

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

**EXERCÍCIO RESISTIDO NO TRATAMENTO E  
PREVENÇÃO DE OSTEOPENIA DE RATOS MACHOS  
JOVENS**

**Bruno Saturnino de Souza**

Biólogo

ARAÇATUBA – SP

2015

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

**EXERCÍCIO RESISTIDO NO TRATAMENTO E  
PREVENÇÃO DE OSTEOPENIA DE RATOS MACHOS  
JOVENS**

**Bruno Saturnino de Souza**  
**Orientador: Prof<sup>o</sup> Adj. Mário Jefferson Quirino Louzada**

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária – Unesp, Campus de Araçatuba, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência Animal (Fisiopatologia Médica e Cirúrgica).

ARAÇATUBA – SP

2015

Catálogo na Publicação (CIP)  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação – FOA / UNESP

S729e Souza, Bruno Saturnino de.  
Exercício resistido no tratamento e prevenção de osteopenia de ratos machos jovens / Bruno Saturnino de Souza. - Araçatuba, 2016  
43 f. : il. ; tab. + 1 CD-ROM

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária de Araçatuba  
Orientador: Prof. Mário Jefferson Quirino Louzada

1. Densitometria 2. Exercício 3. Doenças ósseas metabólicas 4. Fenômenos biomecânicos I. T.

CDD 636.0896

Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA)  
Committee for Ethical Use of Animals (CEUA)**CERTIFICADO**

Certificamos que o Projeto **"Influência do treinamento resistido no tecido ósseo de ratos após ausência de carga"** sob responsabilidade do Pesquisador **MÁRIO JEFFERSON QUIRINO LOUZADA** e colaboração de Bruna Rezende Silva Martins de Oliveira está de acordo com os Princípios Éticos da Experimentação Animal (COBEA) e foi aprovado pelo CEUA, de acordo com o protocolo **2012-02398**.

**CERTIFICATE**

We certify that the research **"Influence of resistance training on bone tissue of rats after no load"**, protocol number **2012-02398**, under responsibility of **MÁRIO JEFFERSON QUIRINO LOUZADA CARDOSO** and with collaboration of Bruna Rezende Silva Martins de Oliveira agree with Ethical Principles in Animal Research (COBEA) and was approved by CEUA.



**Prof. Dr. Edilson Ervolino**  
CEUA Coordenador

## DADOS CURRICULARES DO AUTOR

**BRUNO SATURNINO DE SOUZA** – Nascido em 15 de agosto de 1987, na cidade de Joinville – SC, iniciou e concluiu o Curso de Ciências Biológicas Bacharelado e Licenciatura na Universidade Paulista - UNIP (2006 - 2010). No decorrer do período acadêmico início atividade de docência, atualmente ministra aulas no Senac de Botucatu – SP, completando 8 anos de docência em 2016. Em 2013 ingressou no curso de mestrado da Pós-Graduação em Ciência Animal da UNESP – Araçatuba. Colaborou em projetos de pesquisa junto do orientador e durante um ano e seis meses integralizou os créditos necessários. Em 2015 foi aprovado no exame geral de qualificação denominado: “**Exercício resistido no tratamento e prevenção de osteopenia de ratos machos jovens**”, no qual faz parte desta dissertação.

## AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus por guiar meu caminho e me permitir essa experiência.

Meu mais sincero agradecimento há meu Orientador, **Mário Jefferson Quirino Louzada**, quem carinhosamente chamo de “Professor” por me orientar para vida, como exemplo profissional, sua alegria e amor em seu trabalho me inspiram. “Professor”, pois, o conheci em uma sala de aula, “professor”, pois sua trajetória me serve de exemplo e “professor”, foi com quem mais aprendi em um curto período de tempo.

A **Amanda**, por toda ajuda e apoio, por estar ao meu lado sempre trazendo calma em momentos de dificuldade, enfim, seu carinho e auxílio são indispensáveis.

As meus pais, **Junior e Vera**, meus exemplos de persistência e trabalho, que sempre me incentivam e apoiam em todas minhas escolhas, bem como meus irmãos **Lucas e Isabela**, pessoas de quem tenho muito orgulho.

À **Faculdade de Medicina Veterinária – FMVA/UNESP**, da cidade de Araçatuba/SP e aos profissionais pela oportunidade e colaboração, bem como, meus amigos de laboratório em especial ao **Pedro** e a **Bruna**.

**SUMÁRIO****CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS ..... 14**

1	Contextualização do Problema.....	14
2	Fraturas por perda de massa óssea.....	15
3	Custos com tratamento .....	15
4	Fisiologia óssea e o exercício físico .....	16
5	Modelo animal.....	19
6	Metodologia de análises.....	22
7	Objetivo .....	23

**REFERÊNCIAS..... 23**

**CAPÍTULO 2 - EXERCÍCIO RESISTIDO NO TRATAMENTO E PREVENÇÃO DE OSTEOPENIA DE RATOS MACHOS JOVENS ..... 30**

1	Introdução .....	32
2	Material e Métodos.....	34
	Animais .....	34
	Delineamento experimental.....	34
3	Resultados .....	36
4	Discussão.....	38
5	Conclusão .....	41

**REFERÊNCIAS..... 41**

## LISTA DE ABREVIACOES

- CMO = Conteúdo mineral ósseo
- DMO = Densidade mineral óssea
- C = Grupo controle
- S = Grupo Suspensão
- E = Grupo Exercício
- SE = Grupo Suspensão Exercício
- g = Gramas
- cm<sup>2</sup> = Centímetro quadrado
- g/cm<sup>2</sup> = Gramas por centímetro quadrado
- N = Newton
- kN/m = kilo Newton/metro
- Fmax = Força Máxima
- R = Rigidez
- OPG = Osteoprotegenina
- RANK: Receptor ativador do fator nuclear-kB
- RANKL: Ligante do receptor ativador do fator nuclear-kB

## LISTA FIGURAS

### Capítulo 1

FIGURA 1 - Escada utilizada no treinamento resistido.

FIGURA 2 a 5 - Espuma Reston colocada de um lado a outro e fixada com esparadrapo na cauda do animal.

FIGURA 6 e 7 - Espuma presa a presilha e dependurado em barra cilíndrica.

### Capítulo 2

FIGURA 1 - Massa corporal (g) (Média + Desvio padrão) de ratos *Wistar*.

## LISTA TABELAS

Tabela 1 - Média e desvio padrão para densitometria óssea em tíbias para CMO (g), Área (cm<sup>2</sup>), DMO (g/cm<sup>2</sup>).

Tabela 2 - Média e desvio padrão para ensaio mecânico em tíbias para Força Máxima (N) e Rigidez (kN/m).

## **Exercício resistido no tratamento e prevenção de osteopenia de ratos machos jovens**

**RESUMO** - A estrutura óssea do ser humano bem como o processo de consolidação óssea são alvos de estudos constantes em todo o mundo. Fraturas e lesões são consequências da fragilidade óssea, normalmente causadas pela osteoporose, um grave problema de saúde pública. Estudos mostram que essa fragilidade pode ser atenuada pela atividade física regular e treinamento de força. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a eficácia do exercício físico resistido frente a osteopenia induzida em ratos que permaneceram com ausência de carga em seus membros pélvicos. O modelo foi o de suspensão da cauda em ratos. Estes foram distribuídos em quatro grupos: C, controle, com período experimental em gaiola; S, suspenso por 21 dias e colocados em solo por mais 21 dias; E, submetido a exercício em escada durante 21 dias e, depois, mantido em solo por mais 21 dias e SE, suspenso por 21 dias e depois submetido a exercício em escada durante 21 dias. Foram realizadas análise de densitometria óssea e ensaio mecânico na tíbia dos animais para avaliar a qualidade do tecido ósseo após o período experimental. Pelos resultados, foi possível observar que o exercício físico com carga e intensidade adequada resulta em aumento da rigidez, força máxima, densidade mineral óssea e conteúdo mineral ósseo caracterizando uma recuperação da qualidade do osso proporcionada pelo exercício físico. Desta forma, conclui-se que o exercício físico com carga resistida e intensidade adequada resulta em remodelação óssea positiva frente a suspensão pela cauda, que por sua vez induz a fragilidade óssea semelhante a osteopenia, sendo eficaz no tratamento e prevenção dessa enfermidade.

**Palavras-chave:** densitometria; exercício; doenças ósseas metabólicas; fenômenos biomecânicos.

## **Resistance exercise in treatment and prevention of osteopenia in young male rats**

**SUMMARY** - The bone structure of the human being and the bone healing process are constant targets of studies worldwide. Fractures and injuries are consequences of bone frailty, usually caused by osteoporosis, a serious public health problem. Studies have shown that regular physical activity and strength training can mitigate this weakness. The purpose of this study was to evaluate the effectiveness of the resistance exercise against osteopenia induced in rats that remained with no load on their hind limbs. The suspension model used was the rat's tail model suspension. These rats were divided into four groups: C, control, with trial cage; S, suspended for 21 days and placed in soil for 21 days; E subjected to exercise ladder for 21 days and then kept in the soil for 21 days, and SE suspended for 21 days and then subjected to exercise ladder for 21 days. Bone densitometry analysis and mechanical testing in the tibia of the animals were realized to verify the quality of bone tissue after the trial period. It was possible to observe in the results that the exercise load and proper intensity results in increased rigidity, maximum strength, bone mineral density and bone mineral content featuring a recovery of bone quality provided by exercise. In this way, it was concluded that physical exercise with appropriate intensity and repeated load results in a positive bone remodeling before the suspension by the tail, which in turn induces a similar bone fragility osteoporosis, being effective in the treatment and prevention of this disease.

**Keywords:** densitometry; exercise; bone deficient metabolic; phenomenon parameters.

## **Capítulo 1**

## **CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **1 Contextualização do Problema**

A história humana aponta para uma busca científica incessante por um estilo de vida confortável. Grandes conquistas tecnológicas levaram a sociedade atual a um modo de vida repleto de facilidades e efeitos colaterais. O sedentarismo e o hábito alimentar inadequado, como ingestão de gorduras e diminuição no consumo de carboidratos e fibras, tem como consequência a diminuição de massa óssea (FLEGAL et al., 2010; HEDLEY et al., 2004).

Durante o processo de envelhecimento o ser humano perde algumas funções essenciais para suas atividades cotidianas, algumas limitações podem surgir devido as alterações musculoesqueléticas, sendo de maior expressão e importância a osteoporose, que segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) é caracterizada pela perda de massa óssea e aumento da fragilidade (AUAD et al., 2007).

A osteoporose não deve ser tratada como efeito secundário do envelhecimento e sim como resultado de uma vida inteira de maus hábitos que afetam o sistema esquelético (ASBMR, 2008; HALL, 2005).

Esse número de fatores que incluem a quantidade de tecido ósseo (tamanho e massa), a estrutura do osso (distribuição espacial, forma e microarquitetura) e as propriedades intrínsecas do material ósseo (porosidade, matriz de mineralização, traços de colágeno e microlesões) determinam a resistência do osso (GRIFFITH et al., 2008).

Este tipo de enfermidade leva a quedas e fraturas, representando grave problema de saúde pública mundial que vem crescendo à medida que a população envelhece (BOUXSEIN, 2005; BURR, 2001). Vários fatores são apontados como de risco, tais como: sedentarismo, uso de medicamentos, desordem neurovegetativas, geometria do quadril alterada e instabilidade postural (YAZBEK; MARQUES NETO, 2008).

## **2 Fraturas por perda de massa óssea**

Essas fraturas são decorrentes de perda de massa óssea frequentemente encontrada em pessoas idosas, sedentárias, acamados e astronautas. A falta de estresse mecânico pode levar a redução da densidade mineral óssea (DMO). Uma pessoa acamada por período de 4 a 6 semanas apresenta redução significativa de massa óssea, levando a atrofia por desuso, diminuindo a força e resistência óssea (HALL, 2005). Já, a atividade física regular e o treinamento de força reduzem a perda de cálcio, que está diretamente ligado à perda de massa óssea, exercendo efeito benéfico sobre a taxa de remodelamento ósseo (ROBERGS, 2002).

A hipertrofia óssea é positiva frente a um estresse mecânico aumentado e negativo quando reduzido, indicando uma proporcionalidade, ou seja, ao sair de seus níveis normais o estresse mecânico gera hipertrofia ou atrofia óssea (HALL, 2005). A deterioração da microarquitetura óssea caracteriza a diminuição da DMO, que por sua vez aumenta a fragilidade esquelética e conseqüentemente o risco de fraturas por um distúrbio osteometabólico (AUAD et al., 2008).

## **3 Custos com tratamento**

Nos Estados Unidos o custo financeiro diário do tratamento de pacientes com osteoporose é estimado em 38 milhões de dólares, sendo aproximadamente 1 milhão de pessoas que apresentam fraturas decorrentes dessa fragilidade óssea. No caso de fratura no quadril 25% não retornam mais ao seu estado anterior e de 20 a 25% desses vão a óbito no período de um ano. Na osteoporose, o envelhecimento está diretamente relacionado com a frequência e severidade das fraturas assim como o gênero. Com 90 anos 32% das mulheres e 17% dos homens são susceptíveis a fratura de quadril e a taxa de mortalidade em consequência dela varia de 12% a 20% (ROBERGS, 2002; YAZBEK; MARQUES NETO, 2008).

#### **4 Fisiologia óssea e o exercício físico**

Parâmetros de comparação indicam que aos 50 anos a cada 5 mulheres com fratura, a mesma ocorre em 2 homens e aos 70 anos a cada 3 fraturas na mulher ocorrem 2 nos homens, indicando maior frequência na mulher e um redução da proporcionalidade entre homens e mulheres quanto ao aumento da idade (YAZBEK; MARQUES NETO, 2008).

A especificidade óssea se estende não apenas a idade do indivíduo, mas também ao percentual relativo de mineralização e sua variação em determinada parte do corpo, sendo alguns mais porosos que outros, afetando as características mecânicas do tecido (BENNELL et al., 1997; MAITRA et al., 1997).

A estrutura óssea é formada por carbonato de cálcio, fosfato de cálcio, colágeno e água, que interagem em resposta a carga mecânica. Os percentuais desses materiais são imprescindíveis para a rigidez e resistência óssea compressiva (HALL, 2005).

Nutrição, fatores farmacológicos e hormonais afetam a integridade mecânica do osso, demonstrando que a integridade óssea não depende apenas de sua massa, mas também da qualidade do tecido, sendo significativamente dependente de influências biomecânicas somadas a esses fatores. A importância da carga esquelética para a manutenção e aumento da massa óssea foi sugerida em 1892 por Wolff, e até hoje é universalmente aceito.

Dois tipos de células são responsáveis pela manutenção celular da matriz óssea: osteoblastos e osteoclastos. O controle da diferenciação celular dos osteoclastos é mediado por três substâncias: O receptor nuclear RANK que é o ligante receptor ativador do fator nuclear kB, é sintetizado através da ativação da segunda substância; seu ligante RANKL, substância que inibe a ligação do RANK com as células precursoras, provenientes das membranas hematopoiéticas que levam a fusão dessas células e a formação osteoclástica. Já os osteoblastos produzem a terceira substância, a osteoprotegenina (OPG), que captura o RANKL e impede sua ligação com o RANK nas células precursoras, consequentemente impedindo a diferenciação para osteoclastos (AIRES, 2008).

A remodelação óssea ocorre através de formação ou reabsorção da matriz óssea. Existem alguns marcadores enzimáticos sintetizados por osteoblastos e osteoclastos que quantificam essa atividade. Um exemplo de marcador é a osteocalcina, uma proteína encontrada em abundância no osso (SEIBEL, 2000).

A capacidade de recuperação frente a um desgaste ocorre através de uma atividade osteoblástica na matriz orgânica, criando um tecido imaturo seguido de deposição de sais de cálcio (NICOLAU, 2001).

Em resumo, os osteoblastos são células jovens responsáveis pela formação estrutural do osso, repleto de atividade metabólica são responsáveis pela deposição mineral na matriz óssea, que ao envelhecerem são chamados de osteócito e regulam a absorção de minerais de cálcio no tecido. Enquanto os osteoclastos realizam a regeneração do tecido frente a fratura por reabsorção da matriz, ou seja, os osteoclastos digerem a matriz óssea formada pelos osteoblastos gerando o processo de reconstrução (AIRES, 2008).

Esse processo é constituído de quatro fases: Na primeira as células precursoras dos osteoclastos são recrutadas, na segunda eles degradam componentes minerais e orgânicos através de enzimas liberando fragmentos de osso e colágeno, realizando a reabsorção, na terceira fase a de reversão uma linhagem de monócitos e macrófagos preparam a superfície para os osteoblastos realizarem a quarta fase, a de formação óssea através da matriz de mineralização (AMADEI et al., 2006).

Algumas instabilidades mecânicas e falhas na vascularização influenciam na capacidade de regeneração tecidual dificultando ou impedindo essa regeneração. A velocidade do reparo tecidual pode ser aumentada através de estresse mecânico, ou seja, um exercício físico resistido estimula a regeneração da matriz óssea (PINHEIRO; GERBI, 2006). Então os estímulos à osteogênese, exercidos pela atividade física podem ser utilizados como tratamento, pois atenuam a diminuição da densidade mineral óssea, reduzindo os efeitos da osteopenia (KEMPER et al., 2009).

Indivíduos sedentários comparados com fisicamente ativos de mesma idade e sexo apresentam ossos menos densos e mineralizados, evidenciando a fragilidade óssea (HALL, 2005). Sugerindo um impacto positivo da atividade física na diminuição da osteoporose através do aumento da DMO e consequente fortalecimento da estrutura musculoesquelética (BARROS et al., 2010).

Estudos apontam que um programa regular de exercícios como caminhar e sustentar peso são importantes para a saúde e resistência do osso, causando alterações positivas até mesmo em indivíduos com osteoporose. Com isso a identificação precoce da baixa DMO pode evitar a ocorrência de fraturas e perda irreversível da estrutura trabécula, tanto em humanos quanto em animais (ASBMR, 2008; HALL, 2005).

Existem indícios de que o exercício físico minimiza os efeitos da osteoporose decorrente de declínio hormonal e idade avançada, no entanto deve se observar o tipo e intensidade desse exercício. Em mulheres pós menopausa exercícios como caminhada e corrida leve promovem o aumento do conteúdo mineral ósseo devido a carga de peso submetida a essa atividade, em atividades com carga diminuída como a natação não se observa alteração no conteúdo mineral ósseo, mesmo sendo satisfatório do ponto de vista cardiovascular (SINAKI, 1999).

A recuperação da estrutura óssea está diretamente ligada a presença ou ausência de carga no esqueleto, mesmo que em períodos curtos de atividade com carga diminuída o enfraquecimento pode ser notado. A medida que a intensidade e carga são aumentadas os danos são evitados e promovemos a recuperação, tornando a atividade física o tratamento mais eficaz e por isso o mais estudado (BARBOSA et al., 2011)

O aumento da massa óssea ocorre por um processo de saturação mecânico sensorial, onde no início da atividade física a sensibilidade óssea decai rapidamente e vai aumentando conforme a intensidade é elevada, elevando a massa óssea (RENNO et al., 2007).

Exercícios aeróbicos diminuem a perda óssea. Em estudos onde animais foram submetidos a treinamento prolongado e contínuo em esteira pode-se observar uma atenuação na perda de massa óssea, no entanto, o efeito do exercício físico sobre o osso depende de sua intensidade e resistência, métodos de exercício resistido se mostraram eficientes na recuperação dos valores de densidade mineral óssea (FLUCKEY et al., 2002).

No espaço, em situação de baixa gravidade o exercício físico ainda não é suficiente para essa atenuação, a hipótese mais aceita é que o método ainda não possui resistência suficiente, levando a crer que métodos que utilizem maior resistência podem ser mais efetivos. O exercício em escada confere resistência relevante e produz resultado positivo na remodelação óssea (Figura 1) (CAVANAGH et al., 2005).



FIGURA 1 - Escada utilizada em treinamento resistido.

## 5 Modelo animal

Algumas considerações sobre o modelo animal a ser utilizado são necessárias, o cão, por exemplo, tem a coluna vertebral repleta de ossos irregulares dispostos a partir do crânio e divididos em cinco regiões: cervical,

torácica, lombar, sacra e caudal sendo o número de vertebrae assim dispostas: 7 cervicais, 13 torácicas, 7 lombares e 3 sacras. Nos equinos existem dois tipos de articulações: uma formada pelo corpo das vertebrae e a outra por processos adjacentes, discos intervertebrais de tecido fibroso ocupam os espaços entre as articulações, provendo um grau de amplitude maior devido a soma das articulações. A coluna vertebral do rato é composta por: 7 cervicais, 13 torácicas, 6 lombares e 4 sacras e 27 caudais. (KÖNIG; LIEBICH, 2002).

Em seres humanos a coluna é composta de 24 vertebrae pré-sacrais, onde 7 são cervicais, 12 torácicas, 5 lombares e 5 sacrais, outras 4 vertebrae estão fundidas entre si formando o cóccix. Os osteoblastos são estimulados pela carga mecânica, provocando micro deformações ósseas, provendo adaptações por remodelação (RUBINSTEIN, 2013).

Para experimentação animal na simulação de atrofia óssea e desgaste, o ideal é uma restrição de movimentos nos membros posteriores sem alterar a livre movimentação, elucidado pelo modelo de suspensão pela cauda (VICENTINI et al., 2007).

Frente a isso, definiu-se trabalhar com o rato que é um modelo animal com uma relação entre o carregamento de osso e formação óssea aumentada, resultando em uma melhoria das propriedades mecânicas na estrutura óssea e qualidade do tecido, se destacando entre os modelos animais conhecidos para o estudo dos efeitos de estimulação mecânica (WALLACE, 2007).

O modelo de suspensão pela cauda se mostra eficaz para esclarecer os processos de consolidação óssea em patologias ortopédicas ou neurológicas, se tratando de membros pélvicos por imobilização gerando modificações na estrutura óssea, nessa situação os membros posteriores dos animais permanecem com livre movimentação, porém sem contato com o solo (FALCAI, 2011; RISO, 2008).

Esse modelo vem sendo aperfeiçoado ao longo dos anos. Musacchia et al. (1980) um modelo onde o animal fica suspenso envolto em um pedaço de pano sendo sustentado pelo tórax, deixando os membros pélvicos livres. Em 1990, Kasper et al. utilizaram um eixo de suspensão com um sistema de roldanas presas

na cauda, Silva e Volpon (2004) e Shimano (2006) utilizaram uma tira de espuma adesiva com elásticos até o terço médio para suspender os animais.

A suspensão pela cauda é responsável pela fraqueza óssea induzida em ratos por ausência de carga. Após o terceiro dia de suspensão nota-se apoptose de osteócitos, diminuindo os   -sinas de sustentação óssea, demonstrando uma modulação da expressão de genes em células mesenquimais da tibia. Padrões genéticos de modulação de RNA e proteínas são induzidos por essa ausência alterando a deposição, maturação e remodelação da matriz óssea (Figura 2 a 5) (AGUIRRE et al., 2006).

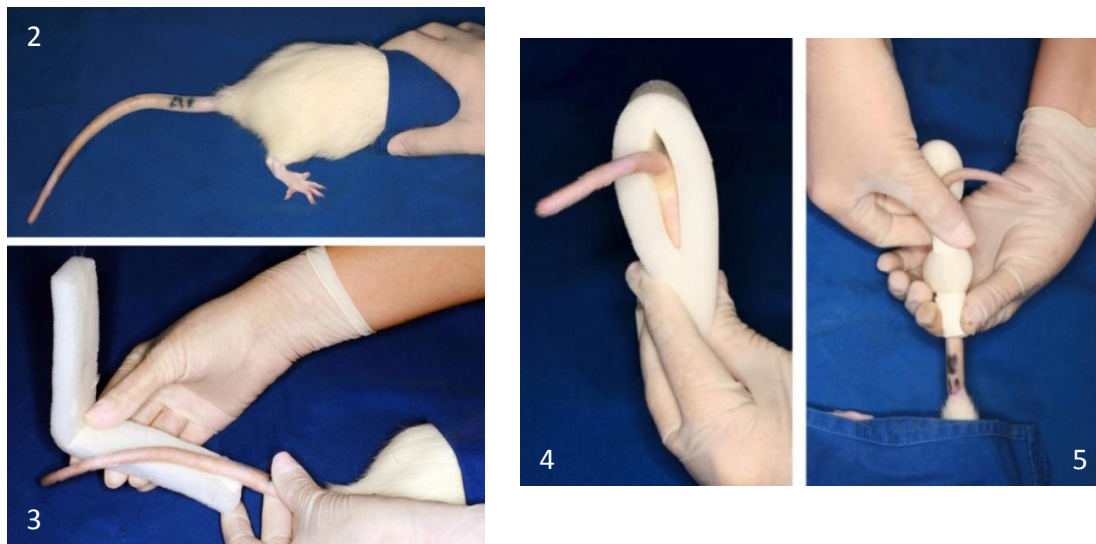


FIGURA 2 a 5 - Espuma Reston colocada de um lado a outro e fixada com esparadrapo na cauda do animal.

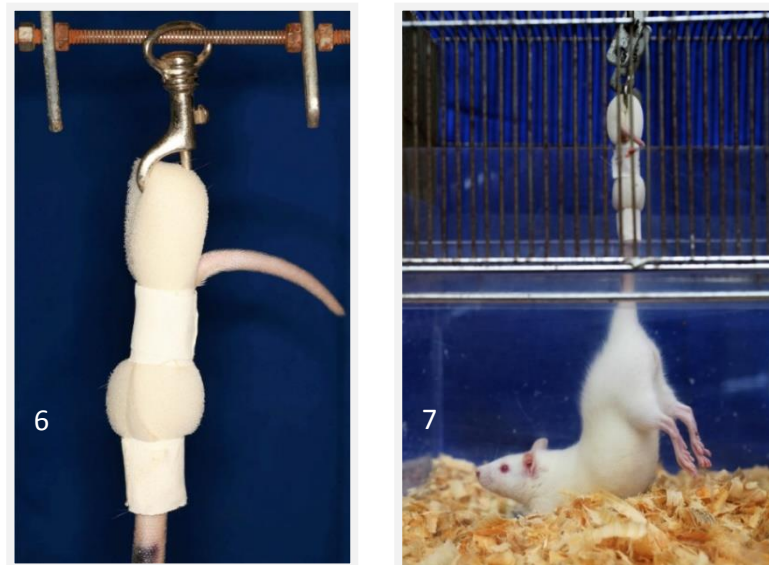


FIGURA 6 e 7 - Espuma presa a presilha e dependurado em barra cilíndrica.

## 6 Metodologia de análises

A capacidade de resistir e transmitir um esforço aplicado, como esforços de natureza mecânica, define as propriedades mecânicas de um mineral, desde que esse não perca suas características iniciais, ficando isenta de deformações (CHIAVERINI, 1979).

Vários tipos de ensaio são usados para determinar essas propriedades mecânicas de um material: torção, tração, compressão, cisalhamento e flexão. Dentre esses ao se tratar de osso o ensaio mecânico possui grande variação de resultados como, tipo, região e condição desse osso, demonstrando variação entre o tipo de animal e o tratamento a qual ele foi submetido (VICENTINI, 2007).

Para se observar parâmetros das propriedades ósseas, o ensaio de flexão de três pontos é amplamente utilizado. Essa atividade dispensa acessórios especializados e consiste na inserção do osso em uma superfície de apoio com

dois pontos deixando um vão entre eles e aplicar uma força na região central, estabelecendo força máxima e rigidez (VICENTINI, 2007).

A consequência da imobilização dos membros pélvicos pode ser verificada através do estudo da densidade óssea. Em pesquisa onde ratos tiveram seus membros pélvicos imobilizados por duas semanas foi possível observar redução dessa densidade, calculada através do princípio de Arquimedes (TREBACZ, 2001).

A análise de densitometria óssea é capaz de avaliar itens de extrema relevância para a densidade óssea, como conteúdo mineral ósseo, que verifica a quantidade de minerais em uma porção de osso traduzindo seu valor em gramas, densidade mineral óssea, que traduz esse valor em gramas por centímetro quadrado e a área em centímetros quadrados (SALZEDAS et al., 2006).

## 7 Objetivo

Avaliar a eficácia do exercício físico resistido frente a osteopenia induzida em ratos que permaneceram com ausência de carga em seus membros pélvicos.

## REFERÊNCIAS

AIRES, M. M. **Fisiologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. p. 1137-1148.

AGUIRRE, J. I.; PLOTKIN, L. I.; STEWART, S. A.; et al. Osteocyte apoptosis is induced by weightlessness in mice and precedes osteoclast recruitment and bone loss. **Journal of Bone and Mineral Research**, v. 21, n. 4, p. 605-615, 2006.

AMADEI, S. U.; SILVEIRA, V. A. S.; PEREIRA, A. C.; CARVALHO, Y. R.; ROCHA R. F. A influência da deficiência estrogênica no processo de remodelação e

reparação óssea. **Jornal Brasileiro de Patologia Medica Laboratorial**, v. 42, n. 1, p. 5-12, 2006.

ASBMR; ROSEN, C. J. Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism. 7 ed. **American Society for Bone and Mineral Research**, 2008.

AUAD, M. A.; SIMÕES, R. P.; ROUHANI, S.; CASTELLO, V.; YOGI, L. S. Eficácia de um programa de exercícios físicos na qualidade de vida de mulheres com osteoporose. **Revista Arquivos de Ciências da Saúde**, v. 33, n.1, p.31-35. 2008.

BARBOSA, A. A.; DEL CARLO, R. J.; GALVÃO, S. R., VILELA, M. J.; LOUZADA, M. J. Q.; BRITO, A. F. S.; NATAL, A. J. Bone mineral density of rat femurs after hindlimb unloading and different physical rehabilitation programs. **Revista Ceres**, v. 58, n. 4, p. 407-412, 2011.

BARROS, H. R.; RITTI-DIAS R. M. **Relação entre atividade física e densidade mineral óssea/osteoporose: uma revisão da literatura nacional**. Motriz, v. 16, n. 3, p. 723-729, 2010.

BENNEL, K. L.; BRUKNER, P. D. Epidemiology and site specificity of stress fractures. **Clinics in Sports Medicine**, n. 16, p. 179-196, 1997.

BOUXSEIN, M. L. Determinants of skeletal fragility. **Best Practice & Research Clinical Rheumatology**, v. 19, p. 897-911, 2005.

BURR, D. B. **Musculoskeletal fatigue and stress fractures**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2001.

CAVANAGH, P. R.; LICATA, A. A.; & RICE, A. J. **Exercise and pharmacological countermeasures for bone loss during long-duration space flight.** *Gravitational and Space Biology Bulletin*, v. 18, n. 2, p. 39-58, 2005.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica: estrutura e propriedades, processos de fabricação.** Mc Graw-Hil do Brasil, São Paulo, 1979.

FALCAI, M. J. **Desenvolvimento de um sistema modificado de suspensão do rato pela cauda, como modelo de osteopenia.** Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, 2011.

FLEGAL, K. M.; CARROLL, M. D.; OQDEN, C. L.; JOHNSON, C. L. Prevalence and trends in obesity among US adults, 1999-2008. **Journal of the American Medical Association**, v. 3, n. 303, p. 235-241, 2010.

FLUCKEY, J. D.; DUPONT-VERSTEEGDEN, E. E.; MONTAGUE, D. C.; et al. A rat resistance exercise regimen attenuates losses of musculoskeletal mass during hindlimb suspension. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 176, n. 4, p. 293-300, 2002.

GRIFFITH, J. F.; GEMAMT, H. K. **Bone mass and architecture determination: state of the art.** *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*. v. 22, p. 737-764, 2008.

HALL, S. J. **Biomecânica básica.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

HEDLEY, A. A. et al. **Prevalence of overweight and obesity among US children, adolescents, and adults.** 1999-2002. *Jama*, v. 291, n. 23, p. 2847-2850, 2004.

KASPER, C. E.; WHITE, T. P.; MAXWELL, L. C. Running during recovery from hindlimb suspension induces muscular injury. **Journal of Applied Physiology**, v. 68, p. 533-539, 1990.

KEMPER, C.; OLIVEIRA, R. J.; BOTTARO, M.; MORENO, R.; BEZERRA, L. M. A.; GUIDO, M.; FRANÇA, N. M. Efeitos da natação e do treinamento resistido na densidade mineral óssea de mulheres idosas. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 15, n. 1, p. 10-13, 2009.

KONIG, H. E.; LIEBICH, H. G. **Anatomia dos animais domésticos: aparelho locomotor**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

MAITRA, R. S.; JOHNSON, D. L. Stress fractures. Clinical history and physical examination. **Clinics Sports Medicine**, v. 16, p. 259–274, 1997.

MUSACCHIA, X. J.; DEEVERS, D. R.; MEININGER, G. A.; & DAVIS, T. P. A model for hypokinesia: effects on muscle atrophy in the rat. **Journal of Applied Physiology**, v. 48, n. 3, p. 479-486, 1980.

NICOLAU, R. A. **Efeito do laser de baixa potência (As-Ga-Al) em tecido ósseo de rato submetido à lesão, analisado por histomorfometria óssea**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, 2011.

PINHEIRO, A. L. B.; GERBI, M. E. **Photoengineering of bone repair processes Photomed Laser Surg**. v. 21, p. 169-78, 2006.

RENNO, A. C. M.; FAGANELLO, F. R.; MOURA, F. M.; SANTOS, N. S. A.; TIRICO, R. P.; BOSSINI, P. S.; ZUANON, J. A.; NETO, C. B.; PARIZOTTO, N. A.

Os efeitos de um programa de atividade física de carga progressiva nas propriedades físicas e na força óssea de ratas osteopênicas. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 5, p. 276-279, 2007.

ROBERGS, R. A. **Princípios fundamentais de fisiologia do exercício**: para aptidão, desempenho e saúde. São Paulo: Phorte, 2002.

RUBINSTEIN, E. **Introdução ao estudo da anatomia**. On-line. Disponível em: <[http://www.icb.ufmg.br/anatfto/introducao\\_Anatomia.htm](http://www.icb.ufmg.br/anatfto/introducao_Anatomia.htm)>. Acesso em: 21 set 2013.

SALZEDAS, L. M. P.; LOUZADA, M. J. Q.; OLIVEIRA FILHO, A. B. Radiopacity of restorative materials using digital images. **Journal of Applied Oral Science**, v. 14, n. 2, p. 147-152, 2006.

SEIBEL, M. J. Molecular markers of bone turnover: biochemical, technical and analytical aspects. **Osteoporosis Internacional**, v. 11, p. 18-29, 2000.

SILVA, A. V.; VOLPON, J. B. **Avaliação da qualidade óssea da tíbia de ratas submetidas à hipoatividade de suspensão pela cauda e tratadas com exercícios de natação**. Tese (Doutorado em desenvolvimento) - Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, 2014.

SINAKI, M. Exercise and osteoporosis. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**; v. 70, p. 220-229, 1999.

SHIMANO, M. M. **Microestruturas e propriedades mecânicas de ossos cortical e trabecular de ratos, após período de suspensão pela cauda e exercitação**. 154f. 2006. Tese (Doutorado) Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2006.

TREBACZ, H. Disuse-induced deterioration of bone strength is not stopped after free remobilization in young adult rats. **Journal of Biomechanics**, v. 34, n. 12, p. 1631-1636, 2001.

VICENTINI, C. R.; ROSA, R. A. C.; CIARLINI, L. D. R. P.; SANTOS, P. H.; LOUZADA, M. J. Q. **Análise biomecânica em fêmures de ratos submetidos a ausência de carga e atividade física em esteira**. Veterinária e Zootecnia, v. 14, n. 1, p. 62-71, 2007.

WALLACE, J. M. Exercise-induced changes in the cortical bone of growing mice are bone and gender specific bone. **Bone**, v. 40, n. 4, p. 1120–1127, 2007.

Wolff, J. **Das gesetz der transformation der knochen**. Berlin: August Hirschwald, 1892.

YAZBEK, M. A.; MARQUES NETO, J. F.; **Osteoporose e outras doenças osteometabólicas no idoso**. Einstein, v. 6, n. 1 sup, p. S74-S8, 2008.

## Capítulo 2

## CAPÍTULO 2 - EXERCÍCIO RESISTIDO NO TRATAMENTO E PREVENÇÃO DE OSTEOPENIA DE RATOS MACHOS JOVENS

B. S. DE SOUZA<sup>1\*</sup>, B. R. S. M. DE OLIVEIRA<sup>2</sup>, P. L. FLORINDO<sup>3</sup>, M. J. Q. LOUZADA<sup>4</sup>

**RESUMO** - A estrutura óssea do ser humano bem como o processo de consolidação óssea são alvos de estudos constantes em todo o mundo. Fraturas e lesões são consequências da fragilidade óssea, normalmente causadas pela osteoporose, um grave problema de saúde pública. Estudos mostram que essa fragilidade pode ser atenuada pela atividade física regular e treinamento de força. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a eficácia do exercício físico resistido frente a osteopenia induzida em ratos que permaneceram com ausência de carga em seus membros pélvicos. O modelo utilizado foi o de suspensão da cauda em ratos. Estes foram distribuídos em quatro grupos: C, controle, com período experimental em gaiola; S, suspenso por 21 dias e colocado em solo por mais 21 dias; E, submetido a exercício em escada durante 21 dias e, depois, mantido em solo por mais 21 dias e SE, suspenso por 21 dias e depois submetido a exercício em escada durante 21 dias. Foram realizadas análise de densitometria óssea e ensaio mecânico na tíbia dos animais para avaliar a qualidade do tecido ósseo após o período experimental. Pelos resultados, foi possível observar que o exercício físico com carga e intensidade adequada resulta em aumento da rigidez, força máxima, densidade mineral óssea e conteúdo mineral ósseo caracterizando uma recuperação da qualidade do osso proporcionada pelo exercício físico. Desta

---

<sup>1</sup> Mestre em Ciência Animal – FMVA/UNESP – Universidade Estadual Paulista – Araçatuba, SP – E-mail: br\_saturnino@hotmail.com

<sup>2</sup> Mestre em Ciência Animal – FMVA/UNESP – Universidade Estadual Paulista – Araçatuba, SP – E-mail: bruna\_unesp@hotmail.com

<sup>3</sup> Técnico de Laboratório – FMVA/UNESP – Universidade Estadual Paulista – Araçatuba, SP

<sup>4</sup> Universidade Estadual Paulista – FMVA/UNESP – Araçatuba, SP – E-mail: louzada@fmva.unesp.br

forma, conclui-se que o exercício físico com carga repetida e intensidade adequada resulta em remodelação óssea positiva perante a suspensão pela cauda, que por sua vez induz uma fragilidade óssea semelhante a osteopenia, sendo eficaz no tratamento e prevenção dessa enfermidade.

**Palavras-chave:** densitometria; exercício; doenças ósseas metabólicas; fenômenos biomecânicos.

### **Resistance exercise in treatment and prevention of osteopenia in young male rats**

**SUMMARY** - The bone structure of the human being and the bone healing process are constant targets of studies worldwide. Fractures and injuries are consequences of bone frailty, usually caused by osteoporosis, a serious public health problem. Studies have shown that regular physical activity and strength training can mitigate this weakness. The purpose of this study was to evaluate the effectiveness of the resistance exercise against osteopenia induced in rats that remained with no load on their hind limbs. The suspension model used was the rat's tail model suspension. These rats were divided into four groups: C, control, with trial cage; S, suspended for 21 days and placed in soil for 21 days; E subjected to exercise ladder for 21 days and then kept in the soil for 21 days, and SE suspended for 21 days and then subjected to exercise ladder for 21 days. Bone densitometry analysis and mechanical testing in the tibia of the animals were realized to verify the quality of bone tissue after the trial period. It was possible to observe in the results that the exercise load and proper intensity results in increased rigidity, maximum strength, bone mineral density and bone mineral content featuring a recovery of bone quality provided by exercise. In this way, it was concluded that physical exercise with appropriate intensity and repeated load

results in a positive bone remodeling before the suspension by the tail, which in turn induces a similar bone fragility osteoporosis, being effective in the treatment and prevention of this disease.

**Keywords:** densitometry; exercise; bone deficient metabolic; phenomenon parameters.

## 1 Introdução

A osteoporose como é um grave problema mundial, sendo considerado um risco para a Saúde Pública. Em 2011 no Brasil a população de idosos era de 23,5 milhões totalizando 12,1% da população, a relação entre a idade e a doença é evidenciada na taxa de mortalidade por fraturas oriundas de uma fragilidade óssea. (DANIACHI, 2015).

A saúde óssea é diretamente proporcional ao seu uso, ou seja, atividade física ativa a mineralização óssea tornando-o mais denso e rígido, levando a crer que o sedentarismo e envelhecimento são os fatores negativos de maior relevância, devido ao atual estilo de vida e avanço tecnológico que rendem a cada dia um conforto maior ao ser humano (FLEGAL et al., 2010; HEDLEY et al., 2004).

A redução de atividade física decorrente da idade avançada leva a uma regulação negativa, fazendo com que a reposição óssea seja mais lenta que o desgaste podendo ocasionar perda de massa, demonstrando que o sedentarismo leva a esse dano (BILEZIKIAN et al., 2008).

O corpo humano tem como sistema de sustentação seu esqueleto, servindo de mecanismo de fixação para vários pontos do corpo, como órgãos, músculos e provendo flexibilidade e mobilidade (DOUGLAS, 2006).

A osteoporose é uma doença caracterizada por deterioração da microarquitetura do tecido ósseo e diminuição da massa, aumentando a fragilidade. Essa enfermidade foi considerada um problema etário, ligada

diretamente a adultos idosos, no entanto hoje é sabido que a densidade mineral óssea é dependente do pico de massa óssea, que por sua vez é adquirido até a segunda metade da vida, ou seja, a qualidade do desenvolvimento ósseo de crianças e adolescentes previne a incidência dessa doença (CAMPOS et al., 2003; PINHEIRO et al., 2009).

Existem fatores que são responsáveis pela qualidade do desenvolvimento ósseo, alguns endógenos, como puberdade ligada a produção hormonal, genético e raça, outros exógenos, como nutrição e exercício físico. O processo de contração muscular aumenta a atividade osteoblástica na região, responsável pela produção óssea, pela mineralização, demonstrando importante correlação positiva entre crescimento ósseo e atividade física (ALVES; LIMA, 2008).

O crescimento e reposição óssea ocorrem através dos osteoblastos que fazem a manutenção e a remodelação tecidual e osteoclastos com síntese celular e mineralização da matriz proteica (CAMPOS et al., 2003; VISIGALLI et al., 2010).

Durante o ciclo de vida ósseo um processo dinâmico de formação e reabsorção do tecido produz a remodelação óssea, com duração de quatro a seis meses. A diminuição da densidade mineral óssea leva a perda de matriz mineral por um excesso de reabsorção interferindo na formação óssea, levando a osteoporose (CADORE et al., 2005).

A interação entre os mecanismos de formação e reabsorção óssea é responsável pela manutenção do tecido ósseo, bem como seu mecanismo de remodelação. Estímulos mecânicos produzem efeitos positivos na conservação do metabolismo ósseo, como contrações musculares e a força da gravidade, que tornam o ambiente uma ferramenta de influência indispensável no processo (APOLINÁRIO et al., 2011; BILEZIKIAN et al., 2008).

Com a crescente incidência da osteoporose e com o envelhecimento populacional no Brasil, estudos que abordem seu tratamento e prevenção desta doença são de suma importância e interesse. Para tanto, vem se utilizando ratos como modelo experimental animal, cujas propriedades mecânicas de sua estrutura óssea podem servir de referência para outros trabalhos (MELLO; GOMIDE, 2005).

Desta maneira, objetivou-se neste estudo avaliar a eficácia do exercício físico resistido frente a osteopenia induzida em ratos que permaneceram com ausência de carga em seus membros pélvicos.

## **2 Material e Métodos**

### **Animais**

Neste estudo, foram utilizados 40 ratos (*Rattus norvegicus albinus*), linhagem Wistar, machos, jovens, fornecidos pelo Biotério da Faculdade de Odontologia da Universidade Estadual Paulista - UNESP / Campus de Araçatuba - SP. O experimento está de acordo com os Princípios Éticos da Experimentação Animal (COBEA) e foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA), de acordo com o protocolo 2012-02398.

Os animais foram mantidos em ambiente climatizado (22±2°C) e ciclo claro/escuro (12 por 12 horas diárias), no Laboratório de Biofísica da UNESP, em gaiolas comuns com número de cinco ratos cada uma, e foram alimentados com água e ração “ad libitum” de mesma qualidade e fabricante (Purina).

### **Delineamento experimental**

Ao completar três meses de idade, os animais foram distribuídos aleatoriamente em quatro grupos: Grupo Controle (C) - permaneceram durante o período experimental em gaiolas comuns e foram posteriormente eutanasiados; Grupo Suspenso (S) - suspensos pela cauda por 21 dias e em seguida deixados em solo por mais 21 dias e então eutanasiados; Grupo Exercício (E) - submetidos ao exercício resistido, em escada, durante 21 dias e após este período deixados em solo por mais 21 dias e, então, eutanasiados; Grupo (GSE) - suspensos pela cauda por 21 dias e depois submetidos ao exercício resistido por também 21 dias, e então eutanasiados.

Após período experimental os animais de todos os grupos foram eutanasiados com dose excessiva de Ketamina e Xilazina, e suas tíbias retiradas para posterior análise.

A suspensão do animal pela cauda foi realizada de maneira semelhante a de Silva e Volpon (2004), com tira de espuma adesiva do modelo Reston colocada de um lado a outro na cauda do animal e fixada com esparadrapo. Após tal procedimento a tira de espuma foi presa a uma presilha e dependurado em uma barra cilíndrica rosqueada com altura ajustável no compartimento superior da gaiola. Nessa técnica o animal tem apoio suficiente dos membros anteriores para locomover-se e alimentar-se. Na barra de sustentação foram colocados dois bloqueios metálicos nas extremidades, que foram ajustados de modo a não permitir que o animal tenha contato com as paredes da gaiola. A água foi fornecida através de bebedouro colocado em altura adequada na parede da gaiola e ração comum colocada no assoalho.

Os animais realizaram treinamento resistido em escada de madeira [113 cm de comprimento x 18 cm de largura; 2 cm de grade; 80° de inclinação; com local para descanso no topo (diâmetro de 20 x 20 x 20 cm)] (HORNBERGER JUNIOR; FARRAR, 2004) cinco vezes por semana, durante 3 semanas.

Uma semana antes do início do experimento os animais foram estimulados a subir a escada, apenas para adaptação. No primeiro dia, foi realizado um teste de carga máxima, com uso de dois tubos de carga (esferas de aço) acoplados à calda. No segundo dia, foram acoplados à calda de cada um os tubos de carga relativos a 80% da carga máxima, onde o animal realizou oito repetições com intervalo de 30 segundos para descanso. No início de cada semana o teste de carga máxima foi repetido, para adequar a porcentagem de carga utilizada no treinamento.

Após a eutanásia, os membros pélvicos foram dissecados e as tíbias desarticuladas, removidas e limpas das partes moles circundantes. Após a dissecação, os ossos foram submetidos à análise de densidade mineral óssea (em g/cm<sup>2</sup>), que foi medida em todo o osso, utilizando densitômetro modelo DPX-

ALPHA® com software especial para pequenos animais pertencente ao Departamento de Apoio, Produção e Saúde Animal – FMVA/UNESP.

As tíbias foram submetidas a ensaio mecânico destrutivo, utilizando máquina universal de ensaio EMIC®, modelo DL 3000, pertencente ao Departamento de Materiais Dentários da FOA /UNESP-Araçatuba com carga aplicada à velocidade de 5 mm/min e célula de carga de 2000 N. Para análise biomecânica foi determinada a força máxima admitida pelos ossos e sua rigidez, variáveis que expressam a resistência óssea. Foram realizados ensaio de flexão à 3 pontos.

Os resultados obtidos foram apresentados como média e desvio padrão. Passando por análise estatística descritiva e realizada análise de variância – ANOVA, e teste de Tukey para análise de dois a dois, com o programa computacional GraphPadInStat®, versão 3.06. O nível de significância utilizado foi de 5% em todas as análises.

### **3 Resultados**

Os resultados estão apresentados nas figuras abaixo, com os valores da média e desvio padrão para massa corporal, densitometria óssea e ensaio mecânico dos Grupos C, S, E e SE.

Houve diferença estatística na comparação das massas entre os Grupos SE com C e S (Figura 1).

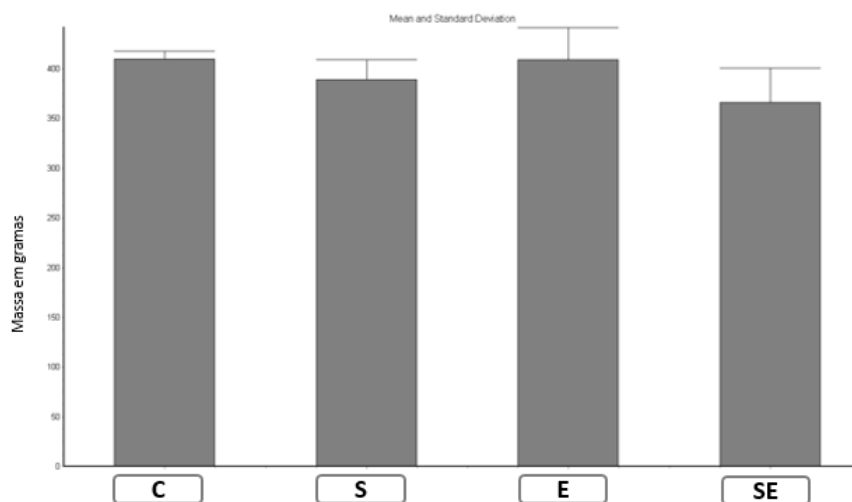


FIGURA 1 - Massa (g) (Média + Desvio padrão) de ratos Wistar dos Grupos controle C, S - suspensos por 21 dias e colocados em solo por 21 dias, E - submetidos a exercício em escada durante 21 dias e mantidos em solo por 21 dias e SE - suspensos por 21 dias, submetidos a exercício em escada durante 21 dias. Diferença estatística significante entre C → SE, E → SE.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores obtidos pela densitometria óssea. Observa-se diferença estatística significante ( $p < 0,0001$ ) de DMO entre os Grupos C, S, E e SE. Para CMO entre os Grupos C e E e entre S, E e SE. Na área houve diferença significante entre E e SE (Tabela 1).

Tabela 1 - Média e desvio padrão obtidas pela densitometria óssea em tíbias para CMO (g), Área ( $\text{cm}^2$ ), DMO ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) (grupos controle - C, suspenso - S, exercício - E e suspenso e exercício - SE)

	CMO	Área	DMO
C	0,221±0,02	1,518±0,077	0,146±0,013
S	0,197±0,021	1,503±0,096	0,131±0,008
E	0,312±0,015	1,594±0,056	0,195±0,005
SE	0,243±0,033	1,457±0,122	0,166±0,013

Na Tabela 2 estão os valores obtidos pelo ensaio mecânico de flexão de três pontos. A análise de força máxima apresentou diferença estatística significativa ( $p < 0,0001$ ) ao compararmos E com C, S e SE. Quando comparamos a rigidez do Grupo C, percebemos que não houve diferença significativa em relação ao SE, já referente aos Grupos S e E apresentou diferença significativa ( $p < 0,0001$ ).

Tabela 2 - Média e desvio padrão obtidos pelo ensaio mecânico em tíbias para Força Máxima (N) e Rigidez (kN/m) (grupos controle - C, suspenso - S, exercício - E e suspenso e exercício - SE)

	Fmax (N)	R (kN/m)
C	81,93±9,97	149,36±21,02
S	72,33±9,02	119,08±17,97
E	108,09±9,57	175,08±12,03
SE	76,78±12,45	142,63±22,02

#### 4 Discussão

Com base nos resultados obtidos, pode-se inferir que o exercício físico com carga resistida e intensidade adequada resulta em remodelação óssea positiva perante a suspensão pela cauda, que por sua vez induz uma fragilidade óssea semelhante a osteopenia, sendo eficaz no tratamento e prevenção dessa enfermidade.

Os animais utilizados nesse trabalho foram ratos jovens, por sua facilidade de adaptação ao modelo de suspensão e aos protocolos de pesquisa. Os resultados dos S, para DMO, CMO e rigidez, quando comparados ao do Grupo C indicam que a suspensão pela cauda tem efeitos prejudiciais à manutenção das propriedades ósseas devido à ausência de contato com o solo, concordando com a literatura, levando a crer que a suspensão é suficiente para alteração óssea (AMADEI et al., 2006), causando a diminuição da massa óssea e possivelmente levando a osteopenia, doença caracterizada pela fragilidade óssea e propensão a

fraturas (VARGAS et al., 2003), tornando a remodelação óssea prejudicada por diminuição em sua formação e aumento da reabsorção (CARVALHO et al., 2002), sendo assim alterações exercidas pela atividade física podem ativar a remodelação óssea, demonstrando que a falta dela diminui algumas propriedades enfraquecendo os ossos (SILVA; VOLPON, 2004).

A vantagem dessa técnica é que além do animal não precisar ser anestesiado, é realizada com agilidade e garante o resultado esperado, osteopenia. Ao contrário das outras técnicas onde os animais são submetidos à anestesia e analgésicos, além de causar estresse.

Esse modelo de suspensão serve de comparação para o entendimento do processo de perda de massa óssea a qual são acometidos pacientes acamados e astronautas que permanecem no espaço com baixa gravidade por longos períodos, visando determinar medidas de tratamento e prevenção a osteopenia (SILVA; VOLPON, 2004),

O exercício físico com carga resistida e intensidade adequada resulta em um aumento da rigidez, força máxima, DMO e CMO como pode ser constatado na comparação entre os Grupos C e E, levando a crer que a atividade física exerce um efeito positivo na formação óssea frente ao repouso prolongado (DA SILVA, 2003).

Uma maior diferença pode ser observada na comparação entre os Grupos E e S, onde pelo de ensaio mecânico com a força máxima e a rigidez, bem como densitometria óssea através da DMO e CMO, caracterizam um fortalecimento ósseo que conseqüentemente pode evitar fraturas ocasionadas por alguns tipos de queda.

Dados semelhantes foram encontrados em um estudo realizado por Vicentini et al. (2006) onde o grupo que permaneceu 21 dias em treinamento apresentou um aumento na espessura do osso em relação ao grupo que ficou suspenso por 21 dias. Demonstrando a eficácia do exercício físico para prevenção da osteopenia e suas conseqüentes fraturas, guardando as devidas proporções com relação a atividade física realizado, nesse caso os animais foram submetidos

a esteira, uma atividade aeróbica com menor resistência ao ser comparada com o exercício em escada.

A impossibilidade de movimento provocada por um período prolongado de repouso em leito pode provocar perda óssea de aproximadamente 4% ao mês em seres humanos (SILVA, 2003). O exercício físico aplicado aos animais suspensos gerou melhora significativa constatada pela comparação entre o Grupo E e os Grupos C e S para rigidez, concordando com Silva e Volpon (2004) reafirmando que o exercício físico ativa a remodelação óssea favorecendo um aumento de sua resistência. A DMO e CMO constatada por densitometria óssea demonstrou uma diferença significativa entre os Grupos S e SE, levando a crer que a suspensão resulta em uma hipoatividade e conseqüentemente a uma fragilidade relativa a osteoporose e também pode-se perceber que o exercício físico tem efeito positivo na recuperação da estrutura óssea (VARGAS et al., 2003).

Resultado esse encontrado em outros tipos de tratamento, como em ratas induzidas a osteopenia, ovariectomizadas e tratados com ultrassom, demonstrando um aumento similar na reabsorção óssea reduzindo a perda de massa e melhorando o processo de formação, sendo eficaz como tratamento (LIM et al., 2011).

A ausência de diferença estatística significativa na comparação de força máxima e rigidez no ensaio mecânico além de CMO e área na densitometria óssea demonstram uma recuperação óssea extremamente positiva elucidada pela comparação dos Grupos C e SE, caracterizando uma recuperação acelerada pelo exercício físico e confirmada pela comparação de C, E e SE.

O exercício físico resistido se mostrou eficaz na recuperação de animais induzidos a osteopenia através da suspensão pela cauda, a ausência de diferença estatística significativa entre os Grupos C e SE, relatada acima, reafirma a necessidade de estudos que compreendam melhor a eficácia relativa de tipos diferentes de atividade física, tais como exercício aeróbico e exercício resistido em regiões ósseas específicas.

## 5 Conclusão

A partir dos resultados obtidos, pode-se inferir que o exercício físico com carga resistida e intensidade adequada resulta em remodelação óssea positiva perante a suspensão pela cauda, que por sua vez induz uma fragilidade óssea semelhante à osteopenia, sendo eficaz no tratamento e prevenção dessa enfermidade.

## REFERÊNCIAS

ALVES, C.; LIMA, R. V. B. Impacto da atividade física e esportes sobre o crescimento e puberdade de crianças e adolescentes. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 26, n. 4, p. 383-91, 2008.

AMADEI, S. U.; SILVEIRA, V. A. S; PEREIRA, A. C; CARVALHO, Y. R; ROCHA, R. F. A influência da deficiência estrogênica no processo de remodelação e reparação óssea. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, v. 42 n. 1, p. 5-12, 2006.

APOLINÁRIO, J. C.; COELHO, W. M. D.; LOUZADA, M. J. Q. **Análise da influência do ultrassom de baixa intensidade na região de reparo ósseo em ratos sob ausência de carga**. *Fisioterapia e Pesquisa*, v. 18, n. 3, p. 275-279, 2011.

BARBOSA, A. A. et al. Bone mineral density of rat femurs after hindlimb unloading and different physical rehabilitation programs. **Revista Ceres**, v. 58, n. 4, p. 407-412, 2011.

BILEZIKIAN, J. P.; RAISZ, L. G.; MARTIN, T. J. (Ed.). **Principles of Bone Biology**: two-Volume Set. Elsevier: Academic Press, 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.

CAMPOS, L. M.; LIPHAUS, B. L.; SILVA, C. A.; PEREIRA, R. M. Osteoporose na infância e na adolescência. **Jornal de Pediatria** (Rio Janeiro), v. 79, n. 6, p. 481-488, 2003.

CARVALHO, D. C. L.; ROSIN, C.; GAMA, L. O. R. et al. Tratamentos não farmacológicos na estimulação da osteogênese. **Revista de Saúde Pública USP**, v. 36, n. 5, p. 647-54, 2002.

DANIACHI, D.; DOS SANTOS NETTO, A.; ONO, N. K.; et al. Epidemiologia das fraturas do terço proximal do fêmur em pacientes idosos. **Revista Brasileira de Ortopedia**, v. 50, n. 14, p. 371-377, 2015.

DOUGLAS, C. **Tratado de fisiologia aplicada às ciências médicas**. 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

FLEGAL, K. M.; CARROLL, M. D.; OQDEN, C. L.; JOHNSON, C. L. Prevalence and trends in obesity among US adults, 1999-2008. **Journal of the American Medicine Association**, v. 3, n. 303, p. 235-241, 2010.

HEDLEY, A. A.; OQDEN, C. L.; JOHNSON, C. L.; CARROL, M. D.; CURTIN, L. R.; FLEGAL, K. M. Prevalence of overweight and obesity among US children, adolescents, and adults, 1999-2002. **Journal of the American Medicine Association**, v. 291, p. 2847-2850, 2004.

HORNBERGER JUNIOR, T. A.; FARRAR, R. P. Physiological hypertrophy of the FHL muscle following 8 weeks of progressive resistance exercise in the rat. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v. 29, n. 1, p. 16-31, 2004.

LIM, D.; KO, C.Y.; SEO, D.H. et al. Low Intensity Ultrasound Stimulation Prevents Osteoporotic Bone Loss in Young Adult Borges et al. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária de Zootecnia**, v.66, n.2, p.339-346, 2014 Ovariectomized Mice. *J. Orthop. Res.*, v.29, p.116-125, 2011.

MELLO, L. C. P.; GOMIDE, L. B. Respostas físicas, químicas e biomecânicas do osso de ratas ovariectomizadas submetidas a diversas ingestões de flúor suplementar. **Revista de Nutrição Campinas**, v. 18, n. 5, p. 593-600, 2005.

PINHEIRO, M. M.; CICONELLI, R. M.; MARTINO, L. A.; FERRAZ, M. B. Clinical risk factors for osteoporotic fractures in Brazilian women and men: the Brazilian Osteoporosis Study (BRAZOS). **Osteoporosis International**, v. 20, p. 399-408. 2009.

SILVA, A. V.; VOLPON, J. B. Modelo de suspensão pela cauda e seu efeito em algumas propriedades mecânicas do osso do rato. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 12, n. 1, p. 22-31, 2004.

SILVA, C. C.; TEIXEIRA, A. S.; GOLDBERG, T. B. L. O esporte e suas implicações na saúde óssea de atletas adolescentes. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 9, n. 6, p. 426-432, 2003.

VARGAS, D. M.; RIGOTE, T.; GUTZ, C. et al. Mineralização óssea em crianças e adolescentes com diabetes melito tipo1. **Jornal de Pediatria**, v. 79, n. 3, p. 253-258, 2003.

VICENTINI, C. R. **Análise densitométrica, histomorfométrica e biomecânica em fêmures de ratos submetidos à ausência de carga e atividade física em esteira.** 82f. 2006. Tese (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Odontologia e Curso de Medicina Veterinária, 2006.

VISIGALLI, D.; STRANGIO, A.; PALMIERI, D.; MANDUCA, P. Hind limb unloading of mice modulates gene expression at the protein and mRNA level in mesenchymal bone cells. **BMC Musculoskeletal Disorders**, v. 11, n. 1, p. 147, 2010.