



UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA



**Validação da bioimpedância elétrica por multifrequência na
determinação da massa gorda, massa isenta de gordura e osso e
conteúdo mineral ósseo em atletas.**

Dissertação elaborada com vista à obtenção do Grau de Mestre em
Exercício e Saúde

Orientador (a): Professora Doutora Analiza Mónica Lopes de Almeida Silva

Júri:

Presidente

Professora Doutora Analiza Mónica Lopes Almeida Silva

Vogais

Professor Doutor Ricardo Silvestre

Professor Doutor Paulo Manuel Espadinha Pinheiro da Rocha

Mariana Mouad

2013



UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA



**Validação da bioimpedância elétrica por multifrequência na
determinação da massa gorda, massa isenta de gordura e osso e
conteúdo mineral ósseo em atletas.**

Dissertação elaborada com vista à obtenção do Grau de Mestre em
Exercício e Saúde

Orientador (a): Professora Doutora Analiza Mónica Lopes de Almeida Silva

Júri:

Presidente

Professora Doutora Analiza Mónica Lopes Almeida Silva

Vogais

Professor Doutor Ricardo Silvestre

Professor Doutor Paulo Manuel Espadinha Pinheiro da Rocha

**Mariana Mouad
2013**

“Quanto mais aumenta o nosso
conhecimento, mais evidente fica a nossa
ignorância”.

John F. Kennedy

Dedicatória

Dedico esta dissertação aos meus pais, Didi e Luís, são meu porto seguro, minha alegria e minha motivação para que o trabalho fosse concluído.

Agradecimentos

À Professora Doutora Analiza Mónica Silva, orientadora da dissertação, uma imensa gratidão pela compreensão e confiança em me orientar, mesmo numa situação atípica. Obrigada pela paciência, pelos esclarecimentos, pela disposição, sem a partilha da professora com certeza a concretização deste trabalho seria impossível.

À Catarina Matias, pelos muitos conhecimentos que partilhou comigo, pela disponibilidade infinita, uma imensa gratidão.

À minha família, meus pais, Didi e Luís e meus irmãos, Ana e Daniel, por terem me dado a oportunidade de realizar este sonho. Obrigada por sempre apoiar e compartilhar todos meus momentos mesmo distantes.

Às minhas amigas do mestrado, e aos amigos que fiz em Portugal, por terem passados todos os bons e maus momentos comigo, por terem convivido diariamente e tornado tudo mais fácil; às amigas do Brasil, que com muita alegria e cumplicidade, presentes ou distantes, sempre estiveram ao meu lado à incentivar, em especial, Carolina Fontes, Carol Pascoalato, Maria Gabriela, Laísa Puzzi, Simone Gomes, Marcela Carvalho e Monique Brito.

Aos professores da Faculdade de Motricidade Humana pelo conhecimento transmitido.

Índice

Índice de tabelas.....	I
Índice de figuras.....	I
Lista de abreviaturas.....	II
Resumo.....	III
Abstract.....	IV
1. Introdução	1
2. Revisão da Literatura	5
2.1 Importância de avaliar a composição corporal em atletas	5
2.2 Principais metodologias de avaliação da composição corporal ao nível molecular	8
2.3 Densitometria Radiológica de Dupla Energia (DXA)	11
2.4 Bioimpedância Elétrica (BIA)	15
2.5 Diferenciação da Bioimpedância Elétrica por unifrequência e multifrequência.....	18
2.6 Validação da Bioimpedância Elétrica em atletas	20
3 Pertinência do estudo.....	22
4 Objectivo.....	23
5 Materiais e métodos	24
5.1 Sujeitos.....	24
5.2 Avaliação da composição corporal	24
5.2.1 Densitometria Radiológica de Dupla Energia (DXA).....	24
5.2.2 Bioimpedância Elétrica de multifrequencia (BIA).....	25
5.3 Análise Estatística.....	26
6 Resultados.....	27
7 Discussão.....	31
8 Conclusão.....	37
Referências bibliográficas.....	38

Índice de tabelas

Tabela 1. Principais diferenças entre os modelos de BIA.....	20
Tabela 2. Características e composição corporal dos participantes.....	27
Tabela 3. Regressão entre os componentes corporais pela Tanita e o método de referência.....	28

Índice de figuras

Figura 1. Modelo de nível molecular da DXA	13
Figura 2. Análise de regressão para a massa gorda (kg), massa gorda (%), massa isenta de gordura e osso (MIGO) e conteúdo mineral ósseo (CMO) através da estimativa obtida pela Tanita e o método de referência (DXA). O r^2 e o EPE representam o coeficiente de determinação e o erro padrão de estimação, respectivamente.....	29
Figura 3. Análise de Bland-Altman que representa a concordância entre os métodos para a avaliação da massa gorda (kg), massa gorda (%), massa isenta de gordura e osso (MIGO) e conteúdo mineral ósseo (CMO). A linha média sólida representa a diferença média entre os resultados da Tanita e do método de referência (DXA). A linha superior e inferior tracejada representa ± 2 desvio padrão dos limites médios, ou seja 95% de concordância ($\pm 1,96$ DP). A linha de tendência representa a associação entre as diferenças dos métodos e as médias de ambos os métodos, tal como ilustrado pelo coeficiente de correlação (r).....	30

Lista de abreviaturas

ACT - Água Total Corporal

AEC - Água Extracelular

AIC - Água Intracelular

BIA - Análise de Impedância Bioelétrica

BIS – Bioimpedância por Espectroscopia

C - Compartimento

Cb - Fator de Correção

CCC - Coeficiente de Correlação de Concordância

CMO – Conteúdo Mineral Ósseo

Cp - Coeficiente de Correlação de Pearson

CV - Coeficiente de Variação

DMO – Densidade Mineral Óssea

DP - Desvio Padrão

DXA – Absorção Radiológica de Dupla Energia

EPE - Erro Padrão de Estimção

IMC - Índice de Massa Corporal

MC – Massa Corporal

MF-BIA - Bioimpedância de Unifreqüência

MG - Massa Gorda

MIG - Massa Isenta de Gordura

MIGO – Massa Isenta de Gordura e Osso

NHANES – National Health and Nutrition Examination Survey

PDA- Pletismografia por deslocamento de ar

R - Resistência

r² - Coeficiente de Determinação

REF - Metodo de referênciã (DXA)

SF-BIA - Bioimpedância de Uni-freqüência

Xc - Reactância

Z – Impedância

Resumo

É reconhecida a importância de avaliar a composição corporal na população atlética. Para o efeito é preciso utilizar técnicas válidas na determinação dos principais componentes moleculares. A Densitometria Radiológica de Dupla Energia (DXA) é um método preciso e válido para avaliação de composição corporal. No entanto, a DXA é uma técnica ainda pouco acessível em contextos não laboratoriais. Desta forma, é importante utilizar técnicas mais simples e práticas como a bioimpedância eléctrica (BIA). No entanto poucos estudos validaram a BIA especialmente de multifrequência na avaliação da composição corporal em atletas. Assim, o objectivo desta investigação é testar a validade da BIA de multifrequência (Tanita, modelo MC-180) na determinação do conteúdo mineral ósseo (CMO), massa gorda (MG) e massa isenta de gordura e osso (MIGO) em atletas. Um total de 79 atletas (feminino/masculino) foram avaliados pela BIA e pela DXA. Comparação de médias, coeficiente de correlação de concordância, regressão múltipla, e o método Bland-Altman foram realizados. A Tanita apresentou um poder explicativo de 76 %, 72%, 95% e 73% da variabilidade total observada a partir do método de referência para a MG (kg), MG (%), MIGO e CMO, respetivamente. O coeficiente de correlação de concordância para a MIGO apresentou uma força de concordância substancial de 0.927. Observaram-se limites de concordância relativamente elevados na estimativa dos vários componentes corporais. Em conclusão, a Tanita MC-180 é uma alternativa válida especialmente na estimação da massa isenta de gordura e de osso, num grupo de atletas. Contudo, devido aos limites de concordância obtidos na determinação das vários componentes este equipamento apresenta uma validade limitada na estimação individual da composição corporal.

Palavras-chave: atleta, BIA de multifrequência, DXA, massa gorda, conteúdo mineral ósseo, massa isenta de gordura e de osso.

Abstract

It is recognized the importance of assessing body composition in athletic population. Therefore, is necessary to use valid techniques for the determination of the main molecular components. Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) is a precise and valid method for assessing body composition. However, DXA is still not available at the clinical and field settings. Thus, it is important to use simple techniques such as electrical bioimpedance analysis (BIA) but few studies validated this technique specifically multifrequency BIA in body composition assessment in athletes. Therefore, the aim of this research is to test the validity of multifrequency BIA (Tanita, Model MC-180) in the determination of bone mineral content (BMC), lean soft tissue (LST) and fat mass (FM) in athletes. A total of 79 elite athletes (female/ male) were assessed by DXA and BIA. Comparison of means, concordance coefficient correlation, multiple regression and Bland–Altman analysis were performed. Tanita explained 76%, 72%, 95% and 73% of the total variability observed from the reference method for FM (kg), FM (%), LST and BMC, respectively. The concordance coefficient correlation for MIGO presented a substantial strength of agreement of 0,927. However, relatively longer limits of agreement were found between BIA and DXA for the several body components. These findings reveal that the Tanita MC-180 is a valid alternative, particularly in the estimation of LST, in a group of athletes. However, due to the limits of agreement obtained in the determination of the body components this equipment presents a more limited validity in the estimation of individual body composition.

Keywords: athletes, multifrequency BIA, DXA, fat mass, bone mineral content, lean soft tissue.

1. Introdução

O estudo da composição corporal debruça-se sobre a quantificação dos principais componentes estruturais do corpo humano, que compõem a massa corporal total. Por meio de métodos diretos e/ou indiretos é possível quantificar os principais componentes do corpo, obtendo-se importantes informações sobre tamanho, forma e constituição, características influenciadas por fatores genéticos e ambientais (Ellis, 2001).

A avaliação da composição corporal tem recebido importância cada vez maior devido ao papel dos componentes corporais na saúde humana (Cercato e col., 2004). O excesso de massa gorda corporal e a sua distribuição centralizada destacam-se pela influência no aparecimento das doenças crónicas não-transmissíveis, principalmente as doenças cardiovasculares (Kuk e col., 2006; Després & Lemieux, 2006).

A avaliação da composição corporal torna-se determinante para atletas de qualquer modalidade, já que para o desenvolvimento de uma avaliação mais criteriosa sobre os efeitos do treino no corpo humano existe a necessidade de fracionar nos seus diferentes componentes (Petroski, 2007). Além disso, pode prevenir o aparecimento de lesões, identificar futuros talentos, melhorar o controlo e a prescrição dos programas de treino (Wilmore & Costill, 2010).

A quantidade de massa isenta de gordura e massa gorda de um atleta podem ser um factor preditivo do desempenho (Wilmore & Costill, 2010). A avaliação do mineral ósseo é importante para compreender se existem problemas de desenvolvimento ou se o atleta corre o risco de uma possível fratura, principalmente atletas mulheres (Creighton e col., 2001; Quintas e col., 2003).

Em 1992, o conceito de tríade da mulher atleta foi reconhecido. A tríade da mulher atleta é uma inter-relação de disfunção menstrual, baixa disponibilidade de

energia (com ou sem um transtorno alimentar), e diminuição da densidade mineral óssea (DMO), e é relativamente comum entre as mulheres jovens de desportos de rendimento (Nattiv e col., 2007; Nazem & Ackerman, 2012). A perda de peso em atletas de elite é geralmente motivada para otimizar o desempenho (Ackland e col., 2012). Investigações têm sido realizadas para compreender os efeitos negativos sobre o metabolismo ósseo e a massa óssea em desportos onde déficits de energia possam ser extremos, e, conseqüentemente a desmineralização óssea pode surgir (Ackland e col., 2012; Nattiv e col., 2007).

A disponibilidade de métodos que estimam a composição corporal é fundamental para a avaliação física de atletas. É importante conhecer a limitação de cada um e a sua validade para que as suas estimativas sejam interpretadas correctamente. Estes métodos para a avaliação da composição corporal podem variar segundo os seus princípios físicos, custo, validade, facilidade de utilização e de transporte do equipamento. Um dos métodos mais sofisticados e considerados mais precisos, como a Densitometria Radiológica de Dupla Energia (DXA), não estão ao alcance da maioria dos locais de avaliação (clínicas, clubes desportivos) (Heyward, 2001).

A DXA determina de forma precisa e válida, a massa gorda e a massa isenta de gordura e em particular o conteúdo mineral ósseo regional e total (Lohman e col., 2009). Este método é uma ferramenta fundamental para a avaliação e controlo do treino desportivo permitindo verificar se existem perdas ou ganhos musculares e ósseos, assim como a adequação das necessidades energéticas ao longo da época (Khan e col., 2001). Desta forma, tratando-se de um método que não está disponível na avaliação em meio não laboratorial é importante identificar técnicas alternativas, para avaliar a massa gorda, massa isenta de gordura e osso e conteúdo mineral ósseo de forma menos

dispendiosa, rápida e válida.

Dada a necessidade da avaliação da composição corporal através de uma técnica segura, não invasiva, rápida e ao mesmo tempo viável e válida, a bioimpedância elétrica (BIA) reúne muitas dessas condições (Andreoli e col., 2002; Schoeller, 2000). Porém, a este método tem sofrido críticas, pois a sua validade é altamente dependente das condições de avaliação (Alvarez e col., 2007). Há vários problemas com o uso da BIA em atletas e várias questões que requerem mais investigação. Em geral, são duas as dificuldades relacionadas com a utilização da BIA: fatores fisiológicos e limitação das equações. Algumas das considerações fisiológicas no uso da bioimpedância em atletas incluem necessidades de controlo da hidratação, temperatura da pele, última sessão de treino físico, fase pré-menstrual (Deurenberg e col., 1988).

Além disso, muitas investigações têm comparado as estimativas de composição corporal da BIA com as dos métodos de referência, tais como a DXA (Jebb e col., 2007; Sun e col., 2003) e os resultados obtidos revelam-se, frequentemente controversos. As controvérsias entre os estudos, segundo Earthman e col. (2007), explicam-se devido à variabilidade no desenho do estudo, abordagem estatística e adoção de diferentes protocolos e frequências.

Diante disto, é importante a realização de mais investigações com vista à analisar os diferentes aparelhos comercializados, a fim de testar a sua validade, na estimativa da composição corporal.

Dada a reconhecida facilidade em utilizar a BIA, vários equipamentos têm surgido no mercado para estimar os componentes corporais com base numa frequência única, normalmente 50 kHz. No entanto, a validade destes equipamentos parece superior quando são utilizadas frequências mais elevadas e com um espectro mais alargado (Earthman e col., 2007). Mais recentemente foi conceptualizado um

equipamento que permite gerar 4 frequências de 5 a 500 kHz, produzido pela Tanita ® (Tanita MC-180), e cuja validade ainda não foi testada. Assim, e em virtude da importância para o rendimento desportivo de avaliar e monitorizar os componentes corporais em atletas (Silva e col., 2010, Silva e col., 2011), torna-se determinante conhecer a validade de um equipamento com as características atrás mencionadas.

A presente dissertação é constituída por: uma introdução geral, que inclui o objectivo geral deste trabalho bem como a organização do documento. Revisão da literatura, onde foram analisados e organizados os principais estudos relacionados com a composição corporal em atletas, e os principais aspetos metodológicos relacionados com as técnicas utilizadas neste documento, a DXA e a bioimpedância elétrica. Em seguida, são descritos os métodos que incluem a amostra, procedimentos, técnicas e análise estatística utilizados na presente investigação. Por fim, são apresentados os resultados, uma discussão geral dos tópicos deste documento seguidos por uma conclusão final onde perspectivas futuras são apresentadas.

2. Revisão da literatura

2.1 Importância de avaliar a composição corporal em atletas

A análise da composição corporal, considerada, a nível molecular, como o fracionamento do peso corporal em água, lípidos, proteína, mineral e glicogénio (Wang e col., 1992), é determinante na avaliação e prescrição de exercício e de uma adequada dieta alimentar para regular o balanço energético (Rezzi e col., 2009).

Estudos mais recentes (Silva e col., 2010, Silva e col., 2011), preocupados em fornecer informações com maior nível de validade, tendem a desconsiderar o peso corporal tratado de forma isolada ou em combinação com a estatura, como um modulador da quantidade de massa gorda, recorrendo invariavelmente às informações provenientes da composição corporal (Guedes, 2006).

Um dos primeiros estudos a demonstrar a inadequação da utilização do peso corporal total e conseqüentemente do Índice de Massa Corporal (IMC) na avaliação dos efeitos dos programas de exercício no organismo foi proposto por Behnke, Feen & Welham (1942) que, utilizando jogadores profissionais de futebol americano, observaram um peso corporal médio em torno de 24,6% acima dos padrões esperados para homens da mesma idade e estatura, o que os classificaria como obesos de acordo com o IMC. Todavia, estes atletas foram considerados indivíduos realmente magros, no sentido de possuírem um baixo conteúdo de massa gorda e por sua vez uma elevada massa isenta de gordura.

A constituição, a composição e o tamanho corporal são fundamentais para o rendimento atlético e em grande parte são predeterminados geneticamente. A informação sobre a composição corporal para atletas e treinadores é de grande interesse relativamente à regulação energética, hidratação, podendo variar em virtude de algumas

influências biológicas, como a idade, sexo e estado de saúde (Wilmore & Costill, 2010).

A composição corporal de atletas tem sido objeto de muitos trabalhos de investigação (Ackland e col., 2012; Silva e col., 2010). É desejável um nível de massa gorda relativamente baixo para otimizar o rendimento desportivo (Wilmore & Costill, 2010). Uma grande massa muscular melhora o rendimento em atividades que envolvam força e potência. Investigadores e profissionais de medicina do desporto examinaram o perfil fisiológico de atletas de elite. Geralmente, atletas e indivíduos fisicamente ativos são mais magros que indivíduos sedentários, independentemente do sexo. Mulheres atletas têm massa gorda corporal relativamente maior que homens atletas de um dado desporto e a massa gorda corporal média depende do tipo de desporto e da posição do atleta (Malina, 2007).

Além do estabelecimento de perfis fisiológicos, podem-se utilizar as informações da composição corporal para estimar o peso ideal do atleta ou da classe competitiva de peso para determinados desportos, como lutas e culturismo. Para homens, investigadores apontam para um mínimo de massa gorda corporal não inferior a 5%, porque algum tecido adiposo é necessário para as funções metabólicas e fisiológicas normais. Em contraste, pesos corporais e níveis de massa gorda mínimos para atletas femininas não foram ainda estabelecidos. Lohman (1992) sugere valores de massa gorda entre 12% e 16% para maioria das atletas femininas, dependendo do desporto. Em níveis menores de 16%, algumas mulheres tornam-se amenorreicas (menos de três menstruações por ano), o que pode levar a perda de mineral ósseo ao longo de períodos prolongados de tempo. Apesar de a atividade física estar positivamente associada ao conteúdo mineral ósseo, atletas amenorreicas tendem a ter menos conteúdo mineral ósseo do que as mulheres atletas e sedentárias eumenorreicas (dez a treze ciclos menstruais por ano) (Meyer e col., 2004; Zeni e col., 2000). Assim, o

risco de fraturas por stress e osteoporose prematura é aumentado em atletas amenorreicas.

Apesar de certos desportos fixarem um peso e uma composição corporal considerados ideais para maximizar a performance atlética, atletas, técnicos, preparadores físicos e investigadores das ciências do desporto precisam reconhecer que esses valores podem variar de atleta para atleta. Assim, é mais correto estabelecer metas individuais para atletas que estejam dentro de uma faixa de valores de massa gorda corporal do que esperar que todos os atletas de um dado desporto atinjam o mesmo nível de gordura corporal (Heyward & Stolarczyk, 2000).

O grau de alteração na composição corporal depende do tipo de exercício, bem como da frequência, intensidade e duração do treino (Heyward & Stolarczyk, 2000). Estudos indicam que indivíduos fisicamente ativos e atletas têm maior conteúdo mineral ósseo, densidade mineral óssea e tecido muscular esquelético (Carbuhn e col., 2010; Mudd e col., 2007).

O treino de força provoca alterações na composição corporal, redução de massa gorda e manutenção ou aumento de massa isenta de gordura, já que mecanismos anabólicos entram em ação para promover adaptações fisiológicas como a adaptação à carga de treino (McArdle e col., 2008; Hanson e col., 2009).

O treino aeróbio tem grandes benefícios na saúde, como a melhoria da aptidão física cardiorrespiratória. Relativamente à composição corporal, uma característica deste tipo de treino é a redução do peso corporal total, devido à diminuição da massa gorda e preservação da massa isenta de gordura (McArdle e col., 2008).

Reduzir a quantidade de massa gorda e/ou aumentar a quantidade de massa isenta de gordura constituem algum dos objetivos dos atletas e treinadores. Porém, sabe-se que a redução excessiva do peso corporal pode induzir o organismo a uma série de

complicações, nomeadamente no que se refere à regulação das necessidades energéticas totais, em exercício. Neste sentido o estudo das variáveis fisiológicas e da composição corporal são essenciais na avaliação e controlo do treino (Barbosa e col., 2010).

2.2. Principais metodologias de avaliação da composição corporal ao nível molecular

Wang e colaboradores (1992), propuseram um modelo de organização e sistematização da composição corporal, dividindo a massa corporal (MC) em cinco diferentes níveis:

Nível I (atômico) – compreende cerca de 50 elementos, sendo que mais de 98 % da massa corporal total é determinada pela combinação de oxigénio, carbono, hidrogénio, azoto, cálcio e fósforo, com os 4 elementos restantes representando menos de 2 % da massa corporal total.

Nível II (molecular) – divide os compostos químicos corporais, que compreendem mais de 100 moléculas diferentes, em cinco grupos: lípidos, água, proteínas, glicogénio e minerais.

Nível III (celular) – divide o corpo em três componentes: massa celular total, fluídos extracelulares e sólidos extracelulares.

Nível IV (tecidos e órgãos) – neste nível de análise enquadram-se os tecidos e órgãos, nomeadamente tecido adiposo, muscular, ósseo, coração, rins, cérebro, fígado.

Nível V (corpo todo) – neste nível o corpo é analisado segundo as suas características morfológicas, relacionadas com o tamanho, forma e proporções do corpo humano.

Os cinco níveis de organização do corpo fornecem uma estrutura conceptual dentro das quais as diversas investigações em composição corporal podem ser

realizadas. É evidente que existem inter-relações entre os diferentes níveis que, se constantes, podem fornecer associações quantitativas facilitando estimativas de compartimentos desconhecidos. A compreensão das inter-relações dos diferentes níveis de complexidade evita a interpretação errônea de dados determinados em níveis diferentes (Heymsfield, 1997).

Observando a complexidade exigida em cada nível é possível perceber que a avaliação do corpo como um todo é aquela que está mais próxima da realidade dos profissionais que atuam na área clínica ou em testes de campo, pois as características físicas a que se refere podem ser analisadas a partir de medidas de corpo inteiro, como a antropometria e bioimpedância elétrica.

Considerando a falta de métodos *in vivo*, a autópsia de cadáveres era o único procedimento viável para obter dados quantitativos sobre a composição corporal humana. Baseados na análise química de cadáveres humanos, foram calculados mais detalhadamente alguns valores densitométricos para massa gorda, massa isenta de gordura e principais componentes. O primeiro, o modelo clássico a dois compartimentos (2C), foi introduzido para estimar a massa gorda, dividindo a massa corporal em massa gorda com uma densidade de 0,9007 kg/L e a massa isenta de gordura com uma densidade de 1,100 kg/L. Mais tarde foi derivado um modelo a três compartimentos (3C) que controlou para a variabilidade da hidratação, adicionando a estimação da água corporal total ao modelo a 2C (Siri, 1961).

A nível molecular, a água corporal é o elemento químico mais abundante no corpo humano (Schoeller, 2005) e o principal constituinte do peso corporal, exceto em casos de extrema obesidade, situação em que pode atingir valores inferiores a 40% (Ellis & Wong, 1998; Schoeller, 2005). A água corporal é também o maior componente da massa isenta de gordura (MIG), tendo sido encontrada uma relação relativamente

constante entre os dois componentes, aproximadamente 73,2% da MIG é água (Wang e col., 1999). No entanto, é importante salientar que este valor não é constante, variando ao longo da vida de um indivíduo, em particular durante o crescimento e o envelhecimento. Nos recém-nascidos, a água corporal total (ACT) contida na MIG chega a ser superior a 80%, mas, durante o crescimento e o desenvolvimento, apesar da água corporal aumentar, devido ao aumento do tamanho do corpo, a percentagem na MIG diminui até atingir os 73,2% na idade adulta, valor comum a vários mamíferos (Wang e col., 1999).

O nível molecular pode ser descrito como qualquer uma das seguintes combinações: um modelo a 2C, MC= massa gorda + MIG; um modelo a 3C, MC= massa gorda + água + massa residual (proteína, mineral e glicogénio), MC= massa gorda + mineral + massa residual (proteína, água e glicogénio); e um modelo a 4C, MC= massa gorda + água + mineral + massa residual (proteína e glicogénio) (Wang in Heymsfield e col., 1997).

Apesar de algumas incertezas nestes modelos quanto à inclusão do componente essencial dos lípidos e, desde que os termos a nível molecular sejam coerentes entre si, será na MIG que o componente essencial deve ser incluído. Desta forma, a MIG ou até mesmo o termo amplamente usado de massa magra refere-se à soma da MIG com os lípidos essenciais (Heymsfield e col., 2005).

No entanto, os modelos multicomportamentais são dispendiosos e requerem tempo. Normalmente começa com a diluição de isótopos para a avaliação da água corporal total e da medição da MC. Em seguida, é efetuada a pesagem hidrostática ou pletismografia por deslocamento de ar (PDA) para medição do volume corporal e a densitometria radiológica de dupla energia (DXA) para estimar o mineral ósseo (Silva & Sardinha, 2008).

Desta forma, técnicas menos dispendiosas e mais práticas têm sido usadas para calcular componentes a nível molecular, tais como a morfologia de superfície, e a análise através da bioimpedância elétrica (BIA) (Silva & Sardinha, 2008).

Embora a descrição da análise por BIA seja realizada em detalhe numa seção desta revisão, de uma forma genérica, esta técnica utiliza a aplicação de uma corrente que percorre o corpo com uma baixa voltagem. O condutor é a água corporal e o analisador estima a impedância deste fluido. De acordo com Silva & Sardinha (2008), existem vários equipamentos que se baseiam nos princípios da bioimpedância elétrica classificados em duas grandes categorias: unifrequência e multifrequência, que também serão melhor referidos em uma das seções desta revisão.

Relativamente à morfologia de superfície, o interesse na avaliação antropométrica tem aumentado pela sua enorme aplicabilidade em contextos clínicos e em estudos epidemiológicos. Os instrumentos são portáteis, pouco dispendiosos e acessíveis, e os procedimentos são simples e não invasivos. Desta forma, os métodos antropométricos, tais como, pregas adiposas, comprimentos e diâmetros, e perímetros, são aplicáveis em estudos de larga escala permitindo obter dados epidemiológicos a nível nacional e internacional bem como a monitorização de alterações seculares (Silva & Sardinha, 2008).

A crescente necessidade de estimar os dois componentes a nível molecular, MG e MIG, é reconhecida por vários profissionais da área da saúde, particularmente na monitorização de dietas e programas de exercícios (Silva & Sardinha, 2008).

2.3 Densitometria Radiológica de Dupla Energia (DXA)

Originalmente designada para determinar a densidade mineral óssea, a tecnologia da DXA foi posteriormente adotada para a avaliação da composição

corporal. A DXA é considerada um dos métodos mais utilizados a nível molecular, devido a sua exposição à baixa radiação, e rapidez, o que explica os vários estudos realizados utilizando esta técnica (Toombs, e col., 2012). A DXA também tem a vantagem de ser um modelo molecular a 3 compartimentos (Peso = MG + mineral + MIGO) que permite a medição dos componentes corporais, criando condições para uma análise total ou regional (membros superiores, inferiores e tronco) (Kohrt, 1995). Esta técnica é válida quando comparada com o modelo de 4 compartimentos (Toombs, 2012).

Portanto, a DXA é uma tecnologia que tem sido considerada um método de referência e tem sido recomendada para a medição dos componentes corporais em diversos grupos etários e populações (Plank e col., 2005).

O princípio básico da DXA passa pela utilização de uma fonte de raio-x com um filtro que converte um feixe de raio-x em picos fotoelétricos de baixa energia que atravessam o corpo do indivíduo. A obtenção da composição corporal é feita através da medida de atenuação dos picos fotoelétricos no corpo. A medida da DXA é definida como a quantidade de radiação absorvida pelo corpo ou segmento desejado, calculando a diferença entre a energia emitida pela fonte de radiação e o detector de energia (Lintsi e col., 2004).

O processo pelo qual a DXA diferencia os componentes corporais é feito por meio da transposição dos fótons de energia pelos componentes ósseos e não ósseos de cada indivíduo, baseando-se na diferença da atenuação dos raios-x entre os tecidos ósseos e moles (Andreoli e col., 2009). A partir daí, é formada uma imagem dos contornos do corpo e dos tecidos. De seguida, a quantificação e localização dos diferentes componentes corporais é realizado através de um software que apresenta variações de acordo com o fabricante (Lintsi e col., 2004).

O software do sistema fornece a indicação da MG, MIGO e CMO (Andreoli, et al., 2009), ou seja, a evolução tecnológica dos equipamentos DXA, e softwares com novos algoritmos, tornaram os equipamentos capazes de compartimentalizar o corpo todo e avaliar as suas regiões em separado (Nana e col., 2012; Toombs e col., 2012). Tal como ilustrado na Figura 1

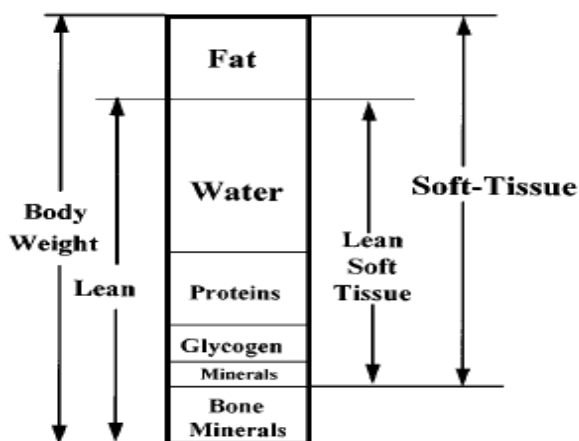


Figura1: modelo de nível molecular da DXA (Pietrobelli, Formica, Wang, & Heymsfield, 1996).

A técnica assume que o conteúdo mineral ósseo é diretamente proporcional à quantidade de energia fotónica absorvida pelo mineral ósseo (Mendonça, 2009). O conteúdo mineral ósseo medido por DXA representa cinzas. Um grama de mineral ósseo representa 0,9582 g em cinzas de osso porque componentes como a água e o dióxido de carbono são perdidos durante o aquecimento. O cálculo de massa mineral óssea (g), do conteúdo mineral ósseo (g/cm) e da densidade óssea (g/cm²) pode ser obtido através da DXA (Silva & Sardinha, 2008).

Para a maioria dos equipamentos DXA no mercado atualmente, o tamanho corporal (superior a 185 cm de altura) e o peso (acima de 120 kg) continuam a ser limitantes para realizar o exame de corpo inteiro. Porém, o mais recente avanço na tecnologia da DXA além da introdução de *scanners* que proporcionaram uma melhor

resolução e qualidade de imagem, incluiu uma plataforma mais larga e um maior limite de peso (até 210 kg) para acomodar indivíduos obesos (Toombs e col., 2012).

A avaliação do corpo inteiro requer aproximadamente 5 minutos e a exposição à radiação é de 0,05 a 1,5 mrem, dependendo do instrumento (em termos comparativos, a radiação recebida quando é efectuado um raio-x de tórax é de aproximadamente 25 a 270 mrem). A medida é feita com o indivíduo em decúbito dorsal, através de uma série de scans transversais da cabeça até os pés (Roubenoff e col., 1993).

Ellis (2001) comparou vários métodos de avaliação da composição corporal in vivo. Algumas críticas são feitas quanto à utilização da DXA, de forma que o autor argumenta que é um método bastante caro, pois necessita de equipamento apropriado, softwares desenvolvidos para cada finalidade de utilização, apoio técnico, pessoal treinado e habilitado, custos periódicos com manutenção e calibração do equipamento. Não seria prático como um método de terreno, mas já é utilizado em estudos epidemiológicos, como é o caso do “National Health and Nutrition Examination Survey - NHANES”, estudo Norte-Americano que envolveu diversos estados nos Estados Unidos, bem como diversas clínicas que dispunham do equipamento e se propuseram a participar no estudo.

A avaliação da composição corporal por DXA não foi testada em cadáveres humanos, embora estudos tenham sido realizados em cadáveres de animais, tais como suínos. Portanto, para testar se a DXA é um método válido na avaliação da composição corporal em humanos, estudos foram conduzidos tendo como referência o modelo de 4 compartimentos (Toombs, e col., 2012).

Korth (1998) verificou que uma alteração no estado de hidratação de 78% a 73%, tem um efeito relativamente pequeno sobre a avaliação da MIG, fornecida pela DXA, pois produziria um erro inferior a 0,5kg. Os autores ressaltam que a magnitude

destes erros pode não ter significância clínica ou para investigação.

De acordo com Plank (2005), a DXA tem sido considerada um método de referência para a estimativa da massa gorda corporal total, com elevada validade e precisão pelos reduzidos pressupostos que poderiam limitar a sua utilização, como no caso do modelo de 2 compartimentos (Clark, Kuta, & Sullivan, 1993; Goran e col., 1996). Vários estudos têm sido conduzidos para validar a DXA em adultos (Lohman e col., 2000; Schoeller e col., 2005; Tylavsky e col., 2003), e em atletas (Silva e col., 2006).

Recentemente, Thoombs e col. (2012) apontou que os avanços tecnológicos da DXA demonstraram uma boa precisão, grande disponibilidade e baixa dose de radiação, além de ser uma técnica não-invasiva de recolha de informações sobre os diferentes componentes corporais, destacando a DXA como uma ferramenta conveniente e útil para avaliação da composição corporal.

2.4 Bioimpedância Elétrica (BIA)

A bioimpedância surgiu na década de 1960, entretanto somente a partir de 1980 é que esta técnica foi amplamente utilizada. Considerada segura, rápida, aplicável na prática clínica (Earthman e col., 2007; Jaffrin & Morel, 2008) não expõe o paciente a radiações ionizantes (Kyle e col., 2004) e oferece um meio simples de estimar a massa isenta de gordura.

A aplicação da análise de BIA, método não invasivo, para a avaliação da composição corporal foi originalmente descrita por Hoffer e seus colaboradores (1969). Os aparelhos de BIA utilizam uma corrente que percorre o corpo com uma baixa voltagem. O condutor é a água corporal e o analisador estima a impedância deste fluido. A resistência (R) oferecida pelo corpo é a mesma observada em condutores não

biológicos, ou seja, é proporcional ao comprimento do condutor e inversamente proporcional à área de corte transversal. A corrente é bem conduzida por tecidos ricos em água e eletrólitos (por exemplo, sangue, e músculo) e é mal conduzida no tecido adiposo e no osso (Buchholz, 2004). A reactância (X_c) é causada pelo efeito da capacitância das membranas celulares, superfície dos tecidos e tecidos não iônicos que retardam parte da passagem do fluxo elétrico através destes múltiplos caminhos. Em frequências de 5 kHz ou menos, a corrente elétrica flui diferencialmente através da água extracelular e a reactância é mínima. À medida que a frequência aumenta, a corrente também passa para o espaço intracelular e as propriedades de capacitância, como as membranas celulares e as superfícies tecidulares, retardam a corrente causando a reactância. A impedância é a oposição, dependente da frequência, de um condutor ao fluxo de passagem de uma corrente, ou seja, é a falta de condutividade (Lukaski, 1996).

A impedância (Z) é determinada como a resultante entre R e X_c estimadas a uma dada frequência de acordo com a equação: $Z^2=R^2+X_c^2$. Dessa maneira a impedância é uma função dependente de duas variáveis, a resistência e reactância (Buchholz, 2004), que estão diretamente ligadas à frequência (Ellis & Wong, 1998).

Os tecidos biológicos funcionam como condutores ou isoladores da corrente elétrica que condicionam uma maior ou menor resistência (Heyward & Wagner, 2004). Os tecidos isentos de gordura são altamente condutores da corrente elétrica devido à grande quantidade de água e eletrólitos, apresentando baixa resistência à passagem da corrente elétrica (Kyle e col., 2004). Por outro lado, a massa gorda, os ossos e a pele constituem um meio de baixa condutividade apresentando elevada resistência (Baumgartner e col., 1998). Esta variação pode explicar, em parte, alguns dos erros preditivos na utilização da impedância para estimar a composição corporal.

Os aparelhos de bioimpedância tornaram-se disponíveis comercialmente,

podendo exibir automaticamente a composição corporal após a medição da impedância. Caracterizam-se por diferenças nos elétrodos (quanto ao número, o tipo e colocação), frequência da corrente elétrica e posição corporal (Demura e col., 2004).

Porém, a validade e a precisão do método de BIA são influenciadas por vários fatores como o tipo de instrumento, colocação do eletrodo, nível de hidratação, alimentação, prática prévia de exercícios, ciclo menstrual, temperatura ambiente e equação de predição (Heyward & Stolarczyk, 2000). Para que as medidas sejam válidas e precisas existe a necessidade de controlar estes fatores.

Para Chumlea (2000) alterações agudas na massa corporal como no caso da obesidade, má-nutrição e alterações no balanço hídrico do corpo constituem uma limitação na utilização da BIA, embora vários estudos tenham usado a BIA e demonstrada a sua eficiência na avaliação dos compartimentos corporais em diversas situações clínicas como desnutrição, e controle e diagnóstico de doenças como a obesidade (De Lorenzo e col., 1997; Sung e col., 2001).

Para não comprometer o resultado da análise da composição corporal por BIA, cuidados prévios devem ser levados em consideração como: não comer ou beber antes de 4 h do teste; não fazer exercício 12 h antes do teste; bexiga e intestinos vazios antes do teste; não consumir álcool 12 h antes do teste; não estar sob o efeito de diuréticos; não estar em fase pré-menstrual (Heyward & Stolarczyk, 2000).

Dessa forma profissionais de saúde e investigadores devem ser encorajados a testar técnicas alternativas como a análise de impedância bioelétrica para avaliar e acompanhar a composição corporal em atletas.

2.5. Diferenciação da Bioimpedância Elétrica por unifrequência e multifrequência

A bioimpedância pode ser aplicada para a medição dos compartimentos corporais com base na utilização de equipamentos que apresentem frequências únicas ou múltiplas (Cheuvront e col., 2003).

A análise de bioimpedância por frequência elétrica única (SF-BIA) é, de longe, a metodologia mais amplamente utilizada, e envolve a aplicação de uma frequência elétrica única normalmente de 50 kHz. Através dos dados de impedância, que são utilizadas, posteriormente em equações específicas de predição obtidas através de técnicas de regressão, é possível determinar a massa isenta de gordura ou a ACT, a partir da qual é calculada a MIG e a MG (Cheuvront e col., 2003). Entretanto estes equipamentos estão limitados na sua capacidade de distinguir a distribuição de fluidos nos compartimentos intra e extracelulares.

Existem vários tipos de equipamentos de BIA por frequência única, que variam entre o número e colocação dos eletrodos (pé-mão, pé-pé, mão-mão) (Kyle e col., 2004). Apresenta baixo custo, fáceis de manusear e mais comercializadas. Já na bioimpedância por frequência elétrica múltipla é aplicada uma corrente elétrica ao longo de um espectro de frequências que vai de 5 a 1000 kHz, e é capaz de avaliar a ACT, água intracelular (AIC), e água extracelular (AEC) (Earthman e col., 2007; Jaffrin & Morel, 2008). Só mais recentemente foram desenvolvidos equipamentos (fabricante Tanita) que aplicam correntes elétricas geradas por um conjunto específico de frequências (por exemplo, 5, 50, 200, ou 500 kHz).

Tradicionalmente, têm existido duas principais abordagens para a utilização de dados da frequência múltipla. A primeira abordagem tem sido chamada de BIA por multifrequência (MF-BIA).

A MFBIA usa dados de impedância medidos em frequências específicas que

incluem: uma frequência muito baixa (geralmente 5 kHz) e outras progressivamente mais elevadas (tipicamente a 50, 200, ou 500 kHz) (Earthman et al., 2007; Jaffrin & Morel, 2008). Na frequência baixa, as medidas de bioimpedância podem ser utilizadas para determinar a AEC. Nas frequências mais altas, a corrente pode atravessar a membrana celular e, assim, as medições da impedância podem ser utilizadas para determinar a ACT (Cheuvront e col., 2003). Os dados obtidos pela bioimpedância passam por equações específicas para estimar ACT, AEC e AIC ou incorporadas em algoritmos desenvolvidos pelo fabricante. A segunda abordagem é denominada bioimpedância por espectroscopia (BIS), e envolve a obtenção de dados de bioimpedância ao longo de um espectro de frequências, 5-1000 kHz (Nunes e col., 1997). Alguns autores têm defendido abordagens alternativas para manipular dados da bioimpedância derivada pela BIS, embora a abordagem mais prática para a determinação dos volumes dos fluidos na prática clínica, seja realizada através da utilização dos softwares que acompanham os dispositivos BIS. Vulgarmente baseada no modelo de suspensão de [Cole and Cole]. O modelo Cole que usa valores de resistências à frequência zero a infinito é recomendado para obter os valores de AEC e AIC (Cole, 1972). Os valores destes compartimentos hídricos são depois calculados a partir do modelo de [Hanai] e sua soma permite determinar a ACT (Hanai, 1968). Constantes de resistividade para AEC e AIC foram desenvolvidas para homens e mulheres separadamente, a partir de técnicas de diluição, sendo estas constantes utilizadas atualmente no software (Cheuvront e col., 2003).

A Tabela 1 apresenta resumidamente as principais diferenças entre os modelos de BIA por unifrequência e multifrequência.

Tabela 1. Principais diferenças entre os modelos de BIA.

BIA por unifrequência	BIA por multifrequência
<ul style="list-style-type: none">• Mais amplamente utilizada e validada• Frequência elétrica única de 50 kHz• Capaz de estimar ACT, MIG e MG	<ul style="list-style-type: none">• Menos comercializada e investigada• Espectro de frequência de 5 a 1000 kHz• Capaz de estimar ACT, AEC, AIC, MG, MIG, MIGO

Um dos fabricantes de equipamentos de bioimpedância é a Tanita (Taita corp, Japan). Existem mais de dezasseis modelos diferentes de Tanita, sendo a maioria de unifrequência e apenas um deles, o modelo Tanita MC-180, de MF-BIA e que para além de estimar a massa gorda e massa isenta de gordura, também permite estimar o mineral ósseo. Nenhum estudo foi conduzido até à data para testar a validade deste equipamento na determinação da composição corporal.

2.6. Validação da Bioimpedância Elétrica em atletas

A validação da bioimpedância elétrica parece estar limitada pelo fato de a resistência avaliada por estes equipamentos depender essencialmente da hidratação da MIG, pelo que é fundamental que o estado de hidratação do atleta antes de ser avaliado esteja em homeostase (Silva & Sardinha, 2008).

Segundo Moon (2013), não existem equações desenvolvidas para atletas de modalidades variadas sendo utilizadas, normalmente, as propostas por Lukaski e Bolonchuk (1987) e Lohman (1992), apresentam validade limitada na determinação da MIG e MG a nível individual.

Mais investigações são necessárias para desenvolver equações de predição na população atlética e assim analisar a sua aplicabilidade da BIA (Kao e col., 2010).

Os equipamentos BIA por multifrequência que já incluem o algoritmo para a determinação da composição corporal como aqueles comercializados pela Tanita, parecem apresentar uma validade aceitável na determinação da ACT e seus compartimentos em atletas (Noujeimi e col., 2013; Jordi e col., 2007). No entanto, a sua validade na determinação da MIG, MG, MIGO e CMO não foi ainda testada neste tipo de equipamento.

3. Pertinência do estudo

É reconhecida a importância de avaliar a composição corporal na população atlética, nomeadamente, a massa gorda e a massa isenta de gordura. Para o efeito é preciso utilizar técnicas válidas na determinação dos principais componentes moleculares.

A DXA tem sido recomendada como um método válido na determinação da composição corporal sendo classificada como um modelo do nível molecular a 3 compartimentos já que estima massa gorda, mineral ósseo e massa isenta de gordura e osso. No entanto, a DXA é uma técnica ainda pouco acessível em contextos clínicos e de terreno sendo pouco prática na determinação da composição corporal nestes contextos não laboratoriais.

Desta forma, é importante utilizar técnicas mais simples e práticas como a bioimpedância eléctrica. É reconhecido que esta técnica quando se baseia na aplicação de mais frequências apresenta maior validade na determinação dos fluidos corporais e eventualmente no subsequente cálculo da massa gorda e massa isenta de gordura.

No entanto apenas um estudo validou a bioimpedância eléctrica por multifrequência (Tanita, MC-180) na avaliação da composição corporal em atletas (Noujeimi e col., 2012), nomeadamente a ACT e seus compartimentos. Este equipamento BIA, recentemente comercializado gera 4 frequências sendo considerado um equipamento MF-BIA. Permite determinar não só a massa gorda e a massa isenta de gordura como também apresenta uma estimativa para o mineral ósseo e a massa isenta de gordura e osso.

Até à data não existem estudos de validação para estas variáveis de

equipamentos MF-BIA, nomeadamente este modelo MC-180, pelo que a sua validade na determinação da composição corporal em atletas é ainda desconhecida.

4. Objectivo

O objectivo desta investigação é testar a validade da bioimpedância eléctrica por multifrequência (Tanita, modelo MC-180) na determinação do conteúdo mineral ósseo, massa gorda e massa isenta de gordura e osso em atletas, utilizando como referência o método de densitometria radiológica de dupla energia (DXA).

5. Materiais e métodos

5.1 Sujeitos

A amostra foi constituída por 79 atletas portugueses (35 homens e 44 mulheres), de diversos desportos, tais como andebol, voleibol, basquetebol, natação, atletismo, triatlo, luta, judo, vela e tenis. A recolha de dados foi realizada durante o período competitivo da época. Todos os participantes foram esclarecidos e deram o seu consentimento assinado antes da participação no estudo. Todos os procedimentos foram aprovados pela comissão de ética da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Técnica de Lisboa e realizados em conformidade com a declaração de Helsinki para estudos com humanos (World Medical Association, 2008).

5.2 Avaliação da composição corporal

As avaliações decorreram após jejum de 8 horas, com abstinência de álcool, consumo de bebidas estimulantes e exercício físico nas 12 horas que antecederam os testes. Todas as medições foram efetuadas na mesma manhã.

A altura foi medida com um estadiómetro (SECA, Hamburgo, Alemanha) com aproximação aos 0,01cm de acordo com procedimentos standardizados (Lohman e col., 1988). O índice de massa corporal (IMC) foi calculado pela seguinte fórmula: $\text{Peso (kg)} / \text{Altura}^2 \text{ (m)}$.

5.2.1 Densitometria Radiológica de Dupla Energia (DXA)

A DXA foi utilizada na avaliação da composição corporal (Hologic Explorer W, QDR para windows versão 12.4, Waltham, MA, USA). Foi realizada uma estimacão da massa gorda (MG), da massa isenta de gordura (MIG), da massa isenta de gordura e osso (MIGO), assim como do conteúdo mineral ósseo (CMO), incluindo o peso corporal, utilizando o sistema de avaliação do corpo inteiro. A DXA mede a atenuação

dos raios-X emitidos com frequências entre os 70 e 140 kV sincronizados com a frequência de linha para cada pixel da imagem recolhida pelo scan.

Antes da avaliação, foi realizada uma calibração do aparelho de acordo com as recomendações do fabricante. O mesmo técnico posicionou o participante e realizou a avaliação e a análise dos resultados, de acordo com o protocolo estandardizado de análise para o exame de corpo inteiro. Baseado no teste-reteste de 10 indivíduos, o coeficiente de variação (CV) no laboratório é de 1,7% para a MG e de 0,8% para a MIG (Santos e col., 2012).

5.2.2 Bioimpedância Elétrica de multifrequência (BIA)

A medição da massa gorda, massa isenta de gordura e osso, conteúdo mineral ósseo foi determinada por BIA de multifrequência. O equipamento utilizado (Tanita MC-180 MA, Tóquio, Japão) tem um sistema de 8 eléctrodos (2 em cada mão e pé) e realiza medições da resistência e reactância em cada um dos segmentos (braço direito, braço esquerdo, tronco, perna direita e perna esquerda) através da utilização de 4 frequências diferentes (5, 50, 250 e 500 kHz). Face aos diferentes níveis de hidratação observados em atletas, escolheu-se no dispositivo o modo “atleta” para todos os participantes, que é definido pelo fabricante como o correspondente a uma pessoa envolvida em actividade física intensa por mais de 12h por semana.

Todas as medições foram efectuadas com o indivíduo em pé, pelo menos 10 minutos, de forma a reduzir possíveis erros com as alterações agudas na distribuição de fluido corporal. Foi solicitado aos participantes que retirassem todos os acessórios de metal, permanecessem descalços e em fato de banho e se posicionassem em cima dos eléctrodos que se encontram acoplados à plataforma do equipamento. Antes da avaliação ser efectuada verificou-se que as pernas e coxas, assim como braços e tronco não estavam em contacto.

5.3 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada através do software SPSS (SPSS Inc., versão 20.0, Chicago IL, USA). Foi efectuada a análise descritiva da média e desvio padrão das variáveis demográficas e da composição corporal. Para comparar as variáveis obtidas pela BIA com o método de referência, foi efectuada uma comparação de médias, através do teste *t de Student* para amostras emparelhadas.

De seguida, foram desenvolvidos modelos de regressão linear para estimar o desempenho do método alternativo relativamente ao método de referência. Através destes modelos foram analisados os coeficientes de correlação de *Pearson* (R), os coeficientes de determinação (R^2) e o erro padrão de estimação (EPE).

A influência do género nas relações entre as variáveis estimadas pela Tanita e pelo método de referência foi testada por regressão múltipla. No caso de se observar uma interação não significativa entre o género e as variáveis em estudo, seria utilizado a amostra total na análise da validade da Tanita.

Para além disso, foi examinado o coeficiente de correlação de concordância (CCC) utilizando o Software MedCalc (Software MedCalc, Mariakerke, Bélgica). Este parâmetro permite avaliar o nível a partir do qual os pares de observação se enquadram na linha de identidade (estabelecida a 45° a partir da linha de origem). Esta técnica avalia a precisão e a validade entre os dois métodos (Lin, 1989).

Recorreu-se ao método de Bland e Altman para analisar a concordância entre os dois métodos, sendo definidos intervalos de confiança a 95% (Bland & Altman, 1986). Adicionalmente, foi verificada a correlação entre a diferença dos métodos e a média dos métodos. O nível de significância foi estabelecido a $p < 0.05$.

6. Resultados

As características da amostra, nomeadamente a composição corporal, obtidas através dos diferentes métodos encontram-se descritas na Tabela 2. Os 79 atletas participantes apresentavam idade média de $22,1 \pm 6,5$ anos. O peso do método de referência variou entre os 42, 2 e 101,9 kg e o IMC variou entre os 17,3 e 28,5 kg/m² com uma média de 22,0 kg/m².

Tabela 2. Características e composição corporal dos participantes.

	Homens (n=35)	Mulheres (n=44)	Total (n=79)
	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP
Idade (anos)	24,3 ± 8,3	21,3 ± 5,3	22,1 ± 6,5
Altura (cm)	182 ± 10,7	168,7 ± 9,0	174,6 ± 11,8
IMC (kg/m²)	23,0 ± 2,2	21,2 ± 1,95	22,0 ± 2,28
Peso DXA (kg)	76,7 ± 11,9	60,9 ± 9,8	67,9 ± 13,3
MG DXA (kg)	12,3 ± 4,9	14,8 ± 4,6	13,6 ± 4,8
MG DXA (%)	15,9 ± 5,1	24,0 ± 5,0	20,4 ± 6,4
MIG DXA (kg)	64,4 ± 9,5	46,1 ± 6,8	54,3 ± 12,1
MIGO DXA (kg)	61,1 ± 8,9	43,7 ± 6,5	51,4 ± 11,5
CMO DXA (kg)	3,0 ± 0,7	2,3 ± 0,4	2,7 ± 0,7
Peso Tanita (kg)	77,1 ± 12,05	61,4 ± 10,0	68,2 ± 13,4
MG Tanita (kg)	9,9 ± 4,7	13,5 ± 4,6	11,9 ± 5,0*
MG Tanita (%)	12,5 ± 4,9	21,6 ± 5,3	17,6 ± 6,8*
MIG Tanita (kg)	67,2 ± 9,6	47,9 ± 6,9	56,4 ± 12,6*
MIGO Tanita (kg)	63,9 ± 9,2	45,4 ± 6,6	53,4 ± 12,0*
CMO Tanita (kg)	3,4 ± 0,4	2,5 ± 0,3	2,9 ± 0,6*

Abreviaturas: DP, desvio padrão; IMC, índice de massa corporal; MG, massa gorda; MIG, massa isenta de gordura; MIGO, massa isenta de gordura e osso; CMO, conteúdo mineral ósseo; DXA, densitometria radiológica de dupla energia (método de referência).

* Significativamente diferente do método de referência, $p < 0,05$

Foi analisado se a interação do gênero contribuía para as relações entre as variáveis estimadas pela Tanita e pelo método de referência. Uma interação não significativa foi observada para todas as variáveis, pelo que se utilizou a amostra total na análise da validade da Tanita para estimação da MG (kg), MG (%), MIG, MIGO e CMO.

Foram observadas diferenças significativas entre o método de referência (DXA) e o método alternativo (Tanita) para as variáveis: MG (kg), MG (%), MIGO e CMO. Considerando a amostra total, a Tanita subestimou a MG (kg) e MG (%) em relação à DXA, e sobrestimou as outras variáveis: MIG, MIGO, CMO.

Os resultados referentes às regressões entre o método de referência e o método alternativo para a avaliação da MG, %MG, CMO e MIGO são apresentados na Tabela 3 e ilustrados na Figura 2.

Tabela 3. Regressão entre os componentes corporais pela Tanita e o método de referência.

	r^2	EPE	Declive	Intercepção	CCC
CMO	0.738	0,36 (kg)	0.971*	-0.207	0,7709
MG (kg)	0.768	2,37 (kg)	0.855*	3,486**	0,8218
MG (%)	0.724	3,42 (%)	0.801*	6.304**	0,7773
MIGO	0.959	2,36 (kg)	0.939*	1.079	0.9275

Abreviaturas: r^2 , coeficiente de determinação; EPE, erro padrão de estimação; CCC, coeficiente de correlação de concordância; MG, massa gorda; MIGO, massa isenta de gordura e osso; CMO, conteúdo mineral ósseo.

* Declive significativamente diferente de 1, $p < 0,05$.

** Intercepção significativamente diferente de 0, $p < 0,05$.

A Tanita tem o poder explicativo de 76%, 72%, 95% e 73% sobre a variabilidade dos valores observados a partir do método de referência para a MG (kg), MG (%), MIGO e CMO, respetivamente. Os erros padrão de estimação variam entre 0,36 (CMO) a 3,42 kg (%MG), como pode ser observado na Figura 2.

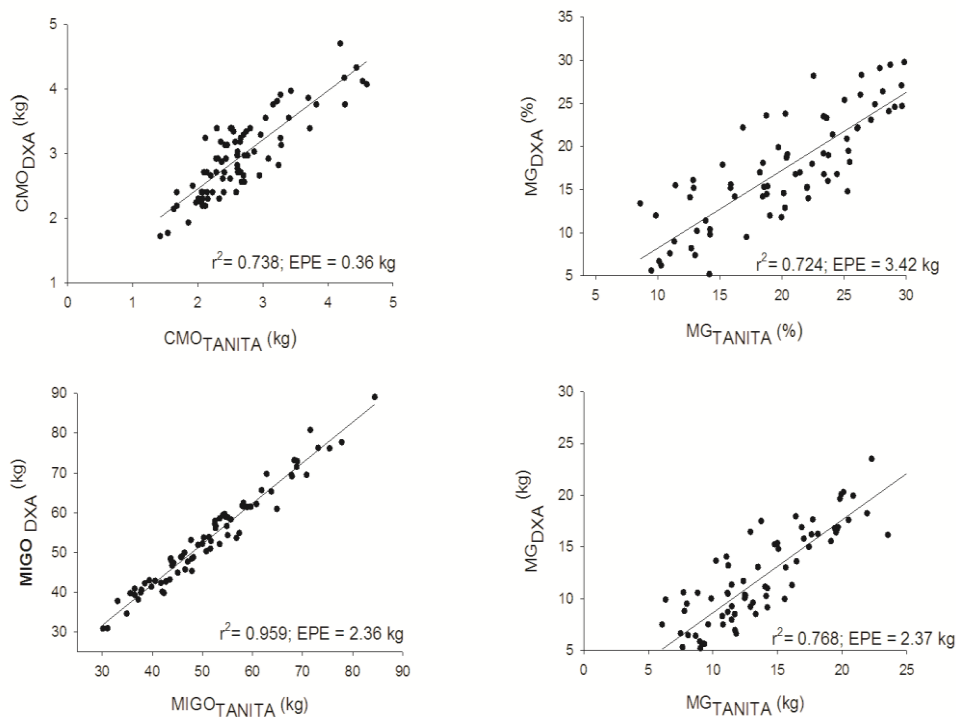


Figura 2. Análise de regressão para a massa gorda (kg), massa gorda (%), massa isenta de gordura e osso (MIGO) e conteúdo mineral ósseo (CMO) através da estimativa obtida pela Tanita e o método de referência (DXA). O r^2 e o EPE representam o coeficiente de determinação e o erro padrão de estimação, respetivamente.

Relativamente ao declive (todas as variáveis) e à intercepção (MG (kg) e MG (%)), os valores diferiram de 1 e 0, respetivamente, o que indica que a recta se desvia da linha de identidade (Tabela 3).

O coeficiente de correlação de concordância para a CMO, MG (kg e %) apresentam força de concordância fraca, segundo McBride (2005), enquanto a variável MIGO apresenta uma força de concordância substancial (Tabela 3).

A concordância entre os métodos foi avaliada pela técnica de Bland-Altman, incluindo a análise da correlação entre a média e a diferença dos métodos. Esta análise é apresentada na Figura 3.

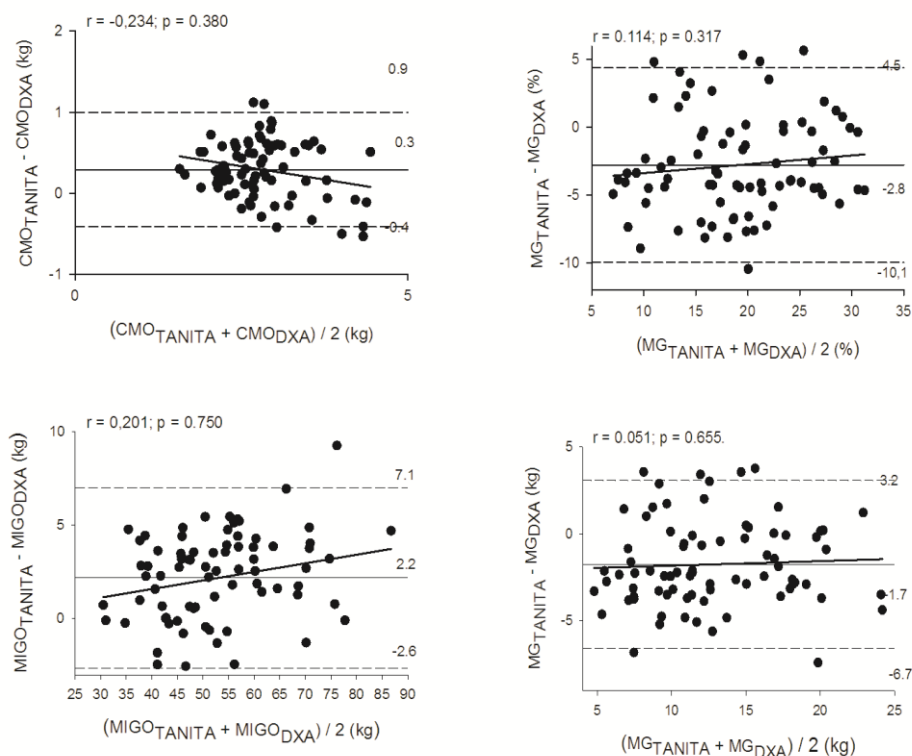


Figura 3. Análise de Bland-Altman que representa a concordância entre os métodos para a avaliação da massa gorda (kg), massa gorda (%), massa isenta de gordura e osso (MIGO) e conteúdo mineral ósseo (CMO). A linha média sólida representa a diferença média entre os resultados da Tanita e do método de referência (DXA). A linha superior e inferior tracejada representa ± 2 desvio padrão dos limites médios, ou seja 95% de concordância ($\pm 1,96$ DP). A linha de tendência representa a associação entre as diferenças dos métodos e as médias de ambos os métodos, tal como ilustrado pelo coeficiente de correlação (r).

Foi observada uma sobrestimação individual que atingiu valores de 0,9 e 7,1 kg ou subestimação de -0,4 e -2,6 kg para CMO e MIGO, respetivamente. Foi observada uma subestimação individual que atingiu valores de -10,1 % e -6,7 kg ou uma sobrestimação de 4,5 % e 3,2 kg para a MG (%) e MG (kg) respectivamente.

7. Discussão

Este estudo teve como principal objetivo avaliar a validade da Tanita MC-180 na estimativa da MG (kg), MG (%), CMO e MIGO, tendo como método de referência a DXA, numa amostra de atletas de elite. Pequenas diferenças, embora estatisticamente significativas, entre o método alternativo (Tanita) e o método de referência foram observadas. A Tanita subestimou a MG (kg) e MG (%) e sobrestimou a MIGO e CMO.

Não foram encontrados na literatura estudos que validassem especificamente a Tanita modelo MC-180 na obtenção das variáveis avaliadas neste estudo, tendo como referência a DXA. Por isso, só é possível comparar os nossos resultados a estudos que validaram diferentes modelos de bioimpedância.

Estudos de validação da BIA têm tido resultados controversos, principalmente em condições onde há uma alteração do estado de hidratação dos indivíduos (Barbosa-Silva e col., 2005; Kyle e col., 2004).

A utilização da BIA na avaliação da composição corporal, tradicionalmente fornece informações sobre ACT e seus compartimentos (AEC e AIC), MG e MIG (Kotker e col., 1996). No entanto, o modelo de bioimpedância que nos propusemos a validar, além de avaliar estas variáveis tradicionais determina ainda a MIGO e o CMO.

A MG (%), CMO, MG (kg) e MIGO obtidas pela Tanita MC-180 explicaram 72, 73, 76 e 95%, respectivamente dos valores observados pelo método de referência. É de facto de realçar a elevada correlação entre a MIGO obtida pela Tanita com a do método de referência.

Especialmente quando se trata de estudos de validação, é necessário recorrer ao método Bland-Altman (1986), usado para conhecer a concordância entre o método alternativo e o método de referência, com limite a 95% confiança para as diferenças entre o novo método e o método de referência. Quanto mais afastados forem os limites

do intervalo estabelecidos menor será o nível de concordância entre os métodos. Relativamente à análise do método de Bland-Altman deste estudo, o maior limite apontado foi o da MG (%), em que os valores variaram entre -10,1 e 4,5 %.

Na presente investigação, foram analisados os coeficientes de correlação de concordância entre os valores obtidos pelo equipamento de bioimpedância e a DXA na determinação das variáveis. O valor de CCC entre a Tanita e o método de referência foi de 0.92 para a MIGO representando uma força de concordância substancial, enquanto que para as outras variáveis a força de concordância foi menos satisfatória (<0,90) (McBride, 2005).

Alguns estudos são apresentados que compararam a BIA com outros métodos de avaliação da composição corporal. Nota-se, no entanto, que existem diferenças relativamente à presente dissertação que podem ser atribuídas a questões metodológicas, nomeadamente equipamentos e equações utilizados, populações estudadas, e ainda, aos métodos considerados de referência utilizados.

Embora o nosso estudo pretendesse validar a MG, MIGO e CMO estimada pela Tanita MC- 180 tendo como referência a DXA, o estudo de Noujeimi e colaboradores (2012) investigaram sobre a validade do mesmo modelo de Tanita (MC-180) na estimação da água corporal total (ACT) e seus compartimentos (AEC e AIC), em atletas, tendo como método de referência as técnicas de diluição. Os autores verificaram que a capacidade do método alternativo em explicar os valores obtidos pelo método de diluição foram de 81, 83 e 96%, para AEC, AIC e ACT, respectivamente e concluíram que, a Tanita MC-180 é uma alternativa válida principalmente na estimação da água corporal total, num grupo de atletas de elite.

Uma investigação realizada por Vasudev (2005) analisou a correlação entre a BIA, da Marca Omron® Model HBF-306, e o método DXA na estimativa da % da

massa gorda em atletas, observando valores de correlação de 0,88, valor próximo do obtido no presente estudo de $r = 0,85$.

Segal e col. (1985) estudaram a massa isenta de gordura de indivíduos obesos e não obesos, observando que a MIG avaliada pela BIA unifrequência (RJL Systems Inc, MI, USA) em obesos foi sobrestimada quando comparada com a DXA, considerada como o método de referência. Embora a nossa população tenha características morfológicas diferentes, observou-se sobrestimação da MIGO e do CMO.

O objectivo do estudo de Rech e colaboradores (2005) foi comparar o percentual de massa gorda e a massa isenta de gordura, obtida pelos métodos da DXA, impedância bioelétrica bipolar e tetrapolar (ambos unifrequência), em mulheres entre 51 e 75 anos de idade. Relativamente aos resultados apresentados pelos modelos da BIA, o modelo Biodinamics (BIA tetrapolar) apresentou um valor que subestimou em 3,5% a massa gorda corporal em relação a DXA, tendo o mesmo modelo apresentado um valor de EPE (3,4%), valor esse considerado limitado para a avaliação da componente de massa gorda corporal. Já o modelo de BIABP (Omron®) sobrestimou o %MG em 0,8% em relação à DXA, com um EPE de 1,8%. Os nossos resultados aproximaram-se dos obtidos pela BIA tetrapolar, observando-se uma subestimação da %MG relativamente a DXA e um EPE próximo de 3,4%.

Segundo Lohman (1992) quanto mais reduzido o EPE, maior é a validade da variável. Erros padrão de estimação inferiores a 3 % indicam que o método é aceitável e válido, EPE entre 3 e 4 % indicam uma validade limitada e acima de 4% mostram uma variabilidade elevada.

Rubiano e col. (2000) investigaram a validade da BIA unifrequência (perna-perna – TBF-300, Tanita, Japan) e da BIA (braço-braço- The Body Comp Scale [BC]) na estimação da massa gorda corporal total com os valores de adiposidade obtidos

através da DXA. Os resultados apontaram para uma validade aceitável da BIA TBF-300 dada o maior grau de associação ($r = 0.94$) e menor EPE (EPE = 3,58) em relação à DXA.

Nunes e col. (2000) compararam três equipamentos da BIA unifrequência na estimação da MIG tendo a DXA como método de referência. Os resultados apontaram para uma correlação mais elevada entre a BIA (mão-pé) e a DXA, com um $r = 0,97$, seguida pela BIA (mão-mão) com $r = 0,95$ e BIA (pé-pé) com $r = 0,92$, foram observados valores próximos dos obtidos neste estudo pela MIGO.

A DXA também foi usada como método de referência na avaliação da massa gorda corporal em crianças de peso normal e acima do peso de diferentes etnias, como método de referência, na validação da MG obtida pela bioimpedância elétrica unifrequência. Foi observada uma elevada associação entre a DXA e a BIA. Quando os grupos foram analisados separadamente, a BIA sobrestimou a % de MG em 1,8% nas raparigas, 1,8% em pessoas de etnia negra, 1,2% em caucasianos e 1,8% em sujeitos de peso normal, sem diferenças em pessoas com excesso de peso e obesidade (Elberg e col., 2004), valores distintos dos observados no nosso estudo.

Frisard e col. (2005) avaliaram a validade das medidas de composição corporal obtidas por BIA (tetrapolar e Tanita, TBF-300, Japan), comparadas com a DXA, durante um período de perda de peso, em adultos submetidos a um programa de controlo do peso. Os coeficientes de correlação entre a BIA e a DXA foram para BIA tetrapolar, $r^2 = 0,57$ e Tanita $r^2 = 0.61$.

Embora a DXA tenha sido considerada o método de referência para validar o equipamento de BIA utilizado neste estudo, este método não é o estado da arte na avaliação da MG e MIGO a nível molecular, embora o seja para avaliar o conteúdo mineral ósseo. O modelo a 4 compartimentos (4C) é o método de referência para avaliar

a MG a nível molecular já que não apresenta suposições e permite controlar para a variabilidade dos vários componentes moleculares da MIG, nomeadamente a água, proteína e mineral. No entanto, este método é muito complexo, envolve várias técnicas, é dispendioso e mesmo em contexto laboratorial é uma técnica morosa (Silva & Sardinha, 2008).

Wong e col. (2002) concluíram que as medidas de composição corporal da DXA relativamente ao modelo a 4C, nomeadamente a MG corporal, pode ser significativamente afectada pela maturação óssea, a idade, o sexo, a espessura do tecido, a escolha do instrumento, e escolha de software.

Apesar da DXA ainda apresentar algumas controvérsias, os investigadores na sua maioria (Wong e col., 2002; Lohman e col., 2000; Nana e col., 2012; Thoombs e col., 2011) concluem que devido à sua boa precisão, grande disponibilidade, e baixa dose de radiação, a DXA é uma ferramenta de diagnóstico conveniente e útil para avaliação da composição corporal. Nas duas últimas décadas assistiu-se a avanços tecnológicos que permitiram reduzir o tempo de *scan* com valores mínimos de radiação e avaliações mais precisas e válidas do CMO e da composição corporal, o que pode suportar parcialmente a sua utilização como método de referência.

Mesmo a BIA sendo indicada como um método preciso e válido, discutem-se, na literatura, possíveis causas que dificultam o estabelecimento de um consenso acerca de seu uso. De facto, os resultados obtidos em determinadas investigações revelam-se algumas vezes discrepantes. Dentre as possíveis razões, poderia ser mencionada a utilização de uma variabilidade de equações disponíveis para vários grupos de indivíduos, que foram desenvolvidas em amostras bastante heterogéneas. Além disso, podem interferir as diferenças étnicas e de composição corporal entre as populações, bem como o estado de hidratação dos indivíduos avaliados, como mencionado

anteriormente. Desta forma, pode referir-se que ainda existam incertezas quanto à validade da técnica da BIA, quando comparada com outros métodos (Barbosa-Silva e col., 2005; Rezende e col., 2007), especialmente relativamente à maioria dos equipamentos BIA por unifrequência.

Apesar dos resultados obtidos no presente estudo serem inovadores dado tratar-se de uma amostra com características únicas, atletas de alto rendimento, e dada a inexistência de investigações que testassem a validade deste equipamento na determinação das variáveis avaliadas, devem ser consideradas algumas limitações. Os resultados são apenas aplicáveis ao modelo de Tanita MC-180 e a esta amostra em particular, não podendo ser generalizáveis a outros equipamentos e modelos de BIA e a populações com outras características. Além disso, a validade da Tanita foi testada num desenho observacional transversal, sendo necessário verificar a validade deste equipamento em estudos longitudinais.

No entanto, a facilidade de aplicação deste equipamento torna este método preferível na avaliação da composição corporal em estudos de larga escala, dado o reduzido tempo de avaliação assim como dos erros inter e intra-avaliador, não sendo necessário o recurso a técnicos especializados para a sua aplicação.

8. Conclusão

O presente estudo mostrou que a Tanita MC-180 é uma alternativa válida na estimação da massa isenta de gordura e de osso, num grupo de atletas de elite, devido à aceitável concordância e ao elevado poder explicativo na predição dos valores obtidos pelo método de referência.

Relativamente à estimativa do conteúdo mineral ósseo, pela primeira vez estimada por BIA, este método apresentou uma validade aceitável para a sua utilização em estudos epidemiológicos mas não deve ser utilizada na determinação individual da massa óssea, nem para efeitos de diagnóstico.

Adicionalmente, apesar da adiposidade estimada por este método ser válida para utilização em estudos epidemiológicos, este equipamento apresenta uma validade limitada na estimação individual dos valores de MG relativos e absolutos numa população de atletas de alto rendimento.

Desta forma a utilização da Tanita MC-180 na determinação da composição corporal na população atlética não é aconselhada na avaliação e controlo do treino.

Referências Bibliográficas

Ackland, TR., e col. (2012). 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 Medicine*, 42(3), 227-49.

Alvarez, VP., Dixon, JB., Strauss, BJ., Laurie, CP., Chaston, TB., O'Brien, PE. (2007). Single frequency bioelectrical impedance is a poor method for determining fat mass in moderately obese women. *Obesity Surgery*, 17(2), 211-21.

Andreoli, A., Scalzo, G., Masala, S., Tarantino, U., & Guglielmi, G. (2009). Body composition assessment by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *La Radiologia Medica*, 114(2), 286-300.

Andreoli, A., Melchiorri, G., De Lorenzo, A., Caruso, I., Sinibaldi Salimei, P., Guerrisi, MJ. (2002). Bioelectrical impedance measures in different position and vs dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 42(2),186-9.

Barbosa, TM., Bragada, JA., Reis, VM., Marinho, DA., Carvalho, C., Silva, AJ. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: Updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport*,13(2),262-9.

Barbosa-Silva, MC., Barros, AJ., Wang, J., Heymsfield, SB., Pierson, RN. (2005). Bioelectrical impedance analysis: population reference values for phase angle by age and sex. *American Journal Clinical Nutrition*, 82(1), 49- 52.

Baumgartner, RN., Chumlea, WC., Roche, AF. (1998). Bioelectric impedance phase angle and body composition. *American Journal Clinical Nutrition*, 48, 16-23.

Behnke, AR Jr., Feen, BG., Welham, WC. (1942). The specific gravity of healthy men. *Journal of the American Medical Association*.118: 495-498.

Bland, JM., Altman, DG. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1,307-10.

Buchholz, AC., Bartok, C., Schoeller, DA. (2004). The validity of bioelectrical impedance models in clinical populations. *Nutrition in Clinical Practice*, 19,433–446.

Carbuhn, AF., e col. (2010). Sport and training influence bone and body composition in women collegiate athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(7), 1710-1717.

Cercato, C., Mancini, MC., Arguello. AMC., Passos, VQ., Villares, SMF., Halpern, A. (2004). Systemic hypertension, diabetes mellitus, and dyslipidemia in relation to body mass index: evaluation of a Brazilian population. *Revista Hosp Clinica Faculdade de Medicina*. Sao Paulo, 59(3),113-8.

Cheuvront, SN & Carter, R. (2003). Fluid balance and endurance exercise performance. *Current Sports Medicine Reports*, 2:202-8.

Chumlea, WM. E col., (2000). Bioelectrical Impedance Spectroscopy and Body Composition. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 904. 210–213.
doi: 10.1111/j.1749-6632.2000.tb06452.x

Clark, R R., Kuta, J M., & Sullivan, J.C. (1993). Prediction of percent body fat in adult males using dual energy x-ray absorptiometry, skinfolds, and hydrostatic weighing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(4), 528-535.

Cole, KS. (1972). *Membranes, ions and impulses: a chapter of classical biophysics*. Berkeley, CA: Univ of California Press.

Creighton, DL., Morgan, AL., Boardley, D., Brolinson, PG. (2001). Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *Journal of Applied Physiology*, 90:565–570.

De Lorenzo, A., Andreoli, A., Matthie, J., Withers, P. (1997). Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review. *Journal of Applied Physiology*, 82,1542–1558.

Demura, S., Sato, S., Kitabayashi, T.(2004). Percentage of Total Body fat as Estimated by Three Automatic Bioelectrical Impedance Analyzers. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*.Japan, 23, 93-99.

Després, JP & Lemieux, I. (2006). Abdominal obesity and metabolic syndrome. *Nature*. 444,881–887.

Deurenberg, P., Weststrate, JA., Paymans, I., Van der Kooy, K. (1988). Factors affecting bioelectrical impedance measurements in humans. *European Journal of Clinical Nutrition*, 42, 1017-22.

Duz, S., Kocak, M., Korkusuz, F. (2009). Evaluation of body composition using three different methods compared to dual-energy x-ray absorptiometry. *European Journal of Clinical Nutrition*, 3,181–90.

Earthman, C., Traugher, D., Dobratz, J., Howell, W. (2007). Bioimpedance Spectroscopy for Clinical Assessment of Fluid Distribution and Body Cell Mass. *Nutrition in Clinical Practice*. doi: 10.1177/0115426507022004389.

Elberg, J., e col. (2004). Comparison of methods to assess change in children's body composition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80, 64–69.

Ellis, KJ. (2001). Selected body composition methods can be used in field studies. *Journal of Nutrition*, 131,1589–1595.

Ellis, KJ & Wong, WW. (1998). Human hydrometry: comparison of multifrequency bioelectrical impedance with $2H_2O$ and bromine dilution. *Journal of Applied Physiology*, 85,1056-62.

Frisard, MI., Greenway, FL., Delany, JP. (2005). Comparison of methods to assess body composition changes during a period of weight loss. *Obesity Research*, 13(5),845-854.

Goran, MI., Driscoll, P., Johnson, R., Nagy, TR., & Hunter, G. (1996). Cross-calibration of body-composition techniques against dual-energy X-ray absorptiometry in young children. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 63 (3), 299-305.

Guedes, DP. (2006). Recursos antropométricos para análise da composição corporal. *Revista brasileira Educação Física e Esporte*, v.20, 115-19.

Hanai, T. (1968). *Electrical properties of emulsions*. In: Sherman D, editor. *Emulsions Science*. London: Academic Press, 354–477.

Hanson, ED., e col. (2009). Effects of strength training on physical function: influence of power, strength, and body composition. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9): 2627–2637. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b2297b.

Heymsfield, SB., e col. (2005). *Human Body Composition*. Champaign: Human Kinetics. 524 p.

Heymsfield, SB., Wang, Z., Baumgartner, RN. and Ross, R. (1997), Human body composition: advances in models and methods. *Annual Review Nutrition*. 17, 527-58.

Heyward, V. & Stolarczyk L. (2000). *Avaliação da Composição Corporal Aplicada*. Editora Manole.

Heyward, V. (2001). ASEP methods recommendation: body composition assessment. *Journal of Exercise Physiology*, 4(4), 1-12.

Heyward, VH. & Wagner, DR. (2004). *Applied Body Composition Assessment*. 2a ed. Human Kinetics Publisher: Champaign USA.

Hoffer, EC., Meador, CK and Simpson, DC. (1969). Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *Journal of Applied Physiology*, 27, 531–534.

Jaffrin, MY. & Morel, H. (2008). Body fluid volumes measurements by impedance: A review of bioimpedance spectroscopy (BIS) and bioimpedance analysis (BIA) methods. *Medical Engineering & Physics*, 30,1257–1269.

Jebb, SA., Siervo, M., Murgatroyd, PR, Evans, S., Frühbeck, G., Prentice, AM. (2007). Validity of the leg-to-leg bioimpedance to estimate changes in body fat during

weight loss and regain in overweight women: a comparison with multi-compartment models. *International Journal Obesity*, 31, 756-62.

Jordi, P., Bescos, R., Vallejo, L. (2007). Intrinsic validity of a multifrequency and segmental bioimpedance (bia) system to assess body composition: correlation with two other bia and anthropometric methods. *12th Annual Congress of the ECSS*, 11–14 July 2007.

Kao, MF., e col.(2010).Comparison of Different Measurement Equations for Body Composition Estimation in Male Athletes. *International Journal of Sport and Exercise Science*, 3(1), 11-16.

Khan, K., e col. (2001). *Physical activity and bone health*. Champaign: Human Kinetics, 276p.

Kotler, DP., e col. (1996). Prediction of body cell mass, and total body water with bioelectrical impedance analysis: effects of race, sex, and disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 64, 489–497.

Kohrt, WM., (1995). Body composition by DEXA: tried and true? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27, 10.

Korth, WM. (1998). Preliminary evidence that DEXA provides accurate assessment of body composition. *Journal of Applied Physiology*, 84, 372-377.

Kuk, JL., Katzmarzyk, PT., Nichaman, MZ., e col. (2006). Visceral fat is an independent predictor of all-cause mortality in men. *Obesity (Silver Spring)*.14, 336–341.

Kyle, UG., Bosaeus, I., Lorenzo, AD., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, JM.(2004). et al. Bioelectrical impedance analysis - part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition*, 23,1226-46.

LaForgia, J., Dollman, J., Dale, MJ., Withers, RT., Hill, AM. (2009).Validation of DXA body composition estimates in obese men and women. *Obesity (Silver Spring)*,17(4),821–6.

Mudd, MS., Willa Fornetti, DO., James, M., Pivarnik, PhD. (2007). Bone Mineral Density in Collegiate Female Athletes: Comparisons Among Sports, *Journal of Athletic Training*, 42(3),403–408.

Levin, J. (1987). *Estatística Aplicada a Ciências Humanas*. São Paulo: Editora Harbra.

Lin, LI. (1989).A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*. 45, 255-268.

Lintsi, M., Kaarma, H., Kull, I. (2004). Comparison of hand-to-hand bioimpedance and anthropometry equations versus dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of body fat percentage in 17-18-year-old conscripts. *Clinical Physiology Functional Imaging*, 4, 85-90.

Lohman, M., Tallroth, K., Kettunen, JA., Marttinen, MT. (2009). Reproducibility of dual energy x-ray absorptiometry total and regional body composition measurements using different scanning positions and definitions of regions. *Metabolism*,58(11),1663–8.

Lohman, TG., Harris, M., Teixeira, PJ., Weiss, L.(2000). Assessing body composition and changes in body composition: another look at dual-energy x-ray absorptiometry. *Annals of the NY Academy of Science*, 904, 45–54.

Lohman, TG. (1992). *Advances in Body Composition Assessment*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers.

Lukaski, HC. (1996). Biological indexes considered in the derivation of the bioelectrical impedance analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 64,397–404.

Lukaski, HC., & Bolonchuk, WW. (1987). *Theory and validation of the tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition*. In vivo Body Composition Studies (edited by K.J. Ellis, S. Yasamura and W.D. Morgan), 410-414.

Malina, RM. (2007). Body composition in athletes: assessment and estimated fatness. *Clinical Sports Medicine*, 26, 37–68.

McArdle, W., Katch, F., & Katch, F. (2008). *Fisiologia do Exercício: energia, nutrição e desempenho humano*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 6 ed., 2008.

McBride, GB. (2005). *A proposal fo Strength-of-Agreement Criteria for Lin.s.Concordance Correlation Coefficient*. Hamilton, National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd.

Mendonça, LMC. (2009). Composição corporal x DXA: possibilidades do método e a importância do seu desenvolvimento para medicina. *Sociedade Brasileira de Densitometria Clínica*, v. 21.

Meyer, NL., Shaw, JM., Manore, MM., e col. (2004). Bone mineral density of Olympic- level female winter sport athletes. *Med Sci Sports Exerc*,36, 1594–1601.

Moon, JR. (2013). Body composition in athletes and sports nutrition: an examination of the bioimpedance analysis technique. *European Journal of Clinical Nutrition*, 67, 54-59. doi:10.1038/ejcn.2012.165.

Nana, A., e col. (2012). Effects of Daily Activities on Dual-Energy X-ray Absorptiometry Measurements of Body Composition in Active People. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. doi: 10.1249/MSS.0b013e318228b60e.

Nattiv, A., Loucks, AB., Manore, MM., Sanborn, CF., Sundgot-Borgen, J., and Warren, MP. (2007). American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(10), 1867-1882.

Nattiv, A., Agostini, R., Drinkwater, B., and Yeager KK. (1994). The female athlete triad. The inter-relatedness of disordered eating, amenorrhea, and osteoporosis. *Clinical Sports Medicine*, 13(2), 405-18.

Nazem, TG. & Ackerman KE. (2012). The female athlete triad. *Sports Health*, 4(4), 302-11.

Noujeimi, FA. (2012). *Avaliação da Água Corporal Total e seus Compartimentos em Atletas de Elite por Espectrometria de Impedância*. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto-Portugal.

Nunez, C., e col. (1997). Bioimpedance analysis: evaluation of leg-to-leg system based on pressure contact footpad electrodes. *Medical Science in Sports & Exercise*, 29, 524-531.

Nunez, C., Tan, YX., Zingaretti, G., Punyanitya, M., Rubiano, F., Wang, ZM., Heymsfield, SB. (2000). The best predictive model for estimating fat-free mass. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 904, 333-334.

Petroski, EL. (2007). (Ed.) *Antropometria: técnicas e padronizações*. Blumenau: Nova Letra, 182p.

Pietrobelli, A., Formica, C., Wang, Z., & Heymsfield, SB. (1996). Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *American Journal of Physiology*, 271(6 Pt 1), 941-951.

Plank, LD. (2005). Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Current Opinion Clinical Nutrition Metabolic Care*, 8(3), 305-309.

Quintas, ME., Ortega, RM., Lopez-Sobaler, AM., Garrido, G., Requejo, AM. (2003). Influence of dietetic and anthropometric factors and of the type of sport practised on bone density in different groups of women. *European Journal of Clinical Nutrition*, 57,58-62.

Rezende, F., Rosado, L., Franceschini, S., Rosado, G., Ribeiro, R., Marins, JCB. (2007). Revisão crítica dos métodos disponíveis para avaliar a composição corporal em grandes estudos populacionais e clínicos. *Archivos Latinoamericanos Nutricion*, 57(4),327-34.

Rech, CR., e col. (2005). Comparação da absorptometria radiológica de dupla energia, antropometria e impedância bioelétrica na avaliação da composição corporal em mulheres. *Revista Digital. Buenos Aires*. n. 91.

Rezzi, S., Ginty, F., Beaumont, A. (2009). Body composition precision with the Lunar iDXA. *ISCD Meeting Proceedings*. Orlando,FL, USA.

Rodrigues, MN., Silva, SC., Monteiro, WD., Farinatti, PTV.(2001). Estimativa da gordura corporal através de equipamentos de bioimpedância, dobras cutâneas e pesagem hidrostática. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte* , 7 (4).

Roubenoff, R., Kehayias, J., Dawson-Hughes, B., & Heymsfield S. (1993). Use of dual-energy x-ray absorptiometry in body-composition studies: not yet a "gold standard". *The American Journal of Clinical Nutrition*, 58(5), 589-591.

Rubiano, F., Nunez, C., Heymsfield, SB. (2000). A Comparison of Body Composition Techniques. *Annals of the New York Academy of Sciences*. v. 904, p. 335-338. doi: 10.1111/j.1749-6632.2000.tb06477.x

Santos, DA., Gobbo, LA., Matias, CN., Petroski, EL., Gonçalves, EM., Cyrino, ES., Minderico, CS., Sardinha, LB., Silva, AM. (2012). Body composition in taller individuals using DXA: A validation study for athletic and non-athletic populations. *Journal Sports Science: E-Pub Ahead of print* 23 October.

Santos, DA., Silva, AM., Matias, CN., et al. (2010). Accuracy of DXA in estimating body composition changes in elite athletes using a four compartment model as the reference method. *Nutrition & Metabolism (Lond)*,7:22.

Schoeller, DA. (2000). Bioelectrical impedance analysis. What does it measure? *Annals of the NY Academy of Science*, 904:159–162.

Schoeller, DA. (2005). *Hydrometry*. In *Human Body Composition*. Heymsfield, SB, Lohman, TG, Wang, Z & Going, SB (Eds.). Champaign, IL, Human Kinetics.

Segal, KR., Gutin, B., Presta, E., Wang, J., Van Itallie, TB. (1985) Estimation of human body composition by electrical impedance methods a comparative study. *Journal of Applied Physiology*, 58(5),1565-71.

Silva, AM., Minderico, CS., Teixeira, PJ., Pietrobelli, A., & Sardinha, LB. (2006). Body fat measurement in adolescent athletes: multicompartment molecular model comparison. *European Journal of Clinical Nutrition*, 60(8), 955-964.

Silva, AM., Fields, DA., Heymsfield, SB., Sardinha, LB. (2010). Body composition and power changes in elite judo athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 31:737-41.

Silva, AM., Fields, DA., Heymsfield, SB., Sardinha, LB. (2011). Relationship between changes in total-body water and fluid distribution with maximal forearm strength in elite judo athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25,2488-95.

Silva, AM; Sardinha, LB. (2008). *Nutrição Exercício e Saúde*. Capítulo III; Adiposidade corporal: métodos de avaliação e valores de referências, p. 135-175.

Siri, WE. (1961). Body composition from fluid spaces and density. In: Brozek J, Henschel A, editors. *Techniques for measuring body composition*. Washington DC: *National Academy of Science*, 223-44.

Sun, SS., e col. (2003). Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *American Journal Clinical Nutrition*, 77:331-40.

Sung, RY., e col. (2001). Measurement of body fat using leg to leg bioimpedance. *Archive of Disease of Childhood*, 85, 263-267.

Snijder, MB., Visser, M., Dekker, JM., e col.(2002). The prediction of visceral fat by dual energy x-ray absorptiometry in the elderly: a comparison with computed

tomography and antropometry. *International Journal of Obesity related metabolism disorders*. 26, 984-993.

Toombs, RJ., Ducher, G., Shepherd, JA., De Souza, MJ. (2012). The impact of recent technological advances on the trueness and precision of DXA to assess body composition. *Obesity (Silver Spring)*, 20(1):30-39. doi:10.1038/oby.2011.211.

Tylavsky, F., Lohman, T., Blunt, BA., Schoeller, DA., Fuerst, T., Cauley, JA., Harris, TB. (2003). QDR 4500A DXA overestimates fat-free mass compared with criterion methods. *Journal Applied Physiology*, 94(3), 959-965.

Vasudev, S., Mohan, A., Mohan, D., Farooq, S., Raj, D., Mohan, V. (2005). Validation of body fat measurement by skinfolds and two bioelectric impedance methods with DEXA--the Chennai Urban Rural Epidemiology Study. *Journal of the Association of Physicians of India*, 52, 877-81.

Wang, ZM., Deurenberg, P., Wang, W., Pietrobelli, A., Baumgartner, RN. and Heymsfield, SB. (1999). Hydration of fat-free body mass: new physiological modeling approach. *American Journal of Physiology* 276(6 Pt 1), 995–1003.

Wang, ZM. in Heymsfield, S. B., Wang, Z., Baumgartner, RN. and Ross, R. (1997), Human body composition: advances in models and methods. *Annual Review Nutrition*. 17.

Wang, ZM., Pierson, RN Jr., Heymsfield, SB. (1992). The five level model: a new approach to organizing body composition research. *The American Journal of Clinican Nutrition*, v. 56, n.1, 19-28.

Wong, WW., e col. (2002). Evaluating body fat in girls and female adolescents: advantages and disadvantages of dual-energy X-ray absorptiometry. *American Journal Clinical Nutrition*, 76,384–389.

Wilmore, JH. & Costill, DL. (2010). *Fisiologia do Exercício e do Esporte*. São Paulo: Manole, 4 ed.

World Medical Association. (2008). *Declaration of Helsinki - Ethical Principles for Medical Research involving Human Subjects*. *WMJ*, 54,122-125.

Yeager, KK., Agostini, R., Nattiv A., and Drinkwater, B. (1993). The female athlete triad: disordered eating, amenorrhea, osteoporosis. *Medicine Science Sports Exercise*,25(7), 775-7.

Zeni, AI., Street, CC., Dempsey, RL., Staton, M. (2000). Stress injury to the bone among women athletes. *Physical Medicine Rehabilitation Clinical of North America*, 11, 929–947.