
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO
MOVIMENTO - INTERUNIDADES**

RAFAEL LUIZ DE MARCO

**IMPACTO DA MASSA MUSCULAR E TECIDO ADIPOSEO
SOBRE PARÂMETROS DE DENSIDADE, GEOMETRIA E
REMODELAÇÃO ÓSSEA DE MEMBROS INFERIORES ENTRE
ADOLESCENTES ENGAJADOS EM DIFERENTES ESPORTES:
ABCD – GROWTH STUDY**

Presidente Prudente, São Paulo, Brasil

2025

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO – INTERUNIDADES

RAFAEL LUIZ DE MARCO

IMPACTO DA MASSA MUSCULAR E TECIDO ADIPOSEO SOBRE PARÂMETROS DE DENSIDADE, GEOMETRIA E REMODELAÇÃO ÓSSEA DE MEMBROS INFERIORES ENTRE ADOLESCENTES ENGAJADOS EM DIFERENTES ESPORTES: ABCD – GROWTH STUDY

Projeto de tese de doutorado do Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento, apresentado à Faculdade de Ciências e Tecnologia FCT/UNESP, campus de Presidente Prudente para processo de qualificação para obtenção do título de doutor.

Orientador: Prof. Dr. Romulo Araújo Fernandes

FICHA CATALOGRÁFICA DA UNESP – BIBLIOTECA

D372i

De Marco, Rafael Luiz

Impacto da massa muscular e tecido adiposo sobre parâmetros de densidade, geometria e remodelação óssea de membros inferiores entre adolescentes engajados em diferentes esportes: ABCD – Growth Study / Rafael Luiz De Marco. -- Presidente Prudente, 2025

89 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientador: Romulo Araujo Fernandes

1. Adolescentes. 2. Densidade mineral óssea. 3. Esportes. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

IMPACTO DO TRABALHO RELACIONADO AOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

As Nações Unidas e seus parceiros no Brasil estão trabalhando para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. São 17 objetivos ambiciosos e interligados que abordam os principais desafios de desenvolvimento enfrentados pelas pessoas no Brasil e no mundo. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são um chamado global à ação para erradicar a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e prosperidade.

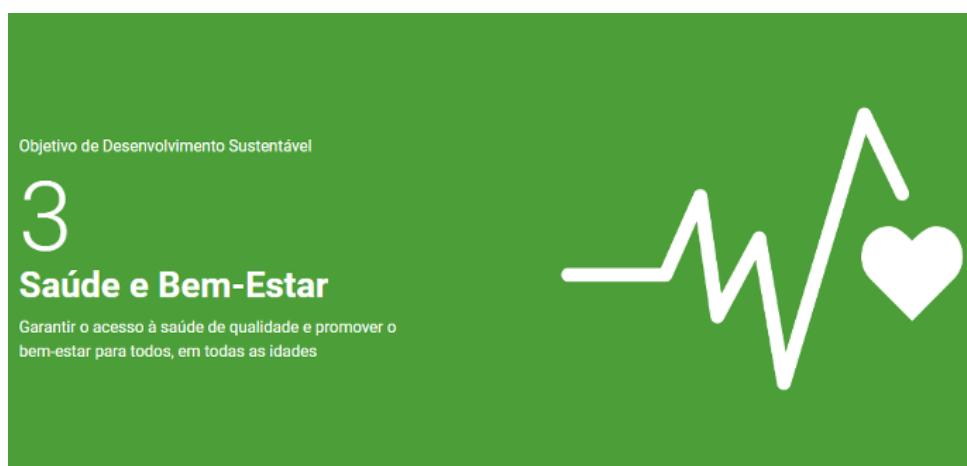
Por isso, esta tese apresenta informações relevantes para o desenvolvimento do objetivo: SAÚDE E BEM-ESTAR.

O Objetivo 3 visa garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos, em todas as idades. Para esta tese, o público-alvo são os adolescentes, que, por meio da prática esportiva, buscam aprimorar a integridade física, considerando os cuidados relevantes para a prática de atividades físicas.

The United Nations and its partners in Brazil are working to achieve the Sustainable Development Goals. These are 17 ambitious and interconnected goals that address the main development challenges faced by people in Brazil and around the world. The Sustainable Development Goals are a global call to action to eradicate poverty, protect the environment and climate, and ensure that people everywhere can enjoy peace and prosperity.

Therefore, this thesis presents information relevant to the development of the goal: HEALTH AND WELL-BEING.

Goal 3 aims to ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages. This thesis' target audience is adolescents, who, through sports, seek to improve their physical integrity, considering the relevant precautions for physical activity.



ATA DE DEFESA PÚBLICA DE TESE DE DOUTORADO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE RAFAEL LUIZ DE MARCO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE.

Aos 30 dias do mês de maio do ano de 2025, às 14h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de RAFAEL LUIZ DE MARCO, intitulada **IMPACTO DA MASSA MUSCULAR E TECIDO ADIPOSEO SOBRE PARÂMETROS DE DENSIDADE, GEOMETRIA E REMODELAÇÃO ÓSSEA DE MEMBROS INFERIORES ENTRE ADOLESCENTES ENGAJADOS EM DIFERENTES ESPORTES ABCD - GROWTH STUDY**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. DIEGO GIULLIANO DESTRO CHRISTÓFARO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Educação Física / UNESP - Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - SP, Profa. Dra. ANDREIA PELEGRINI (Participação Virtual) do(a) Universidade do Estado de Santa Catarina, Prof^a. Dra. VERA LÚCIA ZYMBAL (Participação Virtual) do(a) Escola Superior de Saúde da Universidade Politécnica de Setúbal, Prof. Dr. DANILO RODRIGUES PEREIRA DA SILVA (Participação Virtual) do(a) Universidade Federal de Sergipe - UFSE, Prof. Dr. LUIS ALBERTO GOBBO (Participação Virtual) do(a) UNESP - Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - SP. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: Aprovado . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. DIEGO GIULLIANO DESTRO CHRISTÓFARO



Documento assinado digitalmente

DIEGO GIULLIANO DESTRO CHRISTOFARO

Data: 16/06/2025 14:43:20-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedicatória

Aos meus pais, Valdemar de Marco e Leda Maria de Marco, e a minha esposa Rayana Loch Gomes e a todos aqueles que de alguma forma participaram deste processo de formação acadêmica e engrandecimento pessoal. Terei sempre eterna gratidão a vocês.

Agradecimentos

Gostaria de iniciar meus agradecimentos da forma mais sincera possível e dedicar a todos aqueles que de alguma forma contribuíram junto com a minha formação acadêmica como também minha formação e engrandecimento pessoal e social.

Inicialmente, dedico meus eternos agradecimentos aos meus pais (principalmente ao meu pai que nos deixou no dia 24/10/2023, mas tenho certeza de que está presente comigo neste momento e em tantos outros e que estará eternamente na minha memória) por todo amor, carinho, dedicação e educação que me dedicaram ao longo desses anos de vida. Quero lhes dedicar essa conquista acadêmica e pessoal a vocês, sei que vocês podem não ter dimensão do que este trabalho/processo representa e não espero que tenham (apesar de já ter explicado inúmeras vezes, risos), pois sei das limitações educacionais que vocês tiveram, mas sei também que estou honrando, do fundo do meu coração por todo esforço que dedicaram a mim com muito amor e humildade.

A minha esposa Rayana e a toda sua família que desde o início me reconheceram como membro dessa linda família, por todo esforço ao longo desses 14 anos juntos. Tenho certeza de que se você não estivesse entrado em meu caminho nada disso estaria acontecendo agora. Muito obrigado por todo o carinho, paciência e respeito que teve comigo durante todo esse tempo, e o principal de tudo, muito obrigado por todo amor que tem por mim e acredite, a reciprocidade é mais que verdadeira. Estarei sempre ao seu lado fazendo tudo o que puder para te fazer feliz. Te amo de uma maneira que nunca pensei em amar alguém.

Ao meu professor orientador Dr. Romulo Araújo Fernandes, que se faz muito relevante em meu caminho. Me sinto honrado em poder ser seu aluno durante os períodos de graduação, mestrado e agora, doutorado. Levarei comigo todos os seus ensinamentos, toda sua compreensão, conselhos, confiança e amizade, o senhor é um espelho de exemplos que tenho como referência e devo grande parte de minhas conquistas pessoais e acadêmicas ao senhor. Guardo comigo todos os momentos de respeito e lealdade e espero que esses se repitam inúmeras vezes. Espero que um dia possa ser o exemplo que o senhor foi para mim e poder inspirar as pessoas da mesma forma que o senhor as faz.

A todos os professores da graduação e pós-graduação, vocês tiveram um papel imprescindível neste processo e que apesar de todas as dificuldades continuam não medindo esforços para transmitir o melhor de cada um para nós alunos.

Aos Professores membros de minha banca julgadora, Prof. Dra. Andreia Pelegrini, Prof. Dra. Vera Lúcia Zymbal, Prof. Dr. Diego G. Destro Christofaro, Prof. Dr. Danilo Rodrigues

Pereira da Silva e Prof. Dr. Luís Alberto Gobbo por aceitarem nosso convite, acreditarem em meu trabalho e principalmente por toda paciência e contribuições no meu processo de formação. Tenho grande admiração pelos senhores.

Ao meu técnico Alison Leal das Neves, por toda paciência e ensinamentos, não só relacionados ao esporte, e aos conselhos sempre desejando o meu melhor, o senhor não faz ideia do quanto me ajudou em todos esses 19 anos, mesmo estando a distância. Ainda te chamo de professor, mas o senhor sabe que sua imagem para mim vai muito além desse substantivo.

Ao meu irmão que a Unesp me deu, companheiro de trabalho e amigo Ricardo Ribeiro Agostinete, por sempre ser solícito nas horas mais difíceis, mas principalmente pelo companheirismo e respeito que tem comigo ao longo desses 12 anos que te conheço, espero que eu possa ter contribuído em sua vida pelo menos uma fração do quanto você contribuiu na minha, muito obrigado, irmão.

Aos meus irmãos (que os considero família) da Casinha, Pedro Henrique Narciso Picci, Santiago Maillane Vanegas, Yuri Ventura, André Oliveira Werneck, Wesley Torres. Muito obrigado por tudo que vivemos juntos, todos os momentos felizes, tristes, de reflexões, de discussões etc. Tenho muito amor por todos vocês e serei sempre grato por tudo que me proporcionaram ao longo desses anos de convivência, contém sempre comigo.

Aos laços de amizade que estreitei, especialmente neste último ano de doutorado, alguns de vocês foram meus professores na graduação e pós-graduação, mas aqui peço com todo o respeito a licença de chamá-los de amigos. Fábio Santos Lira, Victor Spiandor Beretta, Barbara Antunes, Willian Rodrigues Tebar, Jose Gerosa-Neto, meus amigos, alguns já conheço de longa data e outros mais recentemente, mas quero-lhes agradecer por todo companheirismo e respeito que tiveram comigo ao longo deste último ano nesta reta final de doutorado com as coletas em Presidente Prudente e longe da minha esposa. Vocês foram muito importantes para mim ao longo deste tempo e sempre serei grato por todo tempo que estiveram ao meu lado, nas brincadeiras, nos conselhos, nas conversas no "almocinho", nos ensinamentos acadêmicos que me proporcionaram, no companheirismo e principalmente na amizade que criamos, espero que nossa amizade perdure para sempre, mesmo que a distância. Contém sempre comigo.

Aos meus amigos e companheiros de república por onde passei ao longo desse período acadêmico (desde o início da graduação até o momento), Michel Rocha Cardoso e Rodrigo Mongeroht (Rep. Bola Fora e Rep. Vacilo) por todos os momentos de descontração, conversas, brincadeiras e amizade que tivemos, vocês são irmãos que a vida me deu.

A minha supervisora de estágio de pesquisa no exterior na universidade de Lisboa - PT, Prof. Dra. Fátima Baptista. Obrigado por me aceitar como seu aluno ao longo de 12 meses e que

mesmo sem me conhecer previamente me dedicou confiança e amizade desde o início, terei sempre eterna gratidão a senhora por todos os momentos que esteve ao meu lado me ensinando e contribuindo de uma maneira não imaginária que fosse possível. Vossa generosidade e conhecimento são de um tamanho imensurável e serei sempre grato por ter vivido esta experiência sob sua supervisão, muito obrigado.

Ao meu primo Anderson Cassol que ao longo do período que fiquei no exterior, pude, por uma grande coincidência, dividir a mesma residência. Esse período resultou em uma aproximação muito significativa entre mim e você e que a distância e o tempo haviam corrompido, nesse tempo resgatamos lembranças das nossas infâncias, sua companhia e amizade vão para além do parentesco familiar. Muito obrigado por tudo que fez por mim e espero um dia poder retribuir.

Aos amigos Zacaria e Afonso, que apesar de conhecê-los a pouco tempo tenho imensa consideração e carinho, vossa amizade também tem peso relevante neste momento.

Agradeço a secretaria de Esportes de Presidente Prudente (SEMEPP) pela parceria de todas as modalidades envolvidas com o nosso projeto. Aos treinadores, meu muito obrigado por confiar em meu trabalho e eterna admiração pelo excepcional trabalho desenvolvido com as equipes.

A todos os atletas de todas as modalidades, meu muito obrigado, sem o empenho e dedicação de cada um de vocês nada teria acontecido.

Aos servidores da FCT/UNESP, por todo empenho e dedicação em prol do nosso desenvolvimento.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP processos (2019/22754-3 e 2022/05097-1) as quais me proporcionaram usufruir de bolsa de estudos em meu doutorado e estágio de pesquisa no exterior (BEPE), muito obrigado pelo apoio financeiro disponibilizado durante meu período acadêmico na pós-graduação, para além do desenvolvimento acadêmico sua contribuição pode me proporcionar experiências que jamais imaginei viver, principalmente através do estudo. Seu impacto na vida dos estudantes é imensurável e desejo que esta fundação e seus investimentos nunca acabem.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2019/22754-3.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da FAPESP”.

Impacto da massa muscular e tecido adiposo sobre parâmetros de densidade, geometria e remodelação óssea de membros inferiores entre adolescentes engajados em diferentes esportes: ABCD – Growth Study

Beneficiário: Rafael Luiz de Marco

Orientador: Prof. Dr. Romulo Araújo Fernandes

RESUMO

Introdução: Nos últimos anos a osteoporose vem chamando a atenção dos pesquisadores e serviços de saúde pública devido seus grandes custos de tratamento para a sociedade de modo geral. No entanto, o período da infância e da adolescência é considerado primordial, principalmente para os ganhos de massa óssea. Nesse sentido, a literatura ainda discute quais são os efeitos dos tecidos muscular e adiposo sobre a densidade mineral óssea de crianças e adolescentes. **Objetivo:** Analisar o efeito da massa muscular e tecido adiposo sobre adaptações ocorridas na estrutura óssea de membros inferiores de adolescentes engajados em diferentes esportes e identificar se os possíveis efeitos osteogênicos da massa muscular sobre parâmetros de densidade, geometria e remodelação óssea de membros inferiores são mediados pelo tecido adiposo. **Métodos:** Estudo longitudinal com vinte e quatro meses de seguimento (coletas foram realizadas em três momentos, considerando um período de 12 meses a cada coleta de dados) que foi conduzido na cidade de Presidente Prudente. A amostra foi composta por ao menos 86 jovens classificados como: Controle (não engajados em atividades esportivas organizadas), Esporte de menor impacto mecânico (natação) e Esportes de maior impacto mecânico (atletismo, basquetebol, judô, ginástica artística e futebol). Os parâmetros ósseos de densidade (DMO [g/cm^2]) e conteúdo (CMO [g]) foram mensurados pela técnica de densitometria óssea [dual-energy X-ray absorptiometry – DEXA], (marca General Electrics, modelo WH – Prodigy Primo), a geometria óssea foi obtida através da análise Femur Advanced Hip Assessment (AHA). Foram tratados como variáveis de confusão: idade cronológica, maturação biológica e através de análises sanguíneas foram mensurados valores séricos de hormônio do crescimento GH e de formação óssea (P1NP [$\mu\text{g}/\text{L}$] e CTX [$\mu\text{g}/\text{L}$]). **Resultados:** Entre os meninos, a força de reação contra o solo esportiva foi positivamente relacionada a ganhos em densidade ($r = 0,251$; $p\text{-valor} = 0,015$ [tamanho do efeito pequeno]), CSMI ($r = 0,215$; $p\text{-valor} = 0,015$ [tamanho do efeito pequeno]) e CSA ($r = 0,305$; $p\text{-valor} = 0,002$ [tamanho do efeito moderado]). Entre as meninas, a força de reação contra o solo esportiva foi positivamente relacionada a ganhos em CSA ($r = 0,489$; valor de $p = 0,001$ [tamanho do efeito moderado]) e Módulo de Seção ($r = 0,312$; valor de $p = 0,024$ [tamanho do efeito moderado]). Em ambos os sexos e em todos os modelos, o tecido mole magro teve efeito significativo na densidade e geometria óssea. **Conclusão:** Tanto em modelos transversais quanto longitudinais, a massa muscular demonstrou ser a principal determinante da estrutura óssea (incluindo densidade e geometria) apresentando tamanho de efeito significativamente superior ao das demais variáveis analisadas. A força de reação contra o solo figurou significativamente, mas assumindo um papel secundário.

Palavras-chave: Adolescentes; Densidade mineral óssea; Esportes.

ABSTRACT

Introduction: In recent years, osteoporosis has attracted the attention of researchers and public health services due to its high treatment costs for society in general. However, the period of childhood and adolescence is considered essential, especially for bone mass gains. In this sense, the literature still discusses the effects of muscle and adipose tissue on bone mineral density in children and adolescents. **Objective:** To analyze the effect of muscle mass and adipose tissue on adaptations that occur in the bone structure of the lower limbs of adolescents engaged in different sports and to identify whether the possible osteogenic effects of muscle mass on parameters of density, geometry and bone remodeling of the lower limbs are mediated by adipose tissue. **Methods:** Longitudinal study with twenty-four months of follow-up (Collections will be performed at three moments, considering a period of 12 months for each data collection) that will be conducted in the city of Presidente Prudente. The sample will consist of at least 197 young people classified as: Control (not engaged in organized sports activities), Sports with lower mechanical impact (swimming) and Sports with higher mechanical impact (track and field, basketball, karate, kung fu, judo, tennis, baseball, artistic gymnastics and ballet). Bone density (BMD [g/cm²]) and content (BMC [g]) parameters will be measured by bone densitometry [dual-energy X-ray absorptiometry – DEXA] (General Electrics brand, model WH – Prodigy Primo), bone geometry was obtained through the Femur Advanced Hip Assessment (AHA) analysis. The following confounding variables were treated: chronological age, biological maturation and serum values of growth hormones GH and bone formation (P1NP [ug/L] and CTX [ug/L]) were measured through blood tests.. **Results:** Among boys, athletic ground reaction force was positively related to gains in density ($r = 0.251$; $p\text{-value} = 0.015$ [small effect size]), CSMI ($r = 0.215$; $p\text{-value} = 0.015$ [small effect size]), and CSA ($r = 0.305$; $p\text{-value} = 0.002$ [moderate effect size]). Among girls, athletic ground reaction force was positively related to gains in CSA ($r = 0.489$; $p\text{-value} = 0.001$ [moderate effect size]) and Section Modulus ($r = 0.312$; $p\text{-value} = 0.024$ [moderate effect size]). In both sexes and in all models, lean soft tissue had a significant effect on bone density and geometry. **Conclusion:** In both cross-sectional and longitudinal models, muscle mass was shown to be the main determinant of bone structure (including density and geometry), with a significantly higher effect size than the other variables analyzed. Ground reaction force was significantly present, but assumed a secondary role.

Key words: Adolescents; Bone mineral density; Sports

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCD Growth Study – Análise de comportamentos de crianças durante o crescimento
CMO – Conteúdo Mineral Ósseo
DMO - Densidade Mineral óssea
PVC – Pico de velocidade do Crescimento
MM – Massa Muscular
aDMO - Densidade Mineral Óssea Aparente
CG - Gordura Corporal
FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
CAPES – Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior.
DXA – Absorciometria de raios X de dupla energia.
CSA - Cross-sectional moment of inertia
CSMI - Section modulus
IC – Intervalo de confiança.
LIVE – Laboratório de investigação em exercício.
TMM– Tecido mole magro.
AFMV – Atividade física moderada e vigorosa.
MI – Membros inferiores
FRS – Força de reação ao solo
TCO – Taxa de crescimento ósseo
OMS – Organização Mundial da Saúde.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVO	20
2.1 Geral	20
2.2 Específicos	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 Procedimentos Éticos	21
3.2 Cálculo de Tamanho Amostral	21
3.3 Amostragem e Critérios de Inclusão e Exclusão	21
3.4 Estratégias para Redução de Perdas Durante a Coorte	23
3.5 Densidade, Geometria e Parâmetros Sanguíneos de Formação Óssea	23
3.6 Modalidades Esportivas	25
3.7 Variáveis de Confusão	25
3.8 Análise Estatística	26
4- RESULTADOS	27
4.1- Artigo Original transversal (publicado na Archives of Osteoporosis)	27
4.2 - Artigo Original longitudinal	47
6- CONCLUSÕES GERAIS DA TESE	69
7- REFERÊNCIAS DA TESE	70
8- DESCRIÇÕES DAS ATIVIDADES ACADÊMICAS (CURSOS, PUBLICAÇÕES, CONFERÊNCIAS) DURANTE O CURSO DE DOUTORADO.	76
9- APÊNDICES	82

1 INTRODUÇÃO

As primeiras duas décadas de vida são fundamentais para a formação do esqueleto humano, pois a maior parte do conteúdo mineral ósseo (CMO) observado no esqueleto adulto é mineralizado até o final do período maturacional (Malina; Bouchard, 2002). Esse aspecto da biologia humana torna a infância e, principalmente, a adolescência períodos chave na prevenção de doenças que afetam o esqueleto humano na velhice, caso da osteoporose (Wang, Qingju et al., 2009; Rizzoli et al., 2010; Gracia-marco, L. et al., 2012).

Nesse sentido, a literatura especializada tem buscado identificar os principais agentes que afetam a formação do esqueleto humano nas fases pediátricas, bem como os meios pelos quais eles estimulam ou inibem a osteogênese (Rizzoli et al., 2010; Gracia-marco, L. et al., 2012). Dentre os muitos fatores que comprovadamente afetam a formação óssea durante a infância e a adolescência (hormonais, nutricionais e comportamentais), este documento versará mais profundamente sobre três agentes: a prática de atividades físicas (mais especificamente a prática de atividades esportivas), a massa muscular e o tecido adiposo.

A prática esportiva representa a principal manifestação de exercício físico durante a adolescência (Guedes, D. P.; Guedes, J. E. R. 1995). Esta característica epidemiológica faz com que ela assuma um papel relevante na formação óssea e, subsequentemente, na prevenção da osteoporose na velhice (Cooper et al., 2006), pois a adolescência caracteriza-se como período maturacional de maior e mais acelerada formação óssea (Rizzoli et al., 2010). Existem discussões atuais acerca do impacto da prática esportiva sobre a ocorrência de lesões e fraturas ósseas entre crianças e adolescentes (Scheidt PC et al., 1995; Walsh SS, Jarvis SN, Towner EM, Aynsley-Green A, 1996; Landin LA, 1997). Contudo, estudos já publicados pelo nosso grupo de pesquisa indicam que um dos principais mecanismos que relacionam a prática esportiva aos ganhos adicionais de CMO é o impacto mecânico. Esportes com impacto estimulam o recrutamento de osteoblastos, o que pode favorecer o aumento da matéria orgânica no tecido ósseo. Esse mesmo mecanismo também pode contribuir para a redução do risco de fraturas (Lynch et al., 2017; Lynch et al., 2018). Ações mecânicas rotineiramente identificadas na prática de muitos esportes (saltos, corridas, rolamentos, mudanças rápidas de direção) geram sobrecarga na matriz óssea e, por consequência, elevam o recrutamento de osteoblastos e quantidade de matéria inorgânica acumulada no tecido ósseo (Kohrt, Wendy M. et al. 2004; Tenforde e Fredericson (2011), reduzindo também o risco de fraturas ósseas decorrente de trauma (Lynch et al. 2017; Lynch et al., 2018).

Embora o assunto esteja longe de consenso definitivo, estudos atuais têm indicado que atividades esportivas realizadas no solo e que geram sobrecarga sobre o esqueleto são potencialmente osteogênicas (exemplo: futebol, basquetebol, voleibol, modalidades esportivas de combate e ginástica) (Ito et al., 2017; Lozano-Berges et al. 2018; Valente- dos-Santos et al. 2018; Exuperio et al. 2019; Agostinete et al. 2016), ao passo que atividades esportivas realizadas em meio líquido (natação, polo aquático, etc.) têm suas características osteogênicas questionadas (Agostinete et al. 2016; Maillane-Vanegas et al. 2018; Agostinete et al, 2017; Gomez-bruton et al, 2015) sendo até consideradas como menos benéfica à saúde óssea por alguns estudos (Agostinete et al., 2017; Vlachopoulos et al., 2017; Gómez-Bruton A et al., 2016).

Além disso, outros agentes também são estimulados pela prática esportiva e atuam na relação entre exercício físico e formação óssea e, assim, não podem ser ignorados, caso do hormônio do crescimento (GH) (Veldhuis JD, Iranmanesh A, 1996; Mauras N et al., 1996; Martinelli CE Jr et al., 2005) e marcadores de formação e reabsorção óssea (osteocalcina e telopeptídeo carboxiterminal do colágeno tipo I [CTX]) (Jinqiao Li et al., 2016; Junqueira, L.; Carneiro, J 2008). A osteocalcina, uma proteína da matriz óssea não colagênica, é utilizada como marcador de formação óssea (Junqueira, L.; Carneiro, J 2008). Por outro lado, CTX constitui um marcador de reabsorção óssea (Jinqiao Li et al., 2016; Junqueira, L.; Carneiro, J 2008). Estes marcadores de formação e reabsorção óssea são valiosos indicadores do processo de remodelação óssea e, necessariamente, devem figurar em modelos estatísticos analisando a temática entre populações pediátricas.

Outra característica observada na prática esportiva e que a caracteriza como um potencial agente osteogênico na infância e adolescência é a sua capacidade de gerar ganhos de massa muscular (MM) (Malina; Bouchard, 2002). A contração muscular realizada durante a prática esportiva exerce um estresse mecânico na matriz óssea, principalmente nas regiões epifisárias e mediais do osso, acarretando adaptações ao estresse que está sendo imposto a matriz óssea, desencadeando assim um processo de acúmulo de massa óssea na região sob estresse (remodelação) (Ducher, Gaële et al., 2005; Ducher, Gaële et al., 2006). Segundo Tenforde e Fredericson (2011), o processo de remodelação óssea ocorre devido a tensão muscular gerada na matriz óssea que leva a um maior recrutamento de osteoblastos na região do osso sob estresse, estimulando uma resposta osteogênica frente a ação muscular sintetizando maiores níveis de massa óssea (Tenforde e Fredericson, 2011). O papel da MM sob a formação óssea é tão grande que se eliminado seu efeito sobre a matriz óssea, adolescentes do sexo feminino passam a ter maiores valores de densidade mineral óssea (DMO) do que seus pares do sexo masculino (Luiz-de-Marco et al., 2019).

No complexo cenário acima descrito, o tecido adiposo constitui um terceiro agente que

parece ter um papel relevante no desenvolvimento ósseo. Este papel tem sido cada vez mais investigado mundialmente devido a alarmante e crescente ocorrência de obesidade infantil em todo o mundo (NCD-RisC et al., 2018), a qual levanta preocupações sobre o seu efeito em diferentes componentes da saúde pediátrica, incluindo a formação óssea. Porém, a direção da relação entre massa gorda e desenvolvimento ósseo em grupos pediátricos ainda não é clara (Chaplais et al., 2015).

De fato, o tecido ósseo é uma estrutura afetada por aspectos físicos e, sendo assim, principalmente nos membros inferiores, não apenas a tensão gerada pela contração muscular, mas também o simples ato de sustentar o corpo contra a ação da gravidade (acentuado pelo maior peso corporal decorrente da maior quantidade de tecido adiposo) é benéfico para o esqueleto (Petit et al., 2005; Scott et al., 2008; Robling et al., 2009). Da mesma forma, avaliar esse fenômeno nos membros inferiores parece mais lógico do que em outras partes do esqueleto. No entanto, a maioria dos estudos que avaliam o impacto simultâneo da massa magra e gorda sobre parâmetros ósseos de corpo total e membros inferiores não leva em conta essa particularidade metodológica (Goulding, A; Grant, A M; Williams, S M. 2005; Freitas Júnior et al., 2013; Rocher et al., 2008), bem como, sendo a maior parte deles transversais e não consideram parâmetros geométricos do tecido ósseo, bem como o efeito do tamanho corporal nas análises de DMO, por meio da utilização da densidade mineral óssea aparente (DMOa), os quais permitem maior entendimento sobre eventuais adaptações estruturais ou fragilidades do osso.

O quadril é a região corporal mais afetada pela osteoporose ao redor de todo mundo (Reginster, JY; Burlet, N, 2006) e por esse motivo merece maior atenção por parte dos profissionais de saúde. Entretanto, estudos realizados e disponíveis até o momento na literatura apenas consideram valores de DMO do quadril (Meulen MC, Jepsen KJ, Mikic B, 2001) (conforme citado no parágrafo anterior). A geometria óssea pode ser caracterizada como a compreensão das propriedades do material presente no tecido ósseo em determinada região corporal, bem como onde este material está distribuído (Meulen MC, Jepsen KJ, Mikic B, 2001), sendo geralmente interpretada por meio de análise de diferentes variáveis como: diâmetro do osso, área total da superfície óssea do quadril, área de seção óssea, área óssea total, momento de inércia da seção transversal (CSMI) e variáveis de propriedade material (módulo de elasticidade, dentre outros) (Beck, TJ, 2007; Ferretti, JR, 1995; Meulen MC, Jepsen KJ, Mikic B, 2001). Assim como a DMO, a geometria óssea também é afetada por aspectos físicos (influência da massa magra e massa gorda), todavia não há estudos analisando essa influência de forma detalhada.

Além disso, tratando-se especificamente da DMO, a DMO gerada pelo DXA refere-se a uma variável bidimensional e por isso, interpretada como g/cm^2 . Apesar de amplamente utilizada, essa variável possui limitação por não considerar o tamanho corporal em sua interpretação. Desta

forma, a utilização da densidade mineral óssea aparente (DMOa) parece ser uma boa opção para corrigir o efeito do tamanho corporal na DMO (Katzman, D. K., L. K. Bachrach, D. R. Carter, and R. Marcus, 1991; Rocher et al., 2008), utilizando equação desenvolvida por Katzman et al. (1991), a qual fornece uma densidade mineral óssea volumétrica e interpretada como g/cm^3 .

Uma questão levantada na elaboração deste projeto foi o papel confuso da massa gorda sobre a relação entre massa magra e variáveis ósseas, principalmente porque adolescentes obesos têm maior massa magra em termos absolutos do que adolescentes não obesos (tratando-se especificamente de adolescentes fisicamente inativos) (Freitas Júnior et al., 2013; Shapses e Sukumar, 2012). De fato, um aspecto difícil de medir é quão participativo é a massa de gordura na osteogênese atribuída a aspectos de sobrecarga mecânica. De fato, se a massa de gordura de todo o corpo é considerada em valores absolutos, os adolescentes com maior massa gorda tendem a ter uma densidade óssea significativamente maior (Winther et al., 2018), levando a resultados confusos. Por outro lado, se a massa gorda é considerada em valores relativos ou a distribuição do tecido adiposo é levada em consideração (gordura visceral), a relação torna-se inversamente proporcional (Freitas Júnior et al., 2013; Chaplais et al., 2015). Essa segunda abordagem parece justificar-se no fato de que o tecido adiposo libera marcadores pró-inflamatórios na corrente sanguínea que atuam na diferenciação dos osteoclastos e aumentam a reabsorção óssea (Chaplais et al., 2015; Cao et al., 2011), principalmente quando a obesidade é diagnosticada.

Nesse sentido, analisando o pano de fundo acima descrito, fica claro a urgência em se determinar de que forma o tecido adiposo afeta a formação óssea entre adolescentes, bem como, se ele é capaz de mediar os ganhos ósseos ou adaptações em sua microarquitetura acarretadas pelos ganhos de MM oriundos da prática esportiva.

2 OBJETIVO

2.1 Geral

Analisar o efeito da massa muscular e tecido adiposo sobre adaptações ocorridas na estrutura óssea de membros inferiores de adolescentes engajados em diferentes esportes.

2.2 Específicos

Investigar quais variáveis relacionadas à participação esportiva (por exemplo, marcadores de remodelação óssea, FRS, intensidade do esporte, tecido mole magro e força) são mais consistentemente relacionadas à densidade e geometria óssea entre adolescentes.

Identificar o impacto da FRS atribuída à participação esportiva nas alterações de marcadores de densidade e geometria óssea de adolescentes de ambos os sexos, bem como identificar outros deterministas relevantes neste fenômeno.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Procedimentos Éticos

O projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Presidente Prudente (CAAE: 57585416.4.0000.5402 / Parecer: 1.677.938/2016).

3.2 Cálculo de Tamanho Amostral

O cálculo do tamanho amostral mínimo necessário para a realização do estudo foi baseado em desfecho numérico e utilizou uma equação para determinação de relacionamento linear (Miot, 2011 [Figura 1]). Foi efetuado um cálculo amostral envolvendo um poder de 80% e alfa de 5% ($Z = 1,96$). Na dissertação de mestrado do candidato a bolsa de doutorado (FAPESP 2017/13003-9), após 12 meses de seguimento, os ganhos de DMO foram significativamente relacionados a ganhos de massa muscular ($r = 0.661$; $p\text{-valor} = 0,001$) e com tecido adiposo ($r = -0.199$; $p\text{-valor} = 0,005$). Efetuando-se cálculos de tamanho da amostra considerando ambos os coeficientes observados, adotou-se o maior. Por fim, o tamanho amostral mínimo estimado foi de 197 jovens a serem acompanhados por 12 meses de seguimento.

$$n = 4 + \left(\frac{(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})}{0,5 \cdot \ln \left(\frac{1+r}{1-r} \right)} \right)^2$$

Figura 1. Equação para estimativa de tamanho da amostra. (Fonte: MIOT, 2011, p.275).

3.3 Amostragem e Critérios de Inclusão e Exclusão

O trabalho de campo está organizado para envolver três coletas neste projeto de doutorado: Coleta-1: medidas de linha de base (onda 1), Coleta-2: medidas após 12 meses de seguimento (onda 1) e medidas de linha de base (onda 2) e Coleta-3 medidas após 12 meses de seguimento (onda 2) (**Figura 2**).

Informações referentes ao sexo, idade cronológica, etnia e características socioeconômicas, foram relatadas pelo avaliado durante entrevista face-a-face, na qual foram fornecidas informações adicionais para o cadastro dele no banco de dados do estudo.

Os adolescentes foram recrutados em 11 unidades escolares e em clubes esportivos da região metropolitana de Presidente Prudente, para tanto já existe autorização das Secretarias Municipais de Ensino e Esporte. Os adolescentes participantes estavam matriculados tanto na rede pública (unidades escolares mantidas por entidades sem fins lucrativos também foram consideradas) como na rede privada de ensino da cidade. Para a seleção destes adolescentes, foram adotados como critérios de inclusão: i) idade entre 11 e 17 anos; ii) não apresentar nenhum distúrbio clínico ou metabólico (previamente diagnosticado) que possa influenciar na prática de atividade física habitual; iii) prática de ao menos 12 meses de natação (nível nacional e internacional) ou 12 meses sem prática de esportes organizados (controle); iv) o responsável legal assinar o termo de consentimento livre e esclarecido.

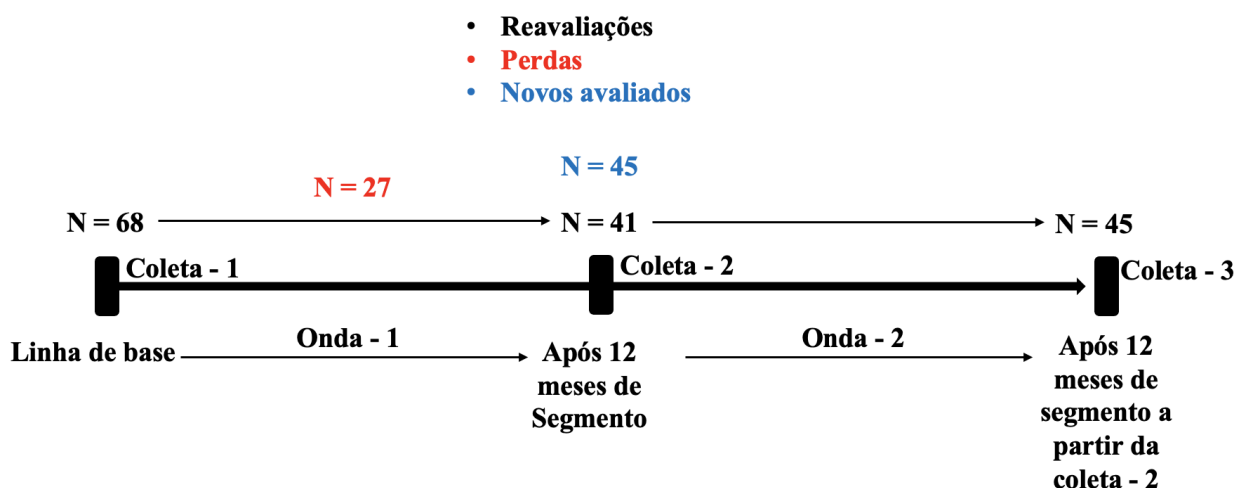


Figura 2. Planejamento das coletas.

Nota. Coletas foram realizadas em três momentos, considerando que um período de 12 meses de seguimento talvez não seja suficiente para alcançar o tamanho amostral mínimo calculado para o estudo. Assim, na Coleta-2, um novo grupo começou a ser seguido, o qual foi reavaliado na Coleta 3 (12 meses).

3.4 Estratégias para Redução de Perdas Durante a Coorte

A cidade de Presidente Prudente está localizada na região oeste do Estado de São Paulo e caracteriza-se como o maior município da região. Esta característica, somada ao fato de a cidade abrigar em seu perímetro urbano quatro faculdades e uma universidade, permite que a cidade seja um núcleo de ensino e aumenta a chance dos adolescentes avaliados no início do seguimento mantenham suas residências na cidade após o final do ensino médio. Alguns cuidados metodológicos foram tomados para assegurar uma menor taxa de perda amostral: (i) Além dos endereços residencial e eletrônico, os números de telefone (fixo e móvel) dos responsáveis foram registrados; (ii) O telefone de contato, endereço residencial e eletrônico de ao menos dois parentes de primeiro grau (um materno e um paterno) foram registrados; (iii) Uma vez que as escolas e clubes esportivos são as intermediárias entre os pesquisadores e a amostra analisada, as Secretarias Municipais de Ensino e Esporte auxiliaram no acompanhamento destes jovens, mesmo que as crianças mudem de unidade escolar ou clube esportivo; (iv) Otimização do tempo de trabalho de campo e logística da coleta de dados, a fim de que os avaliados se desloquem até o laboratório na universidade, o menor número de vezes possível para completar as análises propostas no presente estudo.

3.5 Densidade, Geometria e Parâmetros Sanguíneos de Formação Óssea

Os parâmetros ósseos de densidade (DMO [g/cm²]) e conteúdo (CMO [g]) foram mensurados pela técnica de densitometria óssea [dual-energy X-ray absorptiometry – DXA], (marca General Electrics, modelo WH – Prodigy Primo). O aparelho foi calibrado antes do início das medidas, seguindo as recomendações do fabricante e foram realizados os exames de corpo inteiro e da cabeça do fêmur. As medidas foram conduzidas por um único avaliador previamente treinado e, durante o exame, todos os participantes usaram vestimentas leves, estavam descalços e sem nenhum pertence de metal junto ao corpo. Para as leituras de corpo todo, os valores de gordura corporal (GC), DMO e CMO foram mensurados pelo software enCORE v17 SP2 Prodigy, Lunar iDXA. Medidas de DMO foram analisadas em corpo inteiro e extraídas das leituras de membros inferiores (Khoo BC, 2005; Vlachopoulos et al., 2017). Por fim, a DMOA do colo femoral foi calculada a partir dos dados obtidos nas leituras de quadril utilizando a fórmula proposta por Katzman (1991), permitindo uma interpretação volumétrica da DMO. $DMOA \text{ de colo femoral} = \text{colo femoral CMO} / (\text{área óssea do colo femoral}^2)$

Adicionalmente, este aparelho, usando o enCORE v17 SP2 Prodigy Advance software, o dispositivo DXA foi capaz de calcular parâmetros da geometria óssea a partir de leituras feitas na cabeça do fêmur (Avaliação avançada do quadril [AHA]). Assim, foram estimados os parâmetros geométricos: cross-sectional área- área total da superfície óssea do quadril excluindo a área de tecido mole e osso trabecular (CSA [mm²]), cross-sectional moment of inertia- índice de rigidez estrutural e reflete a distribuição de massa no centro da estrutura óssea (CSMI [mm⁴]), section modulus- indicador da resistência máxima da cabeça do fêmur à flexão (cm³) e buckling ratio- é um índice de instabilidade da estrutura (unidade de medida adimensional) (Ubago-Guisado, et al. 2018).

Parâmetros sanguíneos de remodelação óssea foram considerados neste projeto. A osteocalcina (ng/mL) como marcador de formação óssea e o CTx (ng/mL) como marcador de reabsorção óssea. As coletas de sangue foram realizadas no período matutino, respeitando jejum total de 12 horas, por um profissional qualificado para tal técnica, em um laboratório particular do município de Presidente Prudente, o qual possui todas as certificações exigidas pelos órgãos de fiscalização nacionais.

3.6 Modalidades Esportivas

O referido projeto de pesquisa acompanhou jovens não engajados e engajados em diferentes esportes (atletismo, basquetebol, caratê, kung fu, judô, tênis, baseball, ginástica artística, ballet e natação). Seguindo características relacionadas a impacto ósseo (Agostinete et al., 2016), a amostra foi subdividida em: Controle (não engajados em atividades esportivas organizadas), Esporte de menor impacto mecânico (natação) e esportes de maior impacto mecânico (atletismo, basquetebol, caratê, kung fu, judô, tênis, baseball, ginástica artística e ballet).

3.7 Variáveis de Confusão

Algumas variáveis são reconhecidas na literatura como determinantes do desenvolvimento ósseo durante a adolescência (Ubago-Guisado, et al., 2018) e foram tratadas como variáveis de ajuste nos modelos multivariados criados. Informações referentes ao sexo, idade cronológica, etnia e características socioeconômicas são relatadas pelo avaliado durante entrevista face-a-face para o seu cadastro como participante no banco de dados do estudo. A maturação somática foi estimada pelo pico

de velocidade de crescimento (PVC) utilizando modelos matemáticos baseados em medidas antropométricas (massa corporal, estatura, altura tronco-cefálica) (Moore et al., 2015). Estas equações apresentam o tempo (em anos) que falta (valores negativos) ou já passado (valores positivos) para o PVC, o qual se caracteriza como importante evento biológico presente no processo de maturação humana.

Tabela 1. Fórmulas matemáticas previstas por Moore et al. 2015 para calcular a maturação somática.

Sexo	
Meninos	$-7.999994 + [0.0036124 \times (\text{idade} \times \text{estatura})]$ $R^2 = 0.896$; SEE = 0.542
Meninas	$-7.709133 + [0.0036124 \times (\text{idade} \times \text{estatura})]$ $R^2 = 0.898$; SEE = 0.548

SEE= erro padrão da estimativa

Valores de hormônio do crescimento (GH) foram mensurados por meio de análises sanguíneas. Por fim, a prática habitual de atividades físicas (fora do ambiente esportivo) foram avaliadas por meio de acelerômetros (Modelo Polar V800). Os adolescentes utilizaram o relógio durante todos os 7 dias da semana afim de monitorar suas atividades, tanto de lazer como durante a prática esportiva. Durante uma semana regular de treinamento, a frequência cardíaca (FC) durante as sessões de treinamento foi monitorada usando um sensor Polar OH1 (Polar Electro®, Finlândia) e usada como uma medida da intensidade do treinamento. A porcentagem da FC máxima prevista (220 bpm - idade cronológica) foi considerada usando as zonas de intensidade polar (50-60% muito leve; 61-70% leve; 71-80% moderada; 81-90% intensa; 91-100% muito intensa), e o tempo gasto em $\geq 71\%$ da FC máxima foi definido como atividade física moderada a vigorosa (AFMV). Assim, a participação esportiva semanal foi considerada (AFMV x frequência de treinamento [expressa em min/dia]). Adolescentes no Grupo Controle receberam zero para esta variável.

3.8 Análise Estatística

Estatísticas descritivas foram compostas de média, desvio-padrão (DP), intervalos de confiança de 95% (IC95%) e frequências (%). O teste t de Student foi usado para comparar meninos versus meninas. A análise de covariância (ANCOVA) foi usada para comparar densidade óssea/geometria de acordo com a participação esportiva ajustada por variáveis previamente determinadas (variáveis relacionadas à participação

esportiva e covariáveis), enquanto post-hoc foi usado quando necessário (teste de Bonferroni). O teste de Levene foi usado para avaliar a suposição de homogeneidade de variâncias e as medidas de tamanho do efeito foram expressas em termos de eta-quadrado ($<0,01$ tamanho de efeito trivial; $0,01-0,059$ tamanho de efeito pequeno; $0,06-0,139$ tamanho de efeito moderado; $\geq 0,140$ tamanho de efeito grande).

A relação entre densidade/geometria óssea e todas as variáveis foi avaliada por meio de regressão linear, expressa como β e seu IC95%. Nos modelos multivariados, todas as variáveis independentes foram inseridas simultaneamente, e a suposição de multicolinearidade foi avaliada por meio de fatores de inflação de variância (valores satisfatórios $< 5,0$). A significância estatística foi estabelecida em valor de $p < 0,05$ e todas as análises foram realizadas com o software Stata (versão 16.0).

Nos modelos multivariados, todas as variáveis independentes foram inseridas simultaneamente, e a suposição de multicolinearidade foi avaliada por meio de fatores de inflação de variância (valores satisfatórios $< 5,0$). Além disso, os parâmetros dos modelos de regressão linear também foram expressos como coeficientes padronizados (r) para fornecer medidas de tamanho do efeito: $r = 0,10-0,29$ (pequeno), $r = 0,30-0,49$ (moderado), $r = 0,50-0,69$ (grande) e $r \geq 0,70$ (muito grande) (Maher et al. 2013). O diagnóstico de colinearidade foi avaliado pelo índice de inflação de variância (VIF), no qual valores $< 5,0$ foram considerados satisfatórios. A significância estatística foi definida em valor de $p < 0,05$ e todas as análises foram realizadas usando o software Stata (versão 16.0).

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, os resultados e a discussão da tese serão apresentados como dois artigos científicos.

O primeiro manuscrito, intitulado “Pathways linking sports participation to bone density and geometry among adolescents: ABCD Growth Study” foi publicado no periódico *Archives of Osteoporosis* em 28/04/2025.

O segundo manuscrito será apresentado na íntegra, com Resumo, Introdução, Métodos, Resultados e Discussão. Este segundo manuscrito nunca foi submetido a nenhum periódico.

4.1- Artigo Original (Publicado na *Archives of Osteoporosis* DOI: 10.1007/s11657-025-01550-3.)

Pathways linking sports participation to bone density and geometry among adolescents: ABCD Growth Study

Caminhos que ligam a participação esportiva à densidade óssea e geometria entre adolescentes: Estudo de Crescimento ABCD

Rafael Luiz de Marco¹, Pedro Henrique Narciso¹, Santiago Maillane-Vanegas¹, Yuri da Silva Faustino-da-Silva¹, Ricardo Ribeiro Agostinete¹, Rayana Loch Gomes², Rômulo Araújo Fernandes¹

1. Laboratory of Investigation in Exercise - LIVE, Postgraduate Program in Movement Sciences, Department of Physical Education. Sao Paulo State University – UNESP, Presidente Prudente (SP), Brazil.

2. Faculty of Health Sciences, Federal University of Grande Dourados (UFGD), Dourados (MS), Brazil.

ABSTRACT

Introduction: Sports participation takes a relevant role in childhood and adolescence as a booster of natural bone formation but is still unclear the main pathways to it. **Objective:** To investigate which variables linked to sports participation are the most consistently related to bone density and geometry among adolescents. **Methods:** The sample is composed of 86 adolescents (28 girls) aged from 11 to 17 years who were classified as: Control (12 adolescents) and Sport (74 adolescents). The outcomes were bone density and geometry from lower limbs measured using the bone densitometry technique. Variables linked to participation were intensity, ground reaction force, strength, lean soft tissue and parameter of bone formation. Covariates were sex, somatic maturation and body fatness. **Results:** Among boys, lean soft tissue ($r = 0.861$) remained the main determinant of bone density along with sport ground reaction force ($r = 0.211$). For bone geometry, lean soft tissue remained the main determinant, while blood concentration of bone resorption markers ($r = -0.262$) and body fatness ($r = -0.205$) were inversely related to it. For girls, the only determinant of bone density and geometry was lean soft tissue (ranging from $r = 0.461$ to $r = 0.759$). All models explained bone density and geometry better among boys (from 73.4% to 80.9%) than girls (from 47.6% to 62.6%). **Conclusion:** Lean soft tissue is the main link of sports participation with bone density and geometry among adolescents of both sexes, while ground reaction force, and bone resorption rate assume complementary roles in this phenomenon, especially among boys.

Keywords: Adolescents; Bone mineral density; Bone Geometry; Sports.

RESUMO

Introdução: A participação esportiva desempenha um papel relevante na infância e adolescência como impulsionadora da formação óssea natural, mas ainda não estão claros os principais caminhos para isso. **Objetivo:** Investigar quais variáveis ligadas à participação esportiva são as mais consistentemente relacionadas à densidade e geometria óssea em adolescentes. **Métodos:** A amostra é composta por 86 adolescentes (28 meninas) com idades entre 11 e 17 anos, classificados como: Controle (12 adolescentes) e Esporte (74 adolescentes). Os desfechos foram densidade e geometria óssea dos membros inferiores, medidas pela técnica de densitometria óssea. As variáveis ligadas à participação foram intensidade, força de reação do solo, força, tecido mole magro e parâmetros de formação óssea. As covariáveis foram sexo, maturação somática e gordura corporal. **Resultados:** Entre os meninos, o tecido mole magro ($r = 0,861$) permaneceu como o principal determinante da densidade óssea, juntamente com a força de reação do solo no esporte ($r = 0,211$). Para a geometria óssea, o tecido mole magro permaneceu o principal determinante, enquanto a concentração sanguínea de marcadores de reabsorção óssea ($r = -0,262$) e a gordura corporal ($r = -0,205$) foram inversamente relacionadas a ele. Para as meninas, o único determinante da densidade e geometria óssea foi o tecido mole magro (variando de $r = 0,461$ a $r = 0,759$). Todos os modelos explicaram melhor a densidade e a geometria óssea entre os meninos (de 73,4% a 80,9%) do que entre as meninas (de 47,6% a 62,6%). **Conclusão:** O tecido mole magro é o principal elo da participação esportiva com a densidade e a geometria óssea entre adolescentes de ambos os sexos, enquanto a força de reação do solo e a taxa de reabsorção óssea assumem papéis complementares nesse fenômeno, especialmente entre os meninos.

Palavras-chave: Adolescentes; Densidade mineral óssea; Geometria óssea; Esportes.

INTRODUÇÃO

As duas primeiras décadas de vida são fundamentais para a mineralização do esqueleto humano, uma vez que a maior parte do conteúdo mineral ósseo (CMO) observado no esqueleto adulto é mineralizado ao final do período maturacional (Robert M. Malina; Claude Bouchard, 2002). Este aspecto da biologia humana faz da infância, e especialmente da adolescência, períodos-chave na prevenção de doenças que afetam o esqueleto humano adulto, como a osteoporose (Gracia-Marco et al., 2012; Rizzoli et al., 2010; Wang et al., 2009a). Nesse sentido, a literatura tem buscado identificar os principais agentes que afetam o desenvolvimento do tecido ósseo em grupos pediátricos, bem como como eles estimulam ou inibem a osteogênese (Gracia-Marco et al., 2012; Rizzoli et al., 2010)^{3,4}. Entre as muitas variáveis que afetam a formação óssea durante a infância e a adolescência (hormonais, nutricionais e comportamentais), este manuscrito se concentrará na atividade física, mais especificamente na participação esportiva.

A prática esportiva costuma representar a manifestação mais frequente de atividade física no lazer de crianças e adolescentes (Robert M. Malina; Claude Bouchard, 2002), assumindo um papel relevante no tecido ósseo (Cooper et al., [S.d.]; Rizzoli et al., 2010). Elementos abrangidos pela biomecânica de muitos esportes (salto, corrida, rolamento, mudanças rápidas de direção) geram sobrecarga na matriz óssea, aumentando a taxa de renovação e conseqüentemente o acúmulo ósseo (Kohrt et al., 2004; Tenforde; Fredericson, 2011), levando à redução do risco de fraturas traumáticas (Lynch et al., 2017, 2019). Além disso, o ambiente onde a participação desportiva acontece (diferenças na força de reação do solo [FRS] em esportes realizados em terra versus na água) e sua intensidade (neste caso, atividade física moderada a vigorosa) têm sido associados ao acúmulo ósseo (Maillane-Vanegas et al., 2022).

Outra via que liga a participação esportiva à formação óssea é seu potencial para estimular marcadores de renovação óssea (osteocalcina [OC], peptídeos terminais amino do procólágeno tipo 1 [P1NP] e telopeptídeo carboxiterminal do colágeno tipo I [CTX-I])(Li et al., 2016; Luiz Carlos Uchoa Junqueira; José Carneiro 2008, 2008), um potencial que também parece depender do tipo de esporte praticado (Elloumi et al., 2009). Dentre os marcadores existentes, o P1NP e o CTX-I foram escolhidos como marcadores preferenciais de formação e reabsorção óssea, respectivamente, para serem utilizados na prática clínica (Vasikaran et al., 2011). No entanto, o OC é outro marcador de formação óssea que tem sido amplamente utilizado em pesquisas, pois também pode desempenhar um papel no metabolismo da glicose e em outras condições (Ladang et al., 2022).

O desenvolvimento muscular, especialmente da força, atribuído à prática regular de esportes é outra característica ligada às propriedades osteogênicas (Tenforde; Fredericson, 2011). As contrações musculares realizadas durante a prática esportiva exercem um estresse mecânico sobre a matriz óssea, principalmente nas regiões epifisária e medial do osso, provocando adaptações ao estresse imposto à matriz óssea, desencadeando assim um processo de acúmulo de massa óssea na região sob estresse (remodelação) (Ducher et al., 2005, 2006).

De fato, o tecido ósseo é uma estrutura afetada por aspectos físicos atribuídos à prática esportiva, principalmente dos membros inferiores (não apenas pela tensão gerada pela contração muscular, mas também pelo simples ato de sustentar o corpo contra a ação da gravidade durante a prática esportiva) (Petit et al., 2005; ROBLING, 2009; Scott et al., 2008a). No entanto, a maioria dos dados disponíveis sobre a relação entre a participação esportiva e os ossos baseia-se na densidade/conteúdo ósseo, e poucos dados exploram outras propriedades ósseas, como a geometria. A geometria óssea fornece informações qualitativas sobre a macroarquitetura óssea que vão além da densidade (por exemplo, distribuição da massa óssea, largura do osso cortical) (Zymbal et al., 2016) e alguns desses parâmetros foram associados ao risco de fratura independentemente da DMO (Taes et al., 2010). Entretanto, sua relação com a participação esportiva em grupos pediátricos ainda não está clara (Beck, 2007; Ferretti, 1995; Jepsen; Mikic, 2001).

O objetivo principal deste estudo foi investigar quais variáveis relacionadas à participação esportiva (por exemplo, marcadores de remodelação óssea, FRS, intensidade do esporte, tecido mole magro e força) são mais consistentemente relacionadas à densidade e geometria óssea entre adolescentes.

MÉTODOS

Amostra

Este estudo transversal faz parte do ensaio clínico pragmático intitulado “Análise dos Comportamentos de Crianças Durante o Crescimento” (ABCD – Estudo do Crescimento), realizado na cidade de Presidente Prudente (220.000 habitantes, Índice de Desenvolvimento Humano de 0,807, localizada na região oeste do estado de São Paulo) desde 2017. O estudo acompanhou adolescentes de 11 a 17 anos, investigando o impacto da participação esportiva em diferentes aspectos da saúde dos adolescentes. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual Paulista (números do processo) e registrado no Registro Brasileiro de Ensaios Clínicos (nº RBR-43vbh6b).

O conjunto de dados utilizado neste estudo é composto por 86 adolescentes de ambos os sexos, recrutados em 11 unidades (escolas [$n = 3$] e clubes esportivos [8]) distribuídas na região metropolitana da cidade. As equipes esportivas (natação, ginástica artística, atletismo, basquete, judô e futebol) participavam de competições de nível pelo menos estadual. Para esses adolescentes, foram considerados os seguintes critérios de inclusão: i) idade entre 11 e 17 anos; ii) para adolescentes praticantes de esportes, participação prévia de pelo menos 12 meses no esporte atual; iii) para adolescentes não praticantes de esportes (escolas): não participação em nenhum programa regular de exercícios físicos por pelo menos 12 meses; iv) não possuir problema ortopédico ou metabólico previamente diagnosticado que pudesse afetar a prática de esportes ou exercícios físicos) e apresentar termo de consentimento livre e esclarecido assinado pelos pais/responsáveis legais. Todos os participantes foram convidados para uma visita única ao laboratório da Universidade onde a pesquisa é realizada para coleta de dados de base (entrevistas, antropometria, avaliação da composição corporal, coleta de sangue e informações sobre como os questionários deveriam ser preenchidos). A avaliação da intensidade do treinamento (frequência cardíaca) foi realizada dentro de quatro semanas após a primeira visita ao laboratório.

Variáveis dependentes: densidade e geometria óssea

Densidade mineral óssea areal (aDMO [g/cm^2]) foi medido pela técnica de densitometria óssea (dual-energy X-ray absorptiometry – DXA; General Electrics, model WH – Prodigy Advance). O aparelho foi calibrado antes do início das medições, seguindo as recomendações do fabricante, e as varreduras de corpo inteiro e colo do fêmur foram realizadas por um avaliador previamente treinado e, durante o exame, todos os participantes usavam roupas leves, estavam descalços e sem quaisquer pertences metálicos próximos ao corpo. As varreduras de corpo inteiro (gordura corporal [GC], aDMO) foram executadas usando enCORE v17 SP2 Prodigy, Lunar DXA software. Da varredura de corpo inteiro, apenas aBMD dos membros inferiores foi considerada para este estudo em relação à medição óssea (Khoo et al., 2005; Vlachopoulos et al., 2017).

Além disso, usando o enCORE v17 SP2 Prodigy Advance software, o dispositivo DXA foi capaz de calcular parâmetros da geometria óssea a partir de leituras feitas na cabeça do fêmur (Avaliação avançada do quadril [AHA]). Assim, foram estimados os seguintes parâmetros geométricos: área da secção transversal - área total da superfície óssea do quadril excluindo a área de tecido mole e osso trabecular (CSA [mm^2]) e

momento de inércia transversal - índice de rigidez estrutural e reflete a distribuição de massa no centro da estrutura óssea (CSMI [mm^4]) (Ubago-Guisado et al., 2018).

Variáveis independentes: Variáveis ligadas à participação desportiva

A massa magra dos membros inferiores foi medida usando o aparelho DXA (em kg) e o CMO dos membros inferiores foi subtraído dela, gerando uma nova variável que chamamos de "tecido mole magro" (LST) expressa em kg. A força muscular isométrica dos membros inferiores foi obtida utilizando um dinamômetro dorso-perna-peito (Crown dorsal dynamometer, Filizola, São Paulo, Brasil) e expressa em quilogramas de força (kgf). Em tal dispositivo, quando uma força externa é aplicada a uma alça, uma mola de aço se comprime e um ponteiro se move. O mostrador varia de 0 a 200 kg em incrementos de 1 kg. Os adolescentes tiveram três tentativas com intervalos de 1 minuto entre elas, utilizando o maior resultado alcançado pelo adolescente. Um fisioterapeuta forneceu-lhes descrições adequadas sobre como realizar o teste, com foco no movimento correto para medir a força dos membros inferiores, de acordo com um estudo de (Nava et al., 2018; Urban et al., 2024).

Durante uma semana regular de treinamento, a frequência cardíaca (FC) durante as sessões de treinamento foi monitorada usando um sensor Polar OH1 (Polar Electro®, Finlândia) e usada como uma medida da intensidade do treinamento. A porcentagem da FC máxima prevista (220 bpm - idade cronológica) foi considerada usando as zonas de intensidade polar (50-60% muito leve; 61-70% leve; 71-80% moderada; 81-90% intensa; 91-100% muito intensa) e o tempo gasto em $\geq 71\%$ da FC máxima foi definido como atividade física moderada a vigorosa (AFMV). Assim, a participação esportiva semanal foi considerada (AFMV x frequência de treinamento [expressa em min/dia]). Os adolescentes do Grupo Controle receberam zero para essa variável.

Foi criado um índice de força de reação ao solo (FRS) atribuído ao engajamento em certos esportes (natação = 0,1; judô = 1,6; futebol = 5,0; basquete = 7,0; ginástica = 7,0) e atividades de controle (aulas de educação física = 1,0) usando a equação: Índice FRS * tempo semanal de engajamento nele (em minutos) (Maillane-Vanegas et al., 2022).

Os níveis de osteocalcina (ng/mL), CTx-1 (ug/mL) e P1NP (ug/mL) foram medidos por meio de amostras de sangue coletadas pela manhã, após jejum de 12 horas (enfermeiro habilitado para essa técnica), em um laboratório privado, que possui todas as certificações exigidas pelo Ministério da Saúde do Brasil. Para a análise das amostras de sangue, foi utilizado um protocolo utilizando a técnica Sandwich

(Eletroquimioluminescência, kit Roche®). A duração total do ensaio foi de 18 minutos, e o analisador calcula automaticamente a concentração do analito de cada amostra (em ng/mL ou µg/L).

Covariáveis

Algumas variáveis foram inseridas nos modelos multivariados como covariáveis. O sexo (meninos e meninas) foi autorrelatado pelos adolescentes. A maturação somática foi estimada pelo pico de velocidade de crescimento (PVC) utilizando modelos matemáticos baseados em medidas antropométricas (idade e altura) (Moore et al., 2015). Essas equações apresentam o tempo restante (em anos) (valores negativos) ou passado (valores positivos) para o PHV (deslocamento da maturidade), que se caracteriza como um importante evento biológico presente no processo de maturação humana. A adiposidade corporal total, excluindo a cabeça, foi obtida a partir da varredura de corpo inteiro da DXA e expressa em valores percentuais.

Análise Estatística

Estatísticas descritivas foram compostas de média, desvio-padrão (DP), intervalos de confiança de 95% (IC95%) e frequências (%). O teste t de Student foi usado para comparar meninos versus meninas. A análise de covariância (ANCOVA) foi usada para comparar densidade óssea/geometria de acordo com a participação esportiva ajustada por variáveis previamente determinadas (variáveis relacionadas à participação esportiva e covariáveis), enquanto post-hoc foi usado quando necessário (teste de Bonferroni). O teste de Levene foi usado para avaliar a suposição de homogeneidade de variâncias e as medidas de tamanho do efeito foram expressas em termos de eta-quadrado (<0,01 tamanho de efeito trivial; 0,01-0,059 tamanho de efeito pequeno; 0,06-0,139 tamanho de efeito moderado; ≥0,140 tamanho de efeito grande) (Cohen, 2013).

A relação entre densidade/geometria óssea e todas as variáveis foi avaliada por meio de regressão linear, expressa como β e seu IC95%. Nos modelos multivariados, todas as variáveis independentes foram inseridas simultaneamente, e a suposição de multicolinearidade foi avaliada por meio de fatores de inflação de variância (valores satisfatórios < 5,0). A significância estatística foi estabelecida em valor de $p < 0,05$ e todas as análises foram realizadas com o software Stata (versão 16.0).

RESULTADOS

A amostra foi composta por 86 adolescentes de ambos os sexos (58 meninos e 28 meninas). Os meninos eram 5,5% mais altos e apresentavam maiores valores de osteocalcina (p-valor= 0,008), CTX-1 (p-valor= 0,001) e P1NP (p-valor= 0,001) do que as meninas. Resultados semelhantes foram observados na força/massa muscular (p-valor= 0,001) e na geometria óssea (p-valor= 0,001), que foram maiores entre os meninos do que entre as meninas, enquanto a gordura corporal foi maior entre as meninas (p-valor= 0,001) (**Tabela 1**).

Em termos de participação esportiva (engajado versus não engajado), as diferenças na densidade óssea foram explicadas pelo tecido mole magro (grande tamanho do efeito [eta-quadrado = 0,561; valor de p = 0,001]), FRS esportiva (tamanho do efeito moderado [eta-quadrado = 0,090; valor de p = 0,009]) e concentrações sanguíneas de CTX-1 (pequeno tamanho do efeito [eta-quadrado = 0,053; valor de p = 0,049]) (**Figura 1, Painéis A e B**). Para a geometria óssea, a diferença no CSMI foi explicada principalmente pelo tecido mole magro (grande tamanho do efeito [eta-quadrado = 0,686; valor de p = 0,001]) (**Figura 1, Painéis C e D**), enquanto as diferenças no CSA foram explicadas pelo tecido mole magro (grande tamanho do efeito [eta-quadrado = 0,688; valor de p = 0,001]), adiposidade (tamanho do efeito moderado [eta-quadrado = 0,120; valor de p = 0,003]), concentrações sanguíneas de CTX-1 (grande tamanho do efeito [eta-quadrado = 0,068; valor de p = 0,025]) e GRF esportiva (pequeno tamanho do efeito [eta-quadrado = 0,045; valor de p = 0,070]) (**Figura 1, Painéis E e F**). O teste de Levene ratificou a homogeneidade da variância em todos os modelos ANCOVA.

As diferenças relacionadas ao sexo para os principais desfechos corroboraram a criação de modelos específicos para meninos (**Tabela 2**) e meninas (**Tabela 3**). Entre os meninos, o tecido mole magro ($r = 0,861$; $\beta = 0,039-3$ [IC 95%: 0,031-3 a 0,047-3]) permaneceu como o principal determinante da densidade óssea, juntamente com a taxa de crescimento óssea esportiva ($r = 0,211$; $\beta = 0,015$ [IC 95%: 0,004 a 0,027]). Para a geometria óssea, o tecido mole magro permaneceu o principal determinante, enquanto a concentração sanguínea de CTX-1 ($r = -0,262$; $\beta = -17,775$ [IC 95%: -33,373 a -2,176]) e a gordura corporal ($r = -0,205$; $\beta = -0,884$ [IC 95%: -1,408 a -0,360]) foram inversamente relacionadas a ele. Para as meninas, o único determinante da densidade

óssea e geometria foi o tecido mole magro (aDMO, $r = 0,461$; CSMI, $r = 0,759$; CSA, $r = 0,717$).

Todos os modelos de regressão linear explicaram melhor a variância observada na densidade e geometria óssea entre os meninos (de 73,4% a 80,9%) do que entre as meninas (de 47,6% a 62,6%).

DISCUSSÃO

Este estudo transversal explorou os caminhos que ligam a participação esportiva à densidade e geometria óssea em adolescentes e identificou que o tecido mole magro constitui o principal determinante da densidade e geometria óssea em ambos os sexos, enquanto a densidade e geometria óssea respondem a diferentes determinantes, principalmente entre os meninos.

A primeira descoberta a ser discutida é o papel preponderante do tecido mole magro em nossos modelos. No entanto, a discussão não deve se concentrar na relação relevante entre tecido mole magro e densidade/geometria óssea, que era um resultado previsível, mas no fato de que essa relação não dependia da força muscular e do tempo semanal de AFMV (um indicador do número de contrações musculares atribuídas à prática esportiva). Uma descoberta tão intrigante sugere que a íntima relação entre osso e músculo pode ser sustentada por vias bioquímicas. De fato, nos últimos anos, o músculo tem sido caracterizado como um órgão endócrino que afeta a função de outros tecidos do corpo humano (Guo et al., 2017). Muitas miocinas liberadas pelo tecido mole magro (especialmente durante a contração muscular) afetam a diferenciação e a ação dos osteoclastos e osteoblastos (Guo et al., 2017), apoiando a conexão independente do esporte muscular com os resultados ósseos. Portanto, estudos futuros devem se concentrar profundamente nas vias, como diferentes miocinas, pelas quais o tecido mole magro melhora a densidade e a geometria óssea, não dependendo exclusivamente do exercício físico entre adolescentes.

Paralelamente ao papel preponderante do tecido mole magro na densidade e geometria óssea, a FRS esportiva afetou alguns desfechos ósseos, especialmente a DMOa. A literatura corrobora a ideia de que esse fenômeno ocorre devido ao efeito osteogênico que esportes com sustentação de peso podem exercer sobre os membros inferiores (originados tanto da ação da gravidade em si, promovida por saltos e reações rápidas com o solo, quanto da tensão do tecido mole magro). Uma das vias que ligam a FRS esportiva à DMOa baseia-se no recrutamento de agentes de remodelação óssea (osteoblastos e osteoclastos) 10 e justifica que essa região apresenta maior DMOa (Agostinete et al., 2016; Exupério et al., 2019; Ito et al., 2017; Lozano-Berges et al., 2018; Tenforde; Fredericson, 2011; Valente-dos-Santos et al., 2018). No entanto, para as meninas, a GRF não parece ter efeitos significativos na geometria, o que reforça a importância do tecido mole magro para as meninas (Luiz-de-Marco et al., 2019). A inclusão desses marcadores ósseos no modelo justifica, pelo menos em parte, o fato de que a GRF esportiva estava

apenas ligeiramente relacionada à largura do osso cortical (CSA) e em pequena magnitude, destacando que a geometria óssea parece não responder tão diretamente ao impacto físico quanto a DMOa.

A geometria óssea pode ser usada como uma medida qualitativa do osso, especialmente porque abrange aspectos ausentes na DMOa (por exemplo, largura do osso cortical, resistência à torção e compressão) (Zymbal et al., 2016). Por exemplo (Taes et al., 2010) demonstraram que fraturas na idade adulta jovem estão associadas à geometria óssea (CSA) em vez da densidade óssea. A relação mais forte da FRS esportiva com a DMO do que com a CSA pode refletir os diferentes construtos representados pela densidade e geometria. Adolescentes envolvidos em esportes com maior FRS tendem a ter maior CSA o que reflete o acúmulo ósseo em todas as partes do osso (Maillane-Vanegas et al., 2022), mas essa relação não tem a mesma magnitude para a CSA. Tal característica não reflete um impacto menos relevante na geometria óssea, mas sim um impacto diferente, enquanto o acúmulo de CSA pode refletir melhorias no osso total (cortical e trabecular), a expansão da CSA denota necessariamente melhorias apenas no osso cortical. Portanto, uma FRS esportiva mais alta parece melhorar o acúmulo ósseo (especialmente no osso trabecular), enquanto o osso cortical parece menos suscetível a isso.

Outro aspecto relevante do nosso estudo foi o impacto insignificante da intensidade esportiva nos modelos multivariados. Muitos estudos relacionaram a AFMV a resultados ósseos em adolescentes (Maillane-Vanegas et al., 2018; Tenforde; Fredericson, 2011; Zymbal et al., 2019), Mas poucos deles consideram a carga da FRG desta AFMV. A AFMV é amplamente medida por acelerômetros na literatura, e a maioria dos movimentos humanos capturados por acelerômetros (por exemplo, caminhar, pular, sentar-se) envolve um certo nível de FRG (a aceleração, por si só, é uma construção do número de movimentos [contagens] por unidade de tempo). Portanto, parece questionável atribuir tal relação com os resultados ósseos apenas à intensidade da atividade física, se as características da FRG dessas atividades não forem levadas em consideração (Ferrer et al., 2022). Nossas descobertas destacam a importância de considerar ambos os construtos, enquanto a FRS parece mais relevante do que a intensidade física na relação entre participação esportiva e resultados ósseos.

A inclusão de muitas variáveis da participação esportiva pode explicar, pelo menos em parte, o fato de os marcadores de formação óssea não terem sido significativos em nossos modelos. Por outro lado, os modelos de CSA identificaram o papel relevante

da adiposidade e do CTX-1, ambos inversamente relacionados a ela. A relação entre adiposidade e saúde óssea em adolescentes ainda não está clara, pois, ao mesmo tempo, a gordura corporal libera citocinas pró-inflamatórias na corrente sanguínea, afetando negativamente a formação óssea (redução do fator de crescimento semelhante à insulina tipo I e menor proliferação de osteoblastos devido à resistência à insulina) (Júnior et al., 2013; Ma et al., 2023), a participação da gordura corporal no peso corporal aumenta o esforço físico nos ossos dos membros inferiores, aumentando a densidade óssea neste local (Luiz-de-Marco et al., 2020). No entanto, além dessa incerteza sobre a direção da associação entre gordura corporal e tecido ósseo, o impacto negativo na geometria óssea parece prevalecer sobre qualquer benefício potencial para o osso. É possível que impactos prejudiciais na largura do osso cortical atribuídos a gordura corporal possam preceder qualquer modificação significativa na aDMO (reduzindo a qualidade do osso), corroborando o uso de outras variáveis além da densidade óssea (por exemplo, geometria e microarquitetura óssea) para avaliar a saúde óssea usando um conceito mais amplo.

Outro fator interessante que pode ser observado é que o tecido mole magro se correlaciona com a densidade e a geometria óssea em ambos os sexos. Aparentemente, a interação entre a participação esportiva e os resultados ósseos parece dependente do sexo (Luiz-de-Marco et al., 2019) e nossos achados, pelo menos em parte, confirmam tais aspectos, pois nossos modelos explicaram melhor o fenômeno entre os meninos. Por outro lado, nossos achados sugerem que níveis mais elevados de tecido mole magro demonstra ser benéficos para a densidade e a geometria óssea em ambos os sexos, destacando a relevância de promover a participação esportiva durante a adolescência para meninos e meninas (para impulsionar a hipertrofia muscular natural observada nesses períodos da vida).

Limitações devem ser consideradas. Primeiro, o tamanho reduzido da amostra é uma limitação, especialmente entre meninas. Embora diferenças entre os sexos sejam comumente observadas ao avaliar o impacto da participação esportiva na saúde óssea (Luiz-de-Marco et al., 2019), as diferenças entre os sexos observadas em nosso estudo devem ser consideradas cuidadosamente porque não está claro o quanto elas foram afetadas pelo pequeno número de meninas. Segundo, o delineamento transversal do estudo não apoia declarações de causa e efeito. Portanto, mesmo apoiados por vias biológicas e achados semelhantes de estudos anteriores, nossos achados devem ser analisados sob essa perspectiva. Terceiro, a força muscular não foi um determinante relevante em nossos modelos multivariados, mas deve-se considerar que outros aspectos

ligados à força muscular (por exemplo, potência, resistência) podem ter melhor desempenho em tais modelos.

CONCLUSÃO

Em resumo, nossos achados ratificam o papel do tecido mole magro como principal elo da participação esportiva com a densidade e geometria óssea entre adolescentes de ambos os sexos, enquanto a FRS e o nível de reabsorção óssea assumem papéis complementares nesse fenômeno, especialmente entre os meninos.

Financiamento

Este estudo foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (2019/22754-3; 22/09796-1).

Conflito de interesses: Todos os autores não apresentam conflito de interesses.

Tabela 1. Características gerais da amostra segundo sexo (ABCD – Estudo de Crescimento; n=86).

Variáveis	Meninos (n=61)	Meninas (n=25)	p-valor
	Média (DP)	Média (DP)	
Idade (anos)	14,1 (1,9)	14,4 (2,1)	0,542
Altura (cm)	170,3 (11,1)	161,3 (9,2)	0,001
Massa Corporal (kg)	62,7 (16,5)	57,2 (12,2)	0,140
PVC (anos)	0,7 (1,6)	2,1 (1,5)	0,001
AFMV em esportes (min/dia)	54,2 (32,3)	42,7 (27,1)	0,129
Osteocalcina (ng/mL)	103,7 (56,7)	69,1 (45,9)	0,008
CTX-1 (ug/L)	1,2 (0,5)	0,7 (0,4)	0,001
P1NP (ug/L)	584,8 (415,3)	273,1 (266,4)	0,001
TBLH Gorgura corporal (%)	20,5 (8,1)	32,5 (6,4)	0,001
CSMI (mm ⁴)	11765,4 (4369,4)	7755,4 (2455,9)	0,001
CSA (mm ²)	168,2 (35,1)	145,4 (24,8)	0,001
Membros Inferiores			
aDMO (g/cm ²)	1,259 (0,187)	1,198 (0,151)	0,153
Tecido Mole Magro (kg)	15,7 (4,1)	12,1 (2,2)	0,001
Força (kgf)	91,5 (32,3)	65,3 (18,9)	0,001
Participação Esportiva (n [%])			0,321*
Controle	6 (9,8%)	6 (24,0%)	
Natação	19 (31,1%)	5 (20,0%)	
Esporte de Impacto**	36 (59%)	14 (56,0%)	

Nota: DP = desvio padrão; CSA = área da secção transversal; CSMI = momento de inércia da secção transversal; aDMO = densidade mineral óssea areal; LL = membros inferiores; PVC = pico de velocidade de crescimento; CTX-1 = telopeptídeo C-terminal do colágeno tipo I; P1NP = propeptídeo N-terminal do procólágeno tipo I; TBLH = corpo total menos cabeça; AFMV = atividade física moderada a vigorosa por acelerometria; ** = Judô, Futebol, Ginástica e Basquete; kgf = quilogramas força.

Tabela 2. Relação entre parâmetros de participação esportiva e densidade/geometria óssea em meninos (ABCD – Estudo de Crescimento; n=61).

Variáveis Independentes	Variáveis Dependentes	Variáveis Dependentes	Variáveis Dependentes
	MI - aDMO (g/cm ²)	CSMI (mm ⁴)	CSA (mm ²)
	β (95%IC)*	β (95%IC)*	β (95%IC)*
Esporte RFS	0,015 (0,004 - 0,027)	6,569 (-234,964 - 248,101)	1,351 (-0,473 - 3,175)
MI – Tecido Mole Magro (kg)	0,039⁻³ (0,031⁻³ - 0,047⁻³)	0,933 (0,760 - 1,105)	0,007 (0,006 - 0,009)
MI - Força(kgf)	0,693 ⁻³ (-0,327 ⁻³ - 1,714 ⁻³)	14,356 (-7,045 - 35,756)	0,112 (-0,050 - 0,273)
AFMV em esportes (min/dia)	-0,214 ⁻³ (-1,077 ⁻³ - 0,650 ⁻³)	4,809 (-13,309 - 22,927)	0,021 (-0,116 - 0,158)
Osteocalcina (ng/mL)	-0,169 ⁻³ (-1,326 ⁻³ - 0,989 ⁻³)	9,529 (-14,750 - 33,807)	0,035 (-0,149 - 0,218)
CTX-1 (ug/L)	-0,078 (-0,177 - 0,020)	-1564,7 (-3630,2 - 500,7)	-17,775 (-33,373 - -2,176)
P1NP (ug/L)	0,076 ⁻³ (-0,060 ⁻³ - 0,213 ⁻³)	1,017 (-1,848 - 3,883)	0,013 (-0,009 - 0,034)
Ajustado R ² =	0,734	0,785	0,809
p-valor=	0,001	0,001	0,001

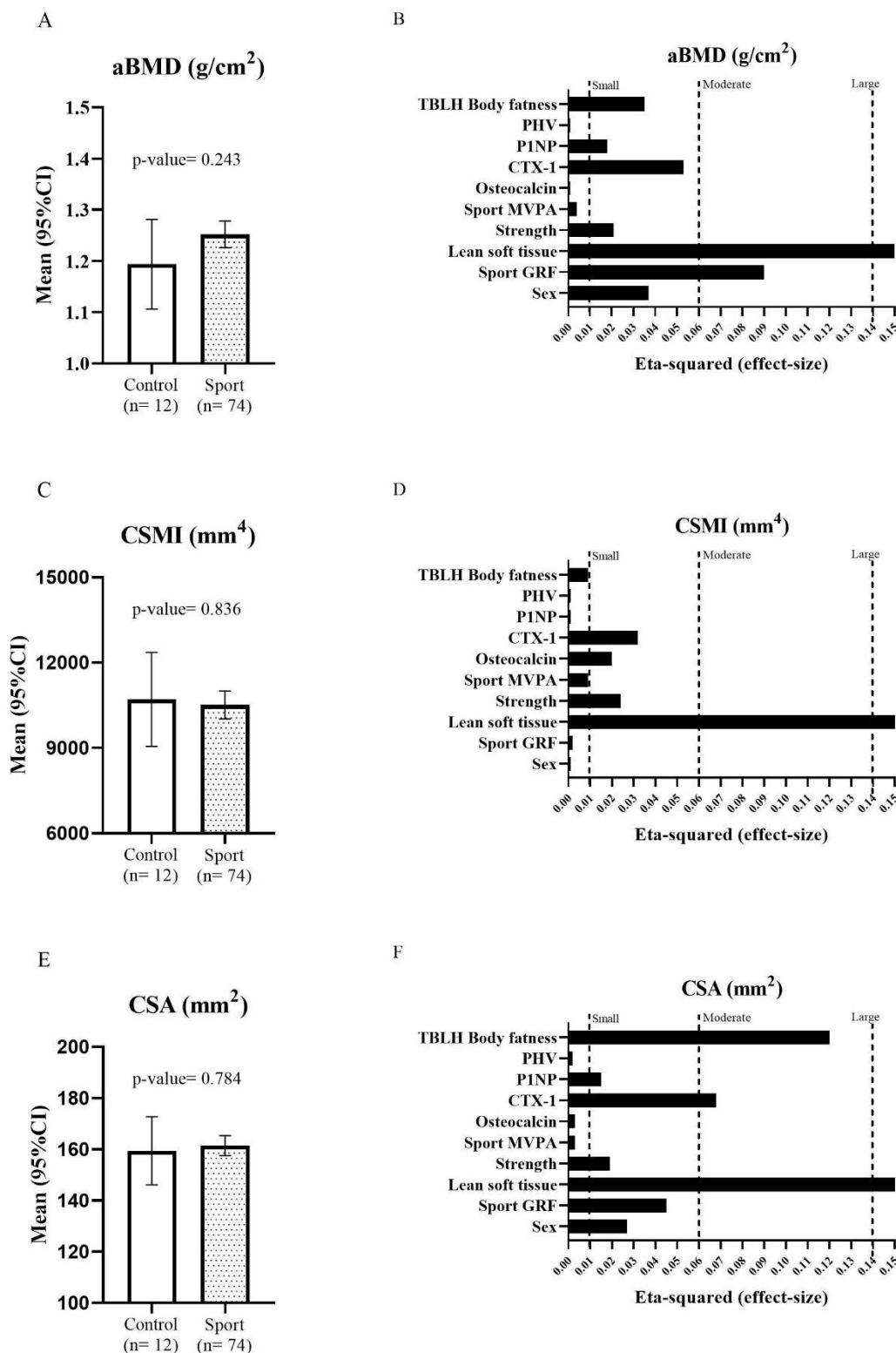
Nota: MI = membros inferiores; aDMO = densidade mineral óssea areal; CSMI = momento de inércia transversal; CSA = área transversal; FRS = força de reação do solo; AFMV = atividade física moderada a vigorosa medida pela frequência cardíaca; CTX-1 = telopeptídeo C-terminal do colágeno tipo I; P1NP = propeptídeo N-terminal do procólágeno tipo I; * = modelo de regressão linear ajustado pela massa muscular, força, intensidade do esporte, osteocalcina, CTX-1, P1NP, gordura corporal (%) e pico de velocidade de altura.

Tabela 3. Relação entre parâmetros de participação esportiva e densidade/geometria óssea em meninas (ABCD – Estudo de Crescimento; n=25).

Variáveis Independentes	Variáveis Dependentes MI - aDMO (g/cm ²)	Variáveis Dependentes CSMI (mm ⁴)	Variáveis Dependentes CSA (mm ²)
	β (95%IC)*	β (95%IC)*	β (95%IC)*
Esporte FRS	0,006 (-0,015 - 0,026)	52,9 (-237,2 - 343,1)	0,651 (-2,169 - 3,471)
MI – Tecido Mole Magro (kg)	0,031⁻³ (0,004⁻³ - 0,059⁻³)	0,833 (0,441 - 1,224)	0,008 (0,004 - 0,012)
MI - Força(kgf)	0,002 (-0,003 - 0,007)	-19,2 (-90,3 - 51,8)	-0,053 (-0,744 - 0,638)
AFMV em esportes (min/dia)	0,001 (-0,002 - 0,004)	16,3 (-23,7 - 56,5)	0,181 (-0,209 - 0,571)
Osteocalcina (ng/mL)	0,001 (-0,003 - 0,005)	31,6 (-19,1 - 82,3)	0,215 (-0,278 - 0,707)
CTX-1 (ug/L)	-0,101 (-0,356 - 0,154)	-1952,3 (-5586,1 - 1681,2)	-17,083 (-52,401 - 18,234)
P1NP (ug/L)	0,082 ⁻³ (-0,443 ⁻³ - 0,606 ⁻³)	-1,353 (-8,815 - 6,108)	-0,021 (-0,094 - 0,051)
Ajustado R ² =	0,476	0,595	0,626
p-valor=	0,017	0,003	0,002

Nota: MI = membros inferiores; aDMO = densidade mineral óssea areal; CSMI = momento de inércia transversal; CSA = área transversal; FRS = força de reação do solo; AFMV = atividade física moderada a vigorosa medida pela frequência cardíaca; CTX-1 = telopeptídeo C-terminal do colágeno tipo I; P1NP = propeptídeo N-terminal do procólágeno tipo I; * = modelo de regressão linear ajustado pela massa muscular, força, intensidade do esporte, osteocalcina, CTX-1, P1NP, gordura corporal (%) e pico de velocidade de altura.

Figura 1. Comparações da densidade e geometria óssea de acordo com a participação esportiva em adolescentes (ABCD – Estudo de Crescimento; n=86).



Nota: IC = intervalo de confiança; aDMO = densidade mineral óssea areal; TBLH = corpo total menos cabeça; PVC = pico de velocidade de crescimento; PINP = propeptídeo N-terminal do procólágeno tipo I; CTX-1 = telopeptídeo C-terminal do colágeno tipo I; AFMV = atividade física moderada a vigorosa medida pela frequência cardíaca; FRS = força de reação do solo; CSMI = momento de inércia da seção transversal; CSA = área da seção transversal.

REFERENCIAS

- AGOSTINETE, Ricardo R. *et al.* Basketball Affects Bone Mineral Density Accrual in Boys More Than Swimming and Other Impact Sports: 9-mo Follow-Up. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 19, n. 3, p. 375–381, 2016.
- BECK, Thomas J. Extending DXA beyond bone mineral density: Understanding hip structure analysis. **Current Osteoporosis Reports**, v. 5, n. 2, p. 49–55, 11 jun. 2007.
- CHAPLAIS, Elodie *et al.* Bone-adiposity cross-talk: implications for pediatric obesity. A narrative review of literature. **Journal of bone and mineral metabolism**, v. 33, n. 6, p. 592–602, nov. 2015.
- COHEN, Jacob. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. [S.l.]: Routledge, 2013.
- COOPER, C. *et al.* Developmental Origins of Osteoporotic Fracture. In: **Breast-Feeding: Early Influences on Later Health**. Dordrecht: Springer Netherlands, [S.d.]. p. 217–236.
- UCHER, G. *et al.* Bone geometry in response to long-term tennis playing and its relationship with muscle volume: a quantitative magnetic resonance imaging study in tennis players. **Bone**, v. 37, n. 4, p. 457–66, out. 2005.
- UCHER, Gaële *et al.* Short-term and long-term site-specific effects of tennis playing on trabecular and cortical bone at the distal radius. **Journal of bone and mineral metabolism**, v. 24, n. 6, p. 484–90, 2006.
- ELLOUMI, Mohamed *et al.* Long-term rugby practice enhances bone mass and metabolism in relation with physical fitness and playing position. **Journal of Bone and Mineral Metabolism**, 2009.
- EXUPÉRIO, Isabella Neto *et al.* Impact of artistic gymnastics on bone formation marker, density and geometry in female adolescents: ABCD-growth study. **Journal of Bone Metabolism**, v. 26, n. 2, p. 75–82, 2019.
- FERRER, P. *et al.* Is it important to achieve physical activity recommendations at early stages of life to improve bone health? **Osteoporosis International**, v. 33, n. 5, p. 1017–1026, 14 maio 2022.
- FERRETTI, J. L. Perspectives of pQCT technology associated to biomechanical studies in skeletal research employing rat models. **Bone**, v. 17, n. 4, p. S353–S364, out. 1995.
- FERRY, Béatrice *et al.* Bone health during late adolescence: Effects of an 8-month training program on bone geometry in female athletes. **Joint Bone Spine**, v. 80, n. 1, p. 57–63, jan. 2013.
- GRACIA-MARCO, L. *et al.* Adiposity and bone health in Spanish adolescents. The HELENA study. **Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA**, v. 23, n. 3, p. 937–47, mar. 2012.

GUO, Baosheng *et al.* Molecular Communication from Skeletal Muscle to Bone: A Review for Muscle-Derived Myokines Regulating Bone Metabolism. **Calcified Tissue International**, v. 100, n. 2, p. 184–192, 9 fev. 2017.

ITO, Igor H. *et al.* Impact of Martial Arts (Judo, Karate, and Kung Fu) on Bone Mineral Density Gains in Adolescents of Both Genders: 9-Month Follow-Up. **Pediatric Exercise Science**, v. 29, n. 4, p. 496–503, 1 nov. 2017.

JEPSEN, K. J.; MIKIC, B. Understanding Bone Strength : Size Isn ' t Everything. v. 29, n. 2, p. 101–104, 2001.

JÚNIOR, Ismael Forte Freitas *et al.* The relationship between visceral fat thickness and bone mineral density in sedentary obese children and adolescents. **BMC pediatrics**, v. 13, p. 37, mar. 2013.

KHOO, Benjamin C. C. *et al.* In vivo short-term precision of hip structure analysis variables in comparison with bone mineral density using paired dual-energy X-ray absorptiometry scans from multi-center clinical trials. **Bone**, v. 37, n. 1, p. 112–121, 2005.

KOVRT, Wendy M. *et al.* American College of Sports Medicine Position Stand: physical activity and bone health. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 36, n. 11, p. 1985–96, nov. 2004.

LADANG, Aurélie *et al.* Bone Turnover Markers in Children: From Laboratory Challenges to Clinical Interpretation. **Calcified Tissue International**, v. 112, n. 2, p. 218–232, 4 mar. 2022.

LI, Jinqiao *et al.* An overview of osteocalcin progress. **Journal of Bone and Mineral Metabolism**, v. 34, n. 4, p. 367–379, 8 jul. 2016.

LOZANO-BERGES, Gabriel *et al.* Soccer helps build strong bones during growth: a systematic review and meta-analysis. **European Journal of Pediatrics**, v. 177, n. 3, p. 295–310, 28 mar. 2018.

LUIZ CARLOS UCHOA JUNQUEIRA; JOSÉ CARNEIRO 2008. **Histologia básica**. 11. ed. Rio de Janeiro : [S.n.].

LUIZ-DE-MARCO, Rafael *et al.* Sports participation and muscle mass affect sex-related differences in bone mineral density between male and female adolescents: A longitudinal study. **Sao Paulo medical journal = Revista paulista de medicina**, v. 137, n. 1, p. 75–81, maio 2019.

LUIZ-DE-MARCO, Rafael *et al.* Impact of changes in fat mass and lean soft tissue on bone mineral density accrual in adolescents engaged in different sports: ABCD Growth Study. **Archives of Osteoporosis**, v. 15, n. 1, p. 22, dez. 2020.

LYNCH, Kyle R. *et al.* Impact sports and bone fractures among adolescents. **Journal of Sports Sciences**, v. 35, n. 24, p. 2421–2426, 2017.

LYNCH, Kyle R. *et al.* Sports participation decreases the incidence of traumatic, nonsports-related fractures among adolescents. **Pediatric Exercise Science**, v. 31, n. 1, p. 47–51, 2019.

MA, Chun-Ming *et al.* The relationship between obesity and bone mineral density in children and adolescents: analysis of the National Health and Nutrition Examination Survey. **Archives of Osteoporosis**, v. 18, n. 1, p. 25, 23 jan. 2023.

MAILLANE-VANEGAS, Santiago *et al.* Bone Mineral Density and Sports Participation. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 2013, 2018.

MAILLANE-VANEGAS, Santiago *et al.* More than Sports Participation: The Role of Ground Reaction Force, Osteocalcin and Lean Soft Tissue on Bone Density Accrual in Adolescents: ABCD Growth Study. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 25, n. 1, p. 61–72, jan. 2022.

MICHALOPOULOU, Maria *et al.* Physical activity is associated with bone geometry of premenarcheal girls in a dose-dependent manner. **Metabolism**, v. 62, n. 12, p. 1811–1818, dez. 2013.

MOORE, Sarah A. *et al.* Enhancing a somatic maturity prediction model. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 47, n. 8, p. 1755–1764, 2015.

NAVA, Guilherme Thomaz de Aquino *et al.* Influence of pain in strength, resistance and recruitment of trunk muscles. **Brazilian Journal Of Pain**, v. 1, n. 4, 2018.

PETIT, Moira A. *et al.* Proximal femur bone geometry is appropriately adapted to lean mass in overweight children and adolescents. **Bone**, v. 36, n. 3, p. 568–76, mar. 2005.

RIZZOLI, René *et al.* Maximizing bone mineral mass gain during growth for the prevention of fractures in the adolescents and the elderly. **Bone**, v. 46, n. 2, p. 294–305, fev. 2010.

ROBERT M. MALINA; CLAUDE BOUCHARD. **Atividade física do atleta jovem: do crescimento à maturação**. 1. ed. [S.l.: S.n.]. v. 1

ROBLING, ALEXANDER G. Is Bone's Response to Mechanical Signals Dominated by Muscle Forces? **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 41, n. 11, p. 2044–2049, nov. 2009.

SCOTT, Alexander *et al.* Mechanotransduction in Human Bone. **Sports Medicine**, v. 38, n. 2, p. 139–160, 2008a.

SCOTT, Alexander *et al.* Mechanotransduction in human bone: in vitro cellular physiology that underpins bone changes with exercise. **Sports medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 38, n. 2, p. 139–60, 2008b.

TAES, Youri *et al.* Prevalent fractures are related to cortical bone geometry in young healthy men at age of peak bone mass. **Journal of Bone and Mineral Research**, v. 25, n. 6, p. 1433–1440, 1 jun. 2010.

TENFORDE, Adam S.; FREDERICSON, Michael. Influence of Sports Participation on Bone Health in the Young Athlete: A Review of the Literature. **PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation**, v. 3, n. 9, p. 861–7, 2011.

UBAGO-GUISADO, Esther *et al.* Longitudinal determinants of 12-month changes on bone health in adolescent male athletes. **Archives of Osteoporosis**, v. 13, n. 1, 2018.

URBAN, Jacqueline Bexiga *et al.* Sports participation plays a relevant role in the relationship between birth weight and bone mineral content in adolescents. **American Journal of Human Biology**, v. 36, n. 9, set. 2024.

VALENTE-DOS-SANTOS, João *et al.* Total and regional bone mineral and tissue composition in female adolescent athletes: comparison between volleyball players and swimmers. **BMC Pediatrics**, v. 18, n. 1, p. 212, 3 dez. 2018.

VASIKARAN, Samuel *et al.* International Osteoporosis Foundation and International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine Position on bone marker standards in osteoporosis. **Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)**, v. 49, n. 8, p. 1271–1274, 1 ago. 2011.

VLACHOPOULOS, Dimitris *et al.* The Impact of Sport Participation on Bone Mass and Geometry in Male Adolescents. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 49, n. 2, p. 317–326, 2017.

WANG, Qingju *et al.* Bone's Structural Diversity in Adult Females Is Established before Puberty. **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 94, n. 5, p. 1555–1561, maio 2009a.

WANG, Qingju *et al.* Bone's structural diversity in adult females is established before puberty. **The Journal of clinical endocrinology and metabolism**, v. 94, n. 5, p. 1555–61, maio 2009b.

ZYMBAL, Vera *et al.* Determining Skeletal Geometry. *In: [S.l.: S.n.]*. p. 1–25.

ZYMBAL, Vera *et al.* Mediating Effect of Muscle on the Relationship of Physical Activity and Bone. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 2019.

4.2 - Artigo Original

The role of ground reaction force attributed to sports participation in changes in bone density and geometry of adolescents, a longitudinal study: ABCD - GROWTH STUDY

O papel da força de reação do solo atribuída à participação esportiva nas mudanças na densidade e geometria óssea de adolescentes, um estudo longitudinal: ABCD - GROWTH STUDY

ABSTRACT

Introduction: Satisfactory levels of physical activity / exercise during early life are constantly linked to higher BMC and density (BMD), but such boosting effect seems to rely on some aspects of the physical activity/exercise performed, such as the amount of ground reaction force (GRF) included on it. **Methods:** This is a longitudinal study is a part of the pragmatic trial entitled "Analysis of Behaviors of Children During Growth" (ABCD – Growth Study). This study is composed of 61 adolescents of both sexes (50 boys and 18 girls) recruited in 11 units (schools [n= 3] and sports clubs [8]) spread out in the metropolitan region of the city. The sport teams (swimming, artistic gymnastics, track & field, basketball, judo and soccer) were engaged in at least state level competitions. The outcomes were bone density and geometry from lower limbs measured using the bone densitometry technique. Variables linked to participation were intensity, ground reaction force, strength, lean soft tissue and parameter of bone formation. Covariates were sex, somatic maturation and body fatness. **Results:** Among boys, sport GRF was positively related to gains in density ($r= 0.251$; $p\text{-value}= 0.015$ [small effect-size]), CSMI ($r= 0.215$; $p\text{-value}= 0.015$ [small effect-size]) and CSA ($r= 0.305$; $p\text{-value}= 0.002$ [moderate effect-size]), with small to moderate effect-size. Among girls, sport GRF was positively related to gains in CSA ($r= 0.489$; $p\text{-value}= 0.001$ [moderate effect-size]) and Section Modulus ($r= 0.312$; $p\text{-value}= 0.024$ [moderate effect-size]), with moderate effect-size. **Conclusion:** after 12 months of follow-up, Sport GRF and Δ LL – Lean soft tissue (kg) appears to have a significant effect on bone density and geometry gain for both sexes. Sport GRF and Δ LL – Lean soft tissue (kg) significantly affected both aBMD and bone geometry in boys, while in girls the same independent variables appear to have an effect only on bone geometry variables (CSA [mm²] and Section Modulus [cm³]) and blood parameters of bone formation (CTX-1 (ug/L) and PHV (years) affected only CSA (mm²).

Keywords: Adolescents; Bone mineral density; Bone Geometry; Sports.

RESUMO

Introdução: Níveis satisfatórios de atividade física/exercício durante os primeiros anos de vida estão constantemente associados a maiores valores de CMO e densidade mineral óssea (DMO), mas esse efeito de aumento parece depender de alguns aspectos da atividade física/exercício realizado, como a quantidade de força de reação do solo (FRS) nele incluída. **Métodos:** Este é um estudo longitudinal que faz parte do ensaio clínico pragmático intitulado "Análise de Comportamentos de Crianças Durante o Crescimento" (ABCD – Growth Study). O estudo foi composto por 61 adolescentes de ambos os sexos (50 meninos e 18 meninas) recrutados em 11 unidades (escolas [n = 3] e clubes esportivos [8]) espalhadas pela região metropolitana da cidade. As equipes esportivas (natação, ginástica artística, atletismo, basquete, judô e futebol) estavam envolvidas em competições de nível estadual, pelo menos. Os desfechos foram a densidade óssea e a geometria dos membros inferiores, medidas pela técnica de densitometria óssea. Variáveis ligadas à participação foram intensidade, força de reação do solo, força, tecido mole magro e parâmetro de formação óssea. Covariáveis foram sexo, maturação somática e gordura corporal. **Resultados:** Entre os meninos, o FRS esportivo foi positivamente relacionado a ganhos em densidade ($r = 0,251$; valor de $p = 0,015$ [tamanho do efeito pequeno]), CSMI ($r = 0,215$; valor de $p = 0,015$ [tamanho do efeito pequeno]) e CSA ($r = 0,305$; valor de $p = 0,002$ [tamanho do efeito moderado]), com tamanho de efeito pequeno a moderado. Entre as meninas, o GRF esportivo foi positivamente relacionado a ganhos em CSA ($r = 0,489$; valor de $p = 0,001$ [tamanho do efeito moderado]) e Módulo de Seção ($r = 0,312$; valor de $p = 0,024$ [tamanho do efeito moderado]), com tamanho de efeito moderado. **Conclusão:** após 12 meses de acompanhamento, a FRS Esportiva e o Δ MI – Tecido mole magro (kg) parecem ter um efeito significativo na densidade óssea e no ganho de geometria em ambos os sexos. A FRS Esportiva e o Δ MI – Tecido mole magro (kg) afetaram significativamente tanto a DMO quanto a geometria óssea em meninos, enquanto em meninas as mesmas variáveis independentes parecem ter efeito apenas nas variáveis de geometria óssea (AST [mm²] e Módulo de Seção [cm³]) e nos parâmetros sanguíneos de formação óssea (CTX-1 [ug/L] e PHV [anos]) afetaram apenas a AST (mm²).

Palavras-chave: Adolescentes; Densidade mineral óssea; Geometria óssea; Esportes.

INTRODUÇÃO

A infância e a adolescência são períodos-chave para a formação óssea, nos quais 90% de todo o conteúdo mineral ósseo (CMO) observado no esqueleto adulto é acumulado (Robert M. Malina; Claude Bouchard, 2002). Portanto, este período da vida humana é crucial para a saúde óssea ao longo da vida, afetando os resultados ósseos mais tarde na vida, como a osteoporose (Gracia-Marco et al., 2012; Rizzoli et al., 2010; Wang et al., 2009b). Níveis satisfatórios de atividade física/exercício durante os primeiros anos de vida estão constantemente associados a maiores valores de BMC e densidade (DMO) (Cooper et al., [S.d.]; Kohrt et al., 2004; Tenforde; Fredericson, 2011), mas esse efeito de reforço parece depender de alguns aspectos da atividade física/exercício realizado, como a quantidade de força de reação do solo (FRS) incluída nele (Lynch et al., 2017, 2019).

Considerando esse contexto, a participação esportiva parece se tornar mais importante do que outras manifestações de exercício físico. A primeira razão para apoiar essa ideia é que a participação esportiva é a principal manifestação de exercício físico entre adolescentes e a adolescência é um período crucial para o desenvolvimento ósseo devido a aspectos de maturação (Robert M. Malina; Claude Bouchard, 2002; Tenforde; Fredericson, 2011). Outro motivo é o fato de que a biomecânica de muitos esportes inclui elementos osteogênicos devido aos seus níveis de FRS, como pular, correr, rolar e mudanças rápidas de direção (Agostinete et al., 2016; Ito et al., 2017; Scott et al., 2008b; Tenforde; Fredericson, 2011). A combinação desses dois aspectos elevou a participação esportiva à condição de fator relevante na promoção da saúde óssea ao longo da vida. Por outro lado, as vias que ligam a FRS atribuída à participação esportiva e os resultados ósseos são complexas, envolvendo muitos fatores de confusão potenciais (Luiz-de-Marco et al., 2019). Especialmente a quantidade de atividade física moderada a vigorosa (AFMV) realizada durante a participação esportiva e em atividades não esportivas da vida diária. Além disso, a massa e a força muscular são determinantes relevantes da CMO/DMO em grupos pediátricos (especialmente a massa muscular), mas também estão positivamente relacionadas à participação esportiva (Luiz-de-Marco et al., 2019; Scott et al., 2008b; Urban et al., 2024). A contração muscular realizada durante a prática esportiva exerce estresse mecânico sobre a matriz óssea, principalmente nas regiões epifisária e medial do osso, desencadeando um processo de acúmulo de massa óssea na região sob estresse (remodelação) (Ducher et al., 2005, 2006; Tenforde; Fredericson, 2011). Além disso, é necessário considerar o potencial impacto direto da participação esportiva na ação de marcadores de remodelação óssea, como os peptídeos aminoterminais do procolágeno tipo 1 (P1NP) (formação óssea) e o

telopectídeo carboxiterminal do colágeno tipo I (CTX-I) (reabsorção óssea) (Li et al., 2016; Luiz Carlos Uchoa Junqueira; José Carneiro 2008, 2008).

Outro elemento a ser considerado nessa equação é o papel do tecido adiposo. A relação entre os tecidos adiposo e ósseo ainda está sob investigação e até mesmo a direção dessa relação permanece obscura (Maillane-Vanegas et al., 2018). Por um lado, a sobrecarga física gerada pela obesidade pode ser benéfica para a resistência óssea dos membros inferiores, mas a inflamação de baixo grau relacionada à obesidade parece estar negativamente relacionada à formação óssea (Ma et al., 2023; Maillane-Vanegas et al., 2018). Além disso, a maturação biológica e o sexo são duas variáveis poderosas que afetam a relação entre a formação óssea e a participação desportiva e que não devem ser ignoradas (Lynch et al., 2019).

Para compreender profundamente o principal problema discutido neste manuscrito, mais do que apenas considerar todos os elementos descritos acima, é necessário atacar algumas lacunas na literatura. Portanto, a primeira lacuna é o número esmagador de estudos transversais que avaliam a questão, que é propensa ao impacto da causalidade reversa. A segunda lacuna é que o osso é definido principalmente como DMO e CMO, e outros aspectos são menos considerados, como a geometria óssea. A geometria óssea fornece elementos qualitativos (por exemplo, largura do osso cortical, propriedades de flexão) não cobertos por medidas de densidade, tornando possível identificar melhorias no osso não capturadas por mudanças no CMO.

Assim, o objetivo principal deste estudo foi identificar o impacto da FRS atribuída à participação esportiva nas alterações de marcadores de densidade e geometria óssea de adolescentes de ambos os sexos, bem como identificar outros deterministas relevantes neste fenômeno.

MÉTODOS

Amostra

Este é um estudo longitudinal que faz parte do ensaio clínico pragmático intitulado “Análise dos Comportamentos de Crianças Durante o Crescimento” (ABCD – Estudo do Crescimento), realizado na cidade de Presidente Prudente (220.000 habitantes, Índice de Desenvolvimento Humano de 0,807, localizada na região oeste do estado de São Paulo) desde 2017. O estudo acompanhou adolescentes de 11 a 17 anos, investigando o impacto da participação esportiva em diferentes aspectos da saúde dos adolescentes. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual Paulista (números do processo) e registrado no Registro Brasileiro de Ensaios Clínicos (nº RBR-43vbh6b).

O conjunto de dados utilizado neste estudo é composto por 61 adolescentes de ambos os sexos (50 meninos e 18 meninas) recrutados em 11 unidades (escolas [n= 3] e clubes esportivos [8]) espalhados pela região metropolitana da cidade. As equipes esportivas (natação, ginástica artística, atletismo, basquete, judô e futebol) estavam envolvidas em competições de nível pelo menos estadual. Para esses adolescentes, os seguintes critérios de inclusão foram considerados: i) idade entre 11 e 17 anos; ii) envolvimento prévio de pelo menos 12 meses no esporte atual; iii) para adolescentes não envolvidos em esportes (escolas): não participação em nenhum outro programa regular de exercícios físicos (diferente da modalidade esportiva já praticada) regular em qualquer programa de exercícios físicos por pelo menos 12 meses; iv) nenhum problema ortopédico ou metabólico previamente diagnosticado que pudesse afetar a participação no esporte ou exercício físico; v) termo de consentimento escrito assinado pelos pais/responsáveis legais.

Todos os participantes foram convidados para uma única visita ao laboratório da Universidade onde a pesquisa é realizada para coleta de dados basais (entrevistas, antropometria, avaliação da composição corporal, coleta de sangue e informações sobre como os questionários deveriam ser preenchidos), enquanto as mesmas medidas foram realizadas 12 meses depois (medidas de acompanhamento). A avaliação da intensidade do treinamento (frequência cardíaca) foi realizada dentro de quatro semanas após a visita basal ao laboratório, enquanto as medidas de potência muscular foram medidas no acompanhamento (mesmo dia para todas as outras variáveis).

Variáveis dependentes: densidade e geometria óssea

A densidade mineral óssea areal (DMOa [g/cm^2]) foi medida usando a técnica de densitometria óssea (absorciometria de raios X de dupla energia – DXA; General Electrics, modelo WH – Prodigy Advance). O dispositivo foi calibrado antes do início das medições, seguindo as recomendações do fabricante, e as varreduras de corpo inteiro e do colo do fêmur foram realizadas por um avaliador previamente treinado. Durante o exame, todos os participantes usavam roupas leves, estavam descalços e sem quaisquer pertences de metal próximos ao corpo. As varreduras de corpo inteiro (gordura corporal [GC], DMOa) foram executadas usando o software enCORE v17 SP2 Prodigy, Lunar DXA. Da varredura de corpo inteiro, apenas a DMOa dos membros inferiores foi considerada para este estudo em relação à medição óssea (Kohrt et al., 2004; Vlachopoulos et al., 2017).

Adicionalmente, utilizando o software enCORE v17 SP2 Prodigy Advance, o dispositivo DXA foi capaz de calcular parâmetros da geometria óssea a partir de leituras realizadas na cabeça do fêmur (Advanced Hip Assessment). Assim, os seguintes parâmetros geométricos foram estimados: área da secção transversal - área total da superfície óssea do quadril, excluindo a área de tecido mole e osso trabecular (CSA [mm^2]); momento de inércia da secção transversal - índice de rigidez estrutural e reflete a distribuição de massa no centro da estrutura óssea (CSMI [mm^2]); e módulo de secção (Z), uma medida da rigidez óssea intimamente relacionada à resistência à flexão e torção do osso (Zymbal et al., 2016).

Variável independente: força de reação do solo atribuída à participação esportiva

Foi criado um índice de FRG atribuído ao engajamento em determinados esportes (natação = 0,1; judô = 1,6; futebol = 5,0; basquete = 7,0; ginástica = 7,0) e atividades de controle (aulas de educação física = 1,0) usando a equação: Índice de FRS * tempo semanal de engajamento nele (em minutos). Esses índices foram desenvolvidos em um estudo anterior realizado por este mesmo grupo de pesquisa, usando um grupo amostral muito semelhante ao deste estudo (Vlachopoulos et al., 2017).

Covariáveis

A massa magra dos membros inferiores foi mensurada utilizando o aparelho DXA (em kg) e o BMC dos membros inferiores foi subtraído dela, gerando uma nova variável que

denominamos “tecido mole magro” (TMM) expressa em kg. A potência dos membros inferiores foi obtida por meio de um teste de salto realizado em uma plataforma de salto (Jump System Pro [Cefise Sports Biotechnology <https://cefise.com.br/produto/jump-system-pro/>]) conectada a um software (Software Jump System 1.0). Os voluntários realizaram 3 saltos seguindo o protocolo de Sayres, et al 1999 28, com um salto prévio para familiarização. O equipamento forneceu os valores de potência dos membros inferiores em W e W/kg.

Durante uma semana regular de treinamento, a frequência cardíaca (FC) foi monitorada (sensor Polar OH1; Polar Electro®, Finlândia) e usada como medida da intensidade do treinamento. A porcentagem da FC máxima prevista (220 bpm - idade cronológica) foi considerada usando as zonas de intensidade Polar (50-60% muito leve; 61-70% leve; 71-80% moderada; 81-90% forte; 91-100% muito forte) e o tempo gasto em $\geq 71\%$ da FC máxima foi definido como atividade física moderada a vigorosa (AFMV Esportiva). Assim, a participação esportiva semanal foi considerada (AFMV x frequência de treinamento [expressa em min/dia]). Adolescentes no Grupo Controle receberam zero para essa variável. A atividade física por acelerômetro considerou tempo de sono, tempo deitado, tempo sentado, tempo de intensidade leve (menor que 3 METs [equivalente metabólico da tarefa], tempo de intensidade moderada (3–6 METs) e tempo de intensidade vigorosa (mais de 6 METs), bem como gasto energético (Kcal), número de passos e distância percorrida (essas são informações do próprio aparelho).

O dispositivo forneceu diferentes resultados de atividade física, incluindo tempo de sono, tempo deitado, tempo sentado, tempo de intensidade leve (menos de 3 METs [equivalente metabólico da tarefa], tempo de intensidade moderada (3 a 6 METs) e tempo de intensidade vigorosa (mais de 6 METs), bem como gasto energético (Kcal), número de passos e distância percorrida (informações do próprio dispositivo). O comportamento sedentário foi caracterizado por baixo gasto energético (igual ou inferior a 1,5 METs) (Chaplais et al., 2015). Para este estudo, foi calculado o tempo médio dos três dias úteis válidos e os adolescentes foram classificados como suficientemente ativos (≥ 60 min/dia de AVMF), baixo CS (< 360 min/dia de tempo sentado e atividades de baixa intensidade [120 min de diretrizes + 240 min para atividades escolares]) (Khoo et al., 2005). CTx-1 ($\mu\text{g/mL}$) e P1NP ($\mu\text{g/mL}$) foram medidos por meio de amostras de sangue coletadas pela manhã, após jejum de 12 horas, em um laboratório privado, que possui todas as certificações exigidas pelo Ministério da Saúde do Brasil e realizou todas as análises sanguíneas. A maturação somática foi estimada pelo pico de velocidade de crescimento (PVC) utilizando modelos matemáticos baseados em medidas antropométricas (idade e altura) (Moore et al., 2015). Essas equações apresentam o tempo restante (em anos) (valores negativos) ou passado (valores positivos) para o PHV (deslocamento da maturidade),

que se caracteriza como um importante evento biológico presente no processo de maturação humana. A adiposidade corporal total, excluindo a cabeça, foi obtida a partir da varredura de corpo inteiro da DXA e expressa em valores percentuais.

Mudanças (Δ)

A variação absoluta (acompanhamento – linha de base [Δ]) foi calculada para as variáveis dependentes e a maioria das covariáveis. A TFG, AFMV e AFMV esportiva foram coletadas na linha de base, enquanto a potência muscular foi coletada no acompanhamento.

Análise estatística

As estatísticas descritivas foram compostas por valores médios, desvio-padrão (DP), intervalos de confiança de 95% (IC95%) e frequências (%). O teste t de Student foi utilizado para comparar meninos e meninas (Tabela 1). A relação entre densidade/geometria óssea e todas as variáveis foi avaliada por meio da regressão linear, sendo expressa como β e seu IC95% (Tabelas 2 e 3). Nos modelos multivariados, todas as variáveis independentes foram inseridas simultaneamente, e a suposição de multicolinearidade foi avaliada por meio de fatores de inflação de variância (valores satisfatórios $< 5,0$). Além disso, os parâmetros dos modelos de regressão linear também foram expressos como coeficientes padronizados (r) para fornecer medidas de tamanho do efeito (Figura 1, Painéis A-D): $r = 0,10$ - $0,29$ (pequeno), $r = 0,30$ - $0,49$ (moderado), $r = 0,50$ - $0,69$ (grande) e $r \geq 0,70$ (muito grande) (Maher et al. 2013). O diagnóstico de colinearidade foi avaliado pelo índice de inflação de variância (VIF), no qual valores $< 5,0$ foram considerados satisfatórios. A significância estatística foi definida em valor de $p < 0,05$ e todas as análises foram realizadas usando o software Stata (versão 16.0).

RESULTADOS

Meninos e meninas apresentaram idade cronológica (p -valor = 0,449) e maturação (p -valor = 0,120) semelhantes, bem como características físicas (massa corporal e altura). Os meninos apresentaram menor gordura corporal (p -valor = 0,001) e passaram um pouco mais de tempo em AFMV em esportes (p -valor = 0,059) do que as meninas (**Tabela 1**). Enquanto a densidade óssea foi 7,7% maior entre os meninos em comparação às meninas (p -valor = 0,006), as diferenças em favor dos meninos atingiram 16% para a largura do osso cortical (p -valor = 0,001) e 30% para as propriedades de flexão (p -valor = 0,001).

Entre os meninos, a FRS esportiva foi positivamente relacionada aos ganhos em densidade ($r = 0,251$; valor de $p = 0,015$ [tamanho do efeito pequeno]), CSMI ($r = 0,215$; valor de $p = 0,015$ [tamanho do efeito pequeno]) e CSA ($r = 0,305$; valor de $p = 0,002$ [tamanho do efeito moderado]), com tamanho de efeito pequeno a moderado (**Tabela 2**). Em todos os modelos para meninos, TML representou a covariável mais relevante com um tamanho de efeito muito grande (r variando de 0,764 a 0,864). Todos os modelos descreveram bem as mudanças na geometria e densidade óssea (variando de 75,9% a 85,6%), bem como o maior VIF observado foi 2,1 (CSMI como desfecho).

Entre as meninas, a FRS esportiva foi positivamente relacionada aos ganhos em CSA ($r = 0,489$; valor de $p = 0,001$ [tamanho do efeito moderado]) e Módulo de Seção ($r = 0,312$; valor de $p = 0,024$ [tamanho do efeito moderado]), com tamanho de efeito moderado. Assim como observado para os meninos, em todos os modelos para meninas, TML representou a covariável mais relevante com tamanho de efeito grande e muito grande (r variando de 0,500 a 0,898). Além disso, para CSA, mudanças em CTX-1 e maturação afetaram significativamente o resultado. Todos os modelos descreveram bem as mudanças na geometria e densidade óssea (variando de 71,7% a 94,6%). Devido ao número reduzido de meninas, os modelos foram afetados pela colinearidade com o maior VIF atingindo 7,1 (CSMI como resultado).

DISCUSSÃO

Este estudo longitudinal com 12 meses de acompanhamento investigou o papel da FRS esportiva e de outros potenciais determinantes nas alterações na densidade e geometria óssea de adolescentes de ambos os sexos. Os principais achados sugerem que a FRS esportiva promoveu melhorias na densidade óssea (apenas meninos) e na geometria (meninos e meninas), enquanto o tecido mole magro permaneceu como o principal determinante da resistência óssea.

Nossos resultados sugerem que a TML teve um impacto avassalador nas alterações na densidade e geometria óssea de adolescentes. Em alguns cenários, esse impacto coexistiu com outros determinantes (especialmente a taxa de crescimento óssea esportiva), enquanto em outros cenários, a TML foi o único determinante das alterações ósseas. Como esperado, a magnitude da relação entre a TML e a densidade/geometria óssea foi incomparável com os outros determinantes. De fato, a relação consistente entre a TML e a massa óssea não é uma surpresa (Luiz-de-Marco et al., 2020; Maillane-Vanegas et al., 2022), mas alguns aspectos de nossas descobertas merecem atenção. A ligação entre TML e resistência óssea deve ocorrer, pelo menos em parte, devido ao estresse mecânico gerado pela contração muscular na matriz óssea, o que leva a adaptações ósseas e, consequentemente, maior DMO e melhores propriedades geométricas (Ferry et al., 2013). Surpreendentemente, nossos achados não evidenciam um papel relevante da potência muscular na determinação de alterações na densidade e geometria óssea. Portanto, é possível acreditar que as vias que ligam o TML e as adaptações ósseas nos membros inferiores dependem mais do estresse físico causado por suportar um corpo mais pesado do que de contrações musculares mais fortes (Guo et al., 2017). Além disso, é necessário considerar também o papel endócrino da massa muscular, que libera miocinas responsáveis por estimular a formação óssea (Michalopoulou et al., 2013), provavelmente potencializado por maiores quantidades de tecido.

Em termos de FRS esportiva, seu papel na melhora óssea foi tangível neste grupo de adolescentes e trouxe algumas reflexões. A primeira reflexão é sua coexistência com a FRS como os principais determinantes das alterações na densidade e geometria óssea. Tal coexistência sugere que a FRS esportiva impacta diretamente os ossos em pequena magnitude, especialmente porque esse impacto parece substancialmente potencializado pela FRS, provavelmente devido à participação da FRS no peso corporal. A segunda reflexão é o fato de que a intensidade da participação esportiva não foi relevante em nossos modelos. Estudos anteriores relacionaram a AFMV à densidade óssea (Michalopoulou et al., 2013), mas nesses estudos, a intensidade e a FRS da atividade física computada não foram divididas e analisadas

separadamente (a maioria delas foi medida por acelerômetros). Nossos resultados sugerem que a intensidade está relacionada à densidade óssea, pois os acelerômetros determinam a intensidade pelo movimento corporal e não é possível deduzir a FRS dessas atividades medindo apenas a intensidade.

A terceira reflexão é o fato de que o sexo parece ser um determinante relevante de como a FRS esportiva molda os ossos. Para os meninos, a FRS esportiva impulsionou melhorias no acúmulo ósseo, na expansão da largura cortical e na resistência óssea à torção. Da mesma forma, estudos anteriores relataram que o esqueleto masculino parece ser mais responsável pelo estímulo ao exercício físico do que o feminino durante o crescimento humano (Lynch et al., 2019).

Nosso estudo tem alguns pontos fortes. O primeiro aspecto forte a ser destacado em nosso estudo é cobrir determinantes ósseos relevantes em diferentes perspectivas (por exemplo, bioquímica, biomecânica, física). Tais características metodológicas parecem impactar o segundo aspecto forte do estudo, que é o alto potencial de nossos modelos estatísticos para explicar mudanças na densidade óssea e geometria de adolescentes, mesmo entre meninas, onde o número reduzido de participantes parece um problema tangível. O terceiro aspecto forte deste estudo é considerar diferentes componentes da participação esportiva (GRF e tempo gasto em AFMV) e a atividade física realizada fora dos esportes, o que torna possível discriminar entre as propriedades osteogênicas da atividade física e suas diferentes manifestações. Finalmente, a abordagem pragmática adotada no ABCD – Growth Study torna possível transferir essas descobertas para a participação esportiva realizada no mundo real.

Apesar de trazer contribuições para a literatura científica, este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. O pequeno número de meninas parece ser uma limitação particular em nosso estudo, especialmente porque não está totalmente claro se as diferenças no impacto da FRS esportiva sobre os aspectos ósseos observadas entre meninos e meninas podem ser atribuídas a diferenças de gênero ou ao menor número de participantes do sexo feminino. Outra limitação em nosso estudo pode ser a ausência de aspectos da dieta (por exemplo, ingestão de vitamina D e cálcio), que impactam o crescimento ósseo e a participação esportiva.

CONCLUSÃO

Em resumo, mesmo considerando as particularidades de gênero, a taxa de crescimento óssea (TCO) esportiva melhorou a densidade e a geometria óssea em meninos e meninas, enquanto a massa magra permaneceu o determinante mais relevante das alterações ósseas. Nossos achados destacam a importância da geometria óssea como um marcador valioso para identificar melhorias ósseas atribuídas à prática de exercícios físicos, muitas vezes não detectadas por medidas de densidade óssea.

Conflito de interesses: Rafael Luiz de Marco, Ricardo Ribeiro Agostinete, Rayana Loch Gomes e Rômulo Araújo Fernandes declaram não ter conflito de interesses.

Financiamento

Este estudo foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (2019/22754-3; 22/09796-1).

Tabela 1. Características gerais da amostra segundo sexo após 12 meses de seguimento (ABCD – Growth Study; n= 61).

	Meninos (n= 43)	Meninas (n= 18)	
Variáveis	Média (DP)	Média (DP)	p-valor
Idade (anos)	15,4 (1,7)	15,5 (1,7)	0,449
Altura (cm)	174,7 (8,7)	164 (8,1)	0,907
Massa Corporal (kg)	66,6 (13,7)	58,2 (8,5)	0,152
PVC (anos)	1,7 (1,4)	1,2 (1,0)	0,120
AFMV em Prática Esportiva (min/semana)	464,3 (268,3)	360,8 (222,1)	0,059
CTX-1 (ug/L)	1,151 (433,9)	1,117 (0,515)	0,042
P1NP (ug/L)	519,4 (451,0)	199,2 (160,4)	<0,001
TBLH Gordura Corporal (%)	18,7 (6,4)	31,0 (4,3)	0,086
Membros Inferiores			
CSMI (mm ⁴)	13146,7 (4008,6)	8509,0 (2531,4)	0,060
CSA (mm ²)	182,1 (34,4)	155,7 (24,3)	<0,001
Section Modulus (cm ³)	798,3 (201,7)	613,3 (134,3)	<0,001
aDMO (g/cm ²)	1,342 (0,173)	1,246 (0,114)	0,006
Tecido Mole Magro (kg)	16,4 (3,0)	12,3 (1,9)	<0,001
Potência (w/kg)	44,6 (7,7)	36,7 (5,2)	0,131
Mudança (Δ %)			
Δ % CSMI (mm ⁴)	12,9 (5,2 to 20,6)	7,3 (-6,6 to 21,3)	0,640
Δ % CSA (mm ²)	8,0 (3,5 to 12,6)	6,3 (-1,4 to 14,1)	0,779
Δ % Section Modulus (cm ³)	-6,8 (-7,6 to -6,1)	-5,4 (-6,3 to -4,4)	0,113
Δ % aDMO (g/cm ²)	6,5 (3,2 to 9,4)	3,1 (-2,0 to 8,3)	0,612
Δ % Tecido Mole Magro (kg)	7,7 (2,5 to 12,9)	4,7 (-5,2 to 14,7)	0,879

Nota: DP = desvio padrão; CSA = área da secção transversal; CSMI = momento de inércia da secção transversal; aBMD = densidade mineral óssea areal; MI = membros inferiores; PVC = pico de velocidade de crescimento; CTX-1 = telopeptídeo C-terminal do colágeno tipo I; P1NP = propeptídeo N-terminal do procólágeno tipo I; TBLH = corpo total menos cabeça; APMV = atividade física moderada a vigorosa por acelerometria; ** = Judô, Futebol, Ginástica e Basquete; kgf = quilogramas força.

Tabela 2. Relação entre parâmetros de participação esportiva e densidade/geometria óssea em meninos após 12 meses de acompanhamento (ABCD – Growth Study; n= 43).

Variáveis Independentes	Variáveis Dependentes Δ MI - aDMO (g/cm ²) β (95%IC)*	Variáveis Dependentes Δ CSMI (mm ⁴) β (95% IC)*	Variáveis Dependentes Δ CSA (mm ²) β (95% IC)*	Variáveis Dependentes Δ Section Modulus (cm ³) β (95% IC)*
Mudança (Δ)				
Esporte FRS	0,013 (0,003 - 0,024)	318,21 (64,950 - 571,48)	3,235 (1,273 - 5,198)	13,641 (-0,065 - 27,939)
Δ MI – Tecido Mole Magro (kg)	0,035 (0,026 - 0,045)	1114,8 (860,42 - 1369,29)	7,361 (5,573 - 9,150)	51,882 (37,799 - 65,965)
Δ MI – Potencia (w/kg)	47,49 ⁻⁴ (-0,003 - 0,004)	-30,04 (-123,03 - 62,94)	0,024 (-0,689 - 0,737)	-2,382 (-7,580 - 2,816)
AFMV Prática esportiva (min/dia)	-7,02 ⁻⁵ (-23,69 ⁻⁴ - 96,48 ⁻⁴)	-1,938 (-6,061 - 2,186)	-0,017 (-0,048 - 0,014)	-0,013 (-0,795 - 0,769)
AFMV (min/dia)	-2,238 ⁻⁷ (-0,001 - 0,001)	4,570 (-9,484 - 18,625)	0,014 (-0,092 - 0,121)	-0,013 (-0,795 - 0,769)
Δ CTX-1 (ug/L)	-5,05 ⁻⁵ (-11,04 ⁻⁴ - 37,45 ⁻⁵)	-0,945 (-2,955 - 1,065)	-0,008 (-0,023 - 0,008)	-0,046 (-0,158 - 0,066)
Δ P1NP (ug/L)	3,65 ⁻⁵ (-0,060 ⁻³ - 0,213 ⁻³)	-1,166 (-3,015 - 0,682)	-0,006 (-0,021 - 0,008)	-0,064 (-0,167 - 0,038)
Δ PVC (anos))	-0,104 (-0,270 - 0,062)	-3335,76 (-7439,01 - 767,01)	-20,05 (-51,77 - 10,61)	-169,27 (-398,7 - 60,221)
Δ Gordura Coporal (%)	-0,007 (-0,013 - 25,48 ⁻⁴)	-95,370 (-257,77 - 67,03)	-1,202 (-2,472 - 0,068)	-8,961 (-18,116 - 0,195)
Ajustado R ² =	0,764	0,856	0,786	0,759
p-valor=	<0,001	<0,001	0,001	<0,001

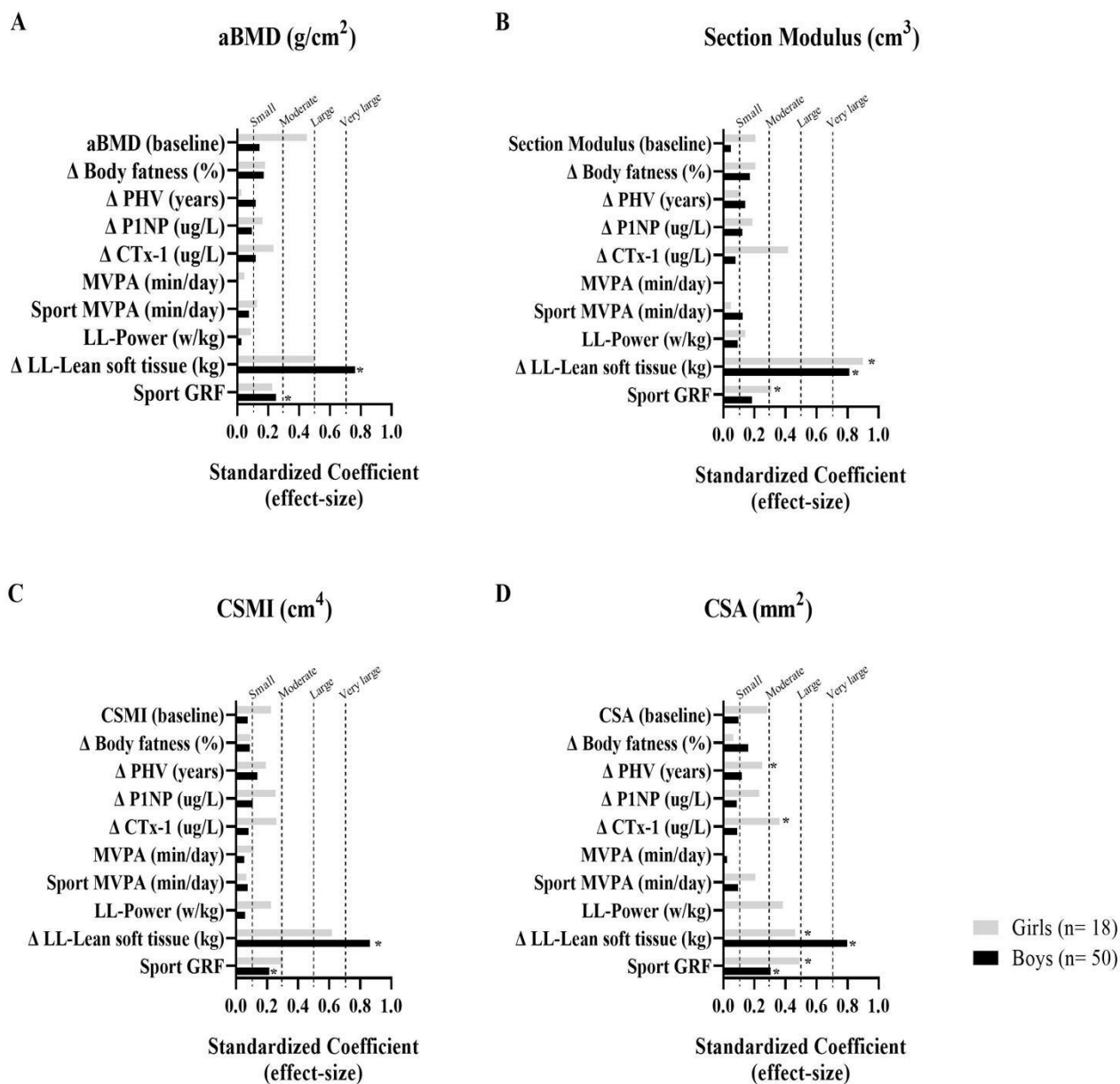
Nota: IC = intervalo de confiança; FRS = força de reação ao solo; MI = membros inferiores; aDMO = densidade mineral óssea areal; CSMI = momento de inércia transversal; CSA = área transversal; FRS = força de reação do solo; AFMV = atividade física moderada a vigorosa medida pela frequência cardíaca; CTX-1 = telopeptídeo C-terminal do colágeno tipo I; P1NP = propeptídeo N-terminal do procólágeno tipo I; * = modelo de regressão linear ajustado pela massa muscular, força, intensidade do esporte, osteocalcina, CTX-1, P1NP, gordura corporal (%), pico de velocidade de altura e valor basal das variáveis dependentes (aBMD, CSMI, CSA e módulo de secção).

Tabela 3. Relação entre parâmetros de participação esportiva e densidade/geometria óssea em meninas após 12 meses de acompanhamento (ABCD – Growth Study; n= 18).

Variáveis Independentes	Veriáveis Dependentes Δ MI - aDMO (g/cm ²) β (95%IC)*	Veriáveis Dependentes Δ CSMI (mm ⁴) β (95% IC)*	Veriáveis Dependentes Δ CSA (mm ²) β (95% IC)*	Veriáveis Dependentes Δ Section Modulus (cm ³) β (95% IC)*
Mudança (Δ)				
Esporte FRS	0,008 (-0,002 - 0,019)	189,63 (-20,554 - 399,82)	1,351 (-0,473 - 3,175)	11,579 (2,068 - 21,090)
Δ MI – Tecido Mole Magro (kg)	0,027 (0,142 - -0,012)	581,87 (-120,49 - 1,284,24)	0,007 (0,006 - 0,009)	49,674 (16,632 - 82,716)
Δ MI – Potencia (w/kg)	-0,002 (-0,011 - 0,007)	84,978 (-262,37 - 92,422)	0,112 (-0,050 - 0,273)	-3,149 (-11,377 - 5,078)
AFMV Prática esportiva (min/dia)	<0,001 (-48,69 ⁻⁴ - 0,001)	1,571 (-11,160 - 14,303)	0,021 (-0,116 - 0,158)	0,067 (-0,513 - 0,648)
AFMV (min/dia)	-2,898 ⁻⁴ (-0,002 - 0,002)	12,496 (-36,975 - 61,967)	-0,002 (-0,202 - 0,198)	-0,053 (-2,264 - 2,157)
Δ CTX-1 (ug/L)	-0,075 (-0,238 - 0,088)	-1427,2 (-4568,8 - 1714,3)	-17,775 (-33,373 - -2,176)	-134,60 (-278,08 - 8,878)
Δ P1NP (ug/L)	<0,001 (-30,34 ⁻⁴ - 0,001)	4,358(-5,276 - 13,991)	0,013 (-0,009 - 0,034)	0,189 (-0,259 - 0,637)
Δ PVC (anos)	-0,025 (-0,429 - 0,378)	-3232,04 (-11425,9 - 4961,8)	-42,21 (-78,05 - -6,36)	-110,23 (-483,72 - 263,25)
Δ Gordura Coporal (%)	0,004 (-0,010 - 0,018)	38,705 (-215,80 - 293,21)	0,272 (-0,012 - 0,107)	-5,097 (-16,795 - 6,600)
Ajustado R ² =	0,915	0,717	0,946	0,829
p-valor=	0,007	0,019	<0,001	0,004

Nota: IC = intervalo de confiança; FRS = força de reação ao solo; MI = membros inferiores; aDMO = densidade mineral óssea areal; CSMI = momento de inércia transversal; CSA = área transversal; FRS = força de reação do solo; AFMV = atividade física moderada a vigorosa medida pela frequência cardíaca; CTX-1 = telopeptídeo C-terminal do colágeno tipo I; P1NP = propeptídeo N-terminal do procolágeno tipo I; * = modelo de regressão linear ajustado pela massa muscular, força, intensidade do esporte, osteocalcina, CTX-1, P1NP, gordura corporal (%), pico de velocidade de altura e valor basal das variáveis dependentes (aBMD, CSMI, CSA e módulo de secção).

Figura 1. Tamanho do efeito da relação entre densidade óssea/geometria e participação esportiva em adolescentes (ABCD – Growth Study; n= 68).



Nota: IC = intervalo de confiança; Δ = mudança; aDMO = densidade mineral óssea areal; TBLH = corpo total menos cabeça; PVC = pico de velocidade de crescimento; P1NP = propeptídeo N-terminal do procólágeno tipo I; CTX-1 = telopeptídeo C-terminal do colágeno tipo I; AFMV = atividade física moderada a vigorosa medida pela frequência cardíaca; FRS = força de reação do solo; CSMI = momento de inércia da seção transversal; CSA = área da seção transversal.

REFERENCIAS

AGOSTINETE, Ricardo R. *et al.* Basketball Affects Bone Mineral Density Accrual in Boys More Than Swimming and Other Impact Sports: 9-mo Follow-Up. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 19, n. 3, p. 375–381, 2016.

BECK, Thomas J. Extending DXA beyond bone mineral density: Understanding hip structure analysis. **Current Osteoporosis Reports**, v. 5, n. 2, p. 49–55, 11 jun. 2007.

CHAPLAIS, Elodie *et al.* Bone-adiposity cross-talk: implications for pediatric obesity. A narrative review of literature. **Journal of bone and mineral metabolism**, v. 33, n. 6, p. 592–602, nov. 2015.

COHEN, Jacob. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. [S.l.]: Routledge, 2013.

COOPER, C. *et al.* Developmental Origins of Osteoporotic Fracture. *In: Breast-Feeding: Early Influences on Later Health*. Dordrecht: Springer Netherlands, [S.d.]. p. 217–236.

UCHER, G. *et al.* Bone geometry in response to long-term tennis playing and its relationship with muscle volume: a quantitative magnetic resonance imaging study in tennis players. **Bone**, v. 37, n. 4, p. 457–66, out. 2005.

UCHER, Gaële *et al.* Short-term and long-term site-specific effects of tennis playing on trabecular and cortical bone at the distal radius. **Journal of bone and mineral metabolism**, v. 24, n. 6, p. 484–90, 2006.

ELLOUMI, Mohamed *et al.* Long-term rugby practice enhances bone mass and metabolism in relation with physical fitness and playing position. **Journal of Bone and Mineral Metabolism**, 2009.

EXUPÉRIO, Isabella Neto *et al.* Impact of artistic gymnastics on bone formation marker, density and geometry in female adolescents: ABCD-growth study. **Journal of Bone Metabolism**, v. 26, n. 2, p. 75–82, 2019.

FERRER, P. *et al.* Is it important to achieve physical activity recommendations at early stages of life to improve bone health? **Osteoporosis International**, v. 33, n. 5, p. 1017–1026, 14 maio 2022.

FERRETTI, J. L. Perspectives of pQCT technology associated to biomechanical studies in skeletal research employing rat models. **Bone**, v. 17, n. 4, p. S353–S364, out. 1995.

FERRY, Béatrice *et al.* Bone health during late adolescence: Effects of an 8-month training program on bone geometry in female athletes. **Joint Bone Spine**, v. 80, n. 1, p. 57–63, jan. 2013.

GRACIA-MARCO, L. *et al.* Adiposity and bone health in Spanish adolescents. The HELENA study. **Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA**, v. 23, n. 3, p. 937–47, mar. 2012.

GUO, Baosheng *et al.* Molecular Communication from Skeletal Muscle to Bone: A Review for Muscle-Derived Myokines Regulating Bone Metabolism. **Calcified Tissue International**, v. 100, n. 2, p. 184–192, 9 fev. 2017.

ITO, Igor H. *et al.* Impact of Martial Arts (Judo, Karate, and Kung Fu) on Bone Mineral Density Gains in Adolescents of Both Genders: 9-Month Follow-Up. **Pediatric Exercise Science**, v. 29, n. 4, p. 496–503, 1 nov. 2017.

JEPSEN, K. J.; MIKIC, B. Understanding Bone Strength : Size Isn ' t Everything. v. 29, n. 2, p. 101–104, 2001.

JÚNIOR, Ismael Forte Freitas *et al.* The relationship between visceral fat thickness and bone mineral density in sedentary obese children and adolescents. **BMC pediatrics**, v. 13, p. 37, mar. 2013.

KHOO, Benjamin C. C. *et al.* In vivo short-term precision of hip structure analysis variables in comparison with bone mineral density using paired dual-energy X-ray absorptiometry scans from multi-center clinical trials. **Bone**, v. 37, n. 1, p. 112–121, 2005.

KOVRT, Wendy M. *et al.* American College of Sports Medicine Position Stand: physical activity and bone health. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 36, n. 11, p. 1985–96, nov. 2004.

LADANG, Aurélie *et al.* Bone Turnover Markers in Children: From Laboratory Challenges to Clinical Interpretation. **Calcified Tissue International**, v. 112, n. 2, p. 218–232, 4 mar. 2022.

LI, Jinqiao *et al.* An overview of osteocalcin progress. **Journal of Bone and Mineral Metabolism**, v. 34, n. 4, p. 367–379, 8 jul. 2016.

LOZANO-BERGES, Gabriel *et al.* Soccer helps build strong bones during growth: a systematic review and meta-analysis. **European Journal of Pediatrics**, v. 177, n. 3, p. 295–310, 28 mar. 2018.

LUIZ CARLOS UCHOA JUNQUEIRA; JOSÉ CARNEIRO 2008. **Histologia básica**. 11. ed. Rio de Janeiro : [S.n.].

LUIZ-DE-MARCO, Rafael *et al.* Sports participation and muscle mass affect sex-related differences in bone mineral density between male and female adolescents: A longitudinal study. **Sao Paulo medical journal = Revista paulista de medicina**, v. 137, n. 1, p. 75–81, maio 2019.

LUIZ-DE-MARCO, Rafael *et al.* Impact of changes in fat mass and lean soft tissue on bone mineral density accrual in adolescents engaged in different sports: ABCD Growth Study. **Archives of Osteoporosis**, v. 15, n. 1, p. 22, dez. 2020.

LYNCH, Kyle R. *et al.* Impact sports and bone fractures among adolescents. **Journal of Sports Sciences**, v. 35, n. 24, p. 2421–2426, 2017.

LYNCH, Kyle R. *et al.* Sports participation decreases the incidence of traumatic, nonsports-related fractures among adolescents. **Pediatric Exercise Science**, v. 31, n. 1, p. 47–51, 2019.

MA, Chun-Ming *et al.* The relationship between obesity and bone mineral density in children and adolescents: analysis of the National Health and Nutrition Examination Survey. **Archives of Osteoporosis**, v. 18, n. 1, p. 25, 23 jan. 2023.

MAILLANE-VANEGAS, Santiago *et al.* Bone Mineral Density and Sports Participation. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 2013, 2018.

MAILLANE-VANEGAS, Santiago *et al.* More than Sports Participation: The Role of Ground Reaction Force, Osteocalcin and Lean Soft Tissue on Bone Density Accrual in Adolescents: ABCD Growth Study. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 25, n. 1, p. 61–72, jan. 2022.

MICHALOPOULOU, Maria *et al.* Physical activity is associated with bone geometry of premenarcheal girls in a dose-dependent manner. **Metabolism**, v. 62, n. 12, p. 1811–1818, dez. 2013.

MOORE, Sarah A. *et al.* Enhancing a somatic maturity prediction model. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 47, n. 8, p. 1755–1764, 2015.

NAVA, Guilherme Thomaz de Aquino *et al.* Influence of pain in strength, resistance and recruitment of trunk muscles. **Brazilian Journal Of Pain**, v. 1, n. 4, 2018.

PETIT, Moira A. *et al.* Proximal femur bone geometry is appropriately adapted to lean mass in overweight children and adolescents. **Bone**, v. 36, n. 3, p. 568–76, mar. 2005.

RIZZOLI, René *et al.* Maximizing bone mineral mass gain during growth for the prevention of fractures in the adolescents and the elderly. **Bone**, v. 46, n. 2, p. 294–305, fev. 2010.

ROBERT M. MALINA; CLAUDE BOUCHARD. **Atividade física do atleta jovem: do crescimento à maturação**. 1. ed. [S.l.: S.n.]. v. 1

ROBLING, ALEXANDER G. Is Bone's Response to Mechanical Signals Dominated by Muscle Forces? **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 41, n. 11, p. 2044–2049, nov. 2009.

SCOTT, Alexander *et al.* Mechanotransduction in Human Bone. **Sports Medicine**, v. 38, n. 2, p. 139–160, 2008a.

SCOTT, Alexander *et al.* Mechanotransduction in human bone: in vitro cellular physiology that underpins bone changes with exercise. **Sports medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 38, n. 2, p. 139–60, 2008b.

TAES, Youri *et al.* Prevalent fractures are related to cortical bone geometry in young healthy men at age of peak bone mass. **Journal of Bone and Mineral Research**, v. 25, n. 6, p. 1433–1440, 1 jun. 2010.

TENFORDE, Adam S.; FREDERICSON, Michael. Influence of Sports Participation on Bone Health in the Young Athlete: A Review of the Literature. **PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation**, v. 3, n. 9, p. 861–7, 2011.

UBAGO-GUISADO, Esther *et al.* Longitudinal determinants of 12-month changes on bone health in adolescent male athletes. **Archives of Osteoporosis**, v. 13, n. 1, 2018.

URBAN, Jacqueline Bexiga *et al.* Sports participation plays a relevant role in the relationship between birth weight and bone mineral content in adolescents. **American Journal of Human Biology**, v. 36, n. 9, set. 2024.

VALENTE-DOS-SANTOS, João *et al.* Total and regional bone mineral and tissue composition in female adolescent athletes: comparison between volleyball players and swimmers. **BMC Pediatrics**, v. 18, n. 1, p. 212, 3 dez. 2018.

VASIKARAN, Samuel *et al.* International Osteoporosis Foundation and International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine Position on bone marker standards in osteoporosis. **Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)**, v. 49, n. 8, p. 1271–1274, 1 ago. 2011.

VLACHOPOULOS, Dimitris *et al.* The Impact of Sport Participation on Bone Mass and Geometry in Male Adolescents. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 49, n. 2, p. 317–326, 2017.

WANG, Qingju *et al.* Bone's Structural Diversity in Adult Females Is Established before Puberty. **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 94, n. 5, p. 1555–1561, maio 2009a.

WANG, Qingju *et al.* Bone's structural diversity in adult females is established before puberty. **The Journal of clinical endocrinology and metabolism**, v. 94, n. 5, p. 1555–61, maio 2009b.

ZYMBAL, Vera *et al.* Determining Skeletal Geometry. *In: [S.l.: S.n.]*. p. 1–25.

ZYMBAL, Vera *et al.* Mediating Effect of Muscle on the Relationship of Physical Activity and Bone. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 2019.

6- CONCLUSÕES GERAIS DA TESE

- Tanto em modelos transversais como em longitudinais, a massa muscular figurou como maior responsável da estrutura óssea (densidade e geometria), apresentando uma participação nos modelos (tamanho de efeito) que supera em muito as demais variáveis consideradas.
- A gordura corporal parece figurar de maneira muito pontual/isolada (e com tamanho de efeito muito mais baixo do que o observado para a massa muscular) como um determinante negativo na densidade e geometria óssea de adolescentes.
- A prática de esporte, especialmente representada por sua força de reação contra o solo, caracterizou-se como relevante para a melhoria da densidade e geometria óssea de adolescentes, coexistindo com a massa muscular como principais responsáveis pela expansão / fortalecimento ósseo.
- Os modelos observados parecem ser altamente dependentes do sexo, sendo mais tangíveis entre meninos, porém, o número reduzido de meninas requer cautela em tal conclusão.

7- REFERENCIAS DA TESE

AGOSTINETE, Ricardo R. et al. Basketball affects bone mineral density accrual in boys more than swimming and other impact sports: 9-mo follow-up. *Journal of Clinical Densitometry*, v. 19, n. 3, p. 375-381, 2016.

Agostinete RR, Ito IH, Kemper H, Pastre CM, Rodrigues-Júnior MA, Luiz-de-Marco R, Fernandes RA. Somatic maturation and the relationship between bone mineral variables and types of sports among adolescents: cross-sectional study. *Sao Paulo Med J*. 2017 May-Jun;135(3):253-259. doi: 10.1590/1516-3180.2016.0270210217. PMID: 28746660; PMCID: PMC10019843.

BECK TJ. Extending DXA beyond bone mineral density: understanding hip structure analysis. *Curr Osteoporos Rep*. 2007; 5:49-55.

CAMPOS, Raquel et al. Influence of visceral and subcutaneous fat in bone mineral density of obese adolescents. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia*, v. 56, n. 1, p. 12-18, 2012.

CAMPOS, Lúcia MA et al. Osteoporose na infância e na adolescência. *J Pediatr (Rio J)*, v. 79, n. 6, p. 481-8, 2003.

CAO, Jay J. Effects of obesity on bone metabolism, *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 15;6:30. doi: 10.1186/1749-799X-6-30. June 2011.

CHAPLAIS E. et al. Bone-adiposity cross-talk: implications for pediatric obesity. *J Bone Miner Metab* (2015) 33:592–602. DOI 10.1007/s00774-015- 0654-6

CHRISTOS SAVVIDIS; Symeon Tournis; Anastasia D. Dede. Obesity and bone metabolismo. *Hormones*, v 17. n. 2, p. 205-217, jun. 2018. Doi:10.1007/s42000-018-0018-4.

COOPER, Cyrus et al. Developmental origins of osteoporotic fracture. *Osteoporosis International*, v. 17, n. 3, p. 337-347, 2006.

DIMITRI, P. et al. Obesity is a risk factor for fracture in children but is protective against fracture in adults: a paradox. *Bone*, v. 50, n. 2, p. 457-466, 2012.

UCHER, Gaele et al. Bone geometry in response to long-term tennis playing and its relationship with muscle volume: a quantitative magnetic resonance imaging study in tennis players. *Bone*, v. 37, n. 4, p. 457-466, 2005.

UCHER, Gaële et al. Short-term and long-term site-specific effects of tennis playing on trabecular and cortical bone at the distal radius. *Journal of bone and mineral metabolism*, v. 24, n. 6, p. 484-490, 2006.

EXUPÉRIO, Isabella Neto et al. Impact of Artistic Gymnastics on Bone Formation Marker, Density and Geometry in Female Adolescents: ABCD- Growth Study. *Journal of Bone Metabolism*, v. 26, n. 2, p. 75-82, 2019.

FERRETTI JL. Perspectives of pQCT technology associated to biomechanical studies in skeletal research employing rat models. *Bone*. 1995;17(Suppl 4): S353-64.

GÓMEZ-BRUTON, A. et al. The effects of swimming training on bone tissue in adolescence. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, v. 25, n. 6, p. e589-e602, 2015.

GÓMEZ-BRUTON A, González-Agüero A, Gómez-Cabello A, et al. Swimming and bone: is low bone mass due to hypogravity alone or does other physical activity influence it? *Osteoporos Int*. 2016;27(5):1785-93. PMID: 26694592; doi: 10.1007/s00198-015-3448-8.

GRACIA-MARCO, L. et al. Adiposity and bone health in Spanish adolescents. The HELENA study. *Osteoporosis International*, v. 23, n. 3, p. 937-947, 2012.

GUEDES, D.P; GUEDES, J.E.R.P. Exercício físico na promoção da saúde. Londrina: Midiograf, 1995.

GOULDING, A; Andrea M Grant; and Sheila M Williams. Bone and Body Composition of Children and Adolescents With Repeated Forearm Fractures. *JOURNAL OF BONE AND MINERAL RESEARCH* Volume 20, Number 12, 2005; doi: 10.1359/JBMR.050820

ITO, Igor H. et al. Impact of martial arts (judo, karate, and kung fu) on bone mineral density gains in adolescents of both genders: 9-month follow-up. *Pediatric exercise science*, v. 29, n. 4, p. 496-503, 2017.

JINQIAO Li, Hongyu Zhang, Chao Yang, Yinghui Li, Zhongquan Dai. An overview of osteocalcin progress. *J Bone Miner Metab* (2016) 34:367–379. DOI 10.1007/s00774-015-0734-7.

JOERIS, Alexander et al. An epidemiological evaluation of pediatric long bone fractures—a retrospective cohort study of 2716 patients from two Swiss tertiary pediatric hospitals. *BMC pediatrics*, v. 14, n. 1, p. 314, 2014.

JÚNIOR, Ismael Forte Freitas et al. The relationship between visceral fat thickness and bone mineral density in sedentary obese children and adolescents. *BMC pediatrics*, v. 13, n. 1, p. 37, 2013.

- JUNQUEIRA, L.; CARNEIRO, J. Tecido ósseo. *Histologia básica*, v. 9, p. 111- 28, 2008.
- KATZMAN, D. K., L. K. Bachrach, D. R. Carter, and R. Marcus. 1991. "Clinical and Anthropometric Correlates of Bone Mineral Acquisition in Healthy Adolescent Girls." *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 73(6):1332–39.
- KRUSE K, Kracht U (1986) Evaluation of serum osteocalcin as an index of altered bone metabolism. *Eur J Pediatr* 145:27–33.
- KOVRT, Wendy M. et al. Physical activity and bone health. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 36, n. 11, p. 1985-1996, 2004.
- KHOO BC, Beck TJ, Qiao QH, et al. In vivo short-term precision of hip structure analysis variables in comparison with bone mineral density using paired dual-energy X-ray absorptiometry scans from multicenter clinical trials. *Bone*. 2005;37(1):112–21.
- LANDIN LA: Epidemiology of children's fractures. *J Pediatr Orthop B*. 1997, 6 (2): 79-83. 10.1097/01202412-199704000-00002.
- LEE NK, Sowa H, Hinoi E et al (2007) Endocrine regulation of energy metabolism by the skeleton. *Cell* 130:456–469.
- LOZANO-BERGES, Gabriel et al. Soccer helps build strong bones during growth: a systematic review and meta-analysis. *European journal of pediatrics*, v. 177, n. 3, p. 295-310, 2018.
- LUIZ-DE-MARCO, Rafael et al. Sports participation and muscle mass affect sex-related differences in bone mineral density between male and female adolescents: A longitudinal study. *Sao Paulo Med J*. 2019; 137(1):75-81.
- LYNCH KR, Kemper HCG, Turi-Lynch B, et al. Impact sports and bone fractures among adolescents. *J Sports Sci*. 2017;35(24):2421-26. PMID: 28026207; doi: 10.1080/02640414.2016.1272708.
- LYNCH KR, Michael Fredericson, Turi-Lynch B, et al. Sports Participation Decreases the Incidence of Traumatic, Nonsports-Related Fractures Among Adolescents. *Pediatric Exercise Science*. <https://doi.org/10.1123/pes.2018-0053>. 2018.
- MAILLANE-Vanegas et al. Bone Mineral Density and Sports Participation. *Journal of Clinical Densitometry*. DOI:10.1016/j.jocd.2018.05.041. May 2018.

MALINA, Robert M.; BOUCHARD, Claude. Atividade física do atleta jovem: do crescimento à maturação. Editora Roca, 2002.

MAURAS N, Rogol AG, Haymond MW, Veldhuis JD. Sex steroids, growth hormone, insulin-like growth factor-1: neuroendocrine and metabolic regulation in puberty. *Horm Res.* 1996;45:74-80.

MARTINELLI CE Jr, Aguiar-Oliveira MH. Crescimento normal: avaliação e regulação endócrina. In: Antunes-Rodrigues J, Moreira AC, Elias LLK, Castro M, editores. *Neuroendocrinologia básica e aplicada*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2005. p. 366-89. 2005.

MEULEN MC, Jepsen KJ, Mikic B. Understanding bone strength: size isn't everything. *Bone.* 2001; 29:101-4.

MIOT, H. A. Tamanho da amostra em estudos clínicos e experimentais. *J Vasc Bras*, v. 10, n. 4, p. 275-8, 2011.

MOORE SA, McKay HA, Macdonald H, Nettlefold L, Baxter-Jones ADG, Cameron N, et al. Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(8):1755–64.

NCD-RisC et al. Contributions of mean and shape of blood pressure distribution to worldwide trends and variations in raised blood pressure: a pooled analysis of 1018 population-based measurement studies with 88.6 million participants. *International Journal of Epidemiology*, 2018, Vol. 47, No. 3

OOTSUKA T, Nakanishi A, Tsukamoto I. (2015) Increase in osteoclastogenesis in an obese Otsuka long-Evans Tokushima fatty rat model. *Mol Med Rep Greece* 12:3874-3880.

OURY F, Khrimian L, Denny CA et al (2013) Maternal and offspring pools of osteocalcin influence brain development and functions. *Cell* 155:228–241.

PETIT, Moira A. et al. Proximal femur bone geometry is appropriately adapted to lean mass in overweight children and adolescents. *Bone*, v. 36, n. 3, p. 568- 576, 2005.

REID, Ian R. Fat and bone. *Archives of biochemistry and biophysics*, v. 503, n. 1, p. 20-27, 2010.

REGINSTER, Jean-Yves; BURLET, Nansa. Osteoporosis: a still increasing prevalence. *Bone*, v. 38, n. 2, p. 4-9, 2006.

RIZZOLI, René et al. Maximizing bone mineral mass gain during growth for the prevention of fractures in the adolescents and the elderly. *Bone*, v. 46, n. 2, p. 294-305, 2010.

ROBLING, Alexander G. Is bone's response to mechanical signals dominated by muscle forces?. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 41, n. 11, p. 2044, 2009.

ROCHER, Emilie, Christine Chappard, Christelle Jaffre, Claude-Laurent Benhamou, and Daniel Courteix. 2008. "Bone Mineral Density in Prepubertal Obese and Control Children: Relation to Body Weight, Lean Mass, and Fat Mass." *Journal of Bone and Mineral Metabolism* 26(1):73–78.

SEIBEL MJ, Robins SP, Bilezikian JP (1997) Serum undercarboxylated osteocalcin and the risk of hip fracture. *J Clin Endocrinol Metab* 82:717–718.

SCHEIDT PC, Harel Y, Trumble AC, Jones DH, Overpeck MD, Bijur PE: The epidemiology of nonfatal injuries among US children and youth. *Am J Public Health*. 1995, 85 (7): 932-938. 10.2105/AJPH.85.7.932. View Article PubMed PubMed Central Google Scholar.

SCOTT, Alexander et al. Mechanotransduction in human bone. *Sports Medicine*, v. 38, n. 2, p. 139-160, 2008.

SHAPSES SA, Sukumar D. Bone metabolism in obesity and weight loss. *Annu Rev Nutr*. 2012;32:287–309.

TENFORDE, Adam S.; FREDERICSON, Michael. Influence of sports participation on bone health in the young athlete: a review of the literature. *PM&R*, v. 3, n. 9, p. 861-867, 2011.

VALENTE-DOS-SANTOS, João et al. Total and regional bone mineral and tissue composition in female adolescent athletes: comparison between volleyball players and swimmers. *BMC pediatrics*, v. 18, n. 1, p. 212, 2018.

VELDHUIS JD, Iranmanesh A. Physiological regulation of the human growth hormone (GH) insulin-like growth factor type I (IGF-I) axis: predominant impact of age, obesity, gonadal function, and sleep. *Sleep*. 1996;19(Suppl):S221-4.

VIRVIDAKIS, K. et al. Bone mineral content of junior competitive weightlifters. *International journal of sports medicine*, v. 11, n. 03, p. 244-246, 1990.

VLACHOPOULOS, Dimitris et al. The Impact of Sport Participation on Bone Mass and Geometry in Adolescent Males. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 9(2):317-326 DOI: 10.1249/MSS.0000000000001091. February 2017.

VLACHOPOULOS, Dimitris et al. Longitudinal Adaptations of Bone Mass, Geometry, and Metabolism in Adolescent Male Athletes: The PRO-BONE Study. *Journal of Bone and Mineral Research*, Vol. 32, No. 11, November 2017, pp 2269–2277. DOI: 10.1002/jbmr.3206

WALSH SS, Jarvis SN, Towner EM, Aynsley-Green A: Annual incidence of unintentional injury among 54,000 children. *Inj Prev*. 1996, 2 (1): 16-20. 10.1136/ip.2.1.16.

WANG, Qingju et al. Bone's structural diversity in adult females is established before puberty. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, v. 94, n. 5, p. 1555-1561, 2009.

WINTHER, Anne et al. Bone mineral density at the hip and its relation to fat mass and lean mass in adolescents: the Tromsø Study, Fit Futures. *BMC Musculoskeletal Disorders*, doi: 10.1186/s12891-018-1933-x, Published online 2018 Jan 2019.

8- DESCRIÇÕES DAS ATIVIDADES ACADÊMICAS (CURSOS, PUBLICAÇÕES, CONFERÊNCIAS) DURANTE O CURSO DE DOUTORADO.

Data oficial de matrícula no programa de pós-graduação: 11/03/2020.

Disciplinas e créditos cursados.

ATESTADO

Atestamos, para os devidos fins, que RAFAEL LUIZ DE MARCO, RA nº CMH200212, RG nº 2058085-1, expedido pela SSP/MT, realizou as seguintes atividades programadas junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Motricidade, Curso de Doutorado, reconhecido pela Portaria MEC número 609/2019 de 14/03/2019.

Disciplinas	Ano	Período letivo	Créditos	Carga Horária	Freq	Conceito
Avaliação e análise do desempenho físico e do treinamento esportivo	2020	2º Semestre	4	60	100	A
Métodos e técnicas de avaliação da aptidão física, prescrição e monitoramento da intensidade de esforço	2020	2º Semestre	6	90	100	B
Prescrição de Exercícios Físicos para Saúde: indicações e contra-indicações	2020	2º Semestre	6	90	95.6	A
Seminários de Pesquisa	2020	2º Semestre	2	30	100	A
1 crédito correspondente a 12 horas de atividades programadas até 13/9/99 (Res. UNESP 46, DE 18/6/91)						
1 crédito correspondente a 15 horas de atividades programadas a partir de 14/9/99 (Res. UNESP 45, DE 14/9/99)						
CONCEITOS:						
A - Excelente; B - Bom; C - Regular D/R - Reprovado I - Incompleto T - Transferência						
OBS: AE - Disciplina cursada como aluno especial						
TP - Disciplina cursada no programa						
T - Disciplina cursadas fora do Programa						
M - Disciplina cursada como portador de título de Mestre						

PROFICIÊNCIA EM LÍNGUAS:

DATA DO EXAME GERAL DE QUALIFICAÇÃO:

Participação em conferências/publicações científicas:

I SAFE-PED, 2024, Londrina - PR. I Simpósio de Atividade Física e Exercício em Populações Pediátricas.

- 1- [MARCO, R. L.](#); NARCISO, P. H. ; FAUSTINO-DA-SILVA, Y. S. ; GOMES, R. L. ; FERNADES, R. A. . Comparação da densidade e geometria óssea de membros inferiores de 117 adolescentes praticantes de diferentes modalidades esportivas: abcd - growth study.
- 2- MORIMOTO, I. B. ; **MARCO, R. L.** ; FERNADES, R. A. . Comparação do judô e outras modalidades esportivas sobre a microarquitetura óssea da coluna lombar de crianças e adolescentes ? ABCD growth study.
- 3- NARCISO, P. H. ; GIL-COSANO, J. J. ; **MARCO, R. L.** ; AGOSTINETE, R. R. ; KLENTROU, P. ; FERNADES, R. A. . Análise dos determinantes de marcadores

de remodelação óssea entre diferentes tipos de modalidades esportivas e não-atletas jovens: ABCD growth study.

Conbramene, 2023, Londrina. Congresso Brasileiro de Metabolismo, Nutrição e Exercício., 2023.

- 1- NARCISO, P. H. ; AGOSTINETE, R. R. ; MAILLANE-VANEGAS, S. ; Jéssica Casarotti Miguel da Silva ; Vitor Afonso Polidoro ; SILVA, Y. S. V. F. ; **LUIZ-DE-MARCO, RAFAEL** ; FERNANDES, R. A. . CORRELAÇÃO ENTRE OS DOMÍNIOS DE ATIVIDADE FÍSICA, BEM-ESTAR MENTAL E ANSIEDADE ESPORTIVA DE ADOLESCENTES ATLETAS - ABCD GROWTH STUDY.

Encontro Nacional de Ensino, Pesquisa e Extensão (ENEPE/2023), 2023, PRESIDENTE PRUDENTE.

- 1- Letícia Mayumi Satake ; Edson Yuri de Lima Alves ; Andre Mariano Oliveira dos Santos ; Caio Augusto Wruck1 ; Everton Alex Carvalho Zanuto ; **MARCO, RAFAEL LUIZ DE** ; GOMES, R. L. ; Sabrina Alves Lenquiste . EFEITO AGUDO DA SUPLEMENTAÇÃO COM AÇAÍ (EUTERPE OLERACEA) SOBRE DESEMPENHO E FORÇA EM PRATICANTES DE MUSCULAÇÃO.

American College of Sports Medicine ACSM Annual Meeting 2023.

- 1- [LUIZ-DE-MARCO, RAFAEL](#); Vera Lucia Zymbal ; FERNANDES, R. A. ; BAPTISTA, F. . Physical Activity Phenotypes And Musculoskeletal Health In 10-11-year-old Boys And Girls. 2023.

Pediatric Work Physiology Children & Exercise-PWP 2023.

- 1- [MARCO, R. L.](#); BAPTISTA, F. ; NARCISO, P. H. ; FERNANDES, R. A. . Gravitational vs. Muscle Forces and Bone Properties among Male Adolescents: ABCD - Growth Study.

Frontiers Insights Conference 2022.

- 1- Fátima Baptista, **Rafael Luiz de Marco**, Vera Zymbal, Kathleen F. Janz.
Relevance of Musculoskeletal Fitness for Screening the Risk of Pediatric Osteosarcopenia.

Manuscrtos em construção, submetidos e aceitos para publicação.

- 1- **Rafael Luiz de Marco**, Pedro Henrique Narciso, Santiago Maillane-Vanegas, Yuri da Silva Faustino-da-Silva, Ricardo Ribeiro Agostinete, Rayana Loch Gomes, Rômulo Araújo Fernandes. Pathways linking sports participation to bone density and geometry among adolescents: ABCD Growth Study. (aceito para publicação na revista Archives of Osteoporosis).
- 2- **Rafael Luiz de Marco**, Ricardo Ribeiro Agostinete, Rayana Loch Gomes, Rômulo Araújo Fernandes. The role of ground reaction force attributed to sports participation in changes in bone density and geometry of adolescents: ABCD - Growth Study.
- 3- Fátima Baptista, **Rafael Luiz de Marco**, Vera Zymbal, Kathleen F Janz. Reference Standards for Vertical Jump Power and Handgrip Strength for Screening the Risk of Osteosarcopenia in Youth. (aceito para publicação na revista Journal of Strength and Conditioning Research).
- 4- **Rafael Luiz de Marco**, Vera Zymbal, Luís B. Sardinha, Romulo Araújo Fernandes, Fátima Baptista. Physical activity phenotypes and musculoskeletal health in 10-11-year-old boys and girls. (submetido na revista Journal Paediatrics & Child Health).

Manuscrtos publicados ao longo do período de doutorado.

- 1- NARCISO, P. H. ; WERNECK, A. O. ; **Marco, RL** ; FAUSTINO-DA-SILVA, Y. S. V. ; MAILLANE-VANEGAS, S. ; AGOSTINETE, R. R. ; FERNANDES, R. A. . Influential role of lean soft tissue in the association between training volume and bone mineral density among male adolescent practitioners of impact-

- loading sports: ABCD Growth study. BMC Pediatrics **JCR**, v. 20, p. 496 (2020), 2020.
- 2- **LUIZ-DE-MARCO, RAFAEL**; GOBBO, L. A. ; CASTOLDI, R. C. ; MAILLANE-VANEGAS, S. ; SILVA, Y. S. V. F. ; EXUPERIO, I. N. ; RIBEIRO, R. A. ; FERNANDES, R. A. . Impact of changes in fat mass and lean soft tissue on bone mineral density accrual in adolescents engaged in different sports: ABCD Growth Study. Archives of Osteoporosis, v. 15, p. 1-8, 2020.
 - 3- MAILLANE-VANEGAS, SANTIAGO ; **LUIZ-DE-MARCO, RAFAEL** ; NARCISO, PEDRO HENRIQUE ; FAUSTINO-DA-SILVA, YURI VENTURA DA SILVA ; KEMPER, HAN ; RIBEIRO AGOSTINETE, RICARDO ; A FERNANDES, RÔMULO . More than Sports Participation: The Role of Ground Reaction Force, Osteocalcin and Lean Soft Tissue on Bone Density Accrual in Adolescents: ABCD Growth Study. JOURNAL OF CLINICAL DENSITOMETRY **JCR**, v. 21, p. 1-12-12, 2021.
 - 4- Eduardo Duarte de Lima Mesquita ; EXUPERIO, I. N. ; AGOSTINETE, R. R. ; **LUIZ-DE-MARCO, RAFAEL** ; Jéssica Casarotti Miguel da Silva ; MAILLANE-VANEGAS, S. ; KEMPER, H. C. G. ; FERNANDES, R. A. . The combined relationship of vitamin D and weight-bearing sports participation on areal bone density and geometry among adolescents: ABCD - Growth Study. JOURNAL OF CLINICAL DENSITOMETRY **JCR**, v. x, p. 1-8, 2022.
 - 5- GOMES, RAYANA LOCH ; LOPES, JAQUELINE SANTOS SILVA ; **MARCO, RAFAEL LUIZ DE** ; ALMEIDA, CAMILA BALSAMO GARDIM DE ; VANDERLEI, LUIZ CARLOS MARQUES ; LORENÇONI, ROSELENE MODOLO REGUEIRO . Desfechos entre diferentes questionários validados para a avaliação do nível de atividade física em cardiopatas adeptos a um programa de reabilitação. FISIOTERAPIA EM MOVIMENTO, v. 35, p. 1-8, 2022.
 - 6- MAILLANE-VANEGAS, SANTIAGO ; FATOYE, FRANCIS ; **LUIZ-DE-MARCO, RAFAEL** ; CODOGNO, JAMILE SANCHES ; SANTOS SILVA, DIEGO AUGUSTO ; PASTRE, CARLOS MARCELO ; FERNANDES, ROMULO A. . Low Occurrence of Musculoskeletal Symptoms in Swimming? Musculoskeletal Symptoms and Sports Participation in Adolescents: Cross Sectional Study (ABCD-Growth Study). International Journal of Environmental Research and Public Health **JCR**, v. 19, p. 3694, 2022.

- 7- GOMES, R. L. ; RIBEIRO, F. ; VALENTI, V. E. ; SILVA, A. K. F. ; GONZAGA, L. A. ; PEREGO, S. M. ; **MARCO, R. L.** ; VANDERLEI, L. C. M. . Is Musical Auditory Stimulation Able to Influence the Recovery of Autonomic Modulation After Exercise?. ALTERNATIVE THERAPIES IN HEALTH AND MEDICINE **JCR**, v. 29, p. 236-242, 2023.

Período sanduíche, modalidade BEPE, pela FAPESP (2022/05097-1).

Durante o período de doutorado o candidato realizou um estágio de pesquisa no exterior na modalidade BEPE concedido pela FAPESP na Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa - Centro de Investigação da Performance Humana – CIPER, com a supervisão e orientação da Professora Doutora Fátima Baptista durante o período de 03/10/2022 a 21/09/2023. Com o projeto intitulado: SARCOPENIA, GEOMETRIA ÓSSEA E INDICES DO RISCO DE FRATURA EM IDADES PEDIÁTRICAS.

RESUMO:

Introdução: A sarcopenia tem como sua definição mais atual como doença do sistema muscular e tecido conjuntivo, distúrbios musculares e outros distúrbios do músculo, comumente sendo diagnosticada em adultos com idade avançada, porém pode ser encontrada em indivíduos mais jovens. **Objetivos:** Inventariar e desenvolver abordagens de análise para a identificação de risco da saúde muscular (sarcopenia) e da saúde óssea (osteopenia) a partir de avaliações conduzidas com DXA e com dinamômetros/plataformas de força muscular e analisar associações transversais e longitudinais entre índices de sarcopenia (musculares e de desempenho) e índices de osteopenia (materiais e estruturais/geométricos) da pélvis e de regiões de interesse do fêmur proximal. **Métodos:** O presente projeto faz parte de um estudo que vem sendo desenvolvido no Departamento de Desporto e Saúde, CIPER, Faculdade de Motricidade Humana, Universidade Lisboa, Lisboa, Portugal. A investigação de natureza longitudinal conta (teoricamente) com cerca de 300 jovens adultos atualmente com 22/23 anos de idade e que foram avaliados em 2011/12 no âmbito da sua saúde muscular e óssea. A sarcopenia pediátrica foi avaliada recorrendo a medidas da composição corporal, nomeadamente medidas afins da massa muscular (avaliadas por DXA absorciometria de raio-X duplo, modelo QDR Explorer, Hologic, Waltham, MA, EUA) e a medidas da aptidão músculo-esquelética avaliadas por dinamometria (dinamômetro (Jamar, Lafayette, IN, EUA) e a geometria óssea da pelve e do fêmur foram avaliados por DXA absorciometria de raio-X duplo e quadril esquerdo foram realizados para derivar medidas geométricas da pelve pelo aparelho (QDR Explorer, Hologic, Waltham, MA, EUA).

Palavras-Chave: adolescentes; geometria óssea; sarcopenia pediátrica.

9- APENDICES

Aprovação Comitê de Ética

UNESP - FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO
CAMPUS DE PRESIDENTE



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ANÁLISE DE COMPORTAMENTOS DE ADOLESCENTES DURANTE O
Pesquisador: ROMULO ARAÚJO FERNANDES
Área Temática:
Versão: 2
CAAE: 57585416.4.0000.5402
Instituição Proponente: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.677.938

Apresentação do Projeto:

Vide 1º parecer.

Objetivo da Pesquisa:

Vide 1º parecer.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Vide 1º parecer.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Os pesquisadores esclareceram que ainda não iniciaram a pesquisa, pois estão aguardando o auxílio pesquisa da FAPESP e alteraram o cronograma para início da coleta de dados para 05 de setembro de 2016.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O Termo de compromisso foi enviado, conforme solicitado, e está correto.

Recomendações:

Não há.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O presente estudo não fere princípios éticos segundo a Resolução CNS 466/2012.

Endereço: Rua Roberto Simonsen, 305
Bairro: Centro Educacional **CEP:** 19.060-900
UF: SP **Município:** PRESIDENTE PRUDENTE
Telefone: (18)3229-5315 **Fax:** (18)3229-5353 **E-mail:** cep@fct.unesp.br

UNESP - FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO
CAMPUS DE PRESIDENTE



Continuação do Parecer: 1.677.938

Considerações Finais a critério do CEP:

Em reunião realizada no dia 12.08.2016, o Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências e Tecnologia - Unesp - Presidente Prudente, em concordância com o parecerista, considerou o projeto APROVADO.

Obs: Lembramos que ao finalizar a pesquisa, o (a) pesquisador (a) deverá apresentar o relatório final.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_P ROJETO_717347.pdf	05/08/2016 10:35:59		Aceito
Cronograma	EsclarecimentoCEPc.pdf	05/08/2016 10:33:14	Alessandra Madia Mantovani	Aceito
Outros	TermoCompromisso.pdf	05/08/2016 10:15:25	Alessandra Madia Mantovani	Aceito
Outros	CEP_UNILAB.pdf	05/07/2016 08:39:32	Alessandra Madia Mantovani	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.doc	22/06/2016 09:37:33	Alessandra Madia Mantovani	Aceito
Folha de Rosto	Termo_CEP.pdf	21/05/2016 12:55:37	Alessandra Madia Mantovani	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMA.docx	17/05/2016 15:26:57	Alessandra Madia Mantovani	Aceito
Outros	Termos.pdf	17/05/2016 15:23:45	Alessandra Madia Mantovani	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	termo_assentimento.doc	17/05/2016 15:19:32	Alessandra Madia Mantovani	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Declaracao_LIVE.pdf	17/05/2016 15:18:53	Alessandra Madia Mantovani	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto_adolescentes.doc	17/05/2016 15:17:40	Alessandra Madia Mantovani	Aceito

Situação do Parecer:
Aprovado

Endereço: Rua Roberto Simonsen, 305
Bairro: Centro Educacional CEP: 19.060-900
UF: SP Município: PRESIDENTE PRUDENTE
Telefone: (18)3229-5315 Fax: (18)3229-5353 E-mail: cep@fct.unesp.br

UNESP - FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO
CAMPUS DE PRESIDENTE

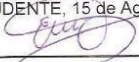


Continuação do Parecer: 1.677.938

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

PRESIDENTE PRUDENTE, 15 de Agosto de 2016


Assinado por:

Edna Maria do Carmo
(Coordenador)

Endereço: Rua Roberto Simonsen, 305
Bairro: Centro Educacional CEP: 19.060-900
UF: SP Município: PRESIDENTE PRUDENTE
Telefone: (18)3229-5315 Fax: (18)3229-5353 E-mail: cep@fct.unesp.br

Carta Convite



CARTA CONVITE

Caro Pai, Mãe ou Responsável legal,

Meu nome é Rômulo Fernandes, Professor de Educação Física da Universidade Estadual Paulista – UNESP, em Presidente Prudente. O motivo do senhor(a) receber esta carta convite é porque o adolescente sob sua responsabilidade foi convidado a participar de nossa pesquisa: “Análise do comportamento de crianças ao longo do crescimento”.

Nesta pesquisa, nossas avaliações serão realizadas apenas uma vez no ano (a próxima avaliação será dentro de doze meses), envolvem medidas de ganho de peso corporal e altura, crescimento do esqueleto e do sistema cardiovascular, bem como coleta de sangue feita por enfermeira. Estas medidas são realizadas dentro da UNESP por pessoal treinado, tomando total cuidado para não causar qualquer tipo de desconforto ao adolescente. Após as análises nos comprometemos a preparar um relatório individual do jovem, que será entregue ao senhor(a). Este relatório é muito interessante para acompanhar o crescimento e desenvolvimento do jovem, bem como, se ele pratica atividade física suficiente. Destaco que não cobraremos nada por tais avaliações, pois somos uma universidade pública, mantida com impostos estaduais.

Maiores informações sobre como nos contatar sobre qualquer dúvida podem ser encontradas nos documentos que foram entregues aos jovens. Por favor, nos contate sobre qualquer dúvida.

Obrigado,

Rômulo Araújo Fernandes

Professor de Crescimento e Desenvolvimento da UNESP



Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Educação Física
Rua Roberto Simonsen, 305 CEP 19060-900 Presidente Prudente SP
Tel 18 3229-5710 fax 18 3221-5681 depedfisa@fct.unesp.br

Declaração de Interesse



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Presidente Prudente



DECLARAÇÃO DE INTERESSE

O grupo de investigações científicas relacionadas a atividade física (GICRAF), vem por meio deste demonstrar interesse em realizar avaliações físicas nos atletas da Secretaria Municipal de Esportes de Presidente Prudente.

Se trata de uma pesquisa sob orientação do Professor Dr. Romulo Araújo Fernandes, com o objetivo de analisar o efeito de diversas modalidades esportivas no crescimento ósseo de adolescentes entre 11 e 17 anos. As modalidades engajadas no estudo são: Basquete, Futebol, Vôlei, Natação, Caratê, Kung Fu.

Vale ressaltar que as avaliações ocorrerão somente em dois momentos no período de um ano, não atrapalhando assim a logística de treinamento, através da absorptometria de Raio-X de dupla energia (DEXA) sendo considerado um dos melhores métodos para avaliação de composição corporal.

Acreditamos que os resultados fornecidos, podem ser utilizados para periodizações e treinamentos individualizados dos atletas, colocando assim os membros do GICRAF a disposição para sanar dúvidas e interpretar resultados juntamente com os treinadores e professores.

Contamos com apoio e compreensão de vossa senhoria.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Romulo Araújo Fernandes
Professor Responsável

GRUPO DE INVESTIGAÇÕES CIENTÍFICAS RELACIONADAS A ATIVIDADE FÍSICA
Departamento de Educação Física - Centro Educacional
Rua Roberto Simonsen, 305 CEP: 19060-050 Presidente Prudente – SP
Contato: 3229-5712

Prezados pais e/ou responsáveis

Venho por meio desta convidar seu (sua) filho(a) para participar da pesquisa intitulada '*Análise de comportamentos de adolescentes durante o crescimento*' desenvolvida pelo Laboratório de Investigação em Exercício (LIVE), do Departamento de Educação Física da UNESP, Presidente Prudente.

Seguem os documentos que apresentam maiores detalhes do projeto de pesquisa. Se o (a) senhor (a) consentir na participação de seu filho (a), peço a gentileza de fazer o preenchimento dos mesmos.

Qualquer dúvida a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato com os pesquisadores responsáveis.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título da Pesquisa: “Análise de Comportamentos de Adolescentes Durante o Crescimento”

Nome do Pesquisador: Prof. Dr. Rômulo Araújo Fernandes

O seu filho(a) está sendo convidado (a) a participar desta pesquisa que tem como finalidade **identificar a relação da atividade física com a saúde e o crescimento de jovens**. Participarão da pesquisa, adolescentes de ambos os sexos e idade entre 11 e 20 anos. Ao participar deste estudo, o sr(a) permitirá que o seu filho (a): seja entrevistado (preencha questionários), tenha a pressão arterial aferida, peso / estatura medidos, participe de uma coleta sanguínea, exame de ultrassom e uma espécie de radiografia de todos os ossos do corpo realizado na UNESP. Além disso, o jovem utilizará um relógio por um período de sete dias, o qual contará o número de passos dados ao longo do dia. Todas estas avaliações e entrevistas serão realizadas em, no máximo, três dias (máximo 30 minutos por dia) e serão feitas apenas uma vez por ano. Pretende-se acompanhá-lo anualmente. O jovem sob sua responsabilidade tem total liberdade de se recusar a participar do estudo, sem sofrer qualquer tipo de prejuízo. Além disso, sempre que quiser, poderá pedir mais informações sobre a pesquisa através do telefone do pesquisador do projeto e, se necessário, através do telefone do Comitê de Ética em Pesquisa.

O (a) sr(a) não terá nenhum tipo de despesa para participar desta pesquisa, bem como, nada será pago pela participação do jovem. Os únicos riscos envolvidos na participação deste estudo estão relacionados à possibilidade de desconforto durante a coleta de sangue. Os procedimentos adotados nesta pesquisa obedecem aos Critérios da Ética em Pesquisa com Seres Humanos conforme Resolução no. 196/96 do Conselho Nacional de Saúde. Nenhum dos procedimentos usados oferece riscos à sua dignidade.

Todas as informações coletadas neste estudo são estritamente confidenciais. Somente o pesquisador e seu orientador terão conhecimento da identidade do jovem e nos comprometemos a mantê-la em sigilo ao publicar os resultados dessa pesquisa. O sr(a) receberá posteriormente os resultados de todos os exames feitos pelo jovem. O pesquisador se compromete a divulgar os resultados obtidos, respeitando-se o sigilo das informações coletadas, conforme previsto no item anterior.

Após estes esclarecimentos, solicitamos o seu consentimento de forma livre permitindo a participação do jovem sob sua responsabilidade na pesquisa. Portanto preencha, por favor, os itens que se seguem: Confirmando que recebi cópia deste termo de consentimento, e autorizo a execução do trabalho de pesquisa e a divulgação dos dados obtidos neste estudo. Por favor, **não assine esse termo se ainda tiver dúvida a respeito**.

Consentimento Livre e Esclarecido

Tendo em vista os itens acima apresentados, eu, de forma livre e esclarecida, manifesto meu consentimento em participar da pesquisa:

Adolescente: _____ DATA: ____/____/____

TELEFONE RESIDENCIAL: _____ CELULAR: _____ E-MAIL: _____

Assinaturas:

Responsável pelo Participante

Pesquisador

Orientador

Pesquisador: Prof. Dr. Rômulo Araújo Fernandes **Telefone:** 3229-5712

Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa: Profa. Dra. Edna Maria do Carmo

Vice-Coordenadora: Profa. Dra. Andréia Cristiane Silva Wiezell

Telefone do Comitê: 3229-5315 ou 3229-5526

E-mail cep@fct.unesp.br

Termo de Assentimento



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Presidente Prudente

TERMO DE ASSENTIMENTO

(No caso do menor entre 12 a 18 anos)

Você está sendo convidado (a) como voluntário (a) a participar da pesquisa **"ANÁLISE DE COMPORTAMENTOS DE ADOLESCENTES DURANTE O CRESCIMENTO"**. Nesta pesquisa pretendemos **identificar a relação da atividade física com a saúde e o crescimento de jovens**. O motivo que nos leva a estudar esse assunto são decorrentes aos **benefícios que a prática esportiva entre crianças e adolescentes pode proporcionar a saúde, e evitar também a adoção de comportamentos de risco durante a juventude**. Para esta pesquisa adotaremos o(s) seguinte(s) procedimento(s): entrevista (preenchimento de questionários), medida a pressão arterial, peso / estatura, coleta sanguínea, exame de ultrassom e uma espécie de radiografia de todos os ossos do corpo realizado na UNESP. Além disso, o jovem utilizará um relógio por um período de sete dias, o qual contará o número de passos dados ao longo do dia. Todas estas avaliações e entrevistas serão realizadas em, no máximo, três dias (máximo 30 minutos por dia) e serão feitas apenas uma vez por ano. Pretende-se acompanhá-lo anualmente.

Para participar desta pesquisa, o responsável por você deverá autorizar e assinar o termo de consentimento livre e esclarecido. Você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Você será esclarecido (a) em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. O responsável por você poderá retirar o consentimento ou interromper a sua participação a qualquer momento. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que é atendido (a) pelo pesquisador que irá tratar a sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Esta pesquisa não apresenta **risco** ao voluntário. Os resultados estarão à sua disposição quando finalizada. Os dados e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 anos, e após esse tempo serão destruídos. Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias: uma via será arquivada pelo pesquisador responsável, e a outra será fornecida a você. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo a legislação brasileira (Resolução Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde), utilizando as informações somente para os fins acadêmicos e científicos.

Eu, _____, portador (a) do documento de Identidade _____ **(se já tiver documento)**, fui informado (a) dos objetivos da

presente pesquisa, de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento o meu responsável poderá modificar a decisão de participar se assim o desejar. Tendo o

consentimento do meu responsável já assinado, declaro que concordo em participar dessa pesquisa. Recebi uma cópia deste termo de assentimento e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas *dúvidas*.

Presidente Prudente, ____ de _____ de 20 ____.

Assinatura do (a) menor

Assinatura do (a) pesquisador (a)

Em caso de dúvidas com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar:

Pesquisador Responsável: Prof. Dr. Romulo Araújo Fernandes

Fone: 3229-5712

E-mail: romulo@fct.unesp.br

Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa: Profa. Dra. Edna Maria do Carmo

Vice-Coordenadora: Profa. Dra. Andreia Cristiane Silva Wiezzel

Telefone do Comitê: 3229-5315 ou 3229-5526

E-mail cep@fct.unesp.br