizaram uma escada de alumínio (material com característica de absorção de raios-x ser similar ao osso) em suas avaliações de densidade óssea.

Pelá et al. (1992) desenvolveram equações matemáticas como o método dos mínimos quadrados que implementadas através de solução computacional obtiveram os valores de densidade radiográfica utilizando escada de alumínio e a relação entre densidade radiográfica e valores de espessura em alumínio. Em 126 tomadas radiográficas de uma escada de alumínio, foi obtido erro entre 1,5 a 2,5% (PELÁ et al., 1990)

Para determinar uma técnica mais precisa, Dubrez et al. (1992), produziram metodologia para apurar a densidade óssea utilizando o processamento de imagens de alta resolução, aplicando funções matemáticas (polinômios do terceiro grau) com o auxílio de soluções computacionais, para o ajuste de curvas, combinado com os pontos de densidade radiográfica das imagens de uma escada usada como referencial densitométrico, produzindo um melhor ajuste (LOUZADA, 1994).

Diversas pesquisas vêm utilizando algumas soluções computacionais disponíveis no mercado para calcular a densidade óssea por meio da densitometria radiográfica. Para validar a densidade da extremidade distal do rádio e ulna em

gatos, Vulcano (2008) utilizou o software CROMOX<sup>®</sup> 3.1 (solução paga). Pelissoni et al. (2003) utilizou o software ODR, desenvolvido na plataforma MATLAB (solução paga), para avaliar Influência do cetoprofeno na consolidação óssea de ulnas osteotomizadas de coelhos. Apolinário (2008) utilizou o software ImageJ (solução gratuita) para obter a média de tons de cinza na reparação óssea em ratos sob ausência de carga. Em odontologia, na análise comparativa entre o sistema digital Digora e a digitalização da radiografia convencional na avaliação da densidade radiográfica, Silva (2005) utilizou o software Digora<sup>®</sup> (solução paga) para mensurar a densidade do processo de reparo alveolar comparando a densidade e os resultados.

Aplicações desenvolvidas na linguagem de programação Java<sup>®</sup> possibilitam ao usuário executar softwares em diversos sistemas operacionais (Windows, Linux, MacOS) e inúmeros hardware (Smartphones, Notebook e Computadores Desktop) mediante a instalação de máquinas virtuais Java (VERA et al., 2012).

Mediante o que foi exposto acima, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de código aberto (software livre) “ODR-ATA” capaz de calcular a densidade óssea tendo como base a densitometria radiográfica.

## **2 Material e Métodos**

Para desenvolvimento do software “ODR-ATA” foram utilizados: 1) linguagem de programação Java (para realizar o processamento de imagens radiográficas em formato digital e pela característica de ser de código aberto que possibilita a instalação em diversos tipos de computadores; 2) banco de dados Oracle<sup>®</sup> MySQL, responsável pelo gerenciamento de dados; 3) biblioteca gnuplot utilizada na construção e manipulação de gráficos 3D e 4) brOffice<sup>®</sup> calc para construção e correção de cálculos matemáticos.

### **2.1 Procedimentos para realização da metodologia do ODR-ATA**

Para obtenção das radiografias, foram utilizados o equipamento de raios-X da marca CRX, modelo SHF 730, calibrado, com distância de 1 metro, foco filme, com ajuste de 55 kVp e 5 mAs e leitora de filmes, marca CareStream, modelo DirectView classic CR e chassi marca Kodak com medidas de 18 x 24 cm<sup>1</sup>

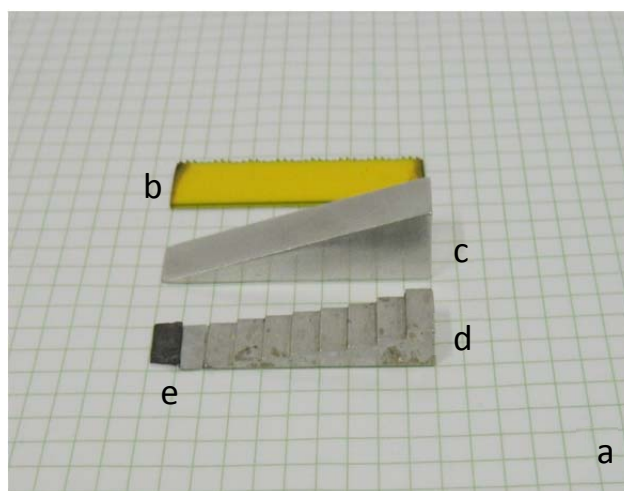
---

<sup>1</sup> Equipamentos disponibilizados pelo setor de diagnóstico por imagem do Hospital Veterinário Luiz Quintiliano de Oliveira da Faculdade de Medicina da UNESP – FMVA.

Foram confeccionadas duas peças em alumínio, liga ABNT 6063: a) cunha utilizada como referência densitométrica, medindo 9,99 mm (altura) x 50,15mm (comprimento); b) escada de alumínio com 9 degraus (Tabela 1), utilizada como objeto de estudo, com medidas mensuradas por um micrômetro marca mitutoyo com capacidade 0 – 25 mm e graduação de 0,01 mm. Para o esquadramento preciso da imagem da cunha de alumínio, foi utilizado como referência geométrica uma folha de papel quadriculado (usada como base para os objetos em estudo) e uma chapa de ferro de 1 mm de espessura por 50,15 mm de comprimento e 10 mm de largura (Figura 1).

**Tabela 1** – Valores em espessura, em mm, dos degraus da escada de alumínio utilizada como objeto de estudo:

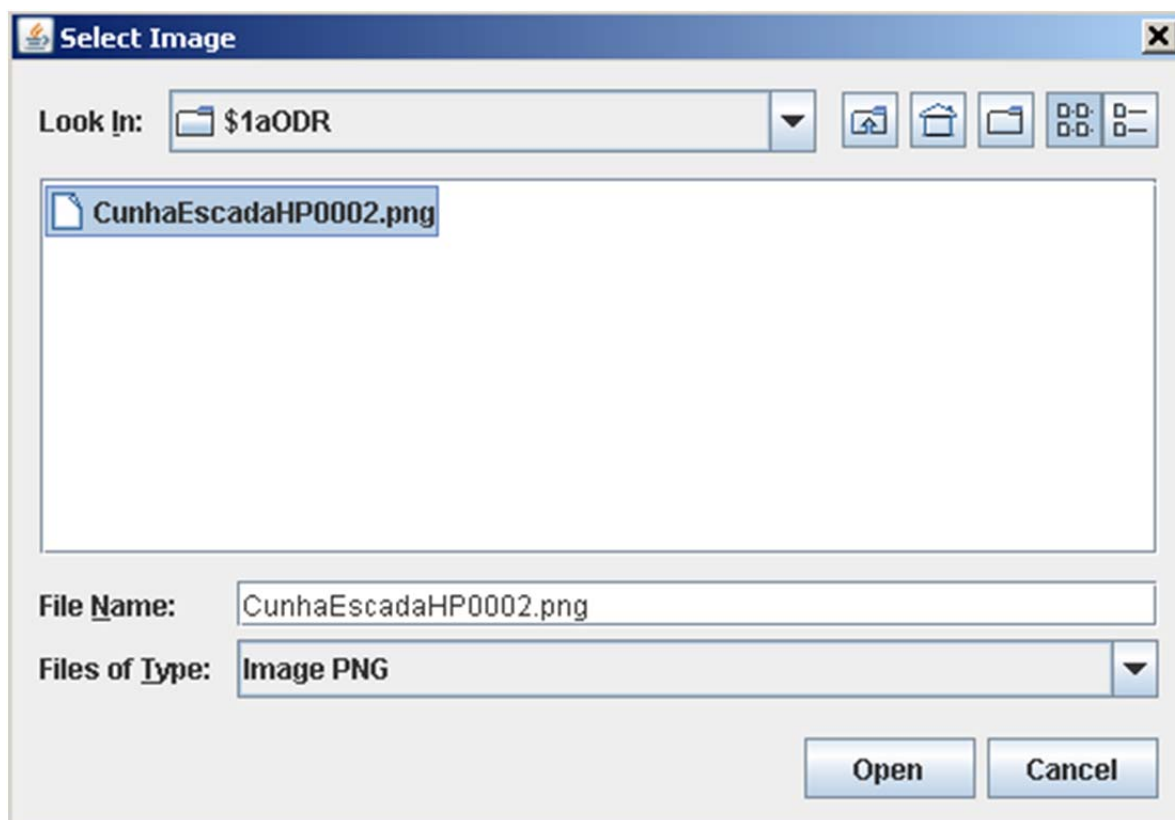
| Degrau | Espessura (mm)* |
|--------|-----------------|
| 1      | 0,18            |
| 2      | 0,50            |
| 3      | 1,05            |
| 4      | 1,52            |
| 5      | 2,06            |
| 6      | 2,56            |
| 7      | 3,03            |
| 8      | 3,92            |
| 9      | 5,00            |



**FIGURA 1** a) papel quadriculado utilizado como referencial geométrico; b) chapa de ferro utilizada para referencial de tamanho da cunha; c) referência densitométrica - cunha de alumínio; d) objeto de estudo - escada de alumínio; e) chumbo utilizado como delimitador do final da escada.

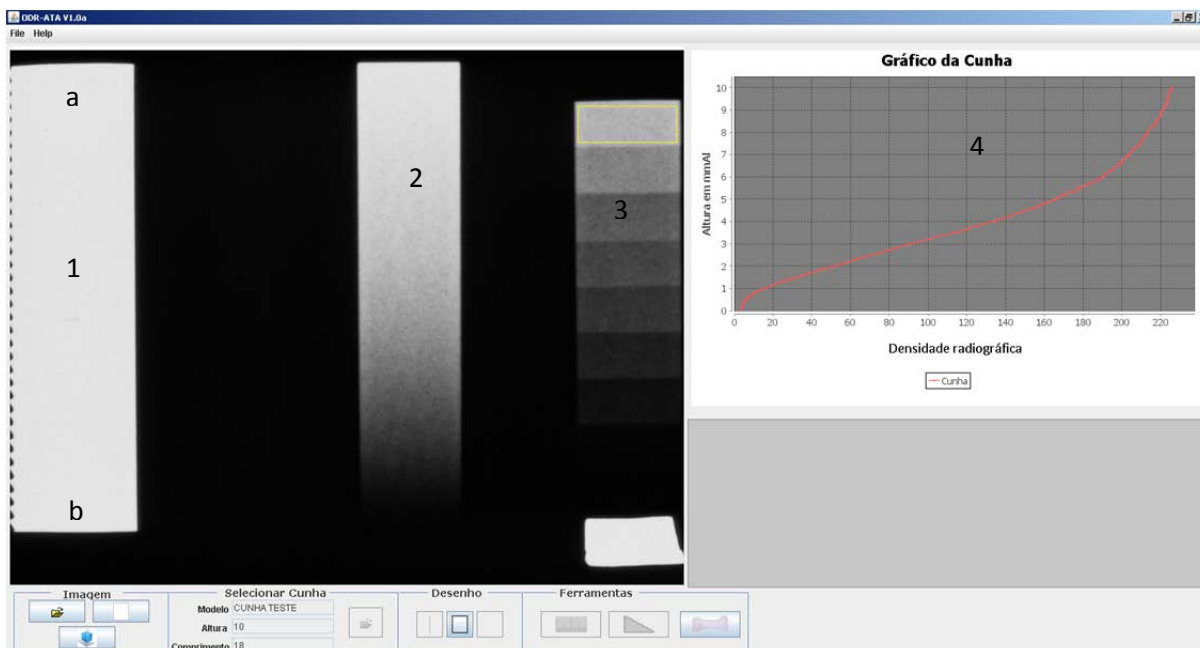
Para realização do exame radiográfico, o feixe principal dos raios-X foi direcionado ao centro da cunha de alumínio, para possibilitar a aquisição de uma imagem radiográfica de maior precisão. Desta maneira foi obtida uma imagem radiográfica digitalizada que foi processada pelo software “ODR-ATA”.

Com o software em execução, selecionou-se a imagem digitalizada (extensão .PNG) (Figura 2). Em seguida, com a imagem recuperada, esquadrinhou-se a imagem da chapa de ferro (pontos a e b da Figura 3), que serve como referencial geométrico. A seguir selecionou-se os dados da cunha de referência, já pré determinados, utilizada (Figura 4, onde se observa várias opções de cunhas). Com auxílio do *mouse*, fez-se o esquadrinhamento da imagem da cunha de referência (Figura 3-(2)) e o software fez a leitura *pixel a pixel* de todos os tons de cinza ali contidos. O software analisa linha a linha da imagem da cunha e, para cada uma delas, estabelece um valor de densidade radiográfica (de 0 a 255 tons de cinza).



**FIGURA 2** – Janela responsável por selecionar o arquivo de imagem que será utilizada pelo software “ODR-ATA”





**FIGURA 3** – Janela principal do software “ODR-ATA” com a imagem radiográfica recuperada. Pontos a e b – referencial geométrica na chapa de ferro (1). Imagem da cunha de referência (2). Escada de alumínio (3) utilizada como objeto de estudo. (4) Curva densidade radiográfica *versus* altura da cunha.

The screenshot shows the 'Cadastramento de Cunha' (Wedge Registration) window. It features a 'File' menu and a 'Código' field with the value '12'. Below are fields for 'Modelo: CUNHA TESTE', 'Altura mm: 10', and 'Comprimento mm: 18'. A table lists various wedge models with their respective codes, heights, and lengths. An 'OK' button is located at the bottom.

| CÓDIGO | MODELO         | ALTURA | COMPRIMENTO |
|--------|----------------|--------|-------------|
| 1      | CUNHA RAMISTER | 22     | 55          |
| 2      | CUNHA GATO     | 33     | 66          |
| 3      | CUNHA CACHORRO | 22     | 77          |
| 10     | CUNHA CAVALO   | 25     | 18          |
| 11     | CUNHA COELHO   | 5      | 18          |
| 12     | CUNHA TESTE    | 10     | 18          |

**FIGURA 4** – Janela responsável pelo gerenciamento das cunhas no software ODR-ATA

Com estes dados de DR de cada linha da cunha, e com sua respectiva altura (Figura 3-(4)), aplicou-se uma sequência de cálculos para se determinar a melhor equação que se ajustou aos dados experimentais. Inicialmente foi aplicado a equação simplificada para cálculo de polinômio do 3º grau (Equação 2). Utilizou-se o teorema de Laplace para a redução da matriz simplificada (Equação 3). Como última equação dos cálculos, utilizou-se a regra de Sarrus (Equação 4) para a obtenção do determinante da matriz da equação 3.

$$\text{EQUAÇÃO 1 - } \begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \cdots & \sum x_i^g \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \cdots & \sum x_i^{g+1} \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \cdots & \sum x_i^{g+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum x_i^g & \sum x_i^{g+1} & \sum x_i^{g+2} & \cdots & \sum x_i^{2 \cdot g} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i \cdot y_i \\ \sum x_i^2 \cdot y_i \\ \vdots \\ \sum x_i^g \cdot y_i \end{bmatrix}$$

Equação simplificada para cálculo de polinômio do 3º grau da equação de ajuste da curva do software ODR-ATA

$$\text{EQUAÇÃO 2 - } A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2j} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & a_{i3} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & a_{nj} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

$\det A = a_{1j} \cdot A_{1j} + a_{2j} \cdot A_{2j} + \cdots + a_{ij} \cdot A_{ij} + \cdots + a_{nj} \cdot A_{nj}$   
 ou  
 $\det A = a_{i1} \cdot A_{i1} + a_{i2} \cdot A_{i2} + \cdots + a_{ij} \cdot A_{ij} + \cdots + a_{in} \cdot A_{in}$

Teorema de Laplace para realizar a redução da matriz simplificada.

$$\text{EQUAÇÃO 3 - } \begin{array}{ccccc} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{31} & a_{32} \end{array}$$

Regra de Sarrus para obter a determinante a ser utilizada para resolução da matriz da equação 3.

Com a resolução das operações matemática citada anteriormente, foi possível determinar a equação de ajuste de curva densitométrica (Equação 4).

$$\text{EQUAÇÃO 4- } y = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + b_3 \cdot x^3 + \dots b_n \cdot x^n$$

Função de ajuste polinomial para os dados obtidos

Com ferramenta de software “ODR-ATA” selecionou-se região de interesse – RDI na imagem do objeto de estudo – escada de alumínio, degraus 4, 5, 6, 7 e 8, (Figura 3 – (3)).

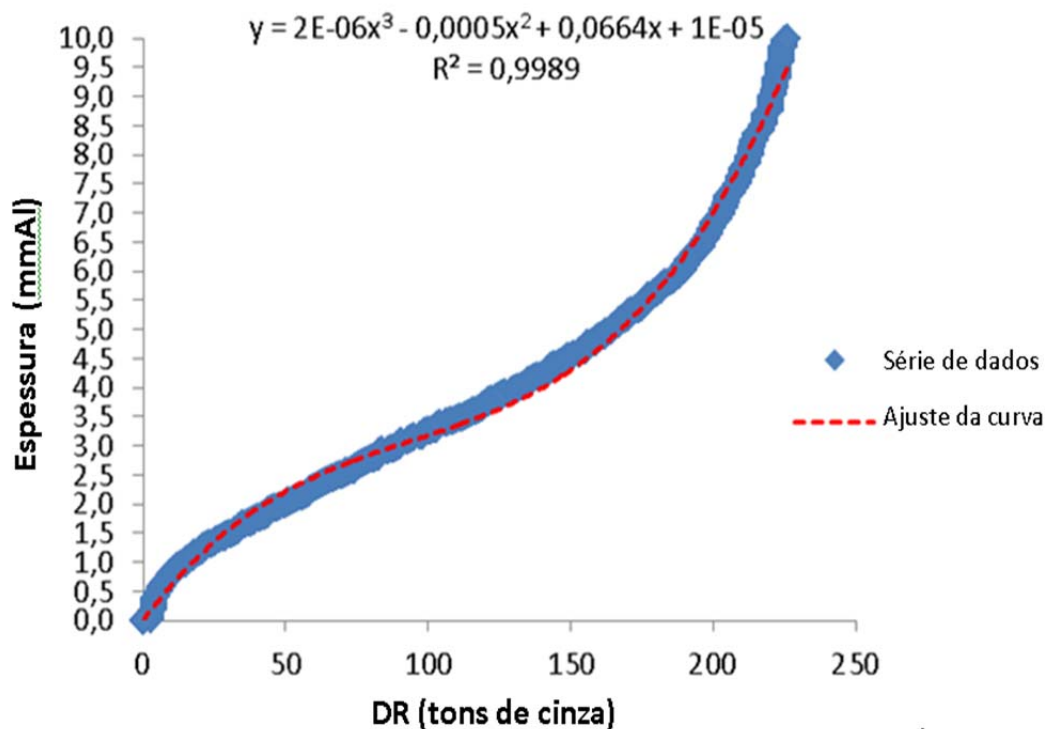
O software armazenou os dados de DR da RDI e utilizou a equação de ajuste determinada, calculou para cada pixel um valor de espessura equivalente em milímetros de alumínio.

O software com estas informações projeta um gráfico tridimensional tendo nos eixo x e y coordenadas vindos da imagem radiográfica e o eixo z os valores calculados em milímetros de alumínio (tendo como referencial densitométrico da cunha de alumínio selecionada).

Para a determinação da precisão e confiabilidade do software “ODR-ATA” foram realizadas 10 repetições de análise nos degraus acima selecionados.

### 3 Resultados e Discussão

Com dados obtidos na imagem radiográfica da Figura 3 o software “ODR-ATA” realizou os cálculos e determinou a equação de ajuste do 3º grau. Na Figura 5 estão apresentados os dados de DR (tons de cinza) e a espessura comparada da cunha de alumínio (10 mm).



**FIGURA 5** – Curva de dispersão dos valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada como referencial densitométrico.

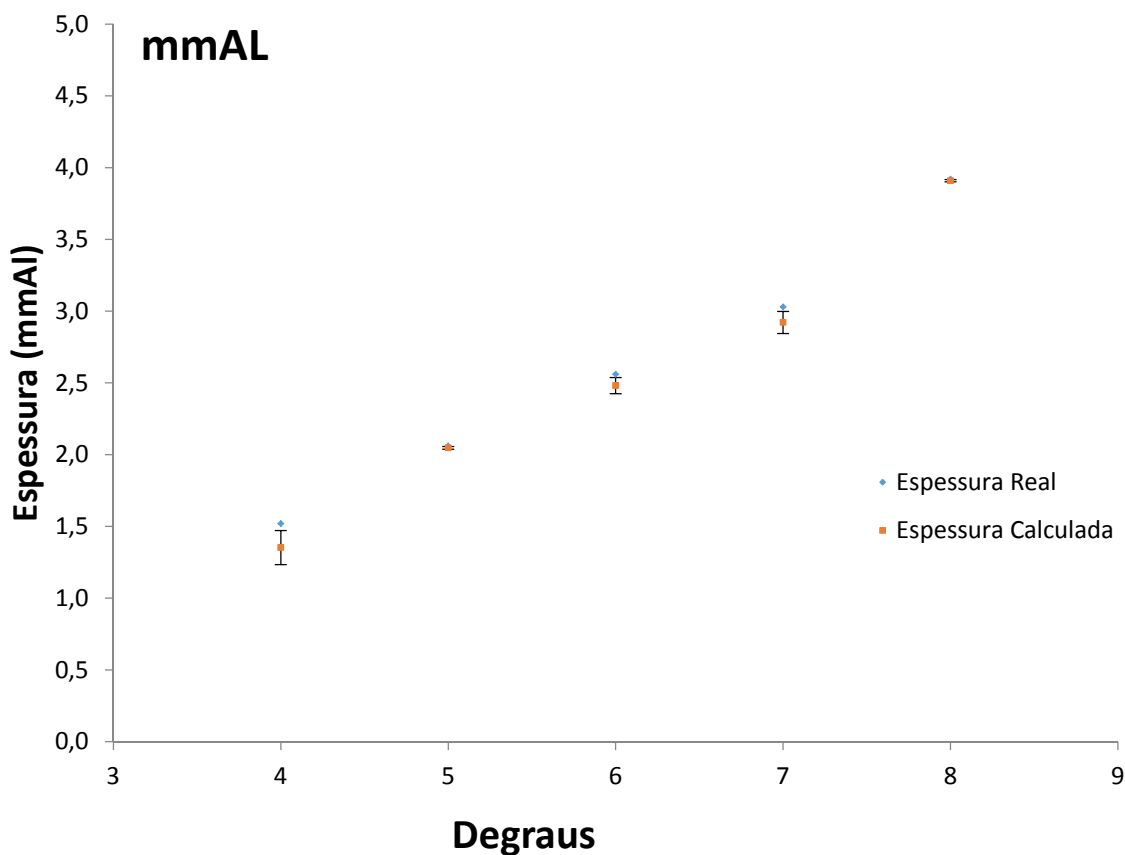
Na Tabela 2 e Figura 6, estão apresentados os resultados de espessura equivalente, em milímetros de alumínio, para os degraus 4, 5, 6, 7 e 8, obtidos pelo “ODR-ATA”, juntamente com o desvio padrão, coeficiente de variação (%), intervalo de valores (menor e maior) e erro experimental:

$$\text{Erro} = \left( \frac{\text{esp. real} - \text{esp. cal.}}{\text{esp. real}} \right) \times 100\%.$$

**Tabela 2** – Espessura média, desvio padrão, coeficiente de variância e erro experimental (em relação ao valor real de espessura dos degraus) obtidos pelo “ODR-ATA” através da imagem radiográfica dos degraus 4 à 8 da escada de alumínio.

| Repetição      | 4 (1,52 mm)* | 5 (2,06 mm)* | 6 (2,56 mm)* | 7 (3,03 mm)* | 8 (3,92 mm)* |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1              | 1,34         | 2,06         | 2,48         | 2,89         | 3,94         |
| 2              | 1,35         | 2,04         | 2,53         | 2,92         | 3,93         |
| 3              | 1,32         | 2,06         | 2,5          | 2,90         | 3,88         |
| 4              | 1,45         | 2,04         | 2,45         | 2,95         | 3,89         |
| 5              | 1,34         | 2,04         | 2,44         | 2,89         | 3,91         |
| 6              | 1,32         | 2,04         | 2,46         | 2,91         | 3,94         |
| 7              | 1,37         | 2,04         | 2,44         | 2,91         | 3,90         |
| 8              | 1,35         | 2,07         | 2,55         | 2,93         | 3,91         |
| 9              | 1,34         | 2,03         | 2,51         | 2,93         | 3,91         |
| 10             | 1,34         | 2,05         | 2,45         | 2,98         | 3,88         |
| <b>Média</b>   | <b>1,35</b>  | <b>2,05</b>  | <b>2,48</b>  | <b>2,92</b>  | <b>3,91</b>  |
| <b>DP</b>      | <b>0,119</b> | <b>0,010</b> | <b>0,056</b> | <b>0,077</b> | <b>0,008</b> |
| <b>CV%</b>     | <b>8,79</b>  | <b>0,45</b>  | <b>2,25</b>  | <b>2,64</b>  | <b>0,20</b>  |
| <b>Menor</b>   | <b>1,32</b>  | <b>2,03</b>  | <b>2,44</b>  | <b>2,89</b>  | <b>3,88</b>  |
| <b>Maior</b>   | <b>1,45</b>  | <b>2,07</b>  | <b>2,55</b>  | <b>2,98</b>  | <b>3,94</b>  |
| <b>Erro(%)</b> | <b>11,18</b> | <b>0,48</b>  | <b>3,13</b>  | <b>3,63</b>  | <b>0,26</b>  |

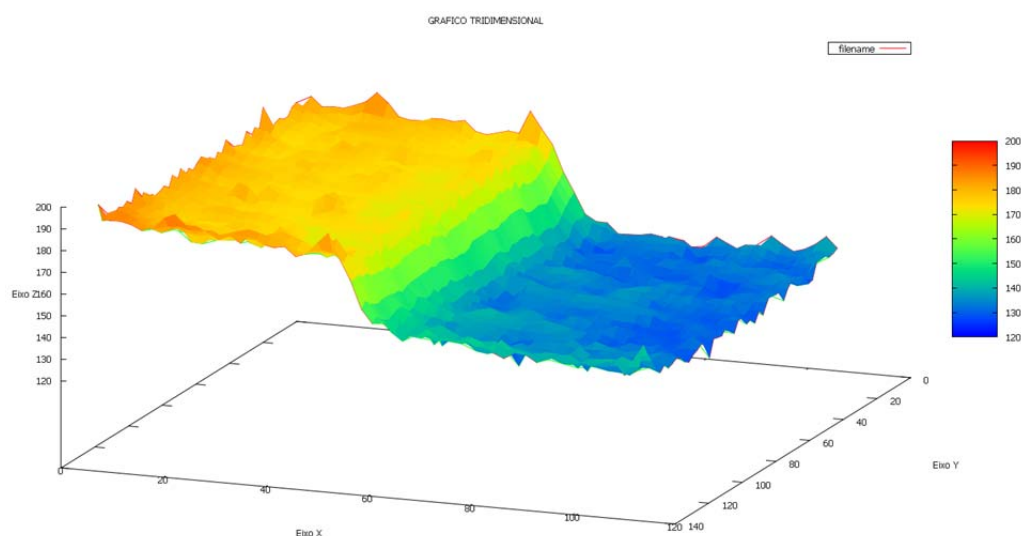
\* Espessura real



**Figura 6** – Médias das espessuras calculadas e reais dos degraus 4, 5, 6, 7 e 8 da escada de alumínio.

Os resultados apresentados na Tabela 2, dos degraus 5, 6, 7 e 8 apresentaram coeficiente de variação de 0,45%, 2,25%, 2,64% e 0,20%, respectivamente, evidenciam ótima precisão. Já, os erros de 0,48%, 3,13%, 3,63% e 0,26%, respectivamente dos degraus 5, 6, 7 e 8, evidenciam boa exatidão de medidas. Entretanto, no degrau 4, o coeficiente de variação de 8,79% e o erro de 11,18% demonstram precisão e exatidão ruins, o que leva a uma preocupação quanto aos efeitos de borda, ou seja, as extremidades da cunha de referência.

Com os dados obtidos pelo software “ODR-ATA” construiu-se a Figura 7 que é a projeção dos degraus 7 e 8 do objeto de estudo (escada de alumínio), tendo nos eixo x e y as coordenadas vindas da imagem radiográfica e o eixo z os valores de DR.



**FIGURA 7** – Projeção tridimensional dos degraus 7 e 8 da escada de alumínio, com auxílio da biblioteca Gnuplot.

Uma das aplicações do software “ODR-ATA” é a manipulação da figura projetada, neste estudo Figura 7, possibilitando visões em vários ângulos, como os descritos por Pelissoni et al. (2003).

Desde a última década, os avanços tecnológicos relacionados com a área da saúde são importantes aliados nos mais diversos procedimentos médicos. McAuliffe et al. (2001), explicam que o processamento, análise e visualização de imagens médicas em pesquisa clínica é componente essencial para reconstrução 3D de vírus para micro gráficos, identificação radiológica e quantificação de tumores, detecção

de regiões metabólicas responsáveis por diversas dores e ressalta a importância de se utilizar tecnologias de software livre e disponibilizadas na internet para estes fins.

Nylander et al. (2008), no experimento “AWTY (are we there yet?): a system for graphical exploration of MCMC convergence in Bayesian phylogenetics”, utilizaram a biblioteca gnuplot para exploração gráfica a partir de dois diferentes conjuntos de dados de DNAs, corroborando para integração entre tecnologia e medicina. Neste trabalho utilizou-se a mesma biblioteca para a reconstrução dos objetos em estudo.

Os raios-X são usados no diagnóstico médico por imagem, devido a sua capacidade de penetrar no corpo e produzir informação morfológica quantitativa. Os raios-X ao atravessarem o corpo interagem com mesmo de maneira complexa envolvendo absorção, refração e dispersão da radiação X. Louzada (1994) demonstrou a possibilidade de realizar o cálculo de densidade óssea a partir de referências de alumínio, cujas características de absorção radiográfica são semelhantes ao osso. Assim, neste software “ODR-ATA”, a referência densitométrica eleita foi uma cunha de alumínio.

Meeme et al. (1964) relataram que os efeitos da dispersão dos raios X podem produzir variações nos valores densitométricos, podendo justificar a variação dos resultados para o degrau 4 deste estudo. Lindstrom e Philipson (1969) determinaram que existem melhoras consideráveis na mensuração de densidade radiográfica quando se utiliza equações matemáticas para se traçar curvas de ajuste dos dados. Carvalho et al. (1976) construíram expressões matemáticas para realizar a correção da curva da densidade radiográfica, e seus resultados provaram que é viável o método da densitometria radiográfica utilizando a escada de alumínio. Neste estudo, a escolha tem sido um ajuste com polinômio de 3º grau, com possibilidade de alteração dinâmica. O resultado obtido neste estudo demonstra que o polinômio do 3º grau foi eficaz na descrição da curva de ajuste.

Em estudo realizado por Spaziano e Louzada (2005), foi utilizado o software CROMOX® para o cálculo da densidade radiográfica. Utilizaram como objeto de estudo um paralelepípedo construído em alumínio com altura de 4,10 mm. Obtiveram como resultado uma altura equivalente de 3,97 mmAl, que corresponde a 3,2% de erro experimental. Quando utilizaram a ferramenta ODR (versão MATLAB), obtiveram resultado médio de 3,16 mmAl, ou seja, erro experimental de 23%, para o

mesmo objeto de estudo. Neste estudo, o maior erro experimental foi de 3,63% para o 7º degrau.

O desenvolvimento do software ODR-ATA possibilitou o processamento de imagens radiográficas de maneira precisa e eficaz, apresentando gráfico em terceira dimensão que exhibe a reconstrução da imagem selecionada e a análise da densidade óssea radiográfica aliando tecnologia ao diagnóstico médico. Isto corrobora com Louzada (2009), que destaca que a densitometria radiográfica utilizada com programas computacionais é metodologia eficaz e precisa na mensuração da densidade óssea.

#### **4 Conclusão**

Conforme os resultados apresentados pode-se concluir que o software ODR-ATA, proporcionou análise de densidade óssea com base na densitometria radiográfica. Entretanto, devido aos valores encontrados neste estudo, sugere-se que novos incrementos sejam desenvolvidos para o aperfeiçoamento do software. Por ser um software livre, constantes avaliações são oportunas e passíveis de serem adotadas.

Tem potencial para implantação imediata pela área da saúde que poderia resultar na diminuição do tempo médio de espera para o exame de densitometria óssea colaborando assim para um precoce diagnóstico e estabelecer tratamento.



## 5 Referências

APOLINÁRIO, J.C. **Efeito do ultra-som de baixa potência na reparação óssea em ratos sob ausência de carga. Análise densitométrica e biomecânica.** 2008, 56f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araçatuba, 2008.

BARBER, B.; SCHOLLES, M. Reflections on the development of medical informatics. **Acta informatics medical**, v. 20, p. 18 – 24, 2014.

BIOSPHERA; **Portal biosphera**, 2011. Disponível em: <http://www.biosphera.com.br/>, 2001, Acesso em: 10 mai. 2014.

DUBREZ, B.; JACOT-DESCOMBES, A.; PUN, T.; CIMASONI, G. Comparison of photodensitometric with high-resolution digital analysis of bone density from serial dental radiographs. **Dentomaxillofacial Radiology**. v. 21, p. 40-44, 1992.

CARVALHO, A.; MIGUEL, R.M.; SANTOS-PINTO, M.C.; BAUSELLS, J. Fator de correção em densitometria radiológica. **Revista da Faculdade de Farmácia e Odontologia de Araraquara.**, v. 10, nº supl. 1, p. 115 – 124, 1976.

LINDSTROM, B.; PHILIPSON, B. densitometric evaluation at quantitative microradiograph, **Histochemie**. v. 17, p. 194 – 200, 1969.

LOUZADA, M.J.Q. **Otimização da técnica de densitometria óptica em imagens radiográficas de peças ósseas, estudo “in vitro”.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Elétrica - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

LOUZADA, M.J.Q. **Densitometria radiográfica.** Tese (Livre Docência), – Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araçatuba, 2009.

MCAULIFFE, M.J.; LALONDE, F.M.; MCGARRY, D.; GANDLER, W.; CSAKY, K.; TRUS, B.L. Medical Image Processing, Analysis & Visualization In Clinical Research. **Computer-Based Medical Systems**. p. 381 – 386, 2001.

MEEME, H.E.; HARRIS, C.K.; PORRETT, R.E. A method for determination of bone salt content of cortical bone. **Radiology**. V. 82, p 986 – 997, 1964.

MACK, P.B.; VOSE, G.P.; NELSON, J.D. New development in equipment for the roentgenographic measurement of bone density. **American Journal of Roentgenology**, v. 82, n. 2, p. 303 – 310, 1959.

NYLANDER, J.A.A.; WILGENBUSCH, J.C.; WARREN, D.L.; SWOFFORD, D.L. AWTY (are we there yet?): a system for graphical exploration of MCMC convergence in Bayesian phylogenetics. **Oxford Journals Bioinformatics Applications Note**. v. 24, n. 4, p. 581 – 583, 2008.

PELÁ, C.A.; GHILARDI NETTO, T.; LOUZADA, M.J.Q. Avaliações densitométricas com filmes radiográficos, utilizando uma escada de alumínio como referência. In: Fórum Nacional de Ciência e Tecnologia em saúde, 1, 1992, Caxambu, Anais de Caxambu: 1992.

PELÁ, C.A.; LOUZADA, M.J.Q.; PAULA, E.; GHILARDI NETTO, T. Avaliação densitométrica de filmes utilizados em radiologia. In: reunião latino americana de física médica, 5; workshop de física médica e engenharia biomédica, 2; Ribeirão Preto, 1990.

PELISSONI, L.G.R.; LOUZADA, M.J.Q.; SILVA, A.M.; BELANGERO, W.D. Influência do cetoprofeno na consolidação óssea de ulnas osteotomizadas de coelhos. Estudo qualitativo e quantitativo através de programas computacionais. **Acta Cirúrgica Brasileira**. v.18, p. 452 – 457, 2003.

PRICE, W.A. The Science of dental Radiology. **Dental Cosmos**, v. 43, p. 483 – 503, 1901.

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

SAEED, I.; CARPENTER, R. D.; LEBLANC, A. D.; LI, J.; KEYAK, J. H.; SIBONGA, J.D.; LANG, T.F. Quantitative Computed Tomography Reveals the Effects of Race and Sex on Bone Size and Trabecular and Cortical Bone Density. **Journal of Clinical Densitometry**. v. 12, n. 3 p 330 – 306, 2009.

SILVA, J. L. **Análise comparativa entre o sistema digital Digora e a digitalização da radiografia convencional na avaliação da densidade radiográfica do processo de reparo alveolar**, Tese (Doutorado), - Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araçatuba, 2005.

SPAZIANO, G.H.; LOUZADA, M.J.Q. **Programa de análise e processamento de imagens para estudo qualitativo e quantitativo da consolidação óssea. Ensaio em corpos de prova**, Relatório(Estágio), Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Aracatuba, 2005.

THRALL, D.E; WIDMER, W.R. **Diagnóstico de radiologia veterinária**, 5 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 2.

VERA, F.J.; MENDOZA, J.P.; DOMEQUE, E.S. “Feel like a Cyborg II”: Demonstrative system of robot function. **Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE)**. p. 175 – 180, 2012.

VULCANO, L.C.; MENDES, R.G.; GODOY, C.L.B.; MACHADO, V. M. V.; BICUDO, A.L.C. Padronização da densidade mineral óssea (DMO) do acessório do carpo em equinos atletas da raça Quarto de Milha. **Ciência Rural**. v. 36, n 2, p. 520 – 524, 2006.

VULCANO, L.C.; SANTOS, F.A.M.; GODOY, C.L.B. Determinação da densidade mineral óssea da extremidade distal do rádio-ulna em gatos: correlação entre peso, sexo e idade. **Ciência Rural**. v. 38, n.1, p.124 – 128, 2008.