

# ASSOCIAÇÃO DO ÂNGULO DE FASE E DO CONTEÚDO MINERAL ÓSSEO RELATIVO COM VARIÁVEIS DE DESEMPENHO FÍSICO EM ATLETAS FEDERADOS: ESTUDO TRANSVERSAL

ASSOCIATION OF PHASE ANGLE AND RELATIVE BONE MINERAL CONTENT WITH PHYSICAL PERFORMANCE VARIABLES IN FEDERATED ATHLETES: CROSS-SECTIONAL STUDY

Ciências Biológicas, Ciências da Saúde · 25/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/782367305](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/782367305)

Fabio Campos Pires<sup>1</sup>

Carlos Alexandre Fett<sup>2</sup>

Waléria Christiane Rezende Fett<sup>3</sup>

## RESUMO

**Introdução:** A bioimpedância elétrica multifrequencial (MF-BIA) mensura o ângulo de fase (AF) e permite estimar o conteúdo mineral ósseo (CMO), parâmetros potencialmente associados ao desempenho físico em atletas. A direção e magnitude dessa associação permanecem pouco investigadas, especialmente considerando diferentes modalidades esportivas e suas demandas biomecânicas específicas.

**Objetivo:** Verificar a associação entre o AF e o CMO relativo ( $CMO_{relt} = CMO/\text{peso corporal}$ ) com variáveis de desempenho físico em atletas federados categorizados segundo a força de reação ao solo (FRS), controlando para variáveis de confusão (IMC e massa muscular total), e construir valores de referência exploratórios com intervalos de confiança para ambos os indicadores.

**Métodos:** Estudo transversal com 154 atletas federados (homens:  $n = 128$ ; mulheres:  $n = 26$ ) de 14 modalidades, categorizados em quatro grupos por FRS. O AF foi calculado como média dos ângulos de fase a 50 kHz dos cinco segmentos corporais. O  $CMO_{relt} = CMO/\text{peso corporal (kg/kg)}$ . Correlações de Spearman foram ajustadas pela correção de Benjamini-Hochberg (FDR = 5%). Regressão hierárquica avaliou a contribuição independente de AF e  $CMO_{relt}$  após controle de IMC e MMu. Percentis foram calculados com IC 95% por bootstrapping (1.000 reamostras).

**Resultados:** Após correção para comparações múltiplas, o AF apresentou correlações significativas com a força de preensão manual direita nos grupos FRS1, FRS2 e FRS4, com a massa muscular total em todos os grupos, e com a dinamometria escapular e impulsão horizontal nos grupos FRS2 e FRS4. O  $CMO_{relt}$  associou-se significativamente com a dinamometria manual nos grupos FRS2 e na amostra total, e com a MMu em todos os grupos. Na regressão hierárquica, o  $CMO_{relt}$  explicou variância adicional

significativa nas dinamometrias manuais direita ( $\Delta R^2 = 0,050$ ;  $p = 0,002$ ) e esquerda ( $\Delta R^2 = 0,048$ ;  $p = 0,003$ ) e escapular ( $\Delta R^2 = 0,070$ ;  $p < 0,001$ ) após controle de IMC e MMu. O AF também contribuiu de forma independente para a dinamometria manual direita ( $\Delta R^2 = 0,027$ ;  $p = 0,024$ ) e esquerda ( $\Delta R^2 = 0,022$ ;  $p = 0,046$ ). O P50 do AF foi  $7,28^\circ$  (homens) e  $6,76^\circ$  (mulheres); do CMOr<sub>elt</sub>,  $0,047$  kg/kg (homens) e  $0,054$  kg/kg (mulheres).

**Conclusão:** O CMOr<sub>elt</sub> e o AF apresentaram contribuições independentes e complementares na predição da força de preensão manual em atletas federados, sugerindo utilidade clínica da MF-BIA para o monitoramento musculoesquelético em contexto epidemiológico. Os valores de referência construídos são exploratórios e requerem validação em amostras maiores e equilibradas por sexo.

**Palavras-chave:** Ângulo de Fase; Conteúdo Mineral Ósseo; Bioimpedância Elétrica Multifrequencial; Desempenho Físico; Força de Preensão Manual; Atletas Federados.

## **ABSTRACT**

**Introduction:** Multifrequency bioelectrical impedance analysis (MF-BIA) measures the phase angle (PHa) and allows estimation of bone mineral content (BMC), parameters potentially associated with physical performance in athletes. The direction and magnitude of this association remain poorly investigated across different sports modalities.

**Purpose:** To examine the association between PHa and relative BMC ( $BMC_{rel} = BMC/body\ weight$ ) with physical performance in federated athletes categorized by ground reaction force (GRF), controlling for confounders (BMI and muscle mass), and to construct exploratory reference values with confidence intervals for both indicators.

**Methods:** Cross-sectional study with 154 federated athletes (men: n

= 128; women: n = 26) from 14 sports, categorized into four GRF groups. PHa was calculated as the mean 50 kHz phase angle across five body segments. BMCrel = BMC/body weight (kg/kg). Spearman correlations were adjusted using Benjamini-Hochberg FDR correction (5%). Hierarchical regression assessed the independent contribution of PHa and BMCrel after controlling for BMI and MM. Percentiles were estimated with 95% CI by bootstrapping (1,000 resamples).

**Results:** After correction for multiple comparisons, PHa showed significant correlations with handgrip strength in GRF1, GRF2 and GRF4 groups, with total muscle mass across all groups, and with scapular traction and horizontal jump in GRF2 and GRF4. BMCrel was significantly associated with handgrip dynamometry in GRF2 and total sample, and with MM across all groups. In hierarchical regression, BMCrel explained significant additional variance in right handgrip ( $\Delta R^2 = 0.050$ ;  $p = 0.002$ ), left handgrip ( $\Delta R^2 = 0.048$ ;  $p = 0.003$ ) and scapular dynamometry ( $\Delta R^2 = 0.070$ ;  $p < 0.001$ ) after controlling for BMI and MM. PHa also contributed independently to right handgrip ( $\Delta R^2 = 0.027$ ;  $p = 0.024$ ) and left handgrip ( $\Delta R^2 = 0.022$ ;  $p = 0.046$ ). The P50 for PHa was  $7.28^\circ$  (men) and  $6.76^\circ$  (women); for BMCrel, 0.047 kg/kg (men) and 0.054 kg/kg (women).

**Conclusion:** BMCrel and PHa showed independent and complementary contributions to predicting handgrip strength in federated athletes, suggesting the clinical utility of MF-BIA for musculoskeletal monitoring in epidemiological settings. Reference values are exploratory and require validation in larger, sex-balanced samples.

**Keywords:** Phase Angle; Bone Mineral Content; Multifrequency Bioelectrical Impedance; Physical Performance; Handgrip Strength; Federated Athletes.

## INTRODUÇÃO

A análise por Bioimpedância Elétrica (BIA) tem sido cada vez mais empregada no contexto esportivo por ser um método não invasivo, de baixo custo, portátil e de resultado rápido (KYLE, 2004; KYLE et al., 2004). Entre os parâmetros fornecidos, o Ângulo de Fase (AF) — calculado como  $\arctan(X_c/R) \times (180^\circ/\pi)$  — tem sido interpretado como indicador da integridade da membrana celular e da distribuição de fluidos entre os compartimentos intra e extracelular (SCHWENK et al., 2000; DUMLER; KILATES, 2000; NORMAN et al., 2012). Por não depender de equações preditivas ou dados antropométricos, é considerado uma medida biofísica direta (NORMAN et al., 2012).

Outro parâmetro fornecido pela BIA é o Conteúdo Mineral Ósseo (CMO). Valores adequados de CMO são fundamentais para a integridade do sistema musculoesquelético, e sua redução está associada a lesões desportivas, osteopenia e osteoporose (ORGANIZATION, 2004; KOHRT et al., 2004). A força muscular e o CMO são biologicamente interdependentes: contrações musculares intensas geram tensão mecânica sobre o tecido ósseo, estimulando a osteogênese por mecanismos piezoelétricos e de sinalização via osteócitos (MAÏMOUN; SULTAN, 2011). Essa relação é provavelmente bidirecional, o que deve ser considerado em estudos transversais.

Atletas submetidos a modalidades com diferentes demandas biomecânicas apresentam perfis de CMO distintos. Esportes de alto impacto e multidirecionais tendem a produzir maior estímulo osteogênico do que modalidades sem suporte de peso, como a natação (ANDREOLI; MONTELEONE, 2001; MOREL et al., 2001; PLATEN et al., 2001). No meio esportivo, o AF tem sido associado ao

estado de hidratação (KOURY; TRUGO; TORRES, 2014), à ocorrência de lesões e fadiga (MATIAS et al., 2015) e ao perfil nutricional de atletas, mas poucos estudos investigaram sua associação com testes objetivos de desempenho físico em atletas federados de múltiplas modalidades.

O presente estudo parte das seguintes hipóteses: H1a — o CMORElt associa-se positivamente com variáveis de força muscular de forma independente do IMC e da MMu; H1b — o AF associa-se positivamente com variáveis de desempenho após controle para comparações múltiplas; H0 — não há associação independente significativa. O objetivo principal foi verificar a associação entre AF e CMORElt com variáveis de desempenho físico em atletas federados categorizados pela FRS, e construir valores de referência exploratórios para ambos os indicadores.

## **MÉTODOS**

Estudo observacional de corte transversal, conduzido conforme as diretrizes STROBE.

### ***Participantes e Cálculo Amostral***

Participaram 154 atletas federados de 14 modalidades esportivas (homens:  $n = 128$ ; mulheres:  $n = 26$ ), com idades entre 14 e 59 anos ( $23,29 \pm 7,10$  anos). O tamanho amostral foi estimado pelo software G\*Power 3.1 (poder = 80%,  $\alpha = 0,05$ ,  $f^2 = 0,15$ , quatro preditores), resultando em N mínimo de 85. A amostra final supera esse mínimo em 81%, conferindo poder superior a 95% para os modelos da amostra total. Análises estratificadas por grupo FRS — especialmente FRS1 ( $n = 21$ ) — operam com poder reduzido e devem ser interpretadas como exploratórias. O desequilíbrio entre sexos

(83% vs. 17%) é uma limitação estrutural; os dados femininos são apresentados de forma descritiva e exploratória. Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) ou tiveram autorização de seus responsáveis legais.

As modalidades foram categorizadas pela Força de Reação ao Solo (FRS) segundo Groothausen et al. (1997), adaptada por Mottini et al. (2008): FRS1 — baixo impacto (natação, tiro; n = 21); FRS2 — médio impacto (judô, jiu-jitsu, karatê, kung fu, tae-kwon-do, MMA, muay thai; n = 50); FRS3 — alto impacto (futebol de campo, futsal; n = 45); FRS4 — altíssimo impacto (voleibol, vôlei de praia, futebol americano, fisiculturismo, triátlon; n = 38).

### ***Bioimpedância Elétrica Multifrequencial***

Utilizou-se o aparelho InBody S10® (Biospace Co., Coreia), com sistema octapolar e seis frequências (1, 5, 50, 250, 500 e 1000 kHz). O AF foi calculado como a média dos ângulos de fase a 50 kHz dos cinco segmentos corporais (braço direito, braço esquerdo, tronco, perna direita e perna esquerda), em graus (°). Dois valores de fase do tronco e do braço esquerdo que ultrapassaram 15° foram tratados como ausentes por serem biologicamente implausíveis e clinicamente inconsistentes com os demais segmentos do mesmo indivíduo. O CMO é estimado por equação proprietária não divulgada pelo fabricante (limitação que impede replicabilidade plena). O CMOrelt foi calculado como CMO/peso corporal (kg/kg) para controle do efeito do tamanho corporal. O protocolo seguiu as recomendações padronizadas: jejum de quatro horas, sem exercício nas 12h anteriores, sem álcool ou diuréticos nas 24h precedentes.

## ***Testes Físicos e Antropometria***

A força de preensão manual foi avaliada com dinamômetro JAMAR® seguindo as recomendações da ASHT. A tração escapular foi avaliada com dinamômetro KRATOS® (HEYWARD; GIBSON, 2014). A força explosiva foi mensurada pela impulsão horizontal (MAULDER; CRONIN, 2005). A flexibilidade foi avaliada pelo Banco de Wells (WELLS; DILLON, 1952). Todos os testes foram realizados em triplicata (melhor marca registrada). O Teste lo lo foi aplicado somente aos grupos FRS1, FRS2 e FRS3, pois a equação de Léger et al. (1988) não foi validada para o perfil metabólico predominantemente anaeróbio do fisiculturismo (FRS4). A MMu foi estimada pela equação de Martin et al. (1990), adaptada por Rech et al. (2012).

## ***Análise Estatística***

A normalidade foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Correlações foram calculadas pelo coeficiente rho de Spearman e ajustadas pela correção de Benjamini-Hochberg (FDR = 5%) sobre o conjunto total de 70 testes realizados — controle essencial para evitar falsos positivos em contexto de comparações múltiplas. A contribuição independente do AF e do CMOr<sub>elt</sub> sobre cada desfecho foi estimada por regressão múltipla hierárquica em dois blocos: Bloco 1 (covariáveis: IMC + MMu) e Bloco 2 (+ AF ou + CMOr<sub>elt</sub>). O  $\Delta R^2$  representa a variância adicional explicada pelo parâmetro de BIA, independentemente das covariáveis. A significância do  $\Delta R^2$  foi testada pelo teste F incremental. Foram calculados percentis 10, 25, 50, 75 e 90 com IC 95% por bootstrapping (1.000 reamostras, semente 42). Nível de significância:  $p \leq 0,05$ .

## **RESULTADOS**

## Características Descritivas da Amostra

A Tabela 1 apresenta as características descritivas por grupo FRS. O grupo FRS3 apresentou maior estatura ( $1,80 \pm 0,07$  m) e maior MMu ( $38,11 \pm 4,03$  kg). O IMC foi mais elevado no FRS4 ( $25,87 \pm 4,40$  kg/m<sup>2</sup>), refletindo a presença de fisiculturistas (44,7% do grupo). O AF foi menor no FRS2 ( $6,73 \pm 0,93^\circ$ ) e maior no FRS4 ( $7,53 \pm 1,10^\circ$ ). O CMO foi maior no FRS3 ( $3,90 \pm 0,47$  kg). O CMOr<sub>relt</sub> não diferiu substancialmente entre grupos (variação de 0,048 a 0,050 kg/kg).

**Tabela 1.** Características descritivas por grupo FRS (média  $\pm$  DP)

Variável	FRS1 (n=21)	FRS2 (n=50)	FRS3 (n=45)	FRS4 (n=38)	Total (N=154)
Idade (anos)	23,13 $\pm$ 9,62	20,61 $\pm$ 7,28	25,08 $\pm$ 4,85	24,78 $\pm$ 6,65	23,29 $\pm$ 7
Peso (kg)	68,91 $\pm$ 18,54	68,63 $\pm$ 18,63	78,99 $\pm$ 9,29	79,44 $\pm$ 16,14	74,36 $\pm$ 18
Estatura (m)	1,72 $\pm$ 0,10	1,70 $\pm$ 0,09	1,80 $\pm$ 0,07	1,75 $\pm$ 0,08	1,74 $\pm$ 0,0
IMC	23,14 $\pm$ 4,45	23,43 $\pm$ 4,69	26,40 $\pm$ 2,17	25,87 $\pm$ 4,40	24,28 $\pm$ 4

△ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/associacao-do-angulo-de-fase-e-do-conteudo-mineral-osseo-relativo-com-variaveis-de-desempenho-fisico-em-atletas-federados-estudo-transversal?noblockage>

Nota: DP = desvio padrão. CMOr<sub>relt</sub> = CMO/peso corporal (kg/kg). † I<sub>o</sub> não aplicado ao FRS4 (ver justificativa em Métodos).

**Correlações de Spearman (pós-correção de Benjamini-Hochberg, FDR = 5%)**

A Tabela 2a apresenta as correlações do AF e a Tabela 2b as do CMORELT com os desfechos, após correção para 70 comparações múltiplas. O AF apresentou correlações positivas significativas com a força de prensão manual direita nos grupos FRS1 ( $\rho = 0,525$ ), FRS2 ( $\rho = 0,598$ ) e FRS4 ( $\rho = 0,452$ ), e com a MMu em todos os grupos ( $\rho$  entre 0,661 e 0,802). O CMORELT associou-se significativamente com a MMu em todos os grupos ( $\rho$  entre 0,602 e 0,783) e com a dinamometria manual direita (FRS2:  $\rho = 0,507$ ; Total:  $\rho = 0,248$ ) e esquerda (FRS2:  $\rho = 0,406$ ) e impulsão horizontal (FRS2:  $\rho = 0,399$ ). Nenhuma correlação do AF com o Teste Io Io sobreviveu à correção para comparações múltiplas.

**Tabela 2a. Correlações rho de Spearman para o AF com variáveis de desfecho (p ajustado por Benjamini-Hochberg, FDR = 5%)**

Variável	FRS1	FRS2	FRS3	FRS4	Total
MMu	0,772 (< 0,001)*	0,768 (< 0,001)*	0,002 (0,989)	0,802 (< 0,001)*	0,661 (< 0,001)*
Din. Manual Dir.	0,525 (0,033)*	0,598 (< 0,001)*	0,032 (0,866)	0,452 (0,011)*	0,466 (< 0,001)*
Din. Manual Esq.	0,469 (0,061)	0,609 (< 0,001)*	-0,070 (0,848)	0,463 (0,010)*	0,447 (< 0,001)*

△ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/associacao-do-angulo-de-fase-e-do-conteudo-mineral-osseo-relativo-com-variaveis-de-desempenho-fisico-em-atletas-federados-estudo-transversal?noblockage>

Nota: Valores apresentados como rho (p ajustado). \* Significativo após correção de Benjamini-Hochberg (FDR = 5%). † Io Io não

aplicado ao FRS4.

**Tabela 2b. Correlações rho de Spearman para o CMORElt com variáveis de desfecho (p ajustado por Benjamini-Hochberg, FDR = 5%)**

Variável	FRS1	FRS2	FRS3	FRS4	Total
MMu	0,302 (0,391)	0,666 (< 0,001)*	0,692 (< 0,001)*	0,783 (< 0,001)*	0,601 (< 0,001)*
Din. Manual Dir.	0,178 (0,627)	0,507 (0,001)*	-0,104 (0,648)	0,149 (0,627)	0,248 (0,011)*
Din. Manual Esq.	0,177 (0,627)	0,406 (0,017)*	-0,193 (0,402)	0,118 (0,648)	0,195 (0,052)

△ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/associacao-do-angulo-de-fase-e-do-conteudo-mineral-osseo-relativo-com-variaveis-de-desempenho-fisico-em-atletas-federados-estudo-transversal?noblockage>

Nota: CMORElt = CMO/peso corporal (kg/kg). Valores apresentados como rho (p ajustado). \* Significativo após correção de Benjamini-Hochberg (FDR = 5%). † Io Io não aplicado ao FRS4.

### **Regressão Hierárquica**

A Tabela 3 apresenta os resultados da regressão hierárquica para a amostra total (N = 154). O CMORElt explicou variância adicional significativa nas dinamometrias manual direita ( $\Delta R^2 = 0,050$ ; F = 9,99; p = 0,002), esquerda ( $\Delta R^2 = 0,048$ ; F = 9,39; p = 0,003) e escapular ( $\Delta R^2 = 0,070$ ; F = 13,87; p < 0,001), após controle de IMC e MMu. O AF

contribuiu de forma independente para a dinamometria manual direita ( $\Delta R^2 = 0,027$ ;  $F = 5,15$ ;  $p = 0,024$ ) e esquerda ( $\Delta R^2 = 0,022$ ;  $F = 4,05$ ;  $p = 0,046$ ). Nenhum preditor explicou variância adicional significativa para impulsão horizontal ou flexibilidade.

**Tabela 3.** Regressão hierárquica para variáveis de desfecho (amostra total,  $N = 154$ )

Desfecho	$R^2$ aj. B1	$R^2$ aj. B2 (CMO)	$\Delta R^2$ CMO	$p \Delta R^2$	$R^2$ aj. B2 (AF)
Din. Man. Dir.	0,182	0,228	0,050	0,002*	0,205
Din. Man. Esq.	0,166	0,210	0,048	0,003*	0,183
Din. Escapular	0,166	0,231	0,070	< 0,001*	0,163
Impulsão	0,084	0,095	0,018	0,087	0,081

△ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/associacao-do-angulo-de-fase-e-do-conteudo-mineral-osseo-relativo-com-variaveis-de-desempenho-fisico-em-atletas-federados-estudo-transversal?noblockage>

*Nota: B1 = IMC + MMu. B2 (CMO) = IMC + MMu + CMORElt. B2 (AF) = IMC + MMu + AF.  $\Delta R^2$  = variância adicional explicada pelo parâmetro de BIA após controle das covariáveis. \*  $p \leq 0,05$  pelo teste F incremental.*

### **Valores de Referência Exploratórios**

Os Quadros 1 e 2 apresentam os percentis com IC 95% por bootstrapping para o AF e o CMORElt, respectivamente. O P50 do AF

foi 7,19° (total), 7,28° (homens) e 6,76° (mulheres). O P50 do CMOr<sub>elt</sub> foi 0,048 kg/kg (total), 0,047 kg/kg (homens) e 0,054 kg/kg (mulheres). Os IC 95% mais amplos observados no grupo feminino refletem o menor tamanho amostral (n = 26) e reforçam o caráter exploratório desses valores.

**Quadro 1.** Valores de referência exploratórios para o AF (°) — percentis com IC 95% por bootstrapping (1.000 reamostras)

Grupo	n	P10 [IC 95%]	P25 [IC 95%]	P50 [IC 95%]	P75 [IC 95%]
Total	154	5,99 [5,75-6,37]	6,60 [6,48-6,76]	7,19 [6,94-7,34]	7,79 [7,5-7,94]
Masculino	128	6,04 [5,74-6,48]	6,66 [6,52-6,84]	7,28 [7,02-7,44]	7,85 [7,6-7,98]
Feminino*	26	5,87 [5,26-6,25]	6,23 [5,90-6,72]	6,76 [6,60-7,22]	7,26 [6,1-8,24]

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/associacao-do-angulo-de-fase-e-do-conteudo-mineral-osseo-relativo-com-variaveis-de-desempenho-fisico-em-atletas-federados-estudo-transversal?noblockage>

*Nota: IC 95% por bootstrapping (1.000 reamostras, semente 42). \* Amostra feminina reduzida; IC mais amplos — valores exploratórios, não normativos.*

**Quadro 2.** Valores de referência exploratórios para o CMOr<sub>elt</sub> (kg/kg) — percentis com IC 95% por bootstrapping

Grupo	n	P10 [IC 95%]	P25 [IC 95%]	P50 [IC 95%]	P75 [IC 95%]
-------	---	--------------	--------------	--------------	--------------

Total	154	0,033 [0,031– 0,038]	0,041 [0,039– 0,044]	0,048 [0,047– 0,050]	0,057 [0,053– 0,061]
Masculino	128	0,033 [0,030– 0,037]	0,040 [0,038– 0,042]	0,047 [0,045– 0,049]	0,054 [0,052– 0,060]
Feminino*	26	0,046	0,048	0,054	0,066

△ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/associacao-do-angulo-de-fase-e-do-conteudo-mineral-osseo-relativo-com-variaveis-de-desempenho-fisico-em-atletas-federados-estudo-transversal?noblockage>

*Nota:  $CMO_{relt} = CMO/peso\ corporal\ (kg/kg)$ . \* Amostra feminina reduzida — valores exploratórios. Os valores femininos de  $CMO_{relt}$  foram superiores aos masculinos, possivelmente refletindo menor peso corporal médio nesse grupo.*

## DISCUSSÃO

O presente estudo investigou a associação entre AF e  $CMO_{relt}$  com variáveis de desempenho físico em 154 atletas federados de 14 modalidades, categorizados pela FRS. Os principais achados foram: (1) o AF apresentou correlações positivas significativas com a preensão manual e a MMu após correção para comparações múltiplas; (2) o  $CMO_{relt}$  associou-se com a MMu em todos os grupos e com a dinamometria manual no FRS2 e na amostra total; (3) ambos os parâmetros explicaram variância adicional e independente na dinamometria manual além do IMC e da MMu, com contribuições complementares.

A associação do AF com a força de preensão manual — que sobreviveu à correção de Benjamini-Hochberg — é um achado relevante e biologicamente plausível. O AF reflete a integridade da membrana celular e a distribuição de água entre os compartimentos intra e extracelular (NORMAN et al., 2012). Células musculares com membranas mais íntegras e maior hidratação intracelular apresentam maior capacidade de gerar força (BUCHHOLZ; BARTOK; SCHOELLER, 2004). Koury, Trugo e Torres (2014) reportaram associações positivas do AF com variáveis de desempenho em atletas masculinos, e Matias et al. (2015) demonstraram que o AF é sensível a estados de fadiga e dano muscular — o que reforça sua relevância como indicador funcional.

Os valores do P50 do AF (7,28° para homens; 6,76° para mulheres) estão próximos dos relatados por Santos et al. (2015) — 7,8° e 7,0°, respectivamente. A diferença pode ser atribuída ao elevado volume de sessões de treinamento observado nesta amostra, à temperatura ambiente elevada da região Centro-Oeste do Brasil e à ausência de controle da hidratação aguda antes das avaliações. Pilcher, Nadler e Busch (2002) demonstraram que temperaturas extremas afetam o balanço hídrico e, conseqüentemente, os parâmetros de BIA.

A forte associação do CMORelt com a MMu em todos os grupos (rho entre 0,602 e 0,783) é consistente com a literatura: grandes torques musculares estimulam a osteogênese por mecanismos piezoelétricos, e maior MMu está associada a maior IMC, variável também relacionada positivamente ao CMO (SALAMAT et al., 2013; MAÏMOUN; SULTAN, 2011). Entretanto, parte dessa associação pode refletir covariância metodológica — ambas as variáveis são estimadas por equações indiretas. A contribuição independente do CMORelt na dinamometria escapular ( $\Delta R^2 = 0,070$ ;  $p < 0,001$ ) — a

maior observada na regressão hierárquica — sugere que o conteúdo mineral ósseo tem relevância funcional além da mediada pela massa muscular.

No grupo FRS2 (artes marciais), o CMORElt foi preditor das dinamometrias manual e da impulsão horizontal. Essa associação é biologicamente coerente: modalidades de grappling e striking exigem elevada força de preensão, e o estresse mecânico repetido de membros superiores estimula o CMO nesses sítios (NASRI et al., 2013; RATAMESS, 2011). No grupo FRS3, composto por 91% de futebolistas, o CMORElt não se associou aos testes físicos — resultado consistente com a literatura, que demonstra que as adaptações ósseas no futebol são localizadas em sítios específicos dos membros inferiores e não são captadas adequadamente por medidas globais de CMO (CALBET et al., 2001; WITTICH et al., 1998).

A ausência de associação do AF e do CMORElt com o Teste lo lo é consistente entre todos os grupos e após correção estatística. O  $VO_2$ máx é determinado principalmente por fatores cardiovasculares e mitocondriais, não diretamente relacionados à integridade da membrana celular ou ao conteúdo mineral ósseo global. Adicionalmente, a equação de Léger et al. (1988) foi desenvolvida para populações com perfil aeróbio-intermitente, o que pode introduzir erro sistemático em sua aplicação a nadadores e atletas de artes marciais.

Do ponto de vista da prática profissional, os resultados sugerem que a MF-BIA pode ser utilizada como ferramenta complementar de monitoramento musculoesquelético em atletas federados — tanto pelo AF quanto pelo CMORElt — especialmente para a força de preensão manual, que é um indicador reconhecido de saúde

musculoesquelética global. A praticidade, o baixo custo e a ausência de radiação tornam a MF-BIA uma alternativa viável para avaliações periódicas em contexto epidemiológico, desde que respeitadas as limitações metodológicas inerentes à equação proprietária do CMO.

## **LIMITAÇÕES DO ESTUDO**

As seguintes limitações devem ser consideradas na interpretação dos resultados:

1. Delineamento transversal: impossibilita inferências causais. A direção da relação entre AF, CMOrelt e força muscular não pode ser estabelecida.
2. Desequilíbrio amostral entre sexos (homens: 83%; mulheres: 17%): os valores de referência femininos são exploratórios e não devem ser utilizados como normativos até replicação em amostras  $\geq 80$  mulheres atletas.
3. Equação proprietária do CMO (InBody S10®): não divulgada pelo fabricante, impede replicabilidade plena e comparação interlaboratorial. O CMOrelt é uma aproximação, não substitui DEXA para fins diagnósticos.
4. Ausência de controle da hidratação aguda: a não realização de osmolalidade ou densidade urinária antes da BIA pode ter introduzido variabilidade nos valores de AF.
5. Ausência de controle da fase de periodização: atletas foram avaliados em diferentes momentos do calendário competitivo, podendo haver variação no estado de fadiga, hidratação e MMu.

6. Ausência de controle do ciclo menstrual nas atletas femininas: variações hormonais afetam a distribuição hídrica e os parâmetros de BIA (GLEICHAUF; ROE, 1989).
7. Ausência de dados dietéticos: ingestão de cálcio, vitamina D e proteínas — determinantes do CMO — não foram controlados.
8. Dois valores de AF de segmento (tronco e braço esquerdo) foram tratados como ausentes por serem biologicamente implausíveis ( $> 15^\circ$ ). Isso pode ter introduzido viés em dois participantes.
9. Viés de composição modal: FRS3 composto por 91% de futebolistas; FRS4 inclui modalidades fisiologicamente heterogêneas (fisiculturismo e triatlão).
10. Validade limitada do Teste lo lo em modalidades não intermitentes: a equação de Léger et al. (1988) não foi validada para natação e tiro (FRS1).
11. Ampla faixa etária (14–59 anos): a idade é covariável relevante do CMO e do AF e não foi incluída nos modelos de regressão, podendo haver confundimento residual.

## **CONCLUSÃO**

O CMOrelt e o AF apresentaram contribuições independentes e estatisticamente significativas na predição da força de preensão manual em atletas federados, após controle para IMC e massa muscular total. O CMOrelt foi preditor da dinamometria manual direita ( $\Delta R^2 = 5,0\%$ ), esquerda ( $\Delta R^2 = 4,8\%$ ) e escapular ( $\Delta R^2 = 7,0\%$ ), enquanto o AF contribuiu independentemente para a preensão

manual direita ( $\Delta R^2 = 2,7\%$ ) e esquerda ( $\Delta R^2 = 2,2\%$ ). Esses achados corroboram H1a e H1b parcialmente.

Do ponto de vista prático, a MF-BIA pode ser utilizada como ferramenta de monitoramento musculoesquelético em atletas federados, especialmente para acompanhamento longitudinal da força de preensão manual em contexto epidemiológico. Os valores de referência exploratórios construídos com IC 95% por bootstrapping poderão servir como base comparativa, ressaltando-se o caráter exploratório dos dados femininos.

Estudos futuros devem: (a) adotar delineamento longitudinal para estabelecer a direção da relação AF/CMO–força muscular; (b) ampliar a amostra feminina; (c) controlar estado de hidratação, fase de periodização, ciclo menstrual e ingestão alimentar; (d) validar o CMO por BIA com DEXA como critério de referência; (e) incluir a idade como covariável em amostras com ampla faixa etária; e (f) realizar análises de sensibilidade com subgrupos modais homogêneos.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANDREOLI, A.; MONTELEONE, M. Effects of different sports on bone density and muscle mass in highly trained athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 33, n. 4, p. 507–511, 2001.

BUCHHOLZ, A. C.; BARTOK, C.; SCHOELLER, D. A. The validity of bioelectrical impedance models in clinical populations. *Nutrition in Clinical Practice*, v. 19, n. 5, p. 433–446, out. 2004.

CALBET, J. A. L. et al. High femoral bone mineral content and density in male football (soccer) players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 33, n. 10, p. 1682–1687, out. 2001.

DUMLER, F.; KILATES, C. Use of bioelectrical impedance techniques for monitoring nutritional status in patients on maintenance dialysis. *Journal of Renal Nutrition*, v. 10, n. 3, p. 116–124, 2000.

GLEICHAUF, C. N.; ROE, D. A. The menstrual cycle's effect on the reliability of bioimpedance measurements for assessing body composition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v. 50, n. 5, p. 903–907, nov. 1989.

GROOThAUSEN, J. et al. Influence of peak strain on lumbar bone mineral density: an analysis of 15-year physical activity in young males and females. *Pediatric Exercise Science*, v. 9, p. 159–173, 1997.

HEYWARD, V.; GIBSON, A. *Advanced fitness assessment and exercise prescription*. 7. ed. Champaign: Human Kinetics, 2014.

KOHRt, W. 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. 1985–1996, nov. 2004.

KOURY, J. C.; TRUGO, N. M.; TORRES, A. G. Phase angle and bioelectrical impedance vectors in adolescent and adult male athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 9, n. 5, p. 798–804, set. 2014.

KYLE, U. Bioelectrical impedance analysis – part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition*, v. 23, n. 5, p. 1226–1243, out. 2004.

KYLE, U. G. et al. Bioelectrical impedance analysis – part II: utilization in clinical practice. *Clinical Nutrition*, v. 23, n. 6, p. 1430–1453, dez. 2004.

LÉGER, L. A. et al. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, v. 6, n. 2, p. 93–101, 1988.

MAÏMOUN, L.; SULTAN, C. Effects of physical activity on bone remodeling. *Metabolism*, v. 60, n. 3, p. 373–388, mar. 2011.

MARTIN, A. D. et al. Anthropometric estimation of muscle mass in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 22, n. 5, p. 729–733, out. 1990.

MATIAS, C. N. et al. Magnesium and phase angle: a prognostic tool for monitoring cellular integrity in judo athletes. *Magnesium Research*, v. 28, n. 3, p. 92–98, jan. 2015.

MAULDER, P.; CRONIN, J. Horizontal and vertical jump assessment: reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *Physical Therapy in Sport*, v. 6, n. 2, p. 74–82, 2005.

MOREL, J. et al. Bone mineral density of 704 amateur sportsmen involved in different physical activities. *Osteoporosis International*, v. 12, n. 2, p. 152–157, jan. 2001.

MOTTINI, M. et al. Efeitos do exercício na densidade mineral óssea. *Motriz – Revista de Educação Física*, v. 14, p. 85–95, jan. 2008.

MOUAD, M. et al. Validação da bioimpedância elétrica por multifrequência em atletas. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, v. 23, n. 1, p. 48–57, 2015.

NASRI, R. et al. Grip strength is a predictor of bone mineral density among adolescent combat sport athletes. *Journal of Clinical Densitometry*, v. 16, n. 1, p. 92–97, jan. 2013.

NORMAN, K. et al. Bioelectrical phase angle and impedance vector analysis – clinical relevance and applicability of impedance parameters. *Clinical Nutrition*, v. 31, n. 6, p. 854–861, dez. 2012.

ORGANIZATION, W. H. WHO scientific group on the assessment of osteoporosis at primary health care level. Geneva: World Health Organization, 2004.

PATIL, B. R. et al. Estimation of bone mineral content from bioelectrical impedance analysis in Indian adults aged 23–81 years: a comparison with dual energy X-ray absorptiometry. *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, v. 8, n. 1, p. 99–113, jan. 2012.

PILCHER, J. J.; NADLER, E.; BUSCH, C. Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. *Ergonomics*, v. 45, n. 10, p. 682–698, ago. 2002.

PLATEN, P. et al. Bone mineral density in top level male athletes of different sports. *European Journal of Sport Science*, v. 1, n. 5, p. 1–15, dez. 2001.

POLLOCK, M. L.; WILMORE, J. H. Exercícios na saúde e na doença: avaliação e prescrição para prevenção e reabilitação. 2. ed. Rio de Janeiro: MEDSI, 1993.

RATAMESS, N. A. Strength and conditioning for grappling sports. *Strength and Conditioning Journal*, v. 33, n. 6, p. 18–24, dez. 2011.

RECH, C. R. et al. Validade de equações antropométricas para estimar a massa muscular em idosos. *Revista Brasileira de*

Cineantropometria e Desempenho Humano, v. 14, n. 1, p. 23–31, jan. 2012.

SALAMAT, M. R. et al. Relationship between weight, body mass index, and bone mineral density in men referred for dual-energy X-ray absorptiometry scan in Isfahan, Iran. *Journal of Osteoporosis*, v. 2013, p. 205963, 2013.

SANTOS, D. A. et al. Ângulo de fase como indicador funcional inovador em praticantes desportivos. In: CONGRESSO DO COMITÊ OLÍMPICO DE PORTUGAL, 2015, Lisboa. Anais [...]. Lisboa: Comitê Olímpico de Portugal, 2015.

SCHWENK, A. et al. Phase angle from bioelectrical impedance analysis remains an independent predictive marker in HIV-infected patients in the era of highly active antiretroviral treatment. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v. 72, n. 2, p. 496–501, 2000.

TORRES, A. G. et al. Biological determinants of phase angle among Brazilian elite athletes. *Proceedings of the Nutrition Society*, v. 67, n. OCE8, p. E332, maio 2008.

WELLS, K. F.; DILLON, E. K. The sit and reach – a test of back and leg flexibility. *Research Quarterly*, v. 23, n. 1, p. 115–118, mar. 1952.

WITTICH, A. et al. Professional football (soccer) players have a markedly greater skeletal mineral content, density and size than age- and BMI-matched controls. *Calcified Tissue International*, v. 63, n. 2, p. 112–117, ago. 1998.

WORLD HEALTH ORGANISATION. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Geneva: WHO, 2000.

---

**Conflito de interesses:** Os autores declaram não haver conflito de interesses.

**Financiamento:** Esta pesquisa não recebeu financiamento específico de agências de fomento.

**Aprovação ética:** Aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Júlio Müller (CEP/HUJM) sob o Parecer nº 171.075. Todos os participantes ou seus responsáveis legais assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

**Delineamento:** Estudo observacional de corte transversal. Registro de ensaio não aplicável.

**Licença:** CC BY 4.0 – Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

---

<sup>1</sup> NAFIMES/UFMT, Cuiabá, MT, Brasil Programa de Pós-Graduação em Educação Física – UFMT ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2347-1832>

<sup>2</sup> NAFIMES/UFMT, Cuiabá, MT, Brasil E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6938-6365>

<sup>3</sup> NAFIMES/UFMT, Cuiabá, MT, Brasil ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2646-2639>