



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS**

**RAQUEL DAVID LANGER**

**VALIDADE DA ANÁLISE DE IMPEDÂNCIA BIOELÉTRICA PARA A  
ESTIMATIVA DAS ALTERAÇÕES NA MASSA ISENTA DE GORDURA EM  
CADETES DO EXÉRCITO BRASILEIRO**

**CAMPINAS**

**2016**

RAQUEL DAVID LANGER

**VALIDADE DA ANÁLISE DE IMPEDÂNCIA BIOELÉTRICA PARA A  
ESTIMATIVA DAS ALTERAÇÕES NA MASSA ISENTA DE GORDURA EM  
CADETES DO EXÉRCITO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Médicas da  
Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos  
exigidos para a obtenção do título de Mestra em Ciências, na área  
de concentração em Saúde da Criança e do Adolescente.

ORIENTADOR: DR. EZEQUIEL MOREIRA GOLÇALVES  
COORIENTADOR: DR. GIL GUERRA JÚNIOR

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL  
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA  
RAQUEL DAVID LANGER, E ORIENTADA PELO PROF.  
DR. EZEQUIEL MOREIRA GONÇALVES.

CAMPINAS

2016

**Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s):** CAPES, 2014/34920-1; FAPESP, 2012/16778-8; FAPESP, 2016/03980-4

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Faculdade de Ciências Médicas  
Maristella Soares dos Santos - CRB 8/8402

L262v Langer, Raquel David, 1985  
Validade da análise de impedância bioelétrica para a estimativa das alterações na massa isenta de gordura em cadetes do exército brasileiro / Raquel David Langer. – Campinas, SP : [s.n.], 2016.

Orientador: Ezequiel Moreira Gonçalves.  
Coorientador: Gil Guerra Júnior.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Médicas.

1. Impedância elétrica. 2. Militares. 3. Alterações do peso corporal. I. Gonçalves, Ezequiel Moreira, 1977-. II. Guerra Junior, Gil, 1960-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Médicas. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Validity of bioelectrical impedance analysis to estimate fat-free mass changes in the brazilian army cadets

**Palavras-chave em inglês:**

Electric impedance

Military personnel

Body weight changes

**Área de concentração:** Saúde da Criança e do Adolescente

**Titulação:** Mestra em Ciências

**Banca examinadora:**

Ezequiel Moreira Gonçalves [Orientador]

Antonio de Azevedo Barros Filho

Luís Alberto Gobbo

**Data de defesa:** 21-10-2016

**Programa de Pós-Graduação:** Saúde da Criança e do Adolescente

# **BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE MESTRADO**

**RAQUEL DAVID LANGER**

---

**Orientador (a) PROF(A). DR(A). EZEQUIEL MOREIRA GONÇALVES**

**Coorientador (a) PROF(A). DR(A). GIL GUERRA JÚNIOR**

---

## **MEMBROS:**

- 1. PROF(A). DR(A). EZEQUIEL MOREIRA GONÇALVES**
- 2. PROF(A). DR(A). LUÍS ALBERTO GOBBO**
- 3. PROF(A). DR(A). ANTONIO DE AZEVEDO BARROS FILHO**

---

Programa de Pós-Graduação em Saúde da Criança e do Adolescente da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas.

A ata de defesa com as respectivas assinaturas dos membros da banca examinadora encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

**Data: 21 de outubro de 2016**

## *DEDICATÓRIA*

*Dedico esse trabalho aos meus pais Lorenzo e Yara, e meus irmãos Murilo, Mayra e Fernando pelos ensinamentos, carinho e respeito.*

*Ao meu marido Kell, pelo amor, apoio e compreensão.*

## ***AGRADECIMENTOS***

Aos meus pais, Lorenzo e Yara, por me proporcionarem educação, saúde e amor, me apoiando e comemorando em cada conquista.

Ao meu marido Kell, pelo incentivo, carinho, compreensão e companheirismo durante todo o processo deste trabalho.

Aos meus queridos irmãos Murilo, Mayra e Fernando, pelo carinho, respeito, amor e proteção durante todos esses anos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ezequiel, pela oportunidade de trabalharmos juntos, pela sua dedicação, inteligência, sabedoria e paciência desde antes do ingresso ao mestrado até a construção e finalização deste trabalho. Muito obrigada!

Ao meu coorientador Prof. Dr. Gil, pela sua contribuição positiva e de importância fundamental durante todo o processo deste trabalho.

A Escola Preparatória de Cadetes do Exército (EsPCEX) de Campinas, por ceder a amostra para este estudo, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Processo nº 23001.000422/98-30) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, Processos nº 2012/16778-8 e nº 2016/03980-4) pelo financiamento da pesquisa.

Aos queridos secretários do CIPED, Rosa, Miltinho, Daniel e Pedretti pelas inúmeras ajudas, pelas confraternizações e cafés.

Aos meus primeiros alunos de academia Guiomar (in memoriam), Luciano e Rosa, pelo incentivo e apoio para iniciar o mestrado.

Aos meus amigos de Barão, Li, Lucas, Hugo e Riqui pelos momentos de risadas, micos e viagens. Amigos, sem vocês não teria sido tão animado e especial!

A minha querida amiga, Profa. Dra. Verinha, me motivando e ensinando desde o ingresso ao mestrado até a publicação do meu primeiro artigo!

Aos meus colegas do Grupo de Estudos em Crescimento e Desenvolvimento do CIPED, pelo apoio nos estudos e nas coletas.

As minhas parceiras Mary e Rô pelos momentos de descontração, bandecos e cafés. Muito obrigada pela parceria especial meninas!

Aos parceiros de projeto, Juliano, Mauro Fitness, Cirolini e Mauro Fisio, pelo apoio, companhia e paciência em todas as coletas deste estudo.

Ao Dudu e a Fer, pela oportunidade de finalizar o trabalho desfrutando os ambientes paradisíacos de Natal e pelas discussões proveitosas dos nossos *Paia Meetings*.

E a todos que eu deixei de mencionar aqui, mas que contribuíram de alguma maneira durante todo o processo deste trabalho. Muito obrigada!

## **RESUMO**

O objetivo principal deste estudo foi analisar a validade de uma equação preditiva específica baseada na análise de impedância bioelétrica (BIA), desenvolvida a partir de uma amostra de cadetes do exército Brasileiro, na avaliação das alterações da massa isenta de gordura (MIG), após um período de cerca de sete meses de rotina militar, utilizando os valores determinados pela absorciometria por dupla emissão de raio x (DXA) como o método de referência. Inicialmente, foi analisado a validade de equações preditivas de BIA já publicadas e da equação específica desenvolvida no presente estudo, na estimativa da MIG. **Métodos:** Foram avaliados 396 e 310 (estudo transversal e longitudinal, respectivamente) cadetes do exército Brasileiro do sexo masculino com idade entre 17 e 24 anos. Oito equações preditivas de BIA e uma específica, foram utilizadas para testar a validade nesta amostra. O teste *t* de Student, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro padrão de estimativa (EPE), o teste de Lin e de Bland-Altman, foram utilizados para determinar a validade das equações preditivas de BIA na estimativa da MIG. **Resultados:** No estudo transversal, as oito equações preditivas de BIA apresentaram diferenças significativas na MIG (-3,0 a 2,4 kg) comparadas com a DXA ( $p < 0,05$ ); o valor de  $R^2$  variou de 0,68 a 0,88 e o EPE variou de 2,3 a 3,6 kg. A MIG da equação específica não apresentou diferença significativa com a DXA tanto no momento pré, quanto no momento pós ( $p < 0,001$ ). O valor de  $R^2$  no momento pré e pós foi de 0,87 e 0,91, respectivamente; o EPE foi de 2,3 e 2,0 kg, respectivamente, e o limite de concordância diminuiu de 9,1 para 7,7 kg. **Conclusão:** As oito equações preditivas de BIA testadas não demonstraram serem válidas para esta amostra. A equação específica de BIA desenvolvida neste estudo, demonstrou melhores resultados na avaliação transversal e apresentou boa acurácia nessa amostra de cadetes do exército na avaliação das alterações da MIG. Contudo, seus resultados devem ser analisados com cautela quando a equação for aplicada em indivíduos com diferentes valores de MIG.

**Palavras chave:** Impedância elétrica, militares e alterações do peso corporal.



## ***ABSTRACT***

The aim of this study was to analyze a specific prediction equation based on bioelectrical impedance analysis (BIA) developed in a sample of Brazilian Army cadets, by evaluating fat-free mass (FFM) changes after seven months of military command, and using values determined by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) as a reference method. Initially, the validity of published predictive BIA equations was analyzed and a specific equation was developed in the present study to estimate FFM. **Methods:** A total of 396 and 310 males (cross-sectional and longitudinal study, respectively) Brazilian Army cadets, aged between 17 and 24 years were included. The study used eight predictive BIA equations and a specific equation to validate this sample. Student's t-test, adjusted coefficient of determination ( $R^2$ ), standard error of estimation (SEE), Lin's approach and Bland-Altman test were used to determine the BIA equations' validity of prediction for estimating FFM. **Results:** In the cross-sectional study, eight predictive BIA Equations showed significant differences in FFM (-3.0 to 2.4 kg) compared with DXA ( $p < 0.05$ );  $R^2$  values ranged from 0.68 to 0.88, and SEE ranged from 2.3 to 3.6 kg. During pre and post moments, FFM estimated by the specific BIA equation showed no significant difference with DXA ( $p < 0.001$ ). The pre and post  $R^2$  values were 0.87 and 0.91, respectively; SEE was 2.3 and 2.0 kg, respectively, and the limits of agreement decreased from 9.1 to 7.7 kg. **Conclusion:** The eight predictive BIA Equations tested were not valid for this sample. The specific BIA equation developed in this study showed better results in the cross-sectional study and showed better accuracy on FFM changes in this sample of Brazilian Army cadets. However, its results should be analyzed with caution, especially if it is used on samples of individuals with different FFM values.

**Keywords:** Electric impedance, military personnel and Body weight changes.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Componentes da composição corporal. Adaptado de Kyle et al, 2004...	21
Figura 2. Plotagem da curva de Impedancia (Z) da resistência (R) e da reactância (Xc) conforme a frequência. Adaptado de Chumlea & Sun, 2005.....	23
Figura 3. Princípio da BIA, sendo a impedância (Z) resultado da resistência específica ( $\rho$ ) proporcional ao comprimento do condutor (C) e inversamente proporcional à sua área de corte transversal (A). Adaptado de Kushner et al, 1992.....	23
Figura 4. Formato do corpo humano se assemelhando a cinco cilindros (dois braços, duas pernas e o tronco, excluindo a cabeça) conectados em série. Adaptado de Kushner et al, 1992.....	24
Figura 5. Posicionamento dos eletrodos da BIA unifrequência tetrapolar. Adaptado de RJL.....	25
Figura 6. Fluxograma da seleção da amostra do estudo; EsPCEX: Escola Preparatória de Cadetes do Exército.....	30
Figura 7. Avaliação antropométrica de (a) peso e (b) estatura dos sujeitos do estudo.....	32
Figura 8. Avaliação de corpo inteiro dos sujeitos do estudo utilizando a DXA.....	33
Figura 9. Avaliação dos sujeitos do estudo utilizando a BIA.....	34

Figura 10. Correlações entre a MIG determinada pela DXA e estimada pelas equações preditivas de BIA na amostra de cadetes (n = 396): (A) Equação 1; (B) Equação 2; (C) Equação 3; (D) Equação 4; (E) Equação 5; (F) Equação 6; (G) Equação 7 e (H) Equação 8;  $r$ : coeficiente de correlação;  $R^2$ : coeficiente de determinação; EPE: erro padrão de estimativa..... 40

Figura 11. Plotagem do teste de concordância entre os valores de MIG determinada pela DXA e estimada pelas equações preditivas de BIA: (A) Equação 1; (B) Equação 2; (C) Equação 3; (D) Equação 4; (E) Equação 5; (F) Equação 6; (G) Equação 7 e (H) Equação 8. Linha contínua: média das diferenças; linha tracejada: limites de concordância de 95%; linha contínua mais espessa: correlação ( $r$ ) entre a média e as diferenças dos métodos (DXA e BIA).. 41

Figura 12. Correlação (esquerda) e plotagem do teste de concordância (direita) entre a MIG determinada pela DXA e estimada pela equação específica de BIA desenvolvida neste estudo: GD: Grupo desenvolvimento (superior); GV: Grupo validação (centro) e TOTAL: amostra total (inferior);  $r$ : coeficiente de correlação;  $R^2$ : coeficiente de determinação; EPE: erro padrão de estimativa; Direita: linha contínua: média das diferenças; linha tracejada: limites de concordância de 95%; linha contínua mais espessa: correlação ( $r$ ) entre a média e as diferenças dos métodos (DXA e BIA)..... 45

Figura 13. Correlação (superior) e plotagem do teste de concordância (inferior) entre a MIG determinada pela DXA e estimada pela equação específica de BIA desenvolvida neste estudo no momento pós treinamento militar.  $r$ : coeficiente de correlação;  $R^2$ : coeficiente de determinação; EPE: erro padrão de estimativa;

Inferior: Linha contínua: média das diferenças; linha tracejada: limites de concordância de 95%; linha contínua mais espessa: correlação ( $r$ ) entre a média e as diferenças dos métodos (DXA e BIA)..... 48

## LISTA DE TABELAS

	<i>Pág.</i>
Tabela 1. Classificação subjetiva dos valores de erros na predição da massa isenta de gordura corporal e os erros reais usando o método de critério.....	27
Tabela 2. Características das equações preditivas de BIA selecionadas para estimar a massa isenta de gordura.....	35
Tabela 3. Características da amostra total e separadas pelos anos de avaliação (2013 e 2014).....	38
Tabela 4. Valores da massa isenta de gordura (MIG) determinadas pelo método de referência (DXA) e estimadas pelas oito equações preditivas de BIA, média das diferenças (kg e %), coeficiente de correlação de concordância (CCC), precisão ( $\rho$ ) acurácia ( $C_b$ ) e erro puro (EP).....	39
Tabela 5. Características dos grupos desenvolvimento (GD) e validação (GV) da equação específica de BIA desenvolvida neste estudo.....	43
Tabela 6. Valores da massa isenta de gordura (MIG) estimada pela equação específica de BIA desenvolvida neste estudo, média das diferenças (kg e %), coeficiente de correlação de concordância (CCC), precisão ( $\rho$ ), acurácia ( $C_b$ ) e erro puro (EP).....	44
Tabela 7. Características gerais da amostra de cadetes ( $n = 310$ ) nos dois momentos (pré e pós) e as alterações ( $\Delta = \text{pós} - \text{pré}$ ) absolutas e em percentuais (%). .....	46
Tabela 8. Valores da massa isenta de gordura (MIG) no momento pós treinamento militar ( $n = 310$ ) determinada pela DXA e estimada pela equação específica de BIA desenvolvida neste estudo, média das diferenças entre os dois momentos ( $\Delta$ ) e entre os métodos (kg e %) e coeficiente de correlação de concordância (CCC), precisão ( $\rho$ ), acurácia ( $C_b$ ). .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>%MG</b>	Percentual de massa gorda
<b>4C</b>	Modelo de quatro compartimentos
<b>ACT</b>	Água corporal total
<b>BIA</b>	Análise de Impedância Bioelétrica
<b>C<sub>b</sub></b>	Acurácia
<b>CCC</b>	Coeficiente de correlação de concordância
<b>CIPED</b>	Centro de Investigação em Pediatria
<b>CMO</b>	Conteúdo mineral ósseo
<b>CV%</b>	Coeficiente de variação em percentual
<b>DP</b>	Desvio-padrão
<b>DXA</b>	Absorciometria por dupla emissão de raio X
<b>E</b>	Estatura
<b>E<sup>2</sup>/R</b>	Estatura em cm elevada ao quadrado dividida pela resistência em ohms
<b>E<sup>2</sup>/Z</b>	Estatura em cm elevada ao quadrado dividida pela impedância em ohms
<b>EP</b>	Erro puro
<b>EPE</b>	Erro padrão de estimativa
<b>EsPCEx</b>	Escola Preparatória de Cadetes do Exército
<b>ETM</b>	Erro técnico de medida
<b>FCM</b>	Faculdade de Ciências Médicas
<b>GD</b>	Grupo desenvolvimento
<b>GV</b>	Grupo validação
<b>IMC</b>	Índice de massa corporal
<b>Log<sup>10</sup></b>	Logaritmo na base 10
<b>Máx</b>	Valor máximo

<b>MG</b>	Massa gora
<b>MIG</b>	Massa isenta de gordura
<b>Min</b>	Valor mínimo
<b>NR</b>	Não relatado
<b>PC</b>	Peso corporal
<b>PH</b>	Pesagem hidrostática
<b>R</b>	Resistência
<i>r</i>	Coefficiente de correlação
<b>R<sup>2</sup></b>	Coefficiente de determinação
<b>TAF</b>	Teste de aptidão física
<b>TFM</b>	Treinamento físico militar
<b>TMM</b>	Tecido mole magro
<b>TOTAL</b>	Amostra total
<b>UNICAMP</b>	Universidade Estadual de Campinas
<b>Xc</b>	Reactância
<b>Z</b>	Impedância
<i>ρ</i>	Precisão

# SUMÁRIO

	<i>Pág.</i>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	18
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	20
<b>2.1. Objetivo Geral.....</b>	20
<b>2.2. Objetivos Específicos.....</b>	20
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	21
<b>3.1. Análise de Impedância Bioelétrica (BIA).....</b>	21
<b>3.2. Equações de BIA publicadas na literatura.....</b>	25
<b>3.3. Cadetes do exército.....</b>	28
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	30
<b>4.1. Sujeitos do estudo.....</b>	30
<b>4.2. Delineamento do estudo.....</b>	31
<b>4.3. Aspectos Éticos da Pesquisa.....</b>	31
<b>4.4. Medidas antropométricas.....</b>	31
<b>4.5. Absorciometria por dupla emissão de raio X (DXA).....</b>	32
<b>4.6. Análise da Impedância Bioelétrica (BIA).....</b>	33
<b>4.7. Seleção das equações preditivas de BIA.....</b>	34
<b>4.8. Análise estatística.....</b>	36
<b>5. RESULTADOS.....</b>	38
<b>5.1. Análise da validade das equações preditivas de BIA já publicadas.....</b>	38
<b>5.2. Desenvolvimento e validação da equação preditiva específica de BIA..</b>	43
<b>5.3. Validação longitudinal da equação específica de BIA desenvolvida no</b> <b>estudo.....</b>	46



<b>6. DISCUSSÃO</b> .....	49
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	54
<b>8. REFERÊNCIAS</b> .....	55
<b>9. APÊNDICES</b> .....	62
<b>Apêndice 1</b> – Ficha de Avaliação.....	62
<b>Apêndice 2</b> – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	64
<b>Apêndice 3</b> – Artigo publicado em revista.....	65
<b>10. ANEXOS</b> .....	77
<b>Anexo 1</b> – Autorização junto à editora para inclusão do artigo na dissertação em atendimento à legislação que rege o direito autoral.....	77
<b>Anexo 2</b> – Declaração de não infringir as leis.....	78

# 1. INTRODUÇÃO

A avaliação da composição corporal é de grande importância para identificar os possíveis riscos à saúde, relacionados tanto ao excesso, quanto à falta de seus diferentes componentes corporais, além de fornecer importantes informações relativas a intervenções nutricionais, de programas de exercícios físicos e de auxiliar no monitoramento dos processos de crescimento, envelhecimento e de algumas doenças(1–3).

Intervenções com atividade física são recomendadas para promoverem alterações na composição corporal(4), pois a prática regular de exercícios físicos têm efeito no aumento da massa isenta de gordura (MIG) e melhora no desempenho físico(5), assim como, na diminuição da massa gorda (MG) e perfil lipídico(6).

A carreira militar demanda de níveis adequados na aptidão física e da composição corporal. Por conta disso, os jovens militares, já no seu ingresso na carreira militar como cadetes do exército, são submetidos a um programa de treinamento físico rigoroso(7,8), com o objetivo de desempenhar com eficiência as tarefas da rotina militar que lhe são propostas. Como consequência do treinamento físico militar, esses indivíduos apresentam um aumento na MIG, diminuição da quantidade de MG e melhora no desempenho físico(9).

O monitoramento das alterações da composição corporal exige de métodos eficazes e práticos, principalmente quando envolve avaliações de um grande número de indivíduos em um curto período de tempo, como no ambiente militar, onde as medições têm que ser feitas em campo e sem a disponibilidade de técnicas laboratoriais. Nesse sentido, a análise de impedância bioelétrica (BIA), é um método amplamente utilizado para avaliar a composição corporal em diversas situações clínicas(10) e em campo, principalmente, por ser um método prático, rápido e relativamente barato, quando comparado a outras técnicas laboratoriais. Entretanto, as equações preditivas necessárias para determinar os componentes corporais (MG e MIG), sofrem influência das características específicas das populações para que foram desenvolvidas, como o sexo(11), faixa etária(12), etnia e presença de doenças(13).

Com relação aos militares, a literatura é escassa nesse tipo de equação preditiva(14). Outro ponto muito importante e que muitas vezes é negligenciado, é a questão de que as equações preditivas foram desenvolvidas e validadas somente em

avaliações transversais, ou seja, a equação foi desenvolvida a partir de uma única avaliação mensurada apenas em um momento. Entretanto, as avaliações devem também ser capazes de detectar as alterações ocorridas em relação a um determinado período (avaliações longitudinais, no qual são realizadas em dois ou mais momentos), principalmente quando fruto de alguma intervenção (ex. nutricional e/ou de exercícios físicos), a fim de monitorar o comportamento dos componentes corporais(15) relacionados com o aumento ou diminuição tanto da MG quanto da MIG.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo Geral**

Analisar a validade de uma equação preditiva específica baseada na análise de impedância bioelétrica (BIA), desenvolvida a partir de uma amostra de cadetes do exército Brasileiro, do sexo masculino, com idade entre 17 e 24 anos, na avaliação das alterações da MIG, após um período de cerca de sete meses de rotina militar, utilizando os valores determinados pela absorciometria por dupla emissão de raio x (DXA) como o método de referência.

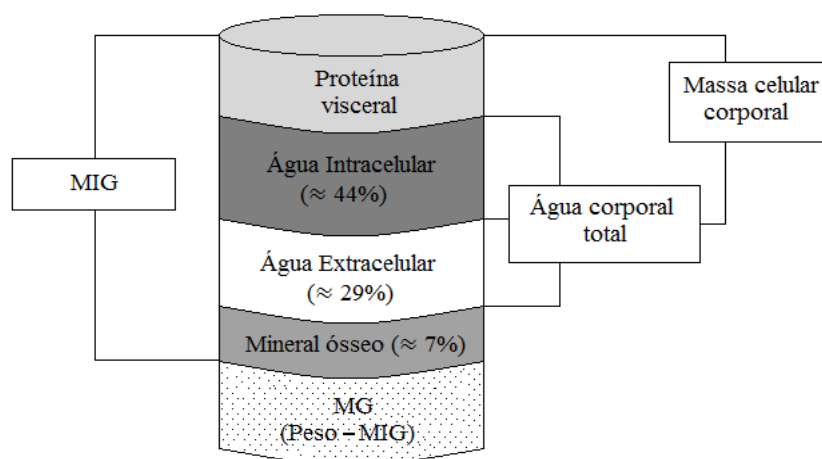
### **2.2. Objetivos Específicos**

- 1) Analisar a validade de equações preditivas de BIA já publicadas, na estimativa da MIG de forma transversal, em cadetes do exército Brasileiro do sexo masculino, com idade entre 17 e 24 anos, utilizando os valores determinados pela DXA como o método de referência.
- 2) Desenvolver e validar uma equação específica de BIA na estimativa da MIG para os cadetes do exército Brasileiro do sexo masculino, com idade entre 17 e 24 anos, utilizando os valores determinados pela DXA como o método de referência.
- 3) Analisar a concordância da equação específica de BIA desenvolvida no estudo com os valores determinados pela DXA, na estimativa das alterações da MIG dos cadetes do exército Brasileiro do sexo masculino, com idade entre 17 e 24 anos, após cerca de sete meses de rotina militar.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Análise de Impedância Bioelétrica (BIA)

O corpo humano é composto por diferentes componentes corporais (Figura 1) que se alteram conforme o passar dos anos ao longo da vida, em função a uma variedade de fatores como doenças, nutrição e nível de atividade física, além dos aspectos naturais de crescimento, desenvolvimento e envelhecimento(15). A quantidade de MG e MIG presente no corpo humano está associado com fatores de risco estabelecidos para certas doenças crônicas relacionadas com o envelhecimento (ex: sarcopenia, osteopenia, osteoporose, etc)(16). A avaliação da composição corporal também serve para o monitoramento do estado funcional, incapacidade e mortalidade, como a obesidade infantil(17) e os fatores relacionados com o envelhecimento(16).



**Figura 1.** Componentes da composição corporal. Adaptado de Kyle et al, 2004(10).

A análise da impedância bioelétrica (BIA) é uma técnica simples, rápida, relativamente barata (comparada a outros métodos clínicos e laboratoriais) e apresenta uma série de vantagens para ser utilizada em campo(18). Como todos os métodos de avaliação corporal, a BIA depende de vários pressupostos estáticos e relações dinâmicas com as propriedades do corpo, como a composição dos componentes corporais, nível de hidratação, idade, sexo, etnia e condição patológica do avaliado(19,20).

O princípio da BIA para a avaliação da composição corporal se baseia na relação da composição corporal pela quantidade de água corporal total (ACT)(10,21,22). Ou seja,

a impedância corporal consiste na oposição que o corpo oferece à passagem de uma corrente elétrica, no qual é possível estimar a ACT utilizando o princípio da condutividade elétrica (quanto mais água corporal, menor será o valor de resistência)(10).

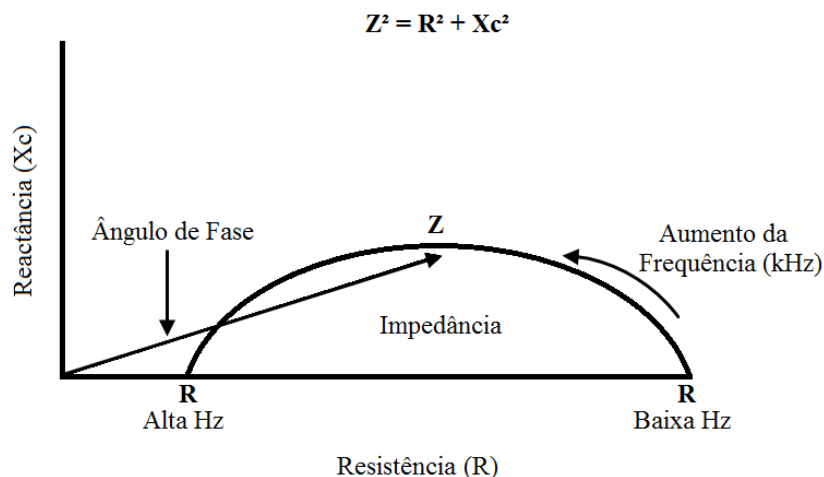
Os aparelhos de unifrequência de BIA utilizam uma corrente elétrica de baixa voltagem (50 kHz) que percorre o corpo pelos diferentes tecidos, onde o condutor elétrico é a água corporal (por meio dos eletrólitos presentes na água corporal) e o analisador calcula a impedância deste fluido(23). Na voltagem de 50kHz, é possível calcular a soma ponderada da água extra e intracelular, ou seja, permite estimar a MIG, mas sem determinar as diferenças existentes entre a água extra e intracelular(10).

A utilização da BIA na avaliação da composição corporal se baseia na relativa estabilidade da hidratação da MIG (razão água corporal por MIG)(24). Sabe-se que em cada faixa etária a quantidade de água corporal varia(12); em adultos saudáveis por exemplo, esta razão se mantém um valor aproximadamente de 0,73, podendo variar entre 0,69 e 0,77(25).

Esta variabilidade, apesar de pequena, aumenta o erro na predição da MIG e consequentemente da MG, pois assumindo que cerca de 73% da água corporal está presente na MIG, é possível calcular este compartimento, e por subtração ao peso calcula-se a MG. Essa razão chega a ser maior em crianças(26) e menor em idosos e sujeitos com doenças que alterem o seu estado de hidratação(23,27).

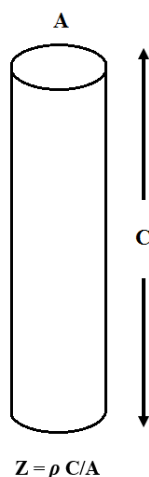
Na tentativa de limitar esta variabilidade, alguns cuidados pré-teste são fundamentais para que o estado de hidratação do avaliado esteja em equilíbrio. Os principais são: não realizar exercício físico vigoroso 24h antes do teste, estar em jejum por pelo menos 4h antes do teste, não fazer uso de medicamentos diuréticos a menos de 7 dias antes do teste, não consumir álcool 48h antes do teste, urinar a pelo menos 30 minutos antes do teste, retirar todos os objetos de metais do corpo (pulseiras, correntes, brincos, etc.) durante o teste e para mulheres não estarem no período menstrual(18,23).

A estimativa da composição corporal por meio da BIA necessita de uma equação de regressão validada contra um método de referência para que se determine a composição corporal. Esta é a única maneira de converter os valores de impedância (Z), de resistência (R) e de reactância (Xc) que a BIA fornece, em uma estimativa para os componentes corporais. A impedância é determinada como a resultante entre a R e a Xc estimadas a uma dada frequência de acordo com a equação  $Z^2 = R^2 + Xc^2$  (Figura 2)(28).



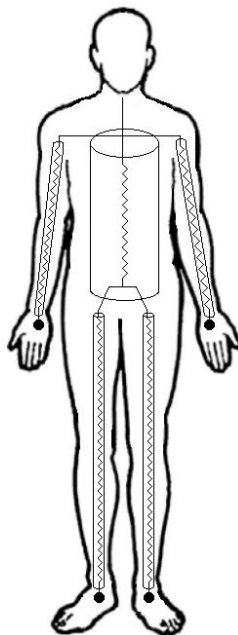
**Figura 2.** Plotagem da curva de Impedância ( $Z$ ) da resistência ( $R$ ) e da reactância ( $Xc$ ) conforme a frequência. Adaptado de Chumlea & Sun, 2005(28).

A resistência oferecida pelo corpo é a mesma observada em condutores não biológicos, ou seja, é proporcional ao comprimento do condutor e inversamente proporcional à sua área de corte transversal (Figura 3). Sendo assim, um indivíduo alto terá uma maior resistência quando comparado a um indivíduo de menor estatura, do mesmo modo que um indivíduo com maior área de corte transversal terá menor resistência quando comparado a um indivíduo com menor área de corte transversal(29). Já a reactância, é causada pelo efeito da capacitância das membranas celulares, da superfície de tecidos não iônicos que retardam parte da passagem do fluxo elétrico(29).



**Figura 3.** Princípio da BIA, sendo a impedância ( $Z$ ) resultado da resistência específica ( $\rho$ ) proporcional ao comprimento do condutor ( $C$ ) e inversamente proporcional à sua área de corte transversal ( $A$ ). Adaptado de Kushner et al, 1992(29).

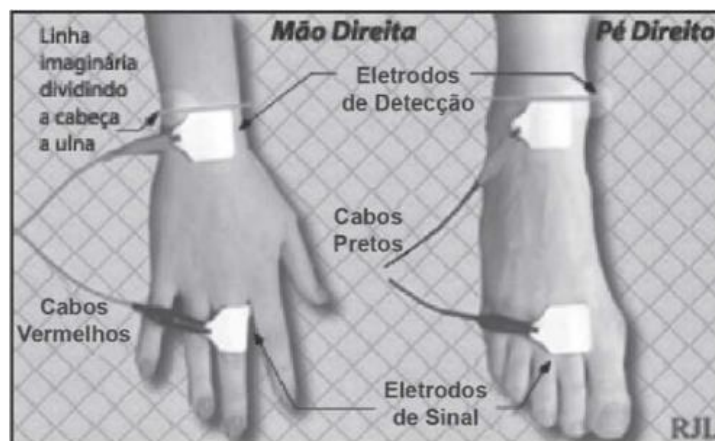
Um dos pressupostos da BIA é que o corpo humano tem o formato semelhante a um condutor cilíndrico perfeito(29), entretanto, sabe-se que isso não é totalmente verdade, visto que o formato do corpo humano se assemelha mais com o de cinco cilindros (dois braços, duas pernas e o tronco, excluindo a cabeça) conectados em série(29)(Figura 4). Devido aos segmentos corporais não serem uniformes (formas e tamanhos diferentes), a resistência ao fluxo de corrente, por meio desses segmentos corporais, acaba sendo diferenciada em cada segmento(10).



**Figura 4.** Formato do corpo humano se assemelhando a cinco cilindros (dois braços, duas pernas e o tronco, excluindo a cabeça) conectados em série. Adaptado de Kushner et al, 1992(29).

O modelo de BIA de unifreqüência tetrapolar, geralmente utiliza eletrodos de superfície que são fixados na mão (cabos vermelhos) e no pé (cabos pretos) direito. Na mão, o posicionamento do eletrodo emissor (clipe preto) é no plano da cabeça do terceiro metacarpo e do eletrodo receptor (clipe vermelho) em uma linha imaginária dividindo a cabeça da ulna. No pé, o posicionamento do eletrodo emissor (clipe preto) é no plano do terceiro metatarso e do eletrodo receptor (clipe vermelho) em uma linha imaginária entre os maléolos (Figura 5). Outros instrumentos de BIA utilizam diferentes locais de posicionamento dos eletrodos, como o *foot-to-foot*(30), o *hand-to-hand*(31) e o octapolar(32).





**Figura 5.** Posicionamento dos eletrodos da BIA unifrequência tetrapolar. Adaptado de RJL(33).

As principais vantagens da BIA são de que o seu método é relativamente de baixo custo, não requer um alto grau de habilidade do avaliador, é um aparelho portátil, a sua avaliação é não invasiva e não apresenta desconforto ao avaliado. Algumas das desvantagens da BIA é a dependência de grande colaboração por parte do avaliado, ou seja, que ele siga as recomendações exigidas pré-avaliação, pois a validade dos seus resultados é altamente influenciada pelo estado de hidratação, além disso, nem sempre os equipamentos de BIA dispõem de equações adequadas para os indivíduos que pretendemos avaliar(10).

### 3.2. Equações de BIA publicadas na Literatura

O método da BIA dispõe de equações preditivas já publicadas na literatura para estimar a composição corporal em populações com diferentes características (sexo, idade, etnia, antropometria) e podem apresentar elevados erros de predição quando aplicadas em amostras de características diferentes das que foram desenvolvidas as equações(34).

Existem diversas equações já publicadas na literatura para prever a composição corporal por meio da BIA em indivíduos com diferentes características e diferentes métodos de referência utilizados. As equações de Lukaski et al(35), Chumlea et al(36), Segal et al(37) e Deurenberg et al(11), por exemplo, foram validadas em amostras heterogêneas, ou seja, indivíduos de ambos os sexos, com uma grande amplitude na faixa etária, validadas utilizando a pesagem hidrostática (PH) como método de referência. As equações de Deurenberg et al(38) e Lohman(39) também utilizaram uma amostra

composta por indivíduos de ambos os sexos e como método de referência utilizaram a PH, entretanto a amplitude na faixa etária foi menor. Kotler et al(13) apesar de usar uma amostra heterogênea a amplitude na faixa etária não foi grande e o método de referência que utilizou para validar a equação foi a absorciometria por dupla emissão de raio x (DXA). Já a equação de Sun et al(40), utilizou como método de referência o modelo de quatro compartimentos (4C) para validar sua equação em uma amostra heterogênea (indivíduos de ambos os sexos e grande amplitude na faixa etária). Sendo assim, a escolha de equações já publicadas a serem utilizadas para calcular a MIG deve ser feita de forma cautelosa(27), pois a maioria das equações são generalizadas e determinam valores estimados de composição corporal para diversas populações. Por isso, verificar a amplitude da idade, o sexo, a etnia e a condição física dos sujeitos de que se pretende avaliar é de extrema importância(13,37,40) e estes devem ser um dos critérios para a seleção das equações que será utilizada na população de estudo.

Para a validade de uma nova equação preditiva, Sun e Chumlea(41) citam alguns fatores que podem interferir na acurácia (capacidade de exatidão da medida com o método de referência) de uma equação de predição quando aplicada em amostras independentes. Se a variável resposta apresentar limitação ou as medidas apresentarem erros, conseqüentemente a equação preditiva será de fraca qualidade quando aplicada em amostras independentes, sendo assim, a escolha dos métodos utilizados para avaliar os componentes corporais pode influenciar na validade das medidas. As medidas das variáveis preditoras que serão utilizadas na equação devem ser as mais precisas (medir da mesma forma repetidas vezes) possível(42). A inclusão das variáveis preditoras na equação depende de relações biológicas e estatísticas com as variáveis resposta, aumentando assim a precisão da equação de predição, por exemplo, no aspecto biológico as variáveis de peso, estatura, circunferência corporal, dobras cutâneas, R e Xc, são variáveis obtidas facilmente a um custo baixo e apresentam alta precisão(43); no aspecto estatístico, as variáveis de peso, estatura e índice de massa corporal (IMC) mostram uma correlação positiva com a MIG, assim como, as variáveis que a BIA fornece, apresentam boa predição para a MIG, inclusive quando na forma de índice de estatura<sup>2</sup>/R(40). Os métodos estatísticos utilizados devem ser apropriados para desenvolver com acurácia as equações de predição da composição corporal. Dentro destes métodos estatísticos se destacam o *stepwise*, no qual as variáveis preditoras (somente as que assumirem normalidade dos dados) são incluídas de maneira aleatória no modelo que melhor se ajusta para a equação preditiva(41). A relação entre a variável resposta e a variável de

predição pode ser distorcida caso ocorra a multicolinearidade entre as variáveis de predição, ou seja, as variáveis de dobras cutâneas e de circunferências são variáveis preditoras para o percentual de massa gorda (%MG), pois são medidas do tecido adiposo subcutâneo e são de alta inter-relação(41). Somente com o tamanho da amostra não é possível determinar a acurácia das equações preditivas, porém, quanto maior for o tamanho da amostra, melhor será a predição e acurácia da equação preditiva. Entretanto, o tamanho da amostra necessário para desenvolver uma equação depende de uma alta correlação entre a variável resposta e a variável de predição(41).

Alguns critérios relacionados ao erro de predição foram propostos para verificar a validade de novas técnicas de medida na estimativa da MIG (Tabela 1). Lohman(44), sugere que os erros padrão de estimativa (EPE) são excelentes quando inferiores a 2,5 kg para homens e 1,8 kg para mulheres e provavelmente refletem erros reais quando apresentam valores de 1,8 e 1,0 kg, respectivamente, no novo método utilizado. Estes erros são inferiores ao EPE, pois neste valor não está incluído o erro do método de critério em si, além do fato de o método de critério não apresentar valores perfeitos(44).

**Tabela 1.** Classificação subjetiva dos valores de erros na predição da massa isenta de gordura corporal e os erros reais usando o método de critério.

Erro padrão de estimativa (kg)		Erro real usando o método de critério (kg)		Classificação subjetiva
Homem	Mulher	Homem	Mulher	
2,0 – 2,5	1,5 – 1,8	0 – 1,8	0 – 1,8	Ideal
2,5	1,8	1,8	1,0	Excelente
3,0	2,3	2,3	1,7	Muito bom
3,5	2,8	2,9	2,4	Bom
4,0	2,8	2,9	2,4	Razoavelmente bom
4,5	3,6	4,0	3,3	Razoável
>4,5	>4,0	–	–	Não recomendado

Adaptado de Lohman, 1992(44).

Monitorar a quantidade de MG e MIG durante a prática de exercícios pode contribuir para um melhor direcionamento dos programas de treinamento físico para a perda de peso, assim como, o aumento da quantidade de MIG(45), visto que já é comprovado que programas de treinamento físico resultam em alterações tanto na MG(46) quanto na MIG(47) de praticantes de exercício físico. Por isso, se faz necessário

a utilização de modelos validados que identifiquem com acurácia e precisão as alterações dos componentes corporais.

### **3.3. Cadetes do exército**

A Escola Preparatória de Cadetes do Exército (EsPCEEx) de Campinas, é um local de ensino militar, em que os alunos recebem a primeira formação para oficial combatente de carreira do Exército Brasileiro. Antes de ingressarem na EsPCEEx, os alunos passam por um processo de admissão para serem aceitos que é constituído por três fases: a primeira é composta por um exame intelectual, a segunda por uma inspeção médica, no qual o candidato deve apresentar uma “Autorização para realização da inspeção de saúde” com o laudo de diversos exames realizados anteriormente (teste ergométrico, hemograma completo, eletroencefalograma, radiografia dos pulmões, etc.) e a terceira por testes físicos para verificar o nível de aptidão. Ao ingressarem na EsPCEEx, os alunos são submetidos a um regime de internato, sendo todas as atividades escolares controladas e reguladas por normas internas, assim como os horários das refeições, atividades físicas e descanso.

São alunos oriundos de todas as regiões do país (norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul), possuem diferentes níveis socioeconômicos e a maioria não possui uma prática sistemática e regular de exercícios físicos. Com a rotina militar, os alunos apresentam uma alteração em seu nível de atividade física, como consequência das peculiaridades da profissão militar, devido às cinco sessões semanais do treinamento físico militar (TFM), treinamento esse, contido no Manual de Treinamento Físico Militar(8), no qual busca proporcionar uma manutenção preventiva da saúde militar, promovendo melhora na aptidão física para desenvolver as atividades que são exigidas ao longo da carreira militar, além de promover uma autoconfiança e motivação para o combate(8).

As cinco sessões do TFM semanais, tem duração de aproximadamente 90 minutos e são compostas por atividades diversificadas como: corrida, natação, ginástica básica (exercícios calistênicos), pista de treinamento em circuito e atividades desportivas voltadas para a aquisição de competências físicas, estas que serão de fundamental importância ao longo da sua carreira militar. Essas atividades são realizadas de forma gradual e sistematizadas, com o objetivo de ambientar os alunos às especificidades e exigências da carreira militar, além de proporcionar o hábito das atividades físicas

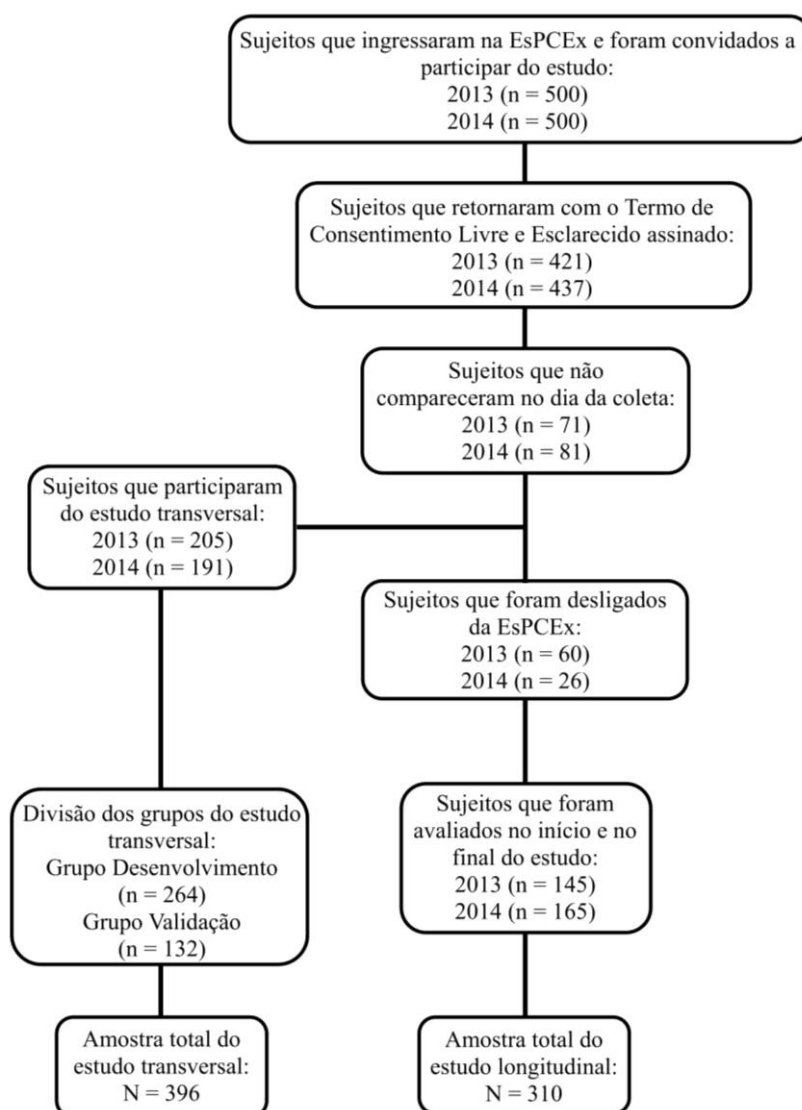
visando a sua saúde(48). Essas melhoras que ocorrem na aptidão física do aluno durante esse período de regime militar, são avaliadas ao longo do ano quando são aplicados os Testes de Aptidão Física (TAF).

Como consequência desse incremento de atividades físicas na rotina dos alunos, ocorrem alterações na composição corporal e uma melhora no desempenho físico(9). Entretanto, algumas lesões musculoesqueléticas podem ocorrer, gerando o afastamento nos treinamentos (sendo necessário um período de reabilitação) e em alguns casos ocasionando o desligamento dos alunos da escola.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Sujeitos do estudo

Anualmente ingressam por concurso público na Escola Preparatória de Cadetes do Exército (EsPCEEx) de Campinas-SP cerca de 500 alunos, oriundos de todas as regiões do Brasil (norte, nordeste, sul, sudeste e centro-oeste). Os dados foram coletados em dois momentos: no início (março/abril) e no final (outubro/novembro) do ano de rotina militar, e em dois anos: 2013 e 2014. A amostra foi composta por voluntários do sexo masculino e com idade entre 17 e 24 anos. Os critérios de inclusão dos sujeitos do estudo estão descritos na Figura 6.



**Figura 6.** Fluxograma da seleção da amostra do estudo; EsPCEEx: Escola Preparatória de Cadetes do Exército.

## **4.2. Delineamento do estudo**

Trata-se de um estudo longitudinal, no qual todas as avaliações foram realizadas no Centro de Investigação em Pediatria (CIPED) da FCM-UNICAMP. Os sujeitos realizaram as avaliações individuais (antropometria, BIA e DXA) em um mesmo dia, tanto na linha de base quanto no momento pós intervenção. Além disso, todos responderam a um questionário com perguntas relacionadas ao histórico de saúde, nível de atividade física e aspectos nutricionais (Apêndice 1).

## **4.3. Aspectos Éticos da Pesquisa**

Todos os sujeitos, foram convenientemente esclarecidos sobre a proposta da pesquisa, dos procedimentos aos quais seriam submetidos, e foram informados de que a participação era voluntária, ou seja, que a qualquer momento poderiam desistir da pesquisa, sendo preservado o anonimato. Todos os sujeitos que concordaram em participar da pesquisa receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice 2) e assinaram para participarem do estudo. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências Médicas (FCM) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e cadastrado na Plataforma Brasil do Ministério da Saúde (nº 17103313.8.0000.5404). Todos os procedimentos seguiram as “Diretrizes de Normas Regulamentadoras de Pesquisa Envolvendo Seres Humanos” (196/96).

## **4.4. Medidas antropométricas**

Para as medidas antropométricas de peso corporal em quilogramas (kg) utilizou-se uma balança digital da marca Filizola<sup>®</sup>, com precisão de 0,1 kg (Figura 7a), e a estatura em centímetros (cm) por meio do estadiômetro da marca Harpende<sup>®</sup>, com precisão de 0,1 cm (Figura 7b), seguindo os protocolos recomendados(49). Utilizando as medidas de peso corporal e estatura (m) foi calculado o índice de massa corporal (IMC kg/m<sup>2</sup>).



**Figura 7.** Avaliação antropométrica de (a) peso e (b) estatura dos sujeitos do estudo.

#### **4.5. Absorciometria por dupla emissão de raio X (DXA)**

Para a determinação da composição corporal pela DXA, foi utilizado um equipamento modelo iDXA (GE Healthcare Lunar, Madison, WI, EUA) com detectores do tipo *fan beam* (feixe em leque), software enCore<sup>tm</sup> 2011, versão 13.6. Realizou-se a medida do corpo total, com o sujeito deitado em decúbito dorsal (Figura 8), com o tempo de escaneamento para o corpo inteiro de aproximadamente sete minutos. O equipamento faz a avaliação da composição corporal de forma total e segmentada por membros (cabeça, tronco, braços e pernas) e dividida pelos lados do corpo (direito e esquerdo), no qual foram determinados a MG, o conteúdo mineral ósseo (CMO) e o tecido mole magro (TMM). Para a determinação da MIG, foi considerada o somatório dos valores de CMO e do TMM ( $MIG = CMO + TMM$ ). Todas as medidas e a calibração do aparelho foram realizadas de acordo com os procedimentos recomendados pelo fabricante. Para determinar a reprodutibilidade das variáveis estimadas pelo equipamento, foram determinados o coeficiente de variação (CV%) e o erro técnico de medida (ETM), com



base no teste e reteste realizado com 23 indivíduos. Os valores encontrados de CV% foram 0,74%, 0,28% e 0,26% para a MG, CMO e TMM, respectivamente e do ETM foram: 0,25 kg (MG), 0,02 kg (CMO) e 0,25 kg (TMM).



**Figura 8.** Avaliação de corpo inteiro dos sujeitos do estudo utilizando DXA.

#### **4.6. Análise da Impedância Bioelétrica (BIA)**

As medidas de BIA foram realizadas utilizando o aparelho *Bioelectrical Body Composition Analyzer*, modelo *Quantum II* (RJL Systems – Detroit, EUA), tetrapolar, de unifrequência de 50 kHz. A avaliação da composição corporal utilizando a BIA foi realizada de acordo com o protocolo recomendado por Kyle et al(7). Todos os sujeitos foram submetidos a avaliação e orientados a seguir o seguinte protocolo: estar em jejum de pelo menos 4 horas, não ingerir alimentos cafeinados ou bebidas alcoólicas 24 horas antes, não realizar atividade física extenuante menos de 12 horas do teste, não fazer uso de nenhum diurético pelo menos 7 dias antes do teste, urinar cerca de 30 minutos antes do teste e retirar todos os metais (pulseiras, relógio, correntes, etc.). Durante a coleta, os voluntários permaneceram deitados em decúbito dorsal, em uma maca isolada de condutores elétricos, na posição supinada, com as pernas abduzidas num ângulo de aproximadamente 45° (Figura 9). Após a limpeza da pele com álcool foram fixados os eletrodos emissores distalmente na superfície dorsal da mão e do pé direito, de acordo com os procedimentos recomendados pelo fabricante. Este equipamento de BIA fornece

os valores de Resistência (R) e Reactância ( $X_c$ ) em Ohm ( $\Omega$ ). A reprodutibilidade foi calculada a partir de um subgrupo da amostra do presente estudo (23 indivíduos), sendo o CV% de 0,35% e 0,33%, para a R e  $X_c$ , respectivamente, e o ETM foi de 3,54 $\Omega$  e 0,49 $\Omega$  para R e  $X_c$ , respectivamente.



**Figura 9.** Avaliação dos sujeitos do estudo utilizando a BIA.

#### **4.7. Seleção das equações preditivas de BIA**

Para a escolha das equações preditivas de BIA que foram testadas neste estudo, adotou-se os seguintes critérios: a) indivíduos com a faixa etária compatível com o da amostra do presente estudo, b) amostra envolvendo sujeitos do sexo masculino, c) aparelho de BIA do mesmo fabricante e de mesma frequência (50 kHz), d) Erro Padrão de Estimativa (EPE) inferior ou igual a 5,0 kg, e e) coeficiente de correlação de *Pearson* ( $r$ ) ou poder de explicação ( $R^2$ ) maior ou igual a 0,90 e 0,80, respectivamente. A partir destes critérios, foram selecionadas oito equações de BIA já publicadas na literatura (Tabela 2).

**Tabela 2.** Características das equações preditivas de BIA selecionadas para estimar a massa isenta de gordura.

Sigla	Referência	Sexo (n) M / F	Idade (anos)	Critério	Equação preditiva de massa isenta de gordura	R <sup>2</sup>	EPE
Eq. 1	Lukaski et al(31)	321 <sup>b</sup>	18 – 73	PH	$0,734*(E^2/R) + 0,116*PC + 0,096*Xc + 0,878*Sexo^c - 4,03$	0,99	2,2
Eq. 2	Chumlea et al(32)	77 / 96	18 – 62	PH	$0,87*(E^2/Z) + 3,50$	0,81	3,0
Eq. 3	Segal et al(33)	1069 / 498	17 – 62	PH	$0,00132*E^2 - 0,04394*R + 0,3052*PC - 0,1676*Idade + 22,66827$	0,9 <sup>d</sup>	3,6
Eq. 4 <sup>a</sup>	Deurenberg et al(9)	130 / 116	7 – 25	PH	$0,438*(E^2/Z) + 0,308*PC + 1,6*Sexo + 7,04*E) - 8,50$	0,99	2,4
Eq. 5 <sup>a</sup>	Deurenberg et al(8)	361 / 466	16 – 83	PH	$0,34*(E^2/Z) - 0,127*Idade + 0,273*PC + 4,56*Sexo^c + 15,34*E - 12,44$	0,93	2,6
Eq. 6	Lohman(35)	153 / 153	18 – 30	PH	$0,485*(E^2/R) + 0,338*PC + 5,32$	NR	2,9
Eq. 7	Kotler et al(10)	206 / 126	18 – 40	DXA	$0,50*(E^{1,48}/Z^{0,55})*(1,0/1,21) + 0,42*PC + 0,49$	0,9 <sup>d</sup>	5,0 <sup>e</sup>
Eq. 8	Sun et al(36)	734 / 1095	12 – 94	4C	$0,65*(E^2/R) + 0,26*PC + 0,02*R - 10,68$	0,90	3,9

**Abreviaturas:** n: número de sujeitos; M: masculino; F: feminino; PH: pesagem hidrostática; DXA: absorciometria por dupla emissão de raio x; 4C: modelo de quarto compartimentos; E: estatura (cm); R: resistência ( $\Omega$ ); Xc: reactância ( $\Omega$ ); Z: impedancia ( $\Omega$ ); PC: peso corporal (kg); R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; NR: não relatado; EPE: erro padrão de estimativa em quilogramas (kg).

<sup>a</sup> equações que utilizaram a estatura em metros (m).

<sup>b</sup> masculino e feminino.

<sup>c</sup> 0 se feminino e 1 se masculino.

<sup>d</sup> valor de coeficiente de correlação (*r*).

<sup>e</sup> valor em percentual (%).

#### 4.8. Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando o software IBM SPSS versão 16.0 (IBM, Chicago, IL, USA). O teste de *Shapiro-Wilk* foi utilizado para verificar a normalidade das variáveis. No estudo transversal, as equações preditivas de Lukaski et al(31), Chumlea et al(32), Deurenberg et al(8), Lohman(35) e Sun et al(36) não apresentaram distribuição normal da MIG, por isso, optou-se pela transformação logarítmica na base 10 ( $\text{Log}^{10}$ ). Quando não foi possível o ajuste, utilizou-se o teste não-paramétrico de *Wilcoxon*. Para a comparação entre os resultados estimados pelas equações preditivas de BIA e determinadas pela DXA foi utilizado o teste *t-Student* para amostras pareadas. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão de estimativa (EPE) foram obtidos por meio da regressão linear simples. O erro puro (EP) em quilogramas (kg), foi utilizado por meio da seguinte equação(37):

$$EP = \sqrt{\frac{\sum(\ddot{Y} - Y)^2}{n}}$$

Onde, a variável  $\ddot{Y}$  representa a estimativa da MIG das equações preditivas de BIA, a variável  $Y$  a MIG do método de referência e a variável  $n$  o número total de sujeitos da amostra. O coeficiente de correlação de concordância de Lin(50) foi calculado utilizando o software MedCalc, versão 11.1.1.0, 2009 (Mariakerke, Bélgica) para analisar a acurácia ( $C_b$ ) e a precisão ( $\rho$ ) entre os valores de MIG estimadas pelas equações preditivas de BIA e determinada pela DXA. O método de Bland-Altman(51) foi utilizado para analisar a concordância entre a MIG estimada pelas equações preditivas de BIA e determinada pela DXA.

Para o desenvolvimento e a validação cruzada da equação específica de BIA foi seguido as recomendações propostas por Sun e Chumlea(37), no qual a amostra total ( $n = 396$ ) foi distribuída aleatoriamente pelo programa estatístico, em dois grupos: grupo desenvolvimento (GD) (2/3 da amostra,  $n = 264$ ) e grupo validação (GV) (1/3 da amostra,  $n = 132$ ). Para avaliar a linearidade entre as variáveis (dependentes e independentes) e determinar as possíveis variáveis predictoras (independentes), foram utilizados os gráficos de dispersão e o valor do coeficiente de correlação de *Pearson* ( $r$ ), sendo selecionadas apenas as variáveis que apresentaram valor de  $r > 0,80$ . Posteriormente, a regressão linear múltipla (*stepwise*) foi utilizada para o desenvolvimento de novos modelos.

Todos estes parâmetros (Teste *t-Student*,  $R^2$ , EPE, EP, a concordância de Bland-Altman e de Lin) foram utilizados para avaliar a acurácia das equações preditivas e da equação específica desenvolvida neste estudo, em comparação ao método de referência. O nível de significância adotado para todos os testes estatísticos foi de  $p < 0,05$ .

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Análise da validade das equações preditivas de BIA já publicadas

A Tabela 3 apresenta as características gerais da amostra total de cadetes do exército Brasileiro e separados pelos anos de avaliação (2013 e 2014). O grupo de cadetes avaliados em 2013 eram significativamente mais velhos e mais pesados, e apresentaram valores superiores de IMC, TMM, R, Xc e Z, comparados com o grupo de cadetes avaliados em 2014.

**Tabela 3.** Características da amostra total e separadas pelos anos de avaliação (2013 e 2014).

	<b>TOTAL</b> (n = 396)	<b>2013</b> (n = 205)	<b>2014</b> (n = 191)	
	<i>Média ± DP</i>	<i>Média ± DP</i>	<i>Média ± DP</i>	<i>p</i>
<b>Idade (anos)</b>	19,2 ± 1,8	19,6 ± 1,4	18,8 ± 0,6	<0,001
<b>Peso (kg)</b>	70,0 ± 8,5	71,3 ± 8,1	68,7 ± 8,8	0,002
<b>Estatutura (cm)</b>	175,8 ± 6,4	176,2 ± 6,4	175,3 ± 6,5	0,179
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	22,6 ± 2,3	22,9 ± 2,1	22,3 ± 2,4	0,006
<b>MG (%)</b>	17,2 ± 3,9	17,2 ± 3,7	17,1 ± 4,1	0,742
<b>CMO (kg)</b>	3,0 ± 0,4	3,0 ± 0,4	3,0 ± 0,4	0,057
<b>TMM (kg)</b>	55,2 ± 6,2	56,3 ± 5,9	54,1 ± 6,2	<0,001
<b>R (Ω)</b>	479,5 ± 48,8	490,9 ± 49,5	467,2 ± 45,0	<0,001
<b>Xc (Ω)</b>	62,4 ± 7,0	64,1 ± 6,5	60,6 ± 7,1	<0,001
<b>Z (Ω)</b>	483,6 ± 48,9	495,1 ± 49,6	471,2 ± 45,0	<0,001

**Abreviaturas:** IMC: índice de massa corporal; MG: massa gorda; CMO: conteúdo mineral ósseo; TMM: tecido mole magro; %MG: percentual de massa gorda; R: resistencia; Xc: reactância; Z: impedância.

Quando comparados com os valores determinados pela DXA, todas as oito equações preditivas de BIA apresentaram valores de MIG significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ), sendo que duas equações (Eq. 4 e Eq. 5) subestimaram e seis equações (Eq. 1, Eq. 2, Eq. 3, Eq. 6, Eq. 7 e Eq. 8) superestimaram os valores de MIG. Percentualmente

essas diferenças variaram entre 1 e 5%, na análise dos parâmetros do coeficiente de correlação de concordância (CCC), precisão ( $\rho$ ) e acurácia ( $C_b$ ) os coeficientes observados foram  $\geq 0,80$ . A Eq. 2 e Eq. 7 foram as que demonstraram os maiores e menores valores de erro puro (EP) 4,3 e 2,5 kg, respectivamente, nas demais equações preditivas de BIA os valores de EP variaram entre 2,6 a 3,9 kg (Tabela 4).

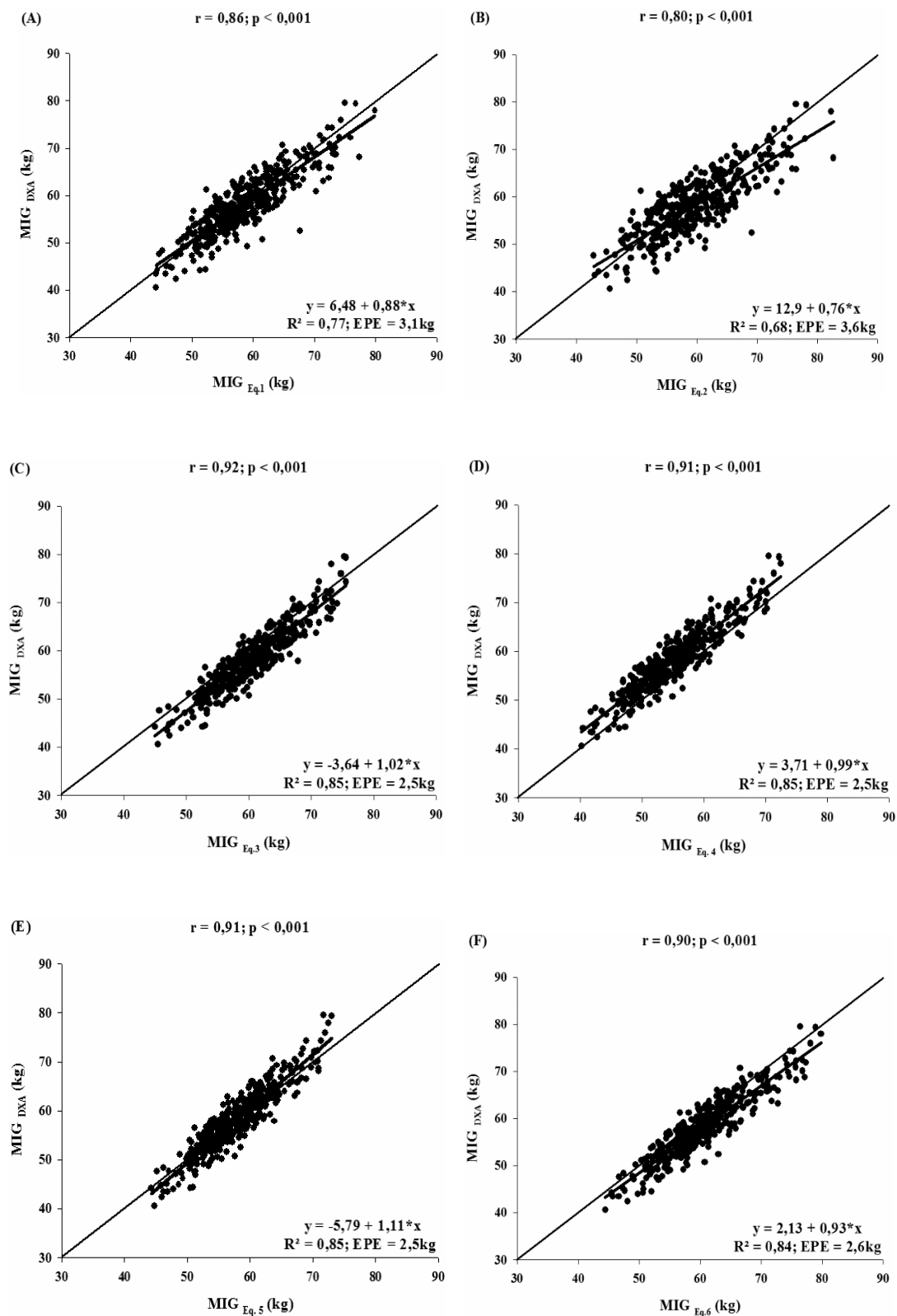
**Tabela 4.** Valores da massa isenta de gordura (MIG) determinadas pelo método de referência (DXA) e estimadas pelas oito equações preditivas de BIA, média das diferenças (kg e %), coeficiente de correlação de concordância (CCC), precisão ( $\rho$ ) acurácia ( $C_b$ ) e erro puro (EP).

	MIG (kg)		Diferenças		CCC	$\rho$	$C_b$	EP (kg)
	Média $\pm$ DP	Min – Máx	Média $\pm$ DP	%				
<b>DXA</b>	58,2 $\pm$ 6,5	40,6 – 79,5	–	–	–	–	–	–
<b>Eq. 1</b>	58,8 $\pm$ 6,5 <sup>a</sup>	44,1 – 79,9	0,6 $\pm$ 3,2	1,0	0,87	0,88	1,00	3,3
<b>Eq. 2</b>	59,7 $\pm$ 7,0 <sup>a</sup>	42,9 – 82,7	1,5 $\pm$ 4,0	2,6	0,80	0,83	0,97	4,3
<b>Eq. 3</b>	60,6 $\pm$ 5,8 <sup>a</sup>	45,0 – 75,6	2,4 $\pm$ 2,5	4,1	0,85	0,92	0,93	3,5
<b>Eq. 4</b>	55,2 $\pm$ 6,1 <sup>a</sup>	40,3 – 72,5	-3,0 $\pm$ 2,5	5,2	0,83	0,92	0,90	3,9
<b>Eq. 5</b>	57,7 $\pm$ 5,4 <sup>a</sup>	44,1 – 72,7	-0,5 $\pm$ 2,5	0,8	0,91	0,92	0,98	2,6
<b>Eq. 6</b>	60,6 $\pm$ 6,4 <sup>a</sup>	44,5 – 79,8	2,4 $\pm$ 2,6	4,1	0,86	0,92	0,94	3,6
<b>Eq. 7</b>	59,0 $\pm$ 5,5 <sup>a</sup>	44,3 – 74,7	0,8 $\pm$ 2,3	1,4	0,92	0,94	0,98	2,5
<b>Eq. 8</b>	59,5 $\pm$ 6,4 <sup>a</sup>	44,1 – 78,9	1,3 $\pm$ 2,7	2,2	0,90	0,91	0,98	3,0

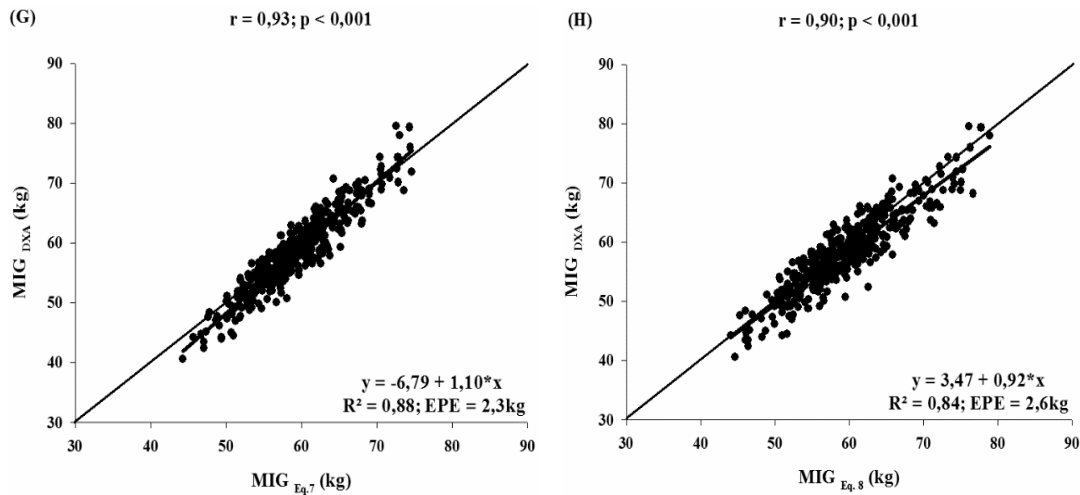
**Abreviaturas:** Diferenças: MIG determinada pela DXA menos MIG estimada pelas equações preditivas de BIA GD: grupo desenvolvimento; GV: grupo validação.

<sup>a</sup>Diferente significativamente da DXA, teste *t-Student* ( $p < 0,05$ ).

Quando foram verificadas as correlações entre a MIG estimada pelas oito equações preditivas de BIA e determinada pelo método de referência (DXA), observou-se correlações significativas ( $p < 0,001$ ) com o valor de  $r$  variando entre 0,80 a 0,93. Entretanto, observou-se que duas equações preditivas (Eq. 1 e Eq. 2) demonstraram baixo poder de explicação ( $R^2 < 0,80$ ), além disso, estas duas equações foram as únicas que apresentaram valores de EPE superiores a 3,0 kg (3,1 e 3,6 kg, respectivamente). Adicionalmente, nas oito equações preditivas de BIA, verificou-se que a linha de regressão diferiu da linha de identidade; o intercepto foi diferente de 0 (constante) e a inclinação (*slope*) foi diferente de 1 ( $p < 0,05$ ) (Figura 10).

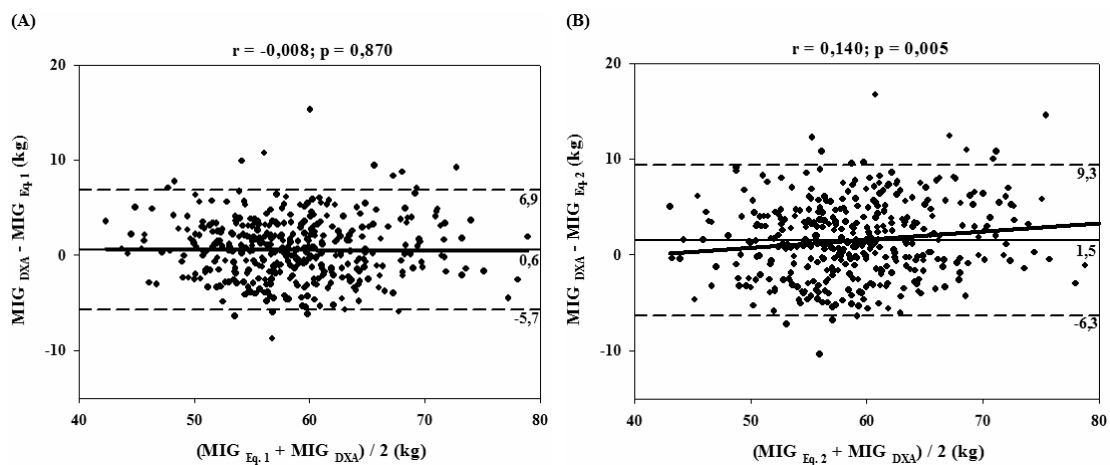


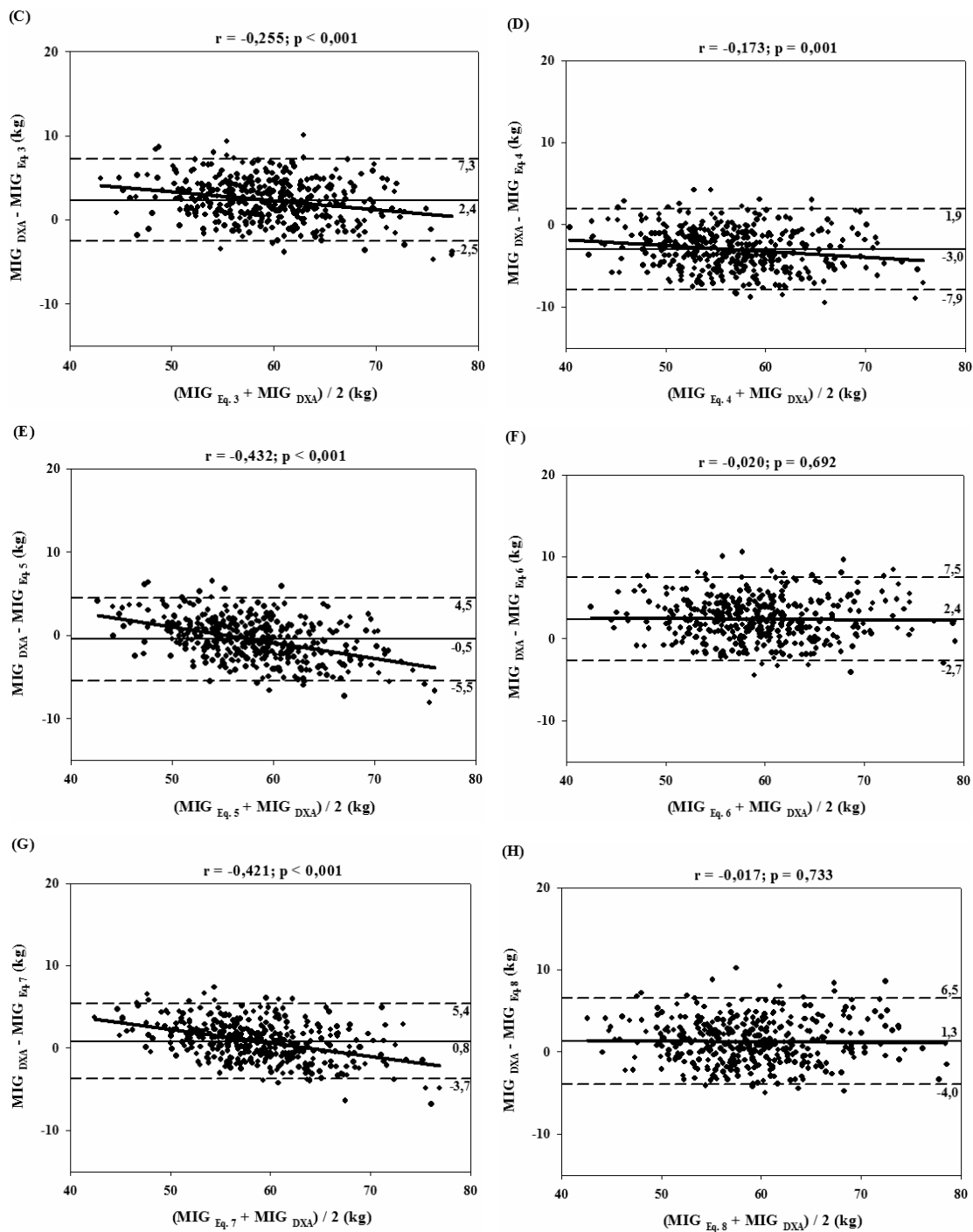




**Figura 10.** Correlações entre a MIG determinada pela DXA e estimada pelas equações preditivas de BIA na amostra de cadetes ( $n = 396$ ): (A) Equação 1; (B) Equação 2; (C) Equação 3; (D) Equação 4; (E) Equação 5; (F) Equação 6; (G) Equação 7 e (H) Equação 8;  $r$ : coeficiente de correlação;  $R^2$ : coeficiente de determinação; EPE: erro padrão de estimativa.

A Figura 11 ilustra a baixa concordância entre os métodos (DXA e BIA) na determinação da MIG. As Eq. 3, Eq. 4 e Eq. 6 apresentaram valores médios de viés de MIG superior a dois quilos. As Eq. 1, Eq. 2, Eq. 6 e Eq. 8 demonstraram amplos limites de concordância, com uma amplitude entre limite de concordância inferior e superior, maior que 10 kg. Adicionalmente, quando analisamos a linha de tendência das diferenças das equações de BIA com o método de referência (DXA), as Eq. 2, Eq. 3 e Eq. 4, demonstraram ser ligeiramente ( $r = 0,14$ ;  $r = -0,26$  e  $r = -0,17$ , respectivamente) influenciadas pela quantidade de MIG ( $p < 0,01$ ), enquanto na Eq. 5 e Eq. 7 essa influência demonstrou ser moderada, verificado pelo valor de  $r > 0,40$  ( $p < 0,001$ ).





**Figura 11.** Plotagem do teste de concordância entre os valores de MIG determinada pela DXA e estimada pelas equações preditivas de BIA: (A) Equação 1; (B) Equação 2; (C) Equação 3; (D) Equação 4; (E) Equação 5; (F) Equação 6; (G) Equação 7 e (H) Equação 8. Linha contínua: média das diferenças; linha tracejada: limites de concordância de 95%; linha contínua mais espessa: correlação ( $r$ ) entre a média e as diferenças dos métodos (DXA e BIA).

## 5.2. Desenvolvimento e validação da equação específica de BIA

A Tabela 5 apresenta as características gerais da amostra total de cadetes e separadas nos grupos desenvolvimento (GD) e validação (GV) para a equação preditiva específica de BIA. Não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos desenvolvimento e validação.

**Tabela 5.** Características dos grupos desenvolvimento (GD) e validação (GV) da equação específica de BIA desenvolvida neste estudo.

Variáveis	GD (n = 264)		GV (n = 132)	
	Média ± DP	Min – Máx	Média ± DP	Min – Máx
<b>Idade (anos)</b>	19,3 ± 1,2	17,0 – 24,0	19,1 ± 1,1	17,0 – 24,0
<b>Peso (kg)</b>	69,9 ± 8,5	45,9 – 94,8	70,3 ± 8,7	50,9 – 99,4
<b>Estatura (cm)</b>	176,0 ± 6,7	159,6 – 192,7	175,3 ± 5,9	160,2 – 190,8
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	22,5 ± 2,2	16,0 – 29,7	22,8 ± 2,4	17,1 – 32,3
<b>MG (%)</b>	17,1 ± 3,7	9,0 – 27,6	17,3 ± 4,2	10,2 – 27,8
<b>CMO (kg)</b>	3,0 ± 0,4	2,0 – 4,2	3,0 ± 0,4	2,2 – 4,2
<b>TMM (kg)</b>	55,2 ± 6,2	38,5 – 75,4	55,2 ± 6,0	41,6 – 75,5
<b>R (Ω)</b>	483,8 ± 48,4	345,0 – 669,0	470,8 ± 48,7	349,0 – 665,0
<b>Xc (Ω)</b>	63,0 ± 6,7	40,0 – 86,0	61,3 ± 7,7	27,0 – 80,0
<b>Z (Ω)</b>	487,9 ± 48,5	349,5 – 673,4	474,9 ± 48,8	353,8 – 668,9

**Abreviaturas:** IMC: índice de massa corporal; MG: massa gorda; CMO: conteúdo mineral ósseo; TMM: tecido mole magro; %MG: percentual de massa gorda; R: resistência; Xc: reactância; Z: impedância.

Quando analisamos a correlação entre as possíveis variáveis preditoras e a MIG determinada pela DXA no grupo desenvolvimento (n = 264) as variáveis: idade, estatura, IMC, R, Xc e Z apresentaram correlações significativas ( $p < 0,01$ ), porém, eram de intensidade fraca ou moderada, com os valores de  $r$  variando entre 0,16 a 0,66. As variáveis que apresentaram maior correlação significativa e foram selecionadas pelo método *stepwise* da análise de regressão multivariada, foram: o peso corporal ( $r = 0,92$ ;  $p < 0,001$ ) e a transformação do índice de estatura<sup>2</sup>/R em logaritmo na base 10 ( $\log^{10}$ ), ( $r$

= 0,84;  $p < 0,001$ ). Com isso, a equação específica de BIA desenvolvida neste estudo é apresentada a seguir:

$$\text{MIG} = 0,508 \times \text{Peso} + 39,234 \times (\text{estatura}^2/\text{R})^{\log_{10}} - 48,263$$

Sendo o peso corporal em quilograma (kg) e a razão entre a estatura<sup>2</sup> em centímetros (cm) pela R (resistência em ohms), transformado em logaritmo na base 10 ( $\log^{10}$ ).

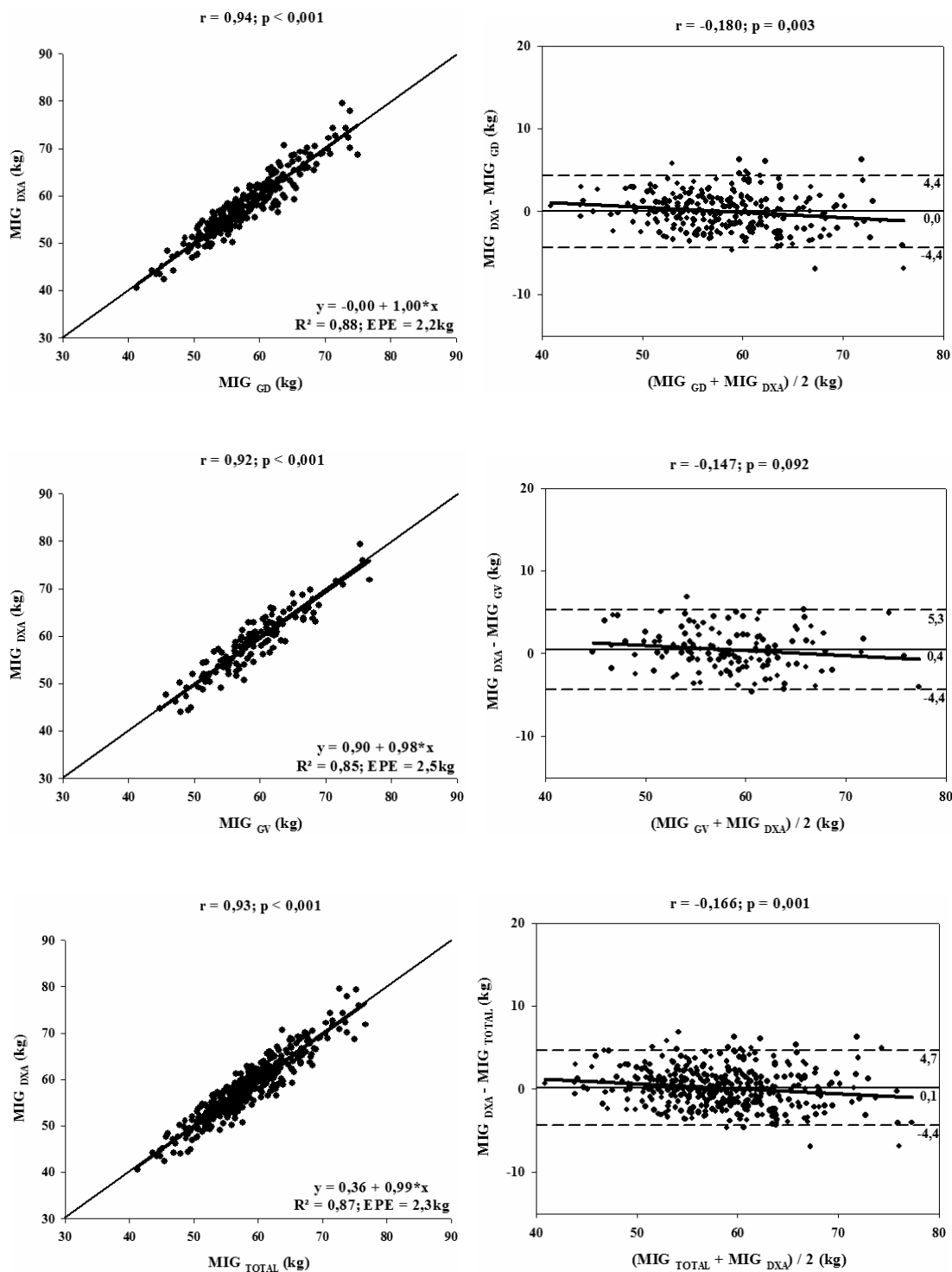
Não foram observadas diferenças significativas na comparação entre a média da MIG estimada pela equação específica de BIA desenvolvida neste estudo e o valor determinado pela DXA ( $58,2 \pm 6,5$  kg) no grupo desenvolvimento (GD), validação (GV) e na amostra total (Total), sendo as diferenças percentuais menores de 1% e com os valores de erro considerados dentro do ideal ( $EP \leq 2,5$  kg). Observou-se que o valor de CCC,  $\rho$  e  $C_b$  foram superiores a 0,90 (Tabela 6).

**Tabela 6.** Valores da massa isenta de gordura (MIG) estimada pela equação específica de BIA desenvolvida neste estudo, média das diferenças (kg e %), coeficiente de correlação de concordância (CCC), precisão ( $\rho$ ), acurácia ( $C_b$ ) e erro puro (EP).

	MIG (kg)		Diferenças		CCC	$\rho$	$C_b$	EP (kg)
	Média $\pm$ DP	Min – Máx	Média $\pm$ DP	%				
<b>GD</b>	58,2 $\pm$ 6,1	41,3 – 75,0	0,0 $\pm$ 2,2	0,0	0,94	0,94	1,00	2,2
<b>GV</b>	58,7 $\pm$ 6,0	44,8 – 76,7	0,4 $\pm$ 2,5	0,7	0,92	0,92	1,00	2,5
<b>Total</b>	58,4 $\pm$ 6,1	41,3 – 76,7	0,1 $\pm$ 2,3	0,2	0,93	0,93	1,00	2,3

**Abreviaturas:** Diferenças: MIG determinada pela DXA menos MIG estimada pela equação específica de BIA; GD: grupo desenvolvimento; GV: grupo validação.

A MIG estimada pela equação específica de BIA desenvolvida neste estudo, também apresentou forte correlação significativa ( $r > 0,90$ ;  $p < 0,001$ ) com a DXA, no GD, GV e na amostra TOTAL, o EPE foi  $\leq 2,5$  kg e o poder de explicação foi  $\geq 85\%$ . Foram observados valores médios de viés entre as diferenças ( $< 0,5$  kg). Os limites de concordância nos três grupos variaram entre -4,4 e 5,3 kg, entretanto, assim como observado na maioria das equações preditivas testadas, a linha de tendência foi significativa no GD e na amostra TOTAL, e o mesmo não foi observado no GV (Figura 12).



**Figura 12.** Correlação (esquerda) e plotagem do teste de concordância (direita) entre a MIG determinada pela DXA e estimada pela equação específica de BIA desenvolvida neste estudo: GD: Grupo desenvolvimento (superior); GV: Grupo validação (centro) e TOTAL: amostra total (inferior);  $r$ : coeficiente de correlação;  $R^2$ : coeficiente de determinação; EPE: erro padrão de estimativa; Direita: linha contínua: média das diferenças; linha tracejada: limites de concordância de 95%; linha contínua mais espessa: correlação ( $r$ ) entre a média e as diferenças dos métodos (DXA e BIA).

### 5.3. Validação longitudinal da equação específica de BIA desenvolvida no estudo

O tempo médio de treinamento militar nos dois anos foi de  $6,8 \pm 0,9$  meses (2013 =  $7,6 \pm 0,2$  meses e 2014 =  $5,9 \pm 0,2$  meses;  $t = 64,8$ ;  $p > 0,001$ ), com o tempo mínimo e máximo de treinamento de 5,3 a 8,3 meses, respectivamente.

A Tabela 7 apresenta as características gerais da amostra dos cadetes no momento inicial (pré) e final (pós), e as alterações ( $\Delta = \text{pós} - \text{pré}$ ) absolutas e em percentuais, das variáveis entre os dois momentos. Com exceção da variável de %MG, todas as outras variáveis apresentaram valores significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) comparados no momento inicial e final.

**Tabela 7.** Características gerais da amostra de cadetes ( $n = 310$ ) nos dois momentos (pré e pós) e as alterações ( $\Delta = \text{pós} - \text{pré}$ ) absolutas e em percentuais (%).

<i>Variáveis</i>	<b>Pré</b>	<b>Pós</b>	<b><math>\Delta</math></b>	
	<i>Média <math>\pm</math> DP</i>	<i>Média <math>\pm</math> DP</i>	<i>Média <math>\pm</math> DP</i>	<b>%</b>
<b>Idade (anos)</b>	19,1 $\pm$ 1,1	19,7 $\pm$ 1,1	0,6 $\pm$ 0,1 <sup>a</sup>	3,1
<b>Peso (kg)</b>	69,8 $\pm$ 8,6	71,6 $\pm$ 8,2	1,8 $\pm$ 2,1 <sup>b</sup>	2,6
<b>Estatura (cm)</b>	175,7 $\pm$ 6,3	176,1 $\pm$ 6,3	0,4 $\pm$ 0,8 <sup>b</sup>	0,2
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	22,6 $\pm$ 2,2	23,1 $\pm$ 2,1	0,5 $\pm$ 0,7 <sup>b</sup>	2,2
<b>MG (kg)</b>	12,0 $\pm$ 3,5	12,4 $\pm$ 3,2	0,4 $\pm$ 1,8 <sup>a</sup>	3,3
<b>CMO (kg)</b>	3,0 $\pm$ 0,4	3,0 $\pm$ 0,4	0,1 $\pm$ 0,0 <sup>b</sup>	0,3
<b>TMM (kg)</b>	55,2 $\pm$ 6,3	56,6 $\pm$ 6,1	1,4 $\pm$ 1,5 <sup>b</sup>	2,5
<b>%MG</b>	17,0 $\pm$ 3,6	17,1 $\pm$ 3,2	0,1 $\pm$ 2,1	0,6

**Abreviaturas:** IMC: índice de massa corporal; MG: massa gorda; CMO: conteúdo mineral ósseo; TMM: tecido mole magro; %MG: percentual de massa gorda.

<sup>a</sup> Diferença significativa das variáveis entre o momento pré e pós, teste de *Wilcoxon* ( $p < 0,05$ ).

<sup>b</sup> Diferença significativa das variáveis entre o momento pré e pós, teste *t-Student* ( $p < 0,001$ ).

Na comparação dos valores de MIG pós treinamento militar determinada pela DXA, apesar dos valores médios serem muito similares (diferença média  $\pm$  desvio padrão =  $0,24 \pm 1,98$  kg) foram estatisticamente diferentes em relação ao momento pré ( $t = 2,17$ ;  $p = 0,031$ ). Entretanto, a equação específica de BIA desenvolvida neste estudo conseguiu

verificar de forma similar as alterações na MIG dos cadetes com as alterações detectadas pela DXA (diferença média das alterações  $\pm$  desvio padrão =  $0,15 \pm 1,65$  kg;  $t = 1,60$ ;  $p=0,110$ ), não sendo observadas diferenças significativas. Os valores dos coeficientes de correlação de concordância, precisão e acurácia se mantiveram elevados (Tabela 8).

**Tabela 8.** Valores da massa isenta de gordura (MIG) no momento pós treinamento militar ( $n = 310$ ) determinada pela DXA e estimada pela equação específica de BIA desenvolvida neste estudo, média das diferenças entre os dois momentos ( $\Delta$ ) e entre os métodos (kg e %) e coeficiente de correlação de concordância (CCC), precisão ( $\rho$ ), acurácia ( $C_b$ ).

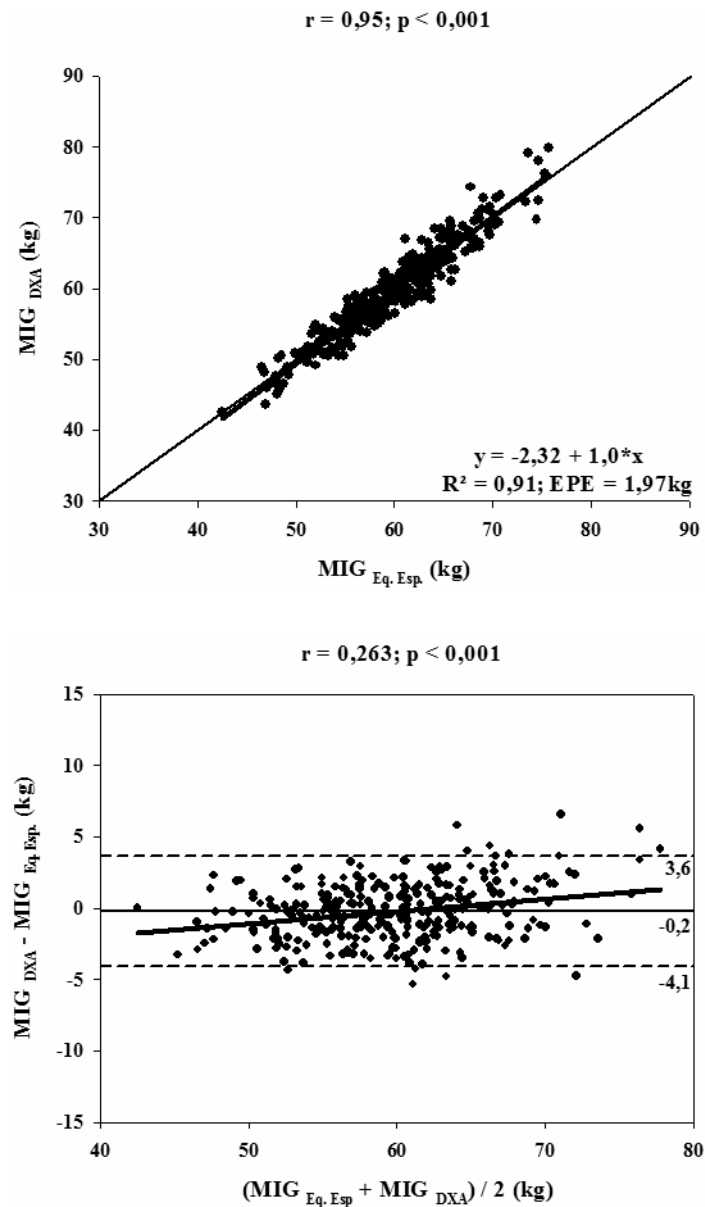
	MIG Pós	$\Delta$ (Pós-Pré)		Diferença		CCC	$\rho$	$C_b$
	Média $\pm$ DP	Média $\pm$ DP	%	Média $\pm$ DP	%			
<b>DXA</b>	59,6 $\pm$ 6,4	1,5 $\pm$ 1,5 <sup>b</sup>	2,6	—	—	—	—	—
<b>Eq. Específica</b>	59,9 $\pm$ 5,9 <sup>a</sup>	1,6 $\pm$ 1,8 <sup>b</sup>	2,7	-0,2 $\pm$ 2,0	0,3	0,95	0,95	1,00

**Abreviaturas:** DXA: absorciometria por dupla emissão de raio x; Diferenças MIG determinada pela DXA menos MIG estimada pela equação específica de BIA desenvolvida neste estudo no momento pós.

<sup>a</sup> Diferença significativa na comparação com a MIG determinada pela DXA, teste *t-Student* ( $p < 0,05$ ).

<sup>b</sup> Diferença significativa na MIG entre os momentos pré e pós treinamento militar, teste *t-Student* ( $p < 0,001$ ).

A Figura 13 ilustra a correlação (superior) e a concordância (inferior) entre a MIG determinada pela DXA e estimada pela equação específica de BIA desenvolvida neste estudo, no momento pós treinamento militar. Observou-se uma forte correlação entre a DXA e a Eq. Específica de BIA ( $r = 0,95$ ;  $p < 0,001$ ), um incremento do poder de explicação ( $R^2 = 0,91$ ) da variância em cerca de 4% e diminuição no EPE (2,0 kg) em cerca de 13%, na comparação com o momento inicial, quando consideramos a amostra total ( $R^2 = 0,87$  e EPE = 2,3 kg). Adicionalmente a linha de regressão não diferiu da linha de identidade; o intercepto foi igual a 0 (constante) e a inclinação (*slope*) foi igual a 1 ( $p < 0,05$ ). A amplitude dos limites de concordância também diminuiu de 9,1 kg no momento pré para 7,7 kg no momento pós treinamento militar (-15%). Entretanto, a relação das diferenças entre os métodos (DXA e BIA) e a média da MIG se manteve significativa ( $r = 0,26$ ;  $p < 0,001$ ).



**Figura 13.** Correlação (superior) e plotagem do teste de concordância (inferior) entre a MIG determinada pela DXA e estimada pela equação específica de BIA desenvolvida neste estudo no momento pós treinamento militar.  $r$ : coeficiente de correlação;  $R^2$ : coeficiente de determinação; EPE: erro padrão de estimativa; Inferior: Linha contínua: média das diferenças; linha tracejada: limites de concordância de 95%; linha contínua mais espessa: correlação ( $r$ ) entre a média e as diferenças dos métodos (DXA e BIA).



## 6. DISCUSSÃO

No primeiro momento, este estudo procurou analisar a validade de oito equações existentes na literatura utilizando a BIA na estimativa da MIG em jovens do sexo masculino, cadetes do exército Brasileiro, utilizando a DXA como o método de referência, além de desenvolver e validar uma equação específica para essa população.

A utilização da BIA na avaliação da composição corporal baseia-se na relativa estabilidade da hidratação da MIG, sendo este o condutor elétrico por meio dos eletrólitos presentes na água corporal(33,52). Em adultos saudáveis esta razão é considerada estável com um valor de 0,73, podendo variar entre 0,69 e 0,77(10). Esta variabilidade, apesar de pequena, pode aumentar o erro na predição da composição corporal, principalmente em crianças(8), idosos(35) e em sujeitos com doenças que alterem o seu estado de hidratação(32,53). Desta maneira, é muito importante que a seleção da equação a ser utilizada seja feita de forma criteriosa, observando se estas equações foram desenvolvidas a partir de amostras semelhantes em idade, sexo, etnia e estado de saúde(32,54,55). Entretanto, em nosso estudo, mesmo se tratando de uma amostra relativamente homogênea foi observado grande variação individual por meio dos amplos limites de concordância, além do viés significativo, no qual observamos, na maioria das equações (Eq. 1, Eq. 2, Eq. 3, Eq. 4, Eq. 6, e Eq. 8) uma variação nos limites de concordância de mais de 10%, para cima ou para baixo, o que representa cerca de seis quilos de diferença na determinação da MIG utilizando a DXA ( $58,2 \pm 6,5$  kg) como método de referência. Além disso, as Eq. 2, Eq. 3 e Eq. 4, e de maneira mais acentuada nas Eq. 5 e Eq. 7, demonstraram que as diferenças encontradas podem estar relacionadas com a quantidade de MIG destes indivíduos (Figura 11).

As oito equações preditivas de BIA apresentaram forte correlação com os valores de MIG determinadas pela DXA, entretanto foram observadas diferenças significativas entre os valores de MIG de todas as equações preditivas em comparação com o método de referência. Alguns autores relatam alta correlação entre a MIG estimada pela BIA e determinada pela DXA(10,56), e assim como observado neste estudo, uma grande variabilidade individual observado pelos amplos limites de concordância(57,58). Como citado anteriormente, um dos pressupostos da BIA é de que o corpo humano se assemelha a um condutor cilíndrico perfeito(25), entretanto, sabe-se que o formato do corpo humano assemelha-se mais com o de cinco cilindros conectados em série(25) (Figura 3). Contudo,

devido aos segmentos corporais não serem uniformes, a resistência ao fluxo de corrente, por meio desses segmentos corporais, acaba sendo diferenciada(7). Sendo assim, um dos fatores que acreditamos que possa ter influenciado na grande variação dos resultados estimados pelas equações preditivas é o fato de nossa amostra os indivíduos serem oriundos de diferentes regiões do país (norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul) e de diferentes características relativas aos segmentos corporais. Portanto, essa heterogeneidade parece contribuir com a falta de aplicabilidade das equações de BIA de uma população para outra(55,59,60).

A questão da miscigenação no Brasil, é um aspecto que deve ser sempre considerado em análises que possam sofrer influência da etnia, entretanto, é muito difícil de controlar, pois os Brasileiros formam uma das populações mais heterogêneas do mundo, como o resultado de mais de cinco séculos de miscigenação de grupos étnicos diferentes e provenientes de diversos continentes (Europa, África e Ásia), além dos cerca de 2,5 milhões de índios que já estavam no país(61). Com isso, desde o início da década de 90, o país adotou oficialmente a proposta de que estes dados devem ser coletados com base na auto declaração; ou seja, cada indivíduo escolhe entre cinco categorias a cor da pele: branca, preta, parda, amarela e indígena – de que ele ou ela se sente apropriado(62). Por ser esta classificação diferente das utilizadas em outros países, fica muito difícil estabelecermos comparações relativas a influência da etnia em nossos resultados.

O maior problema encontrado na predição da MIG pelas equações de BIA nesta amostra de homens jovens saudáveis, foi a grande variabilidade entre indivíduos observados pelos *plots* do Bland-Altman, com os limites de concordância de 95% variando a MIG em média  $\pm 5,8$  kg (cerca de 10% do total da MIG) e demonstrando que alguns indivíduos podem ter seus valores de MIG superestimados em mais de nove quilos (Eq. 2) ou subestimados em cerca de oito quilos (Eq. 4), o que representa um erro de 16% e 14% para mais e para menos, respectivamente, na comparação da média dos valores de MIG determinadas pela DXA. Essa grande variação entre os indivíduos também foi observada em outros estudos, que desenvolveram novas equações de BIA utilizando a DXA como referência, em crianças e adolescentes saudáveis e/ou HIV-infectados(56), crianças e adolescentes obesos(52) e meninos de 12 a 19 anos de diferentes etnias(63). Adicionalmente, uma preocupação que deve ser considerada quando utilizados estes modelos, foi que com exceção das equações de Lukaski et al(31), Lohman(35) e Sun et al(36), as diferenças observadas apresentaram correlação significativa com a média dos valores dos dois métodos, apesar destas correlações serem baixas (Eq. 2, Eq. 3, Eq. 4 e

Eq. Específica) ou moderadas (Eq. 5 e Eq. 7), indicam que o viés observado é dependente da quantidade de MIG e que estima de maneira diferente indivíduos com diferentes níveis de MIG, superestimando em indivíduos com maior quantidade de MIG (Eq. 2) e subestimando em outros estes mesmos indivíduos (Eq. 3, Eq. 4, Eq. 5, Eq. 7 e Eq. Específica), portanto devem ser utilizadas com cautela em grupos de indivíduos com grande variação de MIG. Nesse sentido, apesar dos resultados da equação específica desenvolvida neste estudo não demonstrar viés significativo com a DXA, apresentou uma tendência nas diferenças observadas, o que na prática quer dizer que as diferenças são dependentes da quantidade da MIG.

As variáveis de peso corporal e o índice de estatura<sup>2</sup>/R, são utilizadas em diversos estudos que desenvolveram modelos de predição da MIG utilizando a BIA(5,64–66), variáveis estas que em nosso estudo também apresentaram melhor capacidade de predição para o desenvolvimento da equação específica para esta amostra. É de se ressaltar que a realização de estudos como o presente, para a análise dos resultados longitudinais, com o objetivo de analisar a validade da equação específica de BIA desenvolvida neste estudo nas alterações na MIG destes cadetes do exército, após o período de cerca de sete meses de treinamento militar, é de extrema importância para o monitoramento de forma efetiva das alterações na composição corporal induzidas pela prática de exercícios físicos regular, a fim de verificar a diminuição e/ou o aumento dos componentes corporais(4,19,20).

Foi verificado no presente estudo que os valores de MIG dos cadetes aumentaram de forma significativa após os cerca de sete meses de treinamento militar. Para a segunda parte do estudo, optamos por utilizar apenas a equação específica de BIA desenvolvida neste estudo, pois foi a que apresentou maior validade nos dados transversais. A Eq. Específica de BIA desenvolvida neste estudo foi capaz de detectar de forma muito similar ao método de referência (DXA) as alterações na MIG dos cadetes entre os momentos pré e pós treinamento militar, apesar de mostrar uma diferença significativa com a DXA no momento pós, não foram observadas diferenças significativas entre a média das alterações da MIG ( $\Delta$ ) estimada pela equação específica de BIA e pela DXA. Adicionalmente, foi observado uma diminuição nos limites de concordância em cerca de um quilo para menos no momento pós ( $\pm 3,9$  kg) em comparação ao momento pré ( $\pm 4,9$  kg, grupo validação), o que percentualmente representa cerca de  $\pm 6,5\%$  de variação em comparação à média da MIG no momento pós (59,6 kg), sendo que no momento pré a variação observada foi de cerca de  $\pm 8,4\%$ .

Uma das hipóteses para justificar estes resultados é de que a BIA de unifrequência é um método utilizado para avaliar a quantidade de MIG e a água corporal total(23), sem fazer a distinção entre a quantidade de água intracelular e extracelular, o que pode ser um potencial para o erro de medida, já que o nível de hidratação do indivíduo influencia nas variáveis fornecidas pela BIA. Por outro lado, a DXA em suas avaliações dos componentes corporais, não leva em consideração o estado de hidratação do indivíduo, sendo assim não sofre influência em suas variáveis(67).

Vários fatores podem afetar os resultados que a BIA fornece, como a não padronização da posição do corpo, o exercício físico prévio e a ingestão alimentar(23,25,65,68,69). No presente estudo todos estes fatores foram controlados. Outra fonte de erro, pode ser o método de referência utilizado no desenvolvimento das equações(23). A recomendação é que a validação de equações de BIA seja realizada contra métodos de referência que incluem o modelo de 4C(60,70), pesagem hidrostática, DXA(60) e a diluição de isótopos corporais(60). Cada um destes métodos de referência não é isento de erro e apresenta limitações(70). No estudo transversal, a maioria das equações testadas utilizaram a densitometria por meio da pesagem hidrostática (Eq. 1 à Eq. 6), apenas a Eq. 7 utilizou a DXA e apenas uma utilizou o modelo de 4C (Eq. 8). Discrepâncias nos resultados podem estar relacionadas à maior ou menor validade dos métodos de referência nos quais as equações para uma população específica foram desenvolvidas e que podem ou não ser comparáveis a outros métodos de referência(23).

Diversos estudos têm apontado o potencial da DXA para a avaliação da composição corporal total e regional devido a sua relativa velocidade de escaneamento, baixa exposição à radiação e boa acurácia e reprodutibilidade das medidas(71–73). Entretanto, embora a DXA seja considerada como um método de referência para a estimativa da massa óssea(74), ela pode apresentar limitações na estimativa da MIG e da MG(75,76). Alguns estudos que compararam as avaliações por métodos multi-compartimentais observaram que tanto o valor da MG quanto o %MG foram superestimados na avaliação utilizando a DXA(67,77,78).

Contudo, assim como o presente estudo, diversos estudos principalmente nas últimas décadas utilizaram a DXA como método de referência para desenvolver novas equações de BIA em diferentes amostras, entre elas, crianças e adolescentes saudáveis(79), obesos(52), amostras com sujeitos de várias etnias(55,56,63) e com alguma doença(56). O modelo de 4C seria o melhor método de referência de escolha, porém, devido a sua complexidade(80) tem sido raramente aplicado para o

desenvolvimento de equações com base na BIA(36), e os métodos baseados na divisão do corpo em dois compartimentos (pesagem hidrostática e diluição de isótopos), não consideram as alterações ocorridas na hidratação da MIG, influenciadas pelo sexo, idade e maturação(22,81).

Um fator limitante deste estudo foi a falta de um indicador para um controle mais rigoroso do nível de hidratação dos sujeitos avaliados, o que pode ter influenciado nas variáveis que a BIA fornece(31–33). Apesar de todos os procedimentos terem sido adotados e controlados para a coleta dos sujeitos, não foi possível certificar-se do nível de hidratação utilizando de métodos apropriados(82).

A BIA é um método não invasivo, portátil e relativamente barato, pode ser utilizada em indivíduos saudáveis e com patologias desde que, equações específicas sejam validadas e apropriadas em relação à idade, sexo e etnia(83). A grande maioria dos estudos verificaram a acurácia da BIA apenas em um determinado momento(73,84,85). Acreditamos que o ponto forte do presente estudo, além do pioneirismo em desenvolver e validar uma equação de BIA não só de forma transversal, mas também verificando a sua acurácia em determinar as alterações na MIG, foi a utilização em uma amostra relativamente grande e homogênea. A amostra deste estudo foi composta somente por adultos jovens (17 a 24 anos), saudáveis e do sexo masculino. O processo de admissão dos cadetes na EsPCEX já é considerado algo rigoroso, o que permanece durante toda a carreira militar, com seus horários de estudo, de sono, de treinamento físico e de alimentação totalmente padronizados e controlados, o que até o momento, seja de nosso conhecimento, não é encontrado em outro estudo similar.

## 7. CONCLUSÃO

A equação preditiva específica baseada na análise de impedância bioelétrica (BIA), desenvolvida a partir de uma amostra de cadetes do exército Brasileiro, do sexo masculino, com idade entre 17 e 24 anos, demonstrou ser válida para analisar as alterações da massa isenta de gordura (MIG), após um período de cerca de sete meses de rotina militar, utilizando os valores determinados pela absorciometria por dupla emissão de raio x (DXA) como o método de referência.

Nesta amostra de cadetes do exército Brasileiro do sexo masculino, a MIG estimada pelas oito equações preditivas de BIA já publicadas na literatura testadas neste estudo, não demonstraram serem válidas para esta população. A equação específica desenvolvida neste estudo, se mostrou válida para a avaliação da MIG nesta amostra, além disso, demonstrou boa concordância na estimativa das alterações da MIG. Entretanto, por conta do viés observado ser dependente da quantidade de MIG, deve ser utilizada com cautela e aplicada somente para populações com características semelhantes às dos indivíduos desse estudo.

## 8. REFERÊNCIAS

1. Ellis KJ, Shypailo RJ, Abrams SA, Wong WW. The reference child and adolescent models of body composition. A contemporary comparison. *Ann N Y Acad Sci*. 2000 May;904:374–82.
2. Furth SL. Growth and nutrition in children with chronic kidney disease. *Adv Chronic Kidney Dis*. 2005 Oct;12(4):366–71.
3. Matias CN, Santos DA, Júdice PB, Magalhães JP, Minderico CS, Fields DA, et al. Estimation of total body water and extracellular water with bioimpedance in athletes: A need for athlete-specific prediction models. *Clin Nutr Edinb Scotl*. 2016 Apr;35(2):468–74.
4. Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, Manore MM, Rankin JW, Smith BK, et al. American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2009 Feb;41(2):459–71.
5. Shephard RJ. Absolute versus relative intensity of physical activity in a dose-response context. *Med Sci Sports Exerc*. 2001 Jun;33(6 Suppl):S400-418-420.
6. Ackland TR, Lohman TG, Sundgot-Borgen J, Maughan RJ, Meyer NL, Stewart AD, et al. Current status of body composition assessment in sport: review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I.O.C. Medical Commission. *Sports Med Auckl NZ*. 2012 Mar 1;42(3):227–49.
7. O'Connor JS, Bahrke MS, Tetu RG. 1988 active Army physical fitness survey. *Mil Med*. 1990 Dec;155(12):579–85.
8. Manual de Campanha - Treinamento Físico Militar (C 20-20) [Internet]. [cited 2016 Sep 20]. Available from: <http://www.cciex.eb.mil.br/index.php/publicacoes/73-manuais/173-manual-de-campanha-treinamento-fisico-militar-c-20-20>
9. Friedl KE. Body composition and military performance--many things to many people. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. 2012 Jul;26 Suppl 2:S87-100.
10. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, et al. Bioelectrical impedance analysis--part I: review of principles and methods. *Clin Nutr Edinb Scotl*. 2004 Oct;23(5):1226–43.
11. Deurenberg P, van der Kooy K, Leenen R, Weststrate JA, Seidell JC. Sex and age specific prediction formulas for estimating body composition from bioelectrical impedance: a cross-validation study. *Int J Obes*. 1991 Jan;15(1):17–25.
12. Deurenberg P, Kusters CS, Smit HE. Assessment of body composition by bioelectrical impedance in children and young adults is strongly age-dependent. *Eur J Clin Nutr*. 1990 Apr;44(4):261–8.

13. Kotler DP, Burastero S, Wang J, Pierson RN. Prediction of body cell mass, fat-free mass, and total body water with bioelectrical impedance analysis: effects of race, sex, and disease. *Am J Clin Nutr.* 1996 Sep;64(3 Suppl):489S–497S.
14. Aandstad A, Holtberget K, Hageberg R, Holme I, Anderssen SA. Validity and reliability of bioelectrical impedance analysis and skinfold thickness in predicting body fat in military personnel. *Mil Med.* 2014 Feb;179(2):208–17.
15. Siervogel RM, Wisemandle W, Maynard LM, Guo SS, Roche AF, Chumlea WC, et al. Serial changes in body composition throughout adulthood and their relationships to changes in lipid and lipoprotein levels. The Fels Longitudinal Study. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 1998 Nov;18(11):1759–64.
16. Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, Romero L, Heymsfield SB, Ross RR, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol.* 1998 Apr 15;147(8):755–63.
17. Dietz WH. Health consequences of obesity in youth: childhood predictors of adult disease. *Pediatrics.* 1998 Mar;101(3 Pt 2):518–25.
18. Heyward VH, Wagner DR. *Applied Body Composition Assessment* [Internet]. human-kinetics. 2004 [cited 2016 Sep 20].
19. Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Bioelectric impedance phase angle and body composition. *Am J Clin Nutr.* 1988 Jul 1;48(1):16–23.
20. Lohman TG. Applicability of body composition techniques and constants for children and youths. *Exerc Sport Sci Rev.* 1986;14:325–57.
21. Hoffer EC, Meador CK, Simpson DC. Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J Appl Physiol.* 1969 Oct;27(4):531–4.
22. Thomasset MA. [Bioelectric properties of tissue. Impedance measurement in clinical medicine. Significance of curves obtained]. *Lyon Méd.* 1962 Jul 15;94:107–18.
23. Silva AM, Sardinha LB. Adiposidade corporal - métodos de avaliação e valores de referência. *Nutrição, exercício e Saúde.* 2008;417.
24. Böhm A, Heitmann BL. The use of bioelectrical impedance analysis for body composition in epidemiological studies. *Eur J Clin Nutr.* 2013 Jan;67 Suppl 1:S79–85.
25. Wang Z, Deurenberg P, Wang W, Pietrobelli A, Baumgartner RN, Heymsfield SB. Hydration of fat-free body mass: review and critique of a classic body-composition constant. *Am J Clin Nutr.* 1999 May;69(5):833–41.
26. Wells JCK, Williams JE, Chomtho S, Darch T, Grijalva-Eternod C, Kennedy K, et al. Pediatric reference data for lean tissue properties: density and hydration from age 5 to 20 y. *Am J Clin Nutr.* 2010 Mar;91(3):610–8.



27. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Manuel Gómez J, et al. Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr Edinb Scotl.* 2004 Dec;23(6):1430–53.
28. Chumlea WC, S.S. Sun. Bioelectrical Impedance Analysis. In: *Human Body Composition*. 2nd ed. Champaign, IL: Steven B. Heymsfield; Timothy G. Lohman; ZiMian Wang; Scott B. Going;
29. Kushner RF, Schoeller DA, Fjeld CR, Danford L. Is the impedance index ( $ht^2/R$ ) significant in predicting total body water? *Am J Clin Nutr.* 1992 Nov;56(5):835–9.
30. Jebb SA, Cole TJ, Doman D, Murgatroyd PR, Prentice AM. Evaluation of the novel Tanita body-fat analyser to measure body composition by comparison with a four-compartment model. *Br J Nutr.* 2000 Feb;83(2):115–22.
31. Esco MR, Olson MS, Williford HN, Lizana SN, Russell AR. The accuracy of hand-to-hand bioelectrical impedance analysis in predicting body composition in college-age female athletes. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc.* 2011 Apr;25(4):1040–5.
32. Gibson AL, Holmes JC, Desautels RL, Edmonds LB, Nuudi L. Ability of new octapolar bioimpedance spectroscopy analyzers to predict 4-component-model percentage body fat in Hispanic, black, and white adults. *Am J Clin Nutr.* 2008 Feb;87(2):332–8.
33. How Electrodes are Placed on the Hand and Foot | RJL Systems [Internet]. [cited 2016 Sep 20]. Available from: <http://www.rjlsystems.com/documentation/how-electrodes-are-placed-on-the-hand-and-foot/>
34. Xu L, Cheng X, Wang J, Cao Q, Sato T, Wang M, et al. Comparisons of body-composition prediction accuracy: a study of 2 bioelectric impedance consumer devices in healthy Chinese persons using DXA and MRI as criteria methods. *J Clin Densitom Off J Int Soc Clin Densitom.* 2011 Dec;14(4):458–64.
35. Lukaski HC. Theory and Validation of the Tetrapolar Bioelectrical Impedance Method to Assess Human Body Composition. In *Vivo Body Composition Studies*. 1987;410–4.
36. Chumlea WC, Baumgartner RN, Roche AF. Specific resistivity used to estimate fat-free mass from segmental body measures of bioelectric impedance. *Am J Clin Nutr.* 1988 Jul;48(1):7–15.
37. Segal KR, Van Loan M, Fitzgerald PI, Hodgdon JA, Van Itallie TB. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four-site cross-validation study. *Am J Clin Nutr.* 1988 Jan;47(1):7–14.
38. Deurenberg P, van der Kooij K, Evers P, Hulshof T. Assessment of body composition by bioelectrical impedance in a population aged greater than 60 y. *Am J Clin Nutr.* 1990 Jan;51(1):3–6.

39. Lohman TG. Prediction equations and skinfolds, bioelectric impedance, and body mass index. In: *Advances in Body Composition Assessment*. Champaign, IL; 1992. p. 37–56.
40. Sun SS, Chumlea WC, Heymsfield SB, Lukaski HC, Schoeller D, Friedl K, et al. Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *Am J Clin Nutr*. 2003 Feb;77(2):331–40.
41. Sun SS, Chumlea WC. Statistical Method. In: *Human Body Composition*. 2nd ed. Steven B. Heymsfield; Timothy G. Lohman; ZiMian Wang; Scott B. Going; 2005. p. 151–60.
42. Chumlea WM, Guo SS. Assessment and prevalence of obesity: application of new methods to a major problem. *Endocrine*. 2000 Oct;13(2):135–42.
43. Chumlea WC, Guo S, Kuczmarski RJ, Johnson CL, Leahy CK. Reliability for anthropometric measurements in the Hispanic Health and Nutrition Examination Survey (HHANES 1982-1984). *Am J Clin Nutr*. 1990 May 1;51(5):902S–907S.
44. Lohman TG. Basic Concepts in Body Composition Assessment. In: *Advances in Body Composition Assessment*. Champaign, IL; 1992. p. 1–6.
45. LeMura LM, Maziakas MT. Factors that alter body fat, body mass, and fat-free mass in pediatric obesity. *Med Sci Sports Exerc*. 2002 Mar;34(3):487–96.
46. Santos DA, Silva AM, Matias CN, Fields DA, Heymsfield SB, Sardinha LB. Accuracy of DXA in estimating body composition changes in elite athletes using a four compartment model as the reference method. *Nutr Metab*. 2010;7:22.
47. Baumgartner RN, Heymsfield SB, Lichtman S, Wang J, Pierson RN. Body composition in elderly people: effect of criterion estimates on predictive equations. *Am J Clin Nutr*. 1991 Jun;53(6):1345–53.
48. Avila JA, Avila RA, Gonçalves EM, Barbeto VJO, Morcillo AM, Guerra-Junior G. Secular trends of height, weight and BMI in young adult Brazilian military students in the 20th century. *Ann Hum Biol*. 2013 Dec;40(6):554–6.
49. Lohman TG, Roche AF, Martorell R. *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, IL;
50. Lin LI. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*. 1989 Mar;45(1):255–68.
51. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet Lond Engl*. 1986 Feb 8;1(8476):307–10.
52. Lazzer S, Bedogni G, Agosti F, De Col A, Mornati D, Sartorio A. Comparison of dual-energy X-ray absorptiometry, air displacement plethysmography and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in severely obese Caucasian children and adolescents. *Br J Nutr*. 2008 Oct;100(4):918–24.

53. Montagnese C, Williams JE, Haroun D, Siervo M, Fewtrell MS, Wells JCK. Is a single bioelectrical impedance equation valid for children of wide ranges of age, pubertal status and nutritional status? Evidence from the 4-component model. *Eur J Clin Nutr.* 2013 Jan;67 Suppl 1:S34-39.
54. Devakumar D, Grijalva-Eternod CS, Roberts S, Chaube SS, Saville NM, Manandhar DS, et al. Body composition in Nepalese children using isotope dilution: the production of ethnic-specific calibration equations and an exploration of methodological issues. *PeerJ.* 2015;3:e785.
55. Loftin M, Nichols J, Going S, Sothorn M, Schmitz KH, Ring K, et al. Comparison of the validity of anthropometric and bioelectric impedance equations to assess body composition in adolescent girls. *Int J Body Compos Res.* 2007;5(1):1-8.
56. Horlick M, Arpadi SM, Bethel J, Wang J, Moye J, Cuff P, et al. Bioelectrical impedance analysis models for prediction of total body water and fat-free mass in healthy and HIV-infected children and adolescents. *Am J Clin Nutr.* 2002 Nov;76(5):991-9.
57. Cleary J, Daniells S, Okely AD, Batterham M, Nicholls J. Predictive validity of four bioelectrical impedance equations in determining percent fat mass in overweight and obese children. *J Am Diet Assoc.* 2008 Jan;108(1):136-9.
58. Fors H, Gelerander L, Bjarnason R, Albertsson-Wikland K, Bosaeus I. Body composition, as assessed by bioelectrical impedance spectroscopy and dual-energy X-ray absorptiometry, in a healthy paediatric population. *Acta Paediatr Oslo Nor* 1992. 2002;91(7):755-60.
59. Moon JR. Body composition in athletes and sports nutrition: an examination of the bioimpedance analysis technique. *Eur J Clin Nutr.* 2013 Jan;67 Suppl 1:S54-59.
60. Pietrobelli A, Wang Z, Heymsfield SB. Techniques used in measuring human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 1998 Sep;1(5):439-48.
61. Funai [Internet]. [cited 2016 Sep 20]. Available from: <http://www.funai.gov.br/>
62. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira [Internet]. [cited 2016 Sep 20]. Available from: <http://enem.inep.gov.br/participante/#/inicial>
63. Sluyter JD, Schaaf D, Scragg RKR, Plank LD. Prediction of fatness by standing 8-electrode bioimpedance: a multiethnic adolescent population. *Obes Silver Spring Md.* 2010 Jan;18(1):183-9.
64. Okasora K, Takaya R, Tokuda M, Fukunaga Y, Oguni T, Tanaka H, et al. Comparison of bioelectrical impedance analysis and dual energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in children. *Pediatr Int Off J Jpn Pediatr Soc.* 1999 Apr;41(2):121-5.
65. Heitmann BL. Impedance: a valid method in assessment of body composition? *Eur J Clin Nutr.* 1994 Apr;48(4):228-40.

66. Sørensen K, Juul A. BMI percentile-for-age overestimates adiposity in early compared with late maturing pubertal children. *Eur J Endocrinol Eur Fed Endocr Soc.* 2015 Aug;173(2):227–35.
67. Kohrt WM. Body composition by DXA: tried and true? *Med Sci Sports Exerc.* 1995 Oct;27(10):1349–53.
68. Liang MT, Norris S. Effects of skin blood flow and temperature on bioelectric impedance after exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1993 Nov;25(11):1231–9.
69. Schols AM, Dingemans AM, Soeters PB, Wouters EF. Within-day variation of bioelectrical resistance measurements in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Nutr Edinb Scotl.* 1990 Oct;9(5):266–71.
70. Heymsfield SB, Nuñez C, Testolin C, Gallagher D. Anthropometry and methods of body composition measurement for research and field application in the elderly. *Eur J Clin Nutr.* 2000 Jun;54 Suppl 3:S26-32.
71. Going SB, Massett MP, Hall MC, Bare LA, Root PA, Williams DP, et al. Detection of small changes in body composition by dual-energy x-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr.* 1993 Jun;57(6):845–50.
72. Mazess RB, Barden HS, Bisek JP, Hanson J. Dual-energy x-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *Am J Clin Nutr.* 1990 Jun;51(6):1106–12.
73. Svendsen OL, Haarbo J, Hassager C, Christiansen C. Accuracy of measurements of body composition by dual-energy x-ray absorptiometry in vivo. *Am J Clin Nutr.* 1993 May;57(5):605–8.
74. Brandão CMA, Camargos BM, Zerbini CA, Plapler PG, Mendonça LM de C, Albergaria B-H, et al. Posições oficiais 2008 da Sociedade Brasileira de Densitometria Clínica (SBDens). *Arq Bras Endocrinol Metabol.* 2009 Feb;53(1):107–12.
75. Plank LD. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2005 May;8(3):305–9.
76. Roubenoff R, Kehayias JJ, Dawson-Hughes B, Heymsfield SB. Use of dual-energy x-ray absorptiometry in body-composition studies: not yet a “gold standard.” *Am J Clin Nutr.* 1993 Nov;58(5):589–91.
77. Friedl KE, DeLuca JP, Marchitelli LJ, Vogel JA. Reliability of body-fat estimations from a four-compartment model by using density, body water, and bone mineral measurements. *Am J Clin Nutr.* 1992 Apr;55(4):764–70.
78. Heymsfield SB, Lichtman S, Baumgartner RN, Wang J, Kamen Y, Aliprantis A, et al. Body composition of humans: comparison of two improved four-compartment models that differ in expense, technical complexity, and radiation exposure. *Am J Clin Nutr.* 1990 Jul;52(1):52–8.

79. Pietrobelli A, Andreoli A, Cervelli V, Carbonelli MG, Peroni DG, De Lorenzo A. Predicting fat-free mass in children using bioimpedance analysis. *Acta Diabetol.* 2003 Oct;40 Suppl 1:S212-215.
80. Wells JC, Fuller NJ, Dewit O, Fewtrell MS, Elia M, Cole TJ. Four-component model of body composition in children: density and hydration of fat-free mass and comparison with simpler models. *Am J Clin Nutr.* 1999 May;69(5):904–12.
81. Lohman TG. *Pediatric Exercise Science. Assesment of Body Composition in Children.* 1989;19–30.
82. Baker LB, Lang JA, Kenney WL. Change in body mass accurately and reliably predicts change in body water after endurance exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2009 Apr;105(6):959–67.
83. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, et al. Bioelectrical impedance analysis--part I: review of principles and methods. *Clin Nutr Edinb Scotl.* 2004 Oct;23(5):1226–43.
84. Wagner DR, Heyward VH, Kocina PS, Stolarczyk LM, Wilson WL. Predictive accuracy of BIA equations for estimating fat-free mass of black men. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 Jul;29(7):969–74.
85. Wang L, Hui SS, Wong SH. Validity of bioelectrical impedance measurement in predicting fat-free mass of Chinese children and adolescents. *Med Sci Monit Int Med J Exp Clin Res.* 2014;20:2298–310.

## 9. APÊNDICES

### Apêndice 1

#### FICHA DE AVALIAÇÃO

#### ESCOLA PREPARATÓRIA DE CADESTES DO EXÉRCITO (EsPCEx)

DATA DA COLETA: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ PERÍODO: ( )MANHÃ ( )TARDE

NOME: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_ Cia: \_\_\_\_\_

EMAIL: \_\_\_\_\_

DATA NASCIMENTO: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ IDADE: \_\_\_\_\_ RENDA FAMILIAR: \_\_\_\_\_

LOCAL NASCIMENTO: \_\_\_\_\_ LOCAL MORADIA: \_\_\_\_\_

COR DA PELE: ( )BRANCA ( )AMARELA ( )PARDA ( )INDÍGENA ( )PRETA

ATLETA DA EsPCEx? ( )SIM ( )NÃO MODALIDADE: \_\_\_\_\_

#### 1. DOENÇAS CRÔNICAS E MEDICAÇÃO

a. Alguma vez tomou algum medicamento mais de 6 meses? ( )SIM ( )NÃO – Se sim, qual?

MEDICAMENTO	QUANTO TEMPO

b. Toma medicamento atualmente? (Indicar para que doença o medicamento foi prescrito):

MOTIVO	MEDICAMENTO	QUANDO INICIOU

OBSERVAÇÕES: \_\_\_\_\_

#### 2. OCORRÊNCIAS DE LESÕES

a. Alguma vez sofreu uma lesão ortopédica? ( )SIM ( )NÃO

TIPO DE LESÃO	REGIÃO DO CORPO	SITUAÇÃO DA OCORRÊNCIA	IDADE NA ÉPOCA DA OCORRÊNCIA

OBSERVAÇÕES: \_\_\_\_\_

b. Consumo de cálcio (laticínios) referente ao último ano.

ALIMENTO	Nº porções/dia	mg de Ca/porção	mg de cálcio
Leite (250 ml – 1 copo americano)		x 300	
Iogurte (125 g – 1 potinho)		x 160	
Queijo (30g – 1 fatia grande de mussarela)		x 200	
<i>Consumo de cálcio de fontes não lácteas</i>			+ 250
TOTAL (SOMAR TODAS AS PORÇÕES)			

## 3. PRÁTICA DE ATIVIDADE FÍSICA

a. Praticou algum desporto ou modalidade? ( )SIM ( )NÃO – Se sim, quais?

MODALIDADE	ANO DE INÍCIO	Nº DE ANOS	HORAS DE TREINO/SEMANA	Nº DE MESES/ANO

OBSERVAÇÕES: \_\_\_\_\_

## 4. ANTROPOMETRIA

PESO: \_\_\_\_\_ kg

ESTATURA: \_\_\_\_\_ cm

a. DOBRAS CUTÂNEAS

DOBRA	1a	2a	3a
TRÍCEPS			
SUBESCAPULAR			
SUPRA-ILÍACA			
ABDOMINAL			
COXA			
PANTURRILHA			

b. CIRCUNFERÊNCIAS

CINTURA (MENOR)		BÍCEPS DIREITO RELAXADO	
ABDOME		BÍCEPS DIREITO CONTRAÍDO	
QUADRIL		BÍCEPS ESQUERDO RELAXADO	
COXA		BÍCEPS ESQUERDO CONTRAÍDO	
PANTURRILHA			

c. BIOIMPEDÂNCIA QUANTUM II

RESISTÊNCIA: \_\_\_\_\_

REACTÂNCIA: \_\_\_\_\_

d. DXA: \_\_\_\_\_

## Apêndice 2

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

#### IDENTIFICAÇÃO DO ALUNO:

Nome: \_\_\_\_\_ Data nasc.: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Endereço: \_\_\_\_\_

Bairro: \_\_\_\_\_ Cidade: \_\_\_\_\_ CEP.: \_\_\_\_\_

Eu, \_\_\_\_\_

(nome do aluno)

RG nº \_\_\_\_\_, entendo que fui convidado a participar da pesquisa intitulada "**Avaliação comparativa da massa óssea por densitometria e ultrassonografia em jovens militares durante o ano letivo da escola militar**", sendo este um projeto de Dissertação de Mestrado da aluna Raquel David Langer, orientada pelo Prof. Dr. Ezequiel Moreira Gonçalves da Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Ao concordar por livre e espontânea vontade com a participação, estou ciente que serei submetido a uma avaliação clínica com medidas de peso e estatura. A massa isenta de gordura será avaliada por análise de impedância bioelétrica. Estas avaliações são simples, rápidas (cerca de 10 minutos de duração) e não causam nenhuma dor e não apresentam qualquer risco físico ou moral.

A avaliação por DXA será realizada no Centro de Investigação em Pediatria (CIPED) da FCM-UNICAMP num final de semana com a garantia do pesquisador de me oferecer transporte de ida e volta. Esta avaliação também é simples, rápida (cerca de 10 minutos de duração) e não causa nenhuma dor e não apresenta qualquer risco físico ou moral, exceto mínima exposição à radiação equivalente a menos de um dia de exposição à radiação natural do dia a dia. Estas medidas serão realizadas em dois momentos do período letivo; no início (março/2013) e no final (novembro/2013).

Entendo também que devo preencher o questionário anexo e entregá-lo ao responsável pela pesquisa junto com a assinatura deste termo de consentimento.

A minha avaliação somente será realizada com a minha prévia autorização, mediante apresentação do termo de consentimento livre e esclarecido devidamente preenchido e assinado. Eu obterei com a participação no estudo a vantagem de conhecer a minha composição corporal e as evoluções após um período letivo na EsPCEX.

Toda a informação médica, assim como os resultados desse projeto de pesquisa, será mantida em absoluto sigilo. Se os resultados ou informações fornecidas forem utilizados para fins de publicação científica, nenhum nome será mencionado. A minha participação nesse projeto de pesquisa é voluntária e poderei recusar ou retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem sofrer qualquer penalidade ou prejuízo.

Qualquer dúvida ou esclarecimento sobre os procedimentos da pesquisa podem ser obtidos com [raqueldlanger@gmail.com](mailto:raqueldlanger@gmail.com) ou (19)3521-8985. Denúncias ou queixas podem ser feitas a qualquer tempo pelo telefone do CEP da UNICAMP pelo telefone (19)3521-8936 ou pelo e-mail [cep@fcm.unicamp.br](mailto:cep@fcm.unicamp.br)

De acordo,

\_\_\_\_\_  
Assinatura do aluno

Campinas (SP), \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 201 \_\_\_\_.



## Apêndice 3



Article

# Validity of Bioelectrical Impedance Analysis to Estimation Fat-Free Mass in the Army Cadets

Raquel D. Langer \*, Juliano H. Borges, Mauro A. Pascoa, Vagner X. Cirolini, Gil Guerra-Júnior and Ezequiel M. Gonçalves

Growth and Development Laboratory, Center for Investigation in Pediatrics (CIPED), School of Medical Sciences, University of Campinas (UNICAMP), Campinas-SP 13083-887, Brazil; borgesedfisica@gmail.com (J.H.B.); pascoawaf@bol.com.br (M.A.P.); vxcirolini@hotmail.com (V.X.C.); gilguer@fcm.unicamp.br (G.G.-J.); emaildozeique@gmail.com (E.M.G.)

\* Correspondence: raqueldlanger@gmail.com; Tel.: +55-193-521-7353

Received: 29 October 2015; Accepted: 17 February 2016; Published: 11 March 2016

**Abstract:** Background: Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) is a fast, practical, non-invasive, and frequently used method for fat-free mass (FFM) estimation. The aims of this study were to validate predictive equations of BIA to FFM estimation in Army cadets and to develop and validate a specific BIA equation for this population. Methods: A total of 396 males, Brazilian Army cadets, aged 17–24 years were included. The study used eight published predictive BIA equations, a specific equation in FFM estimation, and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) as a reference method. Student's *t*-test (for paired sample), linear regression analysis, and Bland–Altman method were used to test the validity of the BIA equations. Results: Predictive BIA equations showed significant differences in FFM compared to DXA ( $p < 0.05$ ) and large limits of agreement by Bland–Altman. Predictive BIA equations explained 68% to 88% of FFM variance. Specific BIA equations showed no significant differences in FFM, compared to DXA values. Conclusion: Published BIA predictive equations showed poor accuracy in this sample. The specific BIA equations, developed in this study, demonstrated validity for this sample, although should be used with caution in samples with a large range of FFM.

**Keywords:** body composition; predictive equations; dual-energy X-ray absorptiometry

## 1. Introduction

Adequate assessment of body composition is very important for the identification of possible health risks related to the excess or lack of different body components. It also helps in monitoring the processes of growth and aging and of some diseases, providing important evaluation data of nutritional interventions and physical exercise programs [1,2].

Many changes occur in body composition throughout life, mainly in the fat mass (FM) to fat-free mass (FFM) ratio [3]. Increased body fat is associated with the increased risk of various diseases, such as obesity, cardiovascular disease, type 2 diabetes, hypertension, and others [4]. FFM is comprised mostly by muscle mass and is related to the prevention of the fall risk in the elderly, as well as having significant influence on physical performance [5]. The evaluation of this body component can contribute to the development, monitoring, and improvement of physical training programs [6], as well as in the reduction of body fat [7].

A military career demands adequate levels of physical fitness and body composition. Due to this, young military members (cadets), undergo rigorous physical training programs when they join the military service [8,9], with the objective to efficiently perform the tasks of the proposed military routines. As a result, the FFM of these individuals increases, improving their physical performance [10] and reducing the FM percentage [11].

Body composition assessment is usually obtained by laboratory methods, such as dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), plethysmography, hydrostatic weighing, and multi-compartmental models (four, five, or six compartments) [12,13]. Due to their complexity, they require specially-trained users for application [7]. The assessment is made only in laboratory or clinical facilities due to the impossibility to perform repeated measures in a small amount of time, and the high cost, making it difficult to use with large samples. On the other hand, bioelectrical impedance analysis (BIA) is a non-invasive, relatively simple, and widely used technique to estimate body composition in larger groups with individuals of different characteristics, such as gender, age, ethnicity, presence of diseases [7,13–20], and also in military [21,22].

BIA is a recommended method for field studies because it facilitates evaluation of a large number of individuals in a short period of time [23]. It can be used inside or outside the laboratory or clinical facilities [24]. Estimation of body composition by BIA is based on predictive equations developed in different populations with specific characteristics (e.g., gender, age, ethnicity, and anthropometry). It shows high predictive errors when applied to a population with diverse characteristics from those of the population in which the predictor was developed [25].

Therefore, the aims of this study were to verify the accuracy of predictive equations of BIA, already published for the estimation of FFM, in male Army cadets, aged 17 to 24 years, and to develop and cross-validate a specific BIA equation for this population, using DXA with a reference method. We believe that, despite the specific characteristics observed in our sample (young adults with low fat and high physical activity), this predictive model may be used for other subjects of the same age, such as military personnel, and in physically-active individuals (not athletes), as there is a lack of equations for this population.

## 2. Methods

### 2.1. Subjects

Data was collected during the beginning of the school year (March) of 2013 and 2014, when the annually “Preparatory School of Army Cadets” (EsPCEX), Campinas-SP, receive 500 students coming from all regions of Brazil. All cadets that entered in both years (2013 and 2014) were invited to participate in this study (approximately 1000 subjects); 946 showed an interest to participate and were included. From this total, participants were excluded if: (a) they did not have conditions or availability to participate in all procedures of the study protocol ( $n = 507$ ) or (b) did not return a signed Terms of Informed Consent Form ( $n = 43$ ). Thus, the final sample consisted of 396 volunteers.

### 2.2. Study Design and Ethics

It is a cross-sectional study, in which individual collections of anthropometry, BIA, and DXA data were done in the same day. This research was approved by the Ethics Committee of the School of Medical Sciences, University of Campinas (UNICAMP). All procedures were conducted according to the declaration of Helsinki [26] for studies with human subjects.

### 2.3. Measurements

Body weight (kg) was determined by a digital scale to nearest 0.1 kg and height (cm) by a vertical stadiometer to nearest 0.1 cm, following the recommended protocols [27]. Body mass index (BMI  $\text{kg}/\text{m}^2$ ) was calculated.

Body composition was determined by an iDXA (GE Healthcare Lunar, Madison, WI, USA) and version 13.6 enCore™ 2011 software (GE Healthcare Lunar). Total body measurements were performed to determine FM, bone mineral content (BMC), and lean soft tissue (LST). The FFM was obtained by the sum of the BMC and LST ( $\text{FFM} = \text{BMC} + \text{LST}$ ) values. The reproducibility of the variables estimated by DXA was determined by the coefficient variation (CV%) and technical error of measurement (TEM), based on the test-retest realized with 23 subjects out of the population of this study. The formula for

TEM is  $= \sqrt{\frac{D^2}{n}}$ , where  $D$  is the difference between the two measurements, and  $n$  is the sample size. The CV% were 0.74%, 0.28%, and 0.26% to FM, BMC, and LST, respectively, and TEM were 0.25 kg, 0.02 kg, and 0.25 kg to FM, BMC, and LST, respectively.

BIA measurements were performed according to the protocol recommended by Kyle [24]. We used a tetrapolar device, single frequency (50 kHz), and model Quantum II (RJL Systems, Detroit, MI, USA). BIA provides resistance ( $R$ ) and reactance ( $X_c$ ) values in Ohms ( $\Omega$ ). Reproducibility was calculated for a subgroup of this study population (23 subjects); CV of 0.35% and 0.33%, for  $R$  and  $X_c$ , respectively; TEM of 3.54  $\Omega$  and 0.49  $\Omega$ , for  $R$  and  $X_c$ , respectively; and impedance ( $Z$ ) was calculated by the formula:  $Z = \sqrt{R + X_c}$ .

#### 2.4. Selection of Predictive Equations of BIA

BIA predictive equations were selected adopting these criteria: (a) subjects with age compatible with the sample of the present study; (b) sample involving male subjects; and (c) BIA equipment from the same manufacturer and same frequency (50 kHz). We selected eight equation, previously published in the literature. The characteristics are shown in Table 1.

#### 2.5. Statistical Analysis

Data were analyzed using IBM SPSS Statistics version 16.0 (IBM, Chicago, IL, USA). With the exception of FFM of DXA and Equation (3) [15] values, other equations did not show normal distribution; for this reason the logarithmic transformation ( $\log^{10}$ ) was used. The paired Student's  $t$ -test for paired samples was used to verify the differences between the estimated values by BIA predictive equations and the values determined by DXA. The adjusted coefficient of determination ( $R^2$ ) and the standard error of estimated SEE were obtained using simple linear regression. The pure error (PE) was assessing using the following equation [28]:

$$PE = \sqrt{\frac{\sum (\hat{Y} - Y)^2}{n}}$$

where variable  $\hat{Y}$  is estimated FFM of predictive equations of BIA,  $Y$  is FFM of DXA, and  $n$  is the total number of subjects in the sample. Lin's approach [29] for the concordance correlation coefficient (CCC) was calculated using MedCalc Statistical Software v.11.1.0, 2009 (Mariakerke, Belgium), to verify the accuracy ( $C_b$ ) and precision ( $\rho$ ) between the estimated FFM values by BIA and determined by DXA. The Bland–Altman [30] method was used to verify the agreement between the estimated FFM values by BIA and determined by DXA, and bivariate Pearson's correlation ( $r$ ) were conducted to determine whether the difference between each predictive equation and the reference method was related to the mean of the two measurements (trends). For development and cross-validation of the specific BIA equation, we followed the proposed recommendations by Sun and Chumlea [28], in which the total sample ( $n = 396$ ) was randomly distributed by a statistical program into two groups: development group (DG) ( $n = 264$ ) and cross-validation group (VG) ( $n = 132$ ). Multiple linear regression analysis (stepwise method) was used for the development of the new model. The adequacy of the final prediction model was assessed by testing the normality of the residuals by a Shapiro–Wilk test. All of this parameters (paired Student's  $t$ -test,  $R^2$ , SEE, PE, and Bland–Altman) were considered to evaluate the accuracy of the eight predictive equations of BIA and the specific equation developed in this study.  $p < 0.05$  was considered statistically significant.

**Table 1.** Characteristics of predictive equations of BIA selected for the estimation of FFM.

Initials	Reference	Sex (n) M/F	Age (Years)	Criterion	Prediction Equation of Fat-Free Mass	R <sup>2</sup>	SEE
Equation (1)	Lukaski, <i>et al.</i> [13]	321 <sup>b</sup>	18–73	UW	$0.734 \times (S^2/R) + 0.116 \times Wt + 0.096 \times Xc + 0.878 \times Sex^c - 4.03$	0.99	2.2
Equation (2)	Chumlea, <i>et al.</i> [14]	77/96	18–62	UW	$0.87 \times (S^2/Z) + 3.50$	0.81	3.0
Equation (3)	Segal, <i>et al.</i> [15]	1069/498	17–62	UW	$0.00132 \times S^2 - 0.04394 \times R + 0.3052 \times Wt - 0.1676 \times Age + 22.66827$	0.9 <sup>d</sup>	3.6
Equation (4) <sup>a</sup>	Deurenberg, <i>et al.</i> [16]	130/116	7–25	UW	$0.438 \times (S^2/Z) + 0.308 \times Wt + 1.6 \times Sex + 7.04 \times S - 8.50$	0.99	2.4
Equation (5) <sup>a</sup>	Deurenberg, <i>et al.</i> [17]	361/466	16–83	UW	$0.34 \times (S^2/Z) - 0.127 \times Age + 0.273 \times Wt + 4.56 \times Sex^c + 15.34 \times S - 12.44$	0.93	2.6
Equation (6)	Lohman [18]	153/153	18–30	UW	$0.485 \times (S^2/R) + 0.338 \times Wt + 5.32$	NR	2.9
Equation (7)	Kotler, <i>et al.</i> [19]	206/126	18–40	DXA	$0.50 \times (S^{1.48}/Z^{0.55}) \times (1.0/1.21) + 0.42 \times Wt + 0.49$	0.9 <sup>d</sup>	5.0 <sup>e</sup>
Equation (8)	Sun, <i>et al.</i> [20]	734/1095	12–94	4C	$0.65 \times (S^2/R) + 0.26 \times Wt + 0.02 \times R - 10.68$	0.90	3.9

Abbreviations: n, number of subjects; M, male; F, female; UW, underwater weighing; DXA, dual-energy X-ray absorptiometry; 4C, model four compartments; S, stature (cm); R, resistance ( $\Omega$ ); Xc, reactance ( $\Omega$ ); Z, impedance ( $\Omega$ ); Wt, weight (kg); R<sup>2</sup>, coefficient of determination; NR, not reported; SEE, standard error of estimated in kilograms; <sup>a</sup> equations that used the value of the height in meters (m); <sup>b</sup> male and female subjects; <sup>c</sup> 0 if female and 1 if male; <sup>d</sup> correlation coefficient value (r); <sup>e</sup> value in percentage (%).

### 3. Results

Table 2 presents the general characteristics of the total sample and groups (development and cross-validation) for the specific BIA equations. No significant differences were found between development and cross-validation groups.

**Table 2.** Characteristics of the total sample and the groups (development and cross-validation) of specific BIA equations.

Variables	Total (n = 396)	Development (n = 264)		Cross-Validation (n = 132)	
	Mean ± SD	Mean ± SD	Min–Max	Mean ± SD	Min–Max
Age (years)	19.2 ± 1.8	19.3 ± 1.2	17.0–24.0	19.1 ± 1.1	17.0–24.0
Weight (kg)	70.0 ± 8.5	69.9 ± 8.5	45.9–94.8	70.3 ± 8.7	50.9–99.4
Stature (cm)	175.8 ± 6.4	176.0 ± 6.7	159.6–192.7	175.3 ± 5.9	160.2–190.8
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22.6 ± 2.3	22.5 ± 2.2	16.0–29.7	22.8 ± 2.4	17.1–32.3
FM (%)	17.2 ± 3.9	17.1 ± 3.7	9.0–27.6	17.3 ± 4.2	10.2–27.8
BMC (kg)	3.0 ± 0.4	3.0 ± 0.4	2.0–4.2	3.0 ± 0.4	2.2–4.2
LST (kg)	55.2 ± 6.2	55.2 ± 6.2	38.5–75.4	55.2 ± 6.0	41.6–75.5
FFM (kg)	58.2 ± 6.5	58.2 ± 6.5	40.6–79.5	58.3 ± 6.4	44.0–79.3
Resistance (Ω)	479.5 ± 48.8	483.8 ± 48.4	345.0–669.0	470.8 ± 48.7	349.0–665.0
Reactance (Ω)	62.4 ± 7.0	63.0 ± 6.7	40.0–86.0	61.3 ± 7.7	27.0–80.0
Impedance (Ω)	483.6 ± 48.9	487.9 ± 48.5	349.5–673.4	474.9 ± 48.8	353.8–668.9

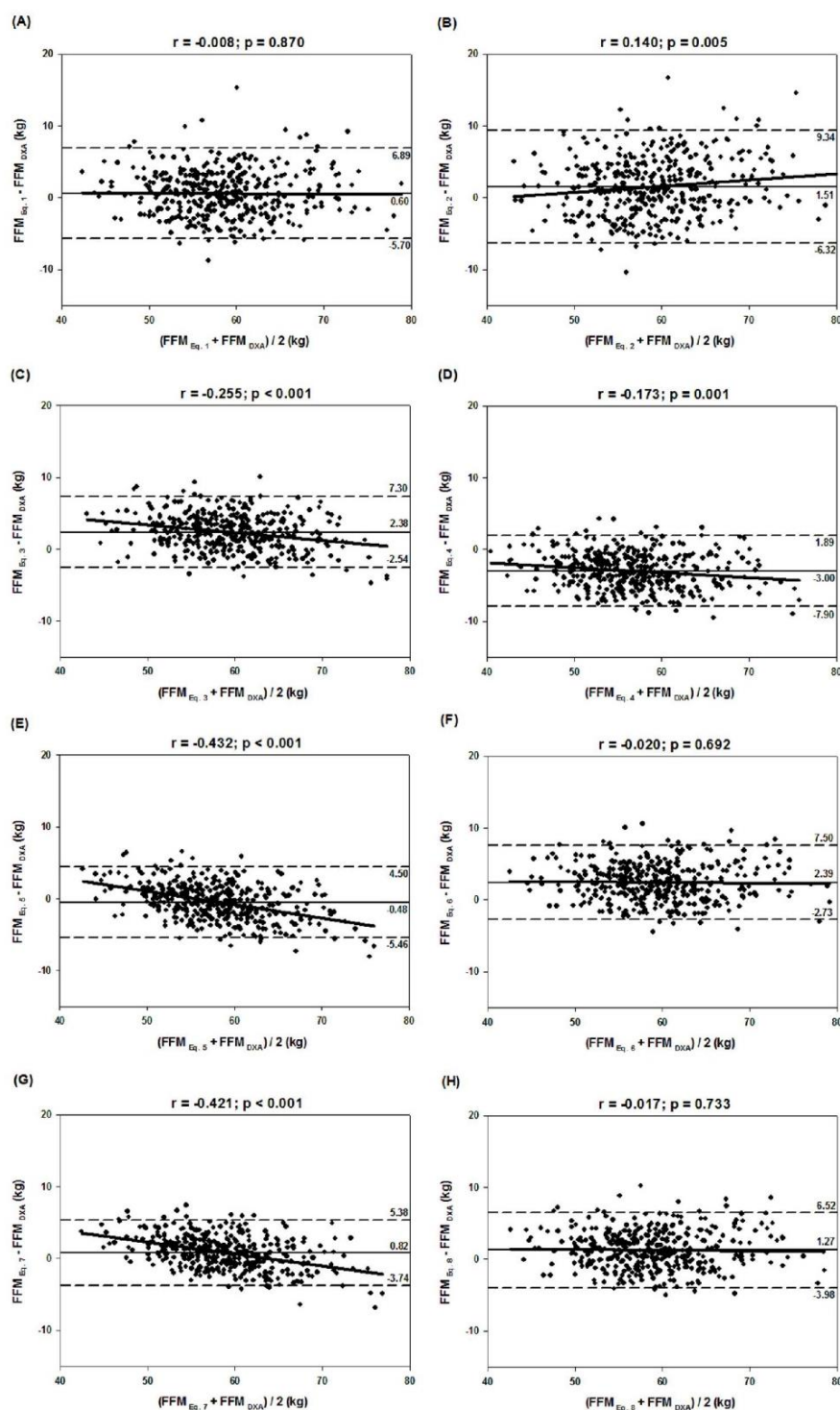
Abbreviations: BMI, body mass index; FM, fat mass; BMC, bone mineral content; LST, lean soft tissue. FFM, Fat-free mass.

The independent variables age, height, BMI, R, X<sub>c</sub>, and impedance on the development group showed significant correlations ( $p < 0.01$ ) with FFM determined by DXA, however, of low or moderate intensity, with  $r$  values ranging from 0.16 to 0.66. The variables with higher correlation were: body weight (kg) ( $r = 0.92$ ) and stature<sup>2</sup>/R (cm<sup>2</sup>/Ω) ( $r = 0.84$ ) ( $p < 0.001$ ). The second variable was transformed into a base-10 logarithm ( $\log^{10}$ ). The resulting specific BIA equation by stepwise regression analysis was:

$$\text{FFM} = 0.508 \times Wt + 39.234 \times (\text{stature}^2/R)^{\text{Log}10} - 48.263$$

The FFM values determined by DXA showed significant difference ( $p < 0.05$ ) compared to FFM values of the eight BIA predictive equations. Two equations (Equations (4) and (5)) showed lower values and six equations (Equations (1)–(3) and (6)–(8)) showed higher values of FFM. The FFM average estimated by the specific equation developed in this study showed no significant difference compared to the value determined by DXA, to both development and cross-validation groups, as in the total sample. It was observed that the value of CCC above 0.80 existed between the predictive equations and the reference method, while in the development and cross-validation group, as well as in the total sample, the CCC values were above 0.92 (Table 3).

Figure 1 shows the agreement of methods (DXA and BIA) using the Bland–Altman analysis. All BIA equations showed large limits of agreement. In addition, Equations (2)–(5) and (7) showed significant trends ( $p < 0.05$ ) between the differences and mean of methods, as observed from the  $r$  value.



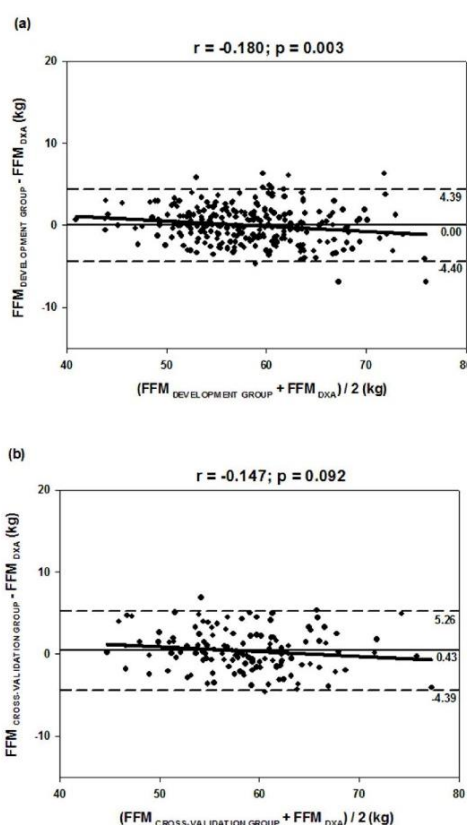
**Figure 1.** Bland–Altman plots of the agreement between values of FFM determined by the reference method (DXA) and estimated by BIA equations in the sample of cadets ( $n = 396$ ): (A) Equation (1) [13]; (B) Equation (2) [14]; (C) Equation (3) [15]; (D) Equation (4) [16]; (E) Equation (5) [17]; (F) Equation (6) [18]; (G) Equation (7) [19]; (H) Equation (8) [20]. Solid black line: mean of the differences; dashed line: limits of agreement of 95%; continuous gray line: correlation ( $r$ ) between the average and the differences of the methods.

**Table 3.** Values of fat-free mass estimated by BIA equations and determined by DXA.

	Fat-Free Mass		Difference		CCC Analysis			R <sup>2</sup>	SEE (kg)	PE (kg)
	Mean ± SD	Min–Max	Mean ± SD	%	CCC	$\rho$	C <sub>b</sub>			
Equation (1)	58.8 ± 6.5 <sup>a</sup>	44.1–79.9	0.6 ± 3.2	1.0	0.87	0.8762	0.9957	0.77	3.1	3.3
Equation (2)	59.7 ± 7.0 <sup>a</sup>	42.9–82.7	1.5 ± 4.0	2.6	0.80	0.8271	0.9724	0.68	3.6	4.3
Equation (3)	60.6 ± 5.8 <sup>a</sup>	45.0–75.6	2.4 ± 2.5	4.1	0.85	0.9219	0.9259	0.85	2.5	3.5
Equation (4)	55.2 ± 6.1 <sup>a</sup>	40.3–72.5	−3.0 ± 2.5	5.2	0.83	0.9225	0.8945	0.85	2.5	3.9
Equation (5)	57.7 ± 5.4 <sup>a</sup>	44.1–72.7	−0.5 ± 2.5	0.8	0.91	0.9242	0.9805	0.85	2.5	2.6
Equation (6)	60.6 ± 6.4 <sup>a</sup>	44.5–79.8	2.4 ± 2.6	4.1	0.86	0.9181	0.9355	0.84	2.6	3.6
Equation (7)	59.0 ± 5.5 <sup>a</sup>	44.3–74.7	0.8 ± 2.3	1.4	0.92	0.9371	0.9781	0.88	2.3	2.5
Equation (8)	59.5 ± 6.4 <sup>a</sup>	44.1–78.9	1.3 ± 2.7	2.2	0.90	0.9138	0.9808	0.84	2.6	3.0
<b>Equation Specific</b>										
DG	58.2 ± 6.1	41.3–75.0	0.0 ± 2.2	0.0	0.94	0.9392	0.9980	0.88	2.2	2.2
CVG	58.7 ± 6.0	44.8–76.7	0.4 ± 2.5	0.7	0.92	0.9228	0.9959	0.85	2.5	2.5
Total	58.4 ± 6.1	41.3–76.7	0.1 ± 2.3	0.2	0.93	0.9334	0.9979	0.87	2.3	2.3

Abbreviations: CCC, concordance correlation coefficient;  $\rho$ , precision; C<sub>b</sub>, accuracy; SEE, standard error of estimated; PE, pure error; DG, development group; CVG, cross-validation group. <sup>a</sup> significant difference of DXA (58.2 ± 6.5), paired Student's *t* test ( $p < 0.05$ ).

Figure 2 shows the agreement of methods (DXA and BIA) using the Bland–Altman analysis. The two groups (development and cross-validation) showed wide limits of agreement, but only development group (a) showed a significant trends ( $p < 0.05$ ) between the differences and mean of methods, as observed from the  $r$  value.



**Figure 2.** Bland–Altman plots of the agreement between values of FFM determined by the reference method (DXA) and estimated by BIA-specific equations: development group (1); and cross-validation group (2). Solid black line: mean of the differences; dashed line: limits of agreement of 95%; continuous gray line: correlation ( $r$ ) between the average and the differences of the methods.

#### 4. Discussion

The aim of this study was to test the accuracy of eight predictive equations, available in the literature, based on the BIA to estimate FFM in young males, Brazilian Army cadets, using DXA as a reference method. The values estimated by these eight predictive BIA equations correlated strongly with the DXA values. We observed significant differences between the FFM values of all equations when compared to the reference method. Furthermore, they did not show good agreement with DXA. Several authors reported strong correlation between FFM estimated by BIA and DXA [19,31,32], and as observed in our study (Figure 1), they also found great individual variability confirmed by large limits of agreement [32].

Body composition assessment by BIA is based on the relative stability of hydration of the FFM (ratio of body water per FFM). However, BIA was not developed for FFM assessment, as it measures water that is extrapolated for an amount of FFM. The electrical conduction of the body water depends on the amount of electrolytes [23]; the amount of body water varies with each age range [33]. In healthy adults this ratio is considered stable at a value of 0.73, and may vary between 0.69 and 0.77 [34]. Although this small variability, it can increase the error of predicting body composition, especially in children and young adults [35], elderly [33], and in subjects with diseases, according to the state of hydration [36]. Thus, it is very important to carefully select the equation to be used, making sure that they have been developed from similar samples considering age, gender, ethnicity, and health status [36,37].

Our sample was composed only of young and healthy male adults; the admission process to these individuals be accepted in EsPCEx consisted of three phases: the first was comprised of an intellectual test; the second by a medical inspection in which the candidate must submit an “Authorization for realization of health inspection”, signed by the responsible party, with the report of various medical exams (exercise testing, complete blood count, electroencephalogram, radiography of the lungs, *etc.*); and the third physical test (muscular strength and endurance, and of aerobic fitness) to check the level of general physical fitness. Based on these facts, we considered our sample to be homogeneous in relation to age, health, and level of physical activity, factors that can interfere with the FFM estimated using the BIA in heterogeneous samples [37]. Although homogeneous, our sample exhibited great individual variability, confirmed by the large limits of agreement obtained in the Bland–Altman [30] analysis and due to differences to be dependent on the amount of FFM of these individuals. We observed a lower agreement between the methods that assess the FFM of predictive equations and DXA (ranged between CCC = 0.80 and CCC = 0.90); for the specific equation developed in this study, we observed a strong agreement between the methods (CCC = 0.93).

As well as in the present study, several previous studies have developed FFM prediction models using the BIA [13,15–20], with body weight and index of stature<sup>2</sup>/resistance variables. These variables presented the best predictive ability for the development of the specific equation of our sample. One of the BIA's assumptions is that the human body has a format similar to a perfect cylindrical conductor [38]; however, the human body shape resembles a shape comprise more of a series of five connected cylinders (two arms, two legs and trunk, head excluded) [24]. Body segments are not uniform (different shapes and sizes), so the resistance to current flow in the body segments are different [24]. One of the factors that may have influenced the wide variation in the results estimated by BIA predictive equations is that, in our sample, individuals came from all regions of the country (north, northeast, midwest, southeast, and south) and presented different characteristics relative to the body segments. This heterogeneity observed in previous studies seems to contribute to the lack of applicability of BIA equations from one population to the other [24,37].

The greatest problem found in the prediction FFM by BIA equations in our sample was the wide variability among individuals observed in the Bland–Altman plots, with 95% limits of agreement ranging from –5.8 kg to 5.8 kg. These results indicates that some individuals can have their FFM values overestimated by more than nine kilograms (Equation (2)) and underestimated by more than eight kilograms (Equation (4)), which is an error of 16% and 14% for more and less, respectively,



when comparing the average of the FFM values determined by DXA. This wide variation between individuals was also observed in other studies that have developed new equations of BIA using DXA as a reference in children and adolescents [31], obese children and adolescents [39], and 12–19 years old boys of different ethnicities [37]; these models should be considered when using BIA equations.

With the exception of the Equations (1), (6), and (8), the differences observed were significantly correlated with the average of the two methods, although these correlations are low (Equations (2)–(4) and this study's specific equation) or moderate (Equations (5) and (7)), indicating that the observed bias is dependent on the quantity of FFM and results different to individuals with diverse levels of FFM, overestimating with higher amounts of FFM (Equations (2)), or underestimating these same individuals (Equations (3)–(5), (7) and this study's specific equation). Predictive BIA equations should be used with caution in groups with wide variation in FFM [36]. In this sense, despite the results that the specific BIA equation did not show significant bias with DXA, they showed a significant trend in observed differences, which in practice means that these differences are dependent on the amount of FFM of the individuals.

Various factors can affect the results of BIA: no standardization of body position, previous exercise, and food intake [36,38]; in this study all of these factors were controlled. Another source of error can be the reference method used in the development of the BIA equations [36]. The recommendation is that the validation BIA equations are performed against reference using methods incorporating the model 4C [40,41], densitometry (hydrostatic weighing and plethysmography), DXA, and isotope dilution of body [40]. Each of these reference methods is not without error and have their limitations [41]. In the present study, the majority of the tested BIA equations used densitometry by hydrostatic weighing (Equation (1) to (6)); only Equation (7) used DXA and Equation (8) used the 4C model. The variation may be related to greater or lesser validity of the reference method. The BIA equations have been developed for a specific population and that may or not be comparable to other reference methods [36].

Several studies have demonstrated the potential of DXA for assessing total and regional body composition due to the relative speed of scanning, low radiation exposure, and good accuracy and reproducibility of the measurements [42,43]. However, although the DXA is considered as a reference method for the estimation of bone mass [44], it may have limitations in the determination of FFM and FM [45]; studies that compared the ratings for multi-compartmental methods observed that both the FM and the %FM were overestimated in the assessment with DXA [46].

As well as this study, several other studies, especially in recent decades, have used DXA as the reference method to develop new equations of BIA in healthy children and adolescents [47], and obese [39] subjects of different ethnic groups [31,32,37] and, some with diseases [31]. The 4C model would be the reference method of choice, but due to its complexity [12] it has rarely been applied to develop equations based on the BIA [20]. Methods based on the division of the body in two compartments (hydrostatic weighing and isotope dilution) do not consider the changes in the hydration of the FFM, influenced by gender, age, and maturity [16,17,24]. In this context, the DXA provides estimation of body composition relatively independently of body hydration [40].

A limiting factor of this study is the miscegenation in Brazil, which is a very heterogeneous country as a result of more than five centuries of miscegenation of people from different ethnic groups coming from various continents (Europe, Africa, and Asia) in addition to near 2.5 million American Indians who already lived in the country. With this, from the very beginning of the 1990s, the country has officially adopted the proposal that these data must be collected based on self-declaration, *i.e.*, each individual choose between five categories of color skin—white, black, “mulato”, yellow, and indigenous—what he or she feels appropriate [48]; but as this classification is different from the ones used in other countries, it is very difficult to establish comparisons relating the influence of ethnicity on our results. This also explains, in part, the need for specific regression models to the characteristics of the population evaluated, due to the differences in body proportions related to age, gender, and ethnicity [36]. Another limitation of this study is that the subjects were studied on a

single occasion; it would be interesting the assessment at two time-points, to see if these results have the same behavior on changes in FFM over time.

## 5. Conclusions

BIA it is a non-invasive, portable, and relatively inexpensive method, and can be used in individuals with different characteristics, provided that specific equations are validated and appropriate with respect to age, sex, and ethnicity. The eight BIA prediction equations, already published in the literature, were not valid to this Brazilian Army cadets sample. Due to the lack of specific BIA equations in the literature for this population, we suggested new longitudinal studies assessing the validity of the BIA to verify the changes in the quantity of FFM. Although the specific equation developed in this study did not show significant differences with the reference method, wide limits of agreement and bias, dependently on the quantity of FFM, were observed, and it should be used with caution, especially if it is used on samples with different characteristics of the subjects in this study.

**Acknowledgments:** The authors are grateful to the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel—CAPES (Process No. 23001.000422/98-30) (RDL and JHB); and the São Paulo Research Foundation—FAPESP (Process No. 2011/23460-1) (EMG) for the financial support. We also thank the officers and the cadets of the “Preparatory School Cadets Army” (EsPCex) of Campinas-SP for their authorization and collaboration in this study.

**Author Contributions:** R.D.L., E.M.G., G.G.J. conceived and designed the experiments; R.D.L., E.M.G., J.H.B., M.A.P., V.X.C. performed the experiments; R.D.L., E.M.G., G.G.J. analyzed the data; and R.D.L., E.M.G., J.H.B. wrote the paper.

**Conflicts of Interest:** The authors declare there are no conflicts of interest.

## References

1. Furth, S.L. Growth and nutrition in children with chronic kidney disease. *Adv. Chronic Kidney Dis.* **2005**, *12*, 366–371. [CrossRef] [PubMed]
2. Matias, C.N.; Santos, D.A.; Júdice, P.B.; Magalhães, J.P.; Minderico, C.S.; Fields, D.A.; Lukaski, H.C.; Sardinha, L.B.; Silva, A.M. Estimation of total body water and extracellular water with bioimpedance in athletes: A need for athlete-specific prediction models. *Clin. Nutr. Edinb. Scotl.* **2015**. [CrossRef] [PubMed]
3. Siervogel, R.M.; Wisemandle, W.; Maynard, L.M.; Guo, S.S.; Roche, A.F.; Chumlea, W.C.; Towne, B. Serial changes in body composition throughout adulthood and their relationships to changes in lipid and lipoprotein levels. The Fels Longitudinal Study. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* **1998**, *18*, 1759–1764. [CrossRef] [PubMed]
4. Seidell, J.C.; Hautvast, J.G.; Deurenberg, P. Overweight: Fat distribution and health risks. Epidemiological observations. A review. *Infus. Basel Switz.* **1989**, *16*, 276–281. [CrossRef]
5. Roubenoff, R. Sarcopenia and its implications for the elderly. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2000**, *54*, S40–S47. [CrossRef] [PubMed]
6. Moon, J.R. Body composition in athletes and sports nutrition: An examination of the bioimpedance analysis technique. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2013**, *67*, S54–S59. [CrossRef] [PubMed]
7. Ackland, T.R.; Lohman, T.G.; Sundgot-Borgen, J.; Maughan, R.J.; Meyer, N.L.; Stewart, A.D.; Müller, W. Current status of body composition assessment in sport: Review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I.O.C. Medical Commission. *Sports Med. Auckl. N. Z.* **2012**, *42*, 227–249. [CrossRef] [PubMed]
8. O'Connor, J.S.; Bahrke, M.S.; Tetu, R.G. 1988 active Army physical fitness survey. *Mil. Med.* **1990**, *155*, 579–585.
9. TFM/iManual de Campanha: Treinamento Físico Militar—(C 20 20). Available online: <http://pt.slideshare.net/DanielFXA/manual-de-campanha-treinamento-fsico-militar-c-2020> (accessed on 22 February 2016).
10. Mattila, V.M.; Tallroth, K.; Marttinen, M.; Pihlajamäki, H. Physical fitness and performance. Body composition by DEXA and its association with physical fitness in 140 conscripts. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2007**, *39*, 2242–2247. [CrossRef] [PubMed]


11. Friedl, K.E. Body composition and military performance—Many things to many people. *J. Strength Cond. Res. Natl. Strength Cond. Assoc.* **2012**, *26*, S87–S100. [CrossRef] [PubMed]
12. Silva, A.M.; Minderico, C.S.; Teixeira, P.J.; Pietrobelli, A.; Sardinha, L.B. Body fat measurement in adolescent athletes: Multicompartment molecular model comparison. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2006**, *60*, 955–964. [CrossRef] [PubMed]
13. Lukaski, H.C.; Bolonchuk, W.W. Theory and validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. In *In Vivo Body Composition Studies*; Institute of Physical Sciences in Medicine: London, UK, 1987; pp. 410–414.
14. Chumlea, W.C.; Baumgartner, R.N.; Roche, A.F. Specific resistivity used to estimate fat-free mass from segmental body measures of bioelectric impedance. *Am. J. Clin. Nutr.* **1988**, *48*, 7–15. [PubMed]
15. Segal, K.R.; van Loan, M.; Fitzgerald, P.I.; Hodgdon, J.A.; van Itallie, T.B. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: A four-site cross-validation study. *Am. J. Clin. Nutr.* **1988**, *47*, 7–14. [PubMed]
16. Deurenberg, P.; Kusters, C.S.; Smit, H.E. Assessment of body composition by bioelectrical impedance in children and young adults is strongly age-dependent. *Eur. J. Clin. Nutr.* **1990**, *44*, 261–268. [PubMed]
17. Deurenberg, P.; van der Kooy, K.; Leenen, R.; Weststrate, J.A.; Seidell, J.C. Sex and age specific prediction formulas for estimating body composition from bioelectrical impedance: A cross-validation study. *Int. J. Obes.* **1991**, *15*, 17–25. [PubMed]
18. Lohman, T.G. Prediction equations and skinfolds, bioelectric impedance, and body mass index. In *Advances in Body Composition Assessment*; Human Kinetics: Champaign, IL, USA, 1992; pp. 37–56.
19. Kotler, D.P.; Burastero, S.; Wang, J.; Pierson, R.N. Prediction of body cell mass, fat-free mass, and total body water with bioelectrical impedance analysis: Effects of race, sex, and disease. *Am. J. Clin. Nutr.* **1996**, *64*, 489S–497S. [PubMed]
20. Sun, S.S.; Chumlea, W.C.; Heymsfield, S.B.; Lukaski, H.C.; Schoeller, D.; Friedl, K.; Kuczmarski, R.J.; Flegal, K.M.; Johnson, C.L.; Hubbard, V.S. Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *Am. J. Clin. Nutr.* **2003**, *77*, 331–340. [PubMed]
21. Mullie, P.; Vansant, G.; Hulens, M.; Clarys, P.; Degraeve, E. Evaluation of body fat estimated from body mass index and impedance in Belgian male military candidates: Comparing two methods for estimating body composition. *Mil. Med.* **2008**, *173*, 266–270. [CrossRef] [PubMed]
22. Aandstad, A.; Holtberget, K.; Hageberg, R.; Holme, I.; Anderssen, S.A. Validity and reliability of bioelectrical impedance analysis and skinfold thickness in predicting body fat in military personnel. *Mil. Med.* **2014**, *179*, 208–217. [CrossRef] [PubMed]
23. Böhm, A.; Heitmann, B.L. The use of bioelectrical impedance analysis for body composition in epidemiological studies. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2013**, *67*, S79–S85. [CrossRef] [PubMed]
24. Kyle, U.G.; Bosaeus, I.; de Lorenzo, A.D.; Deurenberg, P.; Elia, M.; Gómez, J.M.; Heitmann, B.L.; Kent-Smith, L.; Melchior, J.-C.; Pirlich, M.; et al. Bioelectrical impedance analysis—Part I: Review of principles and methods. *Clin. Nutr. Edinb. Scotl.* **2004**, *23*, 1226–1243. [CrossRef] [PubMed]
25. Xu, L.; Cheng, X.; Wang, J.; Cao, Q.; Sato, T.; Wang, M.; Zhao, X.; Liang, W. Comparisons of body-composition prediction accuracy: A study of 2 bioelectric impedance consumer devices in healthy Chinese persons using DXA and MRI as criteria methods. *J. Clin. Densitom.* **2011**, *14*, 458–464. [CrossRef] [PubMed]
26. WMA Declaration of Helsinki—Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. Available online: <http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/> (accessed on 13 January 2015).
27. Lohman, T.G.; Roche, A.F. *Anthropometric Standardization Reference Manual*; Human Kinetics: Champaign, IL, USA, 1988.
28. Sun, S.S.; Chumlea, W.C. Statistical Method. In *Human Body Composition*; Heymsfield, S.B., Wang, Z., Going, S.B., Lohman, T.G., Eds.; Human Kinetics: Champaign, IL, USA, 2005; pp. 151–160.
29. Lin, L.I. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* **1989**, *45*, 255–268. [CrossRef] [PubMed]
30. Bland, J.M.; Altman, D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet Lond. Engl.* **1986**, *1*, 307–310. [CrossRef]



31. Horlick, M.; Arpad, S.M.; Bethel, J.; Wang, J.; Moye, J.; Cuff, P.; Pierson, R.N.; Kotler, D. Bioelectrical impedance analysis models for prediction of total body water and fat-free mass in healthy and HIV-infected children and adolescents. *Am. J. Clin. Nutr.* **2002**, *76*, 991–999. [PubMed]
32. Loftin, M.; Nichols, J.; Going, S.; Sothorn, M.; Schmitz, K.H.; Ring, K.; Tuuri, G.; Stevens, J. Comparison of the validity of anthropometric and bioelectric impedance equations to assess body composition in adolescent girls. *Int. J. Body Compos. Res.* **2007**, *5*, 1–8. [PubMed]
33. Deurenberg, P.; van der Kooij, K.; Evers, P.; Hulshof, T. Assessment of body composition by bioelectrical impedance in a population aged greater than 60 years. *Am. J. Clin. Nutr.* **1990**, *51*, 3–6. [PubMed]
34. Wang, Z.; Deurenberg, P.; Wang, W.; Pietrobelli, A.; Baumgartner, R.N.; Heymsfield, S.B. Hydration of fat-free body mass: Review and critique of a classic body-composition constant. *Am. J. Clin. Nutr.* **1999**, *69*, 833–841. [PubMed]
35. Hewitt, M.J.; Going, S.B.; Williams, D.P.; Lohman, T.G. Hydration of the fat-free body mass in children and adults: Implications for body composition assessment. *Am. J. Physiol.* **1993**, *265*, E88–E95. [PubMed]
36. Kyle, U.G.; Bosaeus, I.; de Lorenzo, A.D.; Deurenberg, P.; Elia, M.; Manuel Gómez, J.; Lilienthal Heitmann, B.; Kent-Smith, L.; Melchior, J.-C.; Pirlich, M.; *et al.* Bioelectrical impedance analysis—Part II: Utilization in clinical practice. *Clin. Nutr. Edinb. Scotl.* **2004**, *23*, 1430–1453. [CrossRef] [PubMed]
37. Sluyter, J.D.; Schaaf, D.; Scragg, R.K.R.; Plank, L.D. Prediction of fatness by standing 8-electrode bioimpedance: A multiethnic adolescent population. *Obesity* **2010**, *18*, 183–189. [CrossRef] [PubMed]
38. Kushner, R.F.; Schoeller, D.A.; Fjeld, C.R.; Danford, L. Is the impedance index (HT2/R) significant in predicting total body water? *Am. J. Clin. Nutr.* **1992**, *56*, 835–839. [PubMed]
39. Lazzar, S.; Bedogni, G.; Agosti, F.; de Col, A.; Mornati, D.; Sartorio, A. Comparison of dual-energy X-ray absorptiometry, air displacement plethysmography and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in severely obese Caucasian children and adolescents. *Br. J. Nutr.* **2008**, *100*, 918–924. [CrossRef] [PubMed]
40. Pietrobelli, A.; Wang, Z.; Heymsfield, S.B. Techniques used in measuring human body composition. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* **1998**, *1*, 439–448. [CrossRef] [PubMed]
41. Heymsfield, S.B.; Nuñez, C.; Testolin, C.; Gallagher, D. Anthropometry and methods of body composition measurement for research and field application in the elderly. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2000**, *54*, S26–S32. [CrossRef] [PubMed]
42. Mazess, R.B.; Barden, H.S.; Bisek, J.P.; Hanson, J. Dual-energy X-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *Am. J. Clin. Nutr.* **1990**, *51*, 1106–1112. [PubMed]
43. Svendsen, O.L.; Haarbo, J.; Hassager, C.; Christiansen, C. Accuracy of measurements of body composition by dual-energy X-ray absorptiometry *in vivo*. *Am. J. Clin. Nutr.* **1993**, *57*, 605–608. [PubMed]
44. Brandão, C.M.A.; Camargos, B.M.; Zerbini, C.A.; Plapler, P.G.; Mendonça, L.M.; Albergaria, B.-H.; Pinheiro, M.M.; do Prado, M.; Eis, S.R. 2008 official positions of the Brazilian Society for Clinical Densitometry—SBDens. *Arq. Bras. Endocrinol. Metabol.* **2009**, *53*, 107–112. [CrossRef] [PubMed]
45. Roubenoff, R.; Kehayias, J.J.; Dawson-Hughes, B.; Heymsfield, S.B. Use of dual-energy X-ray absorptiometry in body-composition studies: Not yet a “gold standard”. *Am. J. Clin. Nutr.* **1993**, *58*, 589–591. [PubMed]
46. Friedl, K.E.; DeLuca, J.P.; Marchitelli, L.J.; Vogel, J.A. Reliability of body-fat estimations from a four-compartment model by using density, body water, and bone mineral measurements. *Am. J. Clin. Nutr.* **1992**, *55*, 764–770. [PubMed]
47. Nielsen, B.M.; Dencker, M.; Ward, L.; Linden, C.; Thorsson, O.; Karlsson, M.K.; Heitmann, B.L. Prediction of fat-free body mass from bioelectrical impedance among 9- to 11-year-old Swedish children. *Diabetes Obes. Metab.* **2007**, *9*, 521–539. [CrossRef] [PubMed]
48. INEP—Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Mostre sua Raça, Declare sua cor. Available online: [http://inep.gov.br/imprensa/noticias/censo/escolar/news05\\_05.htm](http://inep.gov.br/imprensa/noticias/censo/escolar/news05_05.htm) (accessed on 19 October 2014).




## 10. ANEXOS

### *Anexo 1*

 Ms. Xiaocen Zhang <xiaocen.zhang@mdpi.com>  
para mim ▾

22:54 (Há 11 horas) ☆  

 inglês ▾ > português ▾ Traduzir mensagem [Desativar para: inglês x](#)

Dear Raquel,

Thank you very much for your email.

Nutrients is an open access journal which allows free and unlimited access of the publications over the Internet without any restrictions, we don't hold copyright, since you are the author of this article, you are free to reuse the paper in your dissertation.

Thank you for your understanding.

kind regards  
Xiaocen

Xiaocen Zhang  
Managing Editor  
Nutrients (<http://www.mdpi.com/journal/nutrients>)

\* Announcement: The Impact Factor for Nutrients is 3.270  
(Journal Citation Report, 2014 Edition)

## Anexo 2



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO



## DECLARAÇÃO

As cópias de artigos de minha autoria ou de minha co-autoria, já publicados ou submetidos para publicação em revistas científicas ou anais de congressos sujeitos a arbitragem, que constam da minha Dissertação/Tese de Mestrado/Doutorado, intitulada "VALIDADE DA ANÁLISE DE IMPEDÂNCIA BIOELÉTRICA PARA A ESTIMATIVA DAS ALTERAÇÕES NA MASSA ISENTA DE GORDURA EM CADETES DO EXÉRCITO BRASILEIRO", não infringem os dispositivos da Lei nº9.610/98, nem o direito autoral de qualquer editora.

Campinas, 09/08/2016

Autor (a) Raquel David Langer

RG nº. 29.809.311-x

Orientador (a) Ezequiel Moreira Gonçalves

RG nº. 6.172.218-1