



Universidade de Lisboa
Faculdade de Motricidade Humana



Validação do Equipamento Tanita TBF-310 na Estimação da Composição Corporal tendo como Referência um Modelo Molecular a Quatro Compartimentos em Judocas

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

Orientadora:

Professora Doutora Analiza Mónica Lopes de Almeida Silva

Co-Orientadora:

Professora Doutora Ana Catarina Francisco Nunes Matias

Júri:

Presidente

Doutora Analiza Monica Lopes Almeida Silva, professora auxiliar com agregação da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa.

Vogais

Doutora Maria Filomena Soares Vieira, professora auxiliar da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa;

Doutora Ana Catarina Francisco Nunes, professora auxiliar convidada da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa;

Doutora Diana Aguiar Pereira Santos, investigadora do Centro Interdisciplinar de Estudo da Performance Humana.

Christophe dos Santos Domingos
2015

Agradecimentos

Reservo este espaço para todas as pessoas que deram o seu contributo para a elaboração desta tese, tanto diretamente como indiretamente. Sem interesse e disponibilidade seria difícil ou impossível progredir nesta etapa e concluí-la com sucesso. Desta forma, deixo uma vez mais o meu agradecimento destacando:

Os meus pais porque foram os principais pilares para que esta dissertação fosse concluída com sucesso devido à educação que me deram, ao incentivo constante, apoio financeiro e interesse em toda a minha vida académica. Sempre me colocaram à frente dos seus próprios interesses, sempre trabalharam mais e mais para que tivesse a possibilidade de continuar os meus estudos e sempre estiveram presentes para o que precisei. Orgulho-me de pertencer a uma família trabalhadora e com valores de cidadania elevados.

À minha irmã pela competição saudável que proporcionou à nossa relação ao longo deste anos encorajando-me a ir sempre mais longe e a ser sempre melhor. Agradeço também por me ter ensinado a ser justo e trabalhador. É sempre bom ter alguém que nos compreende sem termos de falar.

À minha namorada pela paciência, pelo carinho, pela disponibilidade, pelas palavras de incentivo e por todo o conhecimento académico. É a máxima referência para mim por demonstrar que nada é impossível. É uma aluna de exceção em fase de conclusão de Mestrado, compete ao mais alto nível no Atletismo e já trabalha na sua área de formação. Só demonstra que com muito trabalho, vontade e organização tudo pode ser atingível. Toda esta destreza não está ao alcance de qualquer um.

Ao Pedro Prazeres pela enorme amizade e pelo cuidado que teve em ajudar-me a concluir este trajeto. Pela maneira simples e direta de ser. É uma pessoa que respeito e admiro.

À Susana Valente, uma das pessoas mais incríveis que já conheci. Não só uma grande amiga como uma mentora. Sempre me apoiou e acreditou nas minhas capacidades. Ensinou-me o significado da frase: “A sorte procura-se”.

À orientadora de dissertação, Professora Analiza Silva, pela disponibilidade em esclarecer dúvidas, pelo enorme conhecimento na área e pelas horas despendidas para melhorar a minha tese. Foi sem dúvida um prazer contar com tamanha presença para me orientar.

À co-orientadora, Professora Catarina Matias, que me ajudou na melhor forma de estruturar o trabalho, em alguma bibliografia e na execução dos resultados e métodos. Foi uma grande ajuda em todo o mundo da bioimpedância.

Aos participantes do estudo, que apesar de não ter feito as recolhas, estiveram presente no momento das mesmas e contribuíram para o sucesso das tarefas pretendidas.

Aos meus alunos do programa Osteo da Faculdade de Motricidade Humana, que mais do que alunos foram uma família da qual não me quero separar. A constante preocupação ao longo deste trajeto, o apoio imensurável e o enorme carinho ajudaram-me a completar com mais facilidade esta caminhada.

Quero também deixar o meu agradecimento à minha colega e amiga, Susana Francisco, que me acompanhou no Laboratório e me ajudou no tratamento de dados.

Índice

Abreviaturas.....	v
Resumo	vii
Abstract.....	viii
1.Introdução.....	1
2.Revisão Literatura.....	5
2.1- Avaliação da Composição Corporal no Atleta.....	5
2.1.1- Desportos sensíveis ao peso.....	6
2.1.2- Desportos por Categoria de Peso.....	6
2.2- Níveis de Avaliação da Composição Corporal.....	8
2.2.1- Análise da Composição Corporal a Nível Molecular	9
2.2.1.1- Modelos a 2 Compartimentos.....	11
2.2.1.2- Modelos multicompartimentais	12
2.2.2- Análise da Composição Corporal a Nível do Corpo Inteiro	16
2.2.2.1- Bioimpedância Elétrica e Equipamentos de avaliação.....	23
2.2.2.2- Estudos de validade da BIA em Atletas.....	26
2.3. Pertinência do Estudo e Objetivos.....	29
3. Metodologia	31
4. Resultados.....	39
5. Discussão	43
6. Conclusões.....	49
7. Referências Bibliográficas.....	51

Índice de Tabelas

Tabela 1.....	5
Tabela 2.....	11
Tabela 3.....	15
Tabela 4.....	26
Tabela 5.....	39
Tabela 6.....	40

Índice de Figuras

Figura 1.....	9
Figura 2.....	24
Figura 3.....	24
Figura 4.....	25
Figura 5.....	40

Abreviaturas

2C- Modelo a 2 compartimentos

3C- Modelo a 3 compartimentos

4C- Modelo a 4 compartimentos

5C- Modelo a 5 compartimentos

AC- Água Corporal

ACT- Água corporal total

ACTD- Densidade da Água Corporal Total

AEC- Água Extracelular

AIC- Água Intracelular

BIA- Bioimpedância elétrica

BIA-MF- Bioimpedância elétrica de multi-frequência

BIA-UF- Bioimpedância elétrica de uni-frequência

BIS- Bioimpedância elétrica espectral

BIS- Bioimpedância elétrica espectral

D2O- Deutério

DC- Densidade Corporal

DMO- Densidade Mineral Óssea

DXA- Densitometria Radiológica de Dupla Energia

E- Estatura

Id- Idade

MC- Massa Corporal

MG- Massa Gorda

MGD- Densidade Massa Gorda

MIG- Massa Isenta de Gordura

MIGO- Massa Isenta de Gordura e Osso

Mno- Mineral não ósseo

Mo- Mineral ósseo

MoD- Densidade do Mineral Ósseo

P- Peso

PDA- Pletismografia por deslocamento de ar

Ph- Pesagem hidrostática

R- Resistência

Re- Resistência extracelular

Res- Residual

ResD- Densidade da Massa Residual

Ri- Resistência intracelular

Rt- Resistência de todo o fluido corporal

SME- Sistema músculo-esquelético

VC- Volume Corporal

VCnaj- Volume Corporal não ajustado

Xc- Reactância

Z- Impedância

Resumo

A avaliação da composição corporal, especialmente ao nível das componentes moleculares, é relevante para a população atlética pela sua relação com o desempenho desportivo. Sabe-se que o modelo molecular a quatro compartimentos (4C) é o método de referência na avaliação da massa gorda (MG). No entanto, a sua implementação em contexto real é impraticável. Deste modo, treinadores e atletas procuram informar-se sobre a composição corporal usando os métodos mais acessíveis, onde a bioimpedância elétrica (BIA) se engloba, e mais ainda em desportos onde o peso é seletivo para a competição, como é o caso dos desportos de combate. A literatura mostra que existem diversas equações e equipamentos que utilizam a BIA mas poucos estudos foram conduzidos para determinar a sua validade na população atlética. O objectivo deste estudo é determinar a validade da BIA (Tanita, modelo TBF-310) na determinação da MG e massa isenta de gordura (MIG) em judocas de elite. Um total de 29 atletas, do sexo masculino, foram avaliados num período de estabilidade do peso entre Setembro e Outubro pelo método de referência (4C) e método alternativo (Tanita). Realizaram-se comparações de médias, coeficiente de correlação de concordância, regressões lineares e análises de concordância entre métodos. Para valores absolutos, a MG obtida pela Tanita sobrestimou os valores obtidos pelo método de referência (4 compartimentos) embora não existam diferenças entre os métodos na diferença da MIG. A Tanita apresentou um poder explicativo de 21% e 72% na estimação de valores absolutos de MG e MIG obtidos, respectivamente, pelo método de referência. Os limites de concordância foram elevados e variaram entre -6,7kg a 7,0 kg para a MG e de -8,9kg a 7,5kg para a MIG. Em suma, o modelo usado neste estudo (Tanita TBF-310) não é uma alternativa válida na determinação da composição corporal em judocas de elite.

Palavras-Chave: Atletas, judo, desempenho desportivo, composição corporal, BIA de uni-frequência, tanita TBF-310, 4 compartimentos, massa gorda, massa isenta de gordura e validação.

Abstract

Body composition assessment at the molecular level is relevant for the athletic population and its association with high performance is also recognized. It's known that the four compartment molecular model (4C) is the reference method for fat mass (FM) estimation. However, its implementation in the real context is not feasible. Coaches and athletes need practical body composition methods for body composition assessment and the bioelectrical impedance analysis method (BIA) is usually seen as an useful alternative. Several BIA equations and devices are available but few studies were conducted to test its validity in an athletic population. The aim of this study is to test the validity of BIA (Tanita, TBF-310) in the determination of fat mass (FM) and fat-free mass (FFM) in judo elite athletes. A total of 29 male athletes were evaluated in a period of weight stability between September and October using the reference method (4C) and the alternative method (Tanita). FM from Tanita overestimated the reference method although no difference was found for FFM. Tanita explained 21% and 72% respectively in the estimation of absolute values of FM and FFM from the reference method. Limits of agreement were large varying from -6,7kg to 7,0kg for FM and from -8,9kg to 7,5kg FFM. The TBF-310 Tanita is not a valid alternative method for estimating body composition in this top-level population of judo athletes.

Keywords: Athletes, judo, performance, body composition, uni-frequency BIA, tanita TBF-310, 4 compartments, fat mass, fat-free mass, validity.

1.Introdução

Para populações atléticas a composição corporal tem tido um papel importante na monitorização do desempenho e nos regimes de treino, mas esse papel é ainda mais importante em desportos onde o peso pode afetar grandemente o desempenho ou é usado como categoria. Muitas técnicas e equações foram propostas ao longo do século passado mas nenhuma satisfaz na perfeição ou pode ser vista como universal. As avaliações da composição corporal pelo método da bioimpedância elétrica (BIA) nas populações desportivas sensíveis ao peso (como é o caso do Judo) ainda estão pouco exploradas, sendo que existe pouca informação nesta área [1].

No judo é muito usada a técnica de desidratação para perda de peso, no entanto, apesar de contribuir de uma forma rápida para a diminuição do mesmo, é extremamente perigosa e pode levar a diminuição do desempenho desportivo [2, 3]. Os atletas devem reduzir a sua massa corporal (MC) antes de uma competição mas sem diminuírem a massa isente da gordura (MIG) para evitar possíveis declínios na força física [4].

O uso de modelos multicompartimentais é fundamental porque ajuda na redução do erro que envolve as medições da composição corporal uma vez que este avalia as componentes da MIG de modo independente [5]. Uma das vantagens do modelo a 4 compartimentos (4C) é que requer menos assunções do que os modelos a 2 compartimentos (2C) e 3 compartimentos (3C) [6]. O modelo a 4C é usado como método de referência quando se pretende comparar a validade de outros métodos sendo que há poucos estudos que o usem para avaliar a composição corporal em atletas apesar das vantagens que apresenta [7, 8]. O reduzido uso deste método deve-se, em parte, aos custos e equipamento necessário para a medição dos vários compartimentos (mineral e água) e propriedades (volume corporal – VC).

A bioimpedância elétrica também é usada para avaliar a composição corporal na população atlética especificamente para estimar componentes a nível molecular [9, 10], celular [11] e tecidual [12].

Apesar de existirem poucas investigações neste campo, recentemente foi referido que a bioimpedância elétrica parece promissora como método utilizado em contexto real, uma vez que é um bom preditor da água corporal total (ACT) e respectivos compartimentos e estima com alguma validade a MG e MIG [13]. No corpo humano, a ACT é dividida em água intracelular (AIC), que corresponde a aproximadamente 65%, e água extracelular (AEC), que corresponde a aproximadamente 35% [14-16].

A BIA é um método de avaliação com diversos fabricantes e cada um deles pode diferir nas fórmulas usadas, o que leva a uma panóplia de equações para a estimação da composição corporal. A Tanita é um dos equipamentos de BIA que pode ser evidenciado. Neste contexto, a Tanita tem produzido diferentes modelos cuja validade na população atlética tem tido pouca investigação. Por exemplo, a Tanita MC-180, quanto à estimação da massa isenta de gordura e osso (MIGO), demonstra ser uma alternativa válida num grupo de atletas de elite, isto é, tem um grande poder explicativo e a concordância é aceitável quando comparada aos valores que foram obtidos pela densitometria radiológica de dupla energia (DXA) [17]. Já a Tanita TBF-305 pé-pé no modo “não-atleta” refere-se à prática semanal de actividade aeróbia <2,5h e o nível “atlético” à prática $\geq 2,5$ h aeróbio (a % MG é estimada com base neste modo). A escolha do modo é extremamente importante aquando do uso do aparelho e, por vezes, os erros individuais são grandes comprometendo a validade da estimação da composição corporal [18].

É fundamental que os investigadores e treinadores tenham a possibilidade de estimar com validade pequenas alterações na mudança da MG e MIG e ainda mais se se tratar de desportos com categorias de peso [19].

No presente trabalho será apresentado um enquadramento teórico que introduzirá o tema em questão, salientando-se a sua relevância. Segue-se uma extensa revisão da literatura sobre a abordagem metodológica e a pertinência da mesma, com os principais objectivos delineados. Sucede-se uma apresentação da metodologia, descrevendo-se a população e métodos abordados, os resultados obtidos e respetiva discussão. Por último, expõem-se as principais conclusões da presente investigação metodológica.

2.Revisão Literatura

2.1- Avaliação da Composição Corporal no Atleta

Muitos estudos sobre a avaliação da composição corporal foram feitos em população não atlética e, com recurso a diversas metodologias, é possível quantificar com maior ou menor precisão e validade as componentes principais do corpo. Pode-se ver na tabela abaixo os erros de precisão e validade encontradas na determinação de várias componentes corporais, quando avaliados por diversas técnicas de medição.

Tabela 1. Precisão e validade de diferentes métodos de avaliação da composição corporal e mínima mudança detetada num indivíduo [20].

Métodos de composição corporal ¹	Medições		Quantidade mínima de variação detetada ⁴
	Precisão ²	Validade ³	
	%	%	% em adultos
ACT			
Diluição D ₂ O	1±2	2±4	2 L (5)
BIA/BIS	2±4	3±7	4 L (10)
MIG			
Ph	1±2	2±3	2 kg (4)
PDA	1±2	2±3	2 kg (4)
DXA	1.5	1±4	1.5 kg(2)
BIA/BIS	2±4	2±8	4 kg (7)
MG			
Ph	2±3	>5	2 kg (11)
PDA	2±3	>5	2 kg (11)
DXA	2±3	>5	2 kg (11)
BIA/BIS	>5	>8	4 kg (22)

Abreviaturas: ACT, Água Corporal Total; BIA/BIS, Bioimpedância elétrica/Bioimpedância elétrica espectral; MIG, Massa isenta de gordura; Ph, Pesagem hidrostática; PDA, Pletismografia por deslocamento de água; DXA, Densitometria Radiológica de dupla energia; MG, Massa gorda.

¹ D₂O- Deutério;

² Reprodutibilidade para medidas repetidas;

³ Validade para massa absoluta ou volume estimado;

⁴ Valor entre () é a percentagem de variação baseada num adulto de 70 kg com 25% de gordura.

A composição corporal é uma importante variável de saúde e desempenho uma vez que em desportos sensíveis ao peso muitos atletas tomam medidas radicais para, de forma rápida, reduzirem ou manterem a MC de forma a obterem vantagem na competição. Estas grandes reduções de MG e/ou MC devido a mudanças extremas de peso por desidratação ou desordens alimentares, ou uma baixa densidade mineral óssea (DMO), apresentam consequências que se tornaram um problema em diversos desportos [21, 22].

2.1.1- Desportos sensíveis ao peso

Há três categorias que pertencem a esta classificação [1]:

- **Desportos Gravitacionais** – A MC restringe o desempenho devido a razões mecânicas relacionadas com a gravidade (corrida de meio-fundo e fundo, salto em comprimento, ciclismo de estrada, etc.);
- **Desportos por categorias de peso** – A redução da MC a curto prazo, associada a desidratação extrema, torna-se vantajosa para a competição uma vez que permite competir em categorias de peso inferiores (desportos de combate como judo, boxe, wrestling, etc.);
- **Desportos Estéticos** – A ideia do corpo ideal está bem presente e leva a que os atletas ou os seus treinadores esperem melhores resultados competitivos consoante a MC ou forma do corpo (desportos femininos como ginástica rítmica e artística, natação sincronizada, etc.).

2.1.2- Desportos por Categoria de Peso

A MG em excesso sempre foi associada a um desempenho físico inferior pela comunidade científica e é vista por grande parte dos treinadores como um fator limitativo na

obtenção dos objetivos por parte dos atletas [1]. Atualmente, a quantidade e distribuição de água e MIG são vistos como fatores importantes e de grande contributo para a melhoria do desempenho [1] influenciando deste modo a velocidade, resistência, potência, força, agilidade e aparência contribuindo desta forma para o sucesso dos atletas [23].

Um dos métodos mais usados para a perda de água inclui o uso de diuréticos que por sua vez aumentam a probabilidade de desidratação antes de o exercício começar [24]. A desidratação pode ser considerada aguda, se resultar de uma sessão de exercício intenso, ou pode ser considerada crónica, se resultar numa desadequada hidratação diária durante um período de tempo prolongado [25]. A Associação Nacional de Treinadores de Atletas (*National Athletic Trainers' Association* - NATA) estabeleceu algumas recomendações sobre a reposição de líquidos para a participação atlética onde o protocolo inclui estratégias de reidratação que consideram a taxa de suor produzido, dinâmica desportiva, fatores ambientais e climatéricos, duração e intensidade do exercício e as preferências individuais [2]. Atletas pertencentes a esta classe devem ter um cuidado especial porque o nível de hidratação verificado na pesagem é obrigatório pelas federações de modo a assegurar que o atleta não se encontra desidratado. Desidratação na ordem de 1% a 2% da MC começa a comprometer as funções fisiológicas e assim influencia de modo negativo o rendimento. Quando a desidratação atinge valores de 3% ou superiores da MC provoca mais distúrbios nas funções fisiológicas e aumenta o risco de o atleta desenvolver doenças ou comprometimentos provocados pelo calor como as câibras, exaustão devido ao calor ou insolação [2, 3]. O suor como resposta ao exercício é um ponto crítico para o arrefecimento do corpo. Se não existir consumo de líquidos suficientes para compensar essa taxa de perda de água pelo suor, a desidratação irá ocorrer de modo progressivo. Qualquer fator limitativo da evaporação tem efeitos profundos nas funções fisiológicas e na performance atlética [2]. No entanto, Goulet, através de uma meta-análise indica que 1) desidratação induzida pelo exercício $\leq 4\%$ MC é muito pouco provável que

prejudique o desempenho da resistência em condições de exercício reais e 2) em situações de exercícios de intensidade fixa, a desidratação induzida pelo exercício $\geq 2\%$ MC está associada com a redução na capacidade da resistência [26, 27].

Reduções no compartimento da Água Intracelular (AIC) em atletas de elite praticantes de judo resultaram numa diminuição da potência muscular dos membros superiores e tronco e força máxima do antebraço num período de peso estável anterior à competição [28].

No judo a desidratação é um dos métodos mais utilizados para a redução de peso, no entanto, esta mudança da hidratação pode afetar grandemente a assunção de que 73,2% da ACT é uma parte da MIG e desse modo a MG é sobrestimada [29].

Existem vários métodos de avaliação para determinar a água corporal total (ACT) em populações atléticas [30, 31]. O método de referência para medir os compartimentos da água são diluição de deutério (D_2O) para a ACT e diluição de brometo de sódio para o compartimento de água extracelular (AEC). Com a diferença destes obtém-se a estimação do compartimento de AIC [32]. Estes métodos são morosos e com elevados custos o que dificulta a recolha rotineira em atletas [30].

2.2- Níveis de Avaliação da Composição Corporal

Apesar de estas questões da composição corporal já serem faladas nos últimos 100 anos, apenas em 1992 surgiu um modelo a cinco níveis. Os cinco níveis são distintos e aumentam de complexidade em cada nível. A soma de todas os componentes é igual à MC. A figura 1 representa os 5 níveis do modelo: I- Atómico, II- Molecular, III- Celular, IV- Tecidular e V- Corpo Inteiro [33]. É importante perceber que os componentes que se encontram a um nível de composição corporal superior são compostos por componentes de níveis inferiores [33] e que a composição corporal se encontra em homeostasia. Esta homeostasia é importante para

estabelecer várias características das componentes da composição corporal a cada nível de análise e as suas relações quantitativas em cada nível ou entre níveis [33]. Várias dessas características ou regras possíveis de aplicar são que 16% da proteína é nitrogénio [34]; que 77% da MG é carbono [35]; que potássio corporal total/massa celular corporal = 109,1 mmol/kg [36] ou que o rácio da ACT em relação à MIG é 0,732 [37].

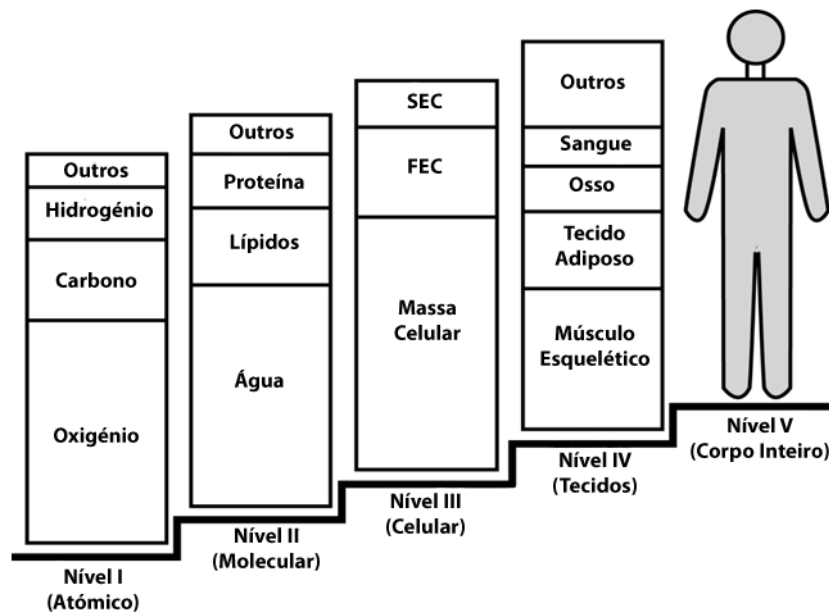


Figura 1. Os cinco níveis da composição corporal humana [33].

Abreviaturas: ECS, sólidos extracelulares; ECF, fluidos extracelulares.

2.2.1- Análise da Composição Corporal a Nível Molecular

O nível molecular da composição corporal consiste em cinco grandes componentes:

Água

É o composto químico em maior abundância no corpo representando cerca de 60% da MC num Homem padrão [38]. Destes 60%, aproximadamente 34% correspondem ao compartimento intracelular e aproximadamente 26% ao compartimento extracelular [39, 40]. A água é o maior componente da MIG que corresponde a 73,8% [41] sendo atualmente o mais consensual os 73,2% [29] e com densidade de 0,9937 g/cm³ a 36° C [41].

Proteína

A densidade usada para a proteína corporal total é de $1,34 \text{ g/cm}^3$ e corresponde a 19,4% da MIG, sendo que proteínas específicas diferem na sua densidade [41].

Glicogénio

Há menos de 1 kg de glicogénio em adultos saudáveis, sendo distribuído dentro do músculo-esquelético (~2% peso molhado) e fígado (~1% peso molhado). A densidade é de aproximadamente $1,52 \text{ g/cm}^3$ [33].

Mineral

O mineral compreende 6,8% da MC e distribui-se em dois grandes compartimentos: Mineral ósseo (Mo) que contém > 99% do cálcio corporal total e cerca de 86% do fósforo corporal total [38] e Mineral não ósseo (Mno) que inclui potássio, sódio e cloro [33]. A densidade do Mo é de $2,982 \text{ g/cm}^3$ a uma temperatura de 36°C . A densidade do Mno pode variar de $3,07 \text{ g/cm}^3$, para o bicarbonato de potássio, a $4,99 \text{ g/cm}^3$, para o cloreto de magnésio, e o Mno acaba por atingir uma densidade de $3,317 \text{ g/cm}^3$ [41].

Lípidos

Os lípidos podem ser divididos em MG, que corresponde a 90% dos lípidos corporais totais e compreende triglicéridos na sua maioria (lípidos simples), e fosfolípidos, esfingolípidos e esteroides, de acordo com as características da distribuição, função e solubilidade [42, 43]. Os esfingolípidos e fosfolípidos podem ser classificados em lípidos essenciais que têm funções importantes como a formação de membranas celulares e correspondem a 10% dos lípidos

corporais totais, e em lípidos não essenciais, na sua maioria triglicéridos que são isoladores termais, servem como depósito energético e correspondem a 90% dos lípidos corporais totais [38]. A densidade da MG a 36°C é de 0,9007 g/cm³ e trata-se de um valor estável entre indivíduos [41].

Tabela 2. Densidades constantes assumidas, a uma temperatura de 36°C, para água, mineral, proteína, massa gorda, massa isenta de gordura, com base na análise de cadáveres sendo o corpo de referência [41].

Componentes Corporais	Densidade (g/cm³)	Massa Isenta Gordura (%)	Corpo de Referência (%)
Água	0,9937	73,8	62,4
Proteína	1,34	19,4	16,4
Mineral	3,038	6,8	5,9
Ósseo	2,982	5,6	4,8
Não Ósseo	3,317	1,2	1,1
Massa Isenta Gordura	1,100	100	84,7
Massa Gorda	0,9007		15,3
Corpo de Referência	1,064		100

2.2.1.1- Modelos a 2 Compartimentos

Tradicionalmente, a composição corporal ao nível molecular era estudada como a soma de 2 compartimentos (2C): MG + MIG = MC [37]. O modelo básico de 2C baseia-se na premissa de que a densidade da MIG é constante ($MIG_{densidade}=1,100 \text{ g/cm}^3$) para modelos densitométricos [41], enquanto que para os modelos hidrométricos o rácio MIG/ACT é constante com o valor de 0,732 [29]. Deste modo, os modelos a 2C dependem da determinação da densidade corporal (técnicas densitométricas) ou da ACT (técnicas hidrométricas).

Técnicas Densitométricas

O método mais tradicional é a Pesagem hidrostática (Ph) que consiste na submersão da pessoa dentro de água e o volume de água deslocado combinado com a MC do sujeito obtida em laboratório são usados no cálculo da composição corporal de todo o corpo [44].

Com o passar do tempo, o método foi sendo cada vez mais substituído pela pletismografia por deslocamento de ar (PDA) em que o participante entra numa estrutura

fechada que contém duas câmaras: a câmara da frente onde o sujeito é testado, enquanto a câmara de trás possui os instrumentos necessários ao funcionamento e serve de volume de referência. Como o método se assemelha ao anterior, a densidade do corpo é determinada através do deslocamento de ar. A relação clássica entre a pressão e o volume, com uma temperatura fixa, é usada para resolver e determinar o volume da câmara onde se encontra o sujeito [45].

Técnicas Hidrométricas

O princípio desta técnica é que os lípidos são hidrofóbicos e, portanto, não têm água devido à característica repelente, levando a que esta seja restrita ao compartimento da MIG. O cálculo da MIG a partir da ACT depende de uma assunção que indica que a hidratação constante da MIG é de 0,732 [29]. A ACT pode ser calculada de diversas formas, como por exemplo através da diluição de isótopos.

2.2.1.2- Modelos multicompartimentais

A nível molecular, a MIG pode ser subdividida em várias componentes moleculares como as referidas em cima: água, mineral, proteína e glicogénio [33]. Actualmente já existem modelos a 6 níveis. Os modelos multicompartimentais são desenvolvidos a partir de equações de substituição integrando dois ou mais componentes desconhecidos. A este nível, as componentes que são medíveis incluem a ACT, pelo método da diluição de isótopos, e mineral, pelo método da Densitometria Radiológica de Dupla Energia (DXA). Propriedades mensuráveis usadas no desenvolvimento de modelos multi-compartimentos a nível molecular incluem a MC e Volume Corporal (VC) pelos métodos de Ph ou PDA [6].

Modelo a três compartimentos (3C)

A estimação do VC, usada no modelo a 2C, serve como base para os modelos multicompartimentais. Assim, no desenvolvimento de um modelo a 3C basta adicionar uma

estimação da ACT, pelo método da diluição de isótopos [44, 46], ou mineral, pelo método da DXA [47].

Modelo a quatro compartimentos (4C)

Ao modelo clássico de Siri a 3C [46] adicionou-se o Mo da MIG formando um modelo a 4 compartimentos (4C) [48-55].

A fórmula do modelo a 4C pode ser concebida usando o mesmo conceito dos modelos a 2C e 3C tendo na sua constituição a variabilidade biológica da água corporal, Mo e proteína ou massa residual (Res) [48-55].

No desenvolvimento destes modelos, e utilizando como exemplo a aproximação com a massa residual, a massa dos vários componentes é dividida pela respetiva densidade, como se pode verificar no exemplo seguinte:

$$\frac{1}{DC} = \frac{MG}{Mg_D} + \frac{ACT}{ACT_D} + \frac{Mo}{Mo_D} + \frac{Res}{Res_D} \quad (1)$$

Onde DC é a densidade corporal, MG é a massa gorda, ACT é a água corporal total, Mo é o mineral ósseo, Res é a massa residual e D é a densidade.

Assumindo as densidades de cada componente molecular a equação traduz-se da seguinte forma:

$$VC = \frac{Mg}{0,9007} + \frac{ACT}{0,99371} + \frac{Mo}{2,982} + \frac{Res}{1,404} \quad (2)$$

Onde o VC é o volume corporal, MG a Massa gorda, ACT a água corporal total, Mo o mineral ósseo e Res a massa residual.

Os modelos multicompartimentais partilham densidades constantes para a MG, ACT e Mo. Duas principais estratégias são aplicadas no desenvolvimento destes modelos: numa primeira estratégia, após a subtração da MG, ACT e Mo, a massa Res é assumida como sendo

proteína e Mno, de densidades conhecidas; numa segunda estratégia é assumido uma combinação da Res (proteína, Mno e glicogénio) com uma densidade conhecida [56]. Na segunda equação o valor de $1,404 \text{ g/cm}^3$ é assumido para a densidade da Res [57] sendo as maiores componentes a proteína (densidade = $1,34 \text{ g/cm}^3$), o Mno (densidade = $3,317 \text{ g/cm}^3$) e o glicogénio (densidade = $1,52 \text{ g/cm}^3$).

Modelo a 5 compartimentos (5C)

Recentemente constatou-se que o modelo a 4C não incluía uma válida estimação do Mno, que na sua composição possui minerais solúveis e eletrólitos que são encontrados nos compartimentos extracelulares e intracelulares, e que apesar de apresentar uma reduzida constituição deve ser considerado ao nível molecular. Em adultos representa cerca de 400g mas tem uma densidade ($3,317 \text{ g/cm}^3$) maior que outros componentes como a MG ($0,9007 \text{ g/cm}^3$), a água ($0,99371 \text{ g/cm}^3$), a proteína ($1,34 \text{ g/cm}^3$) e o Mo ($2,982 \text{ g/cm}^3$). Desta forma, Wang et al. [49] propuseram um modelo mais simples para a determinação do Mno a partir da ACT ($\text{Mno} = 0.0129 \times \text{ACT}$). Este contributo possibilita um reajustamento da equação 1, do modelo a 4C, pela inclusão da estimativa do Mno.

Implicações da utilização de modelos moleculares a 2C em atletas

Num artigo de revisão no âmbito da composição corporal em atletas, Malina [58] retirou dados de vários estudos que apresentam uma estimação da %MG em atletas tanto em homens como em mulheres [1]. No entanto, os valores foram obtidos essencialmente através de modelos a 2C e, como já foi referido na descrição destes modelos, o desporto é um aspeto que influencia a variabilidade das assunções observadas [59, 60]. No mesmo sentido, verificou-se que em homens que treinam com pesos e com um desenvolvimento grande do sistema músculo-esquelético, a densidade da massa isenta de gordura era abaixo da assumida ($1,1 \text{ g/cm}^3$). Este resultado foi obtido pela subida da ACT/MIG e pela diminuição da Mineral/MIG.

Da mesma forma, o mesmo foi verificado em *bodybuilders* durante a fase de preparação para a competição [61]. No sentido inverso, atletas adolescentes femininas, na sua maioria na pós-adolescência, obtiveram uma densidade da MIG maior do que o valor de referência de 1,100 g/cm³. Tal ocorreu devido a uma menor fração de água e uma fração de proteína maior [60]. Silva e colaboradores [7] verificaram que em atletas de elite praticantes de judo a hidratação da MIG diminuiu de 72% para 71% do período de manutenção do peso para o período antes da competição. Em ambos os momentos a hidratação da MIG foi diferente do valor de referência de 73,2% observado na maioria dos mamíferos [29]. No entanto, em estudos que incluíram atletas de longas distâncias, de ambos os sexos, verificou-se que a composição e densidade da MIG não foram diferentes dos valores estabelecidos como pressuposto das técnicas hidrométricas e densitométricas [62-64].

Tendo em conta a dificuldade em aplicar modelos multicompartimentais pelo tempo requerido, pela necessidade de aceder a tecnologias sofisticadas e dispendiosas e por se encontrarem na maioria das vezes longe dos locais de prática desportiva [1], há pouca investigação feita com estes modelos na população atlética. Na tabela abaixo apresentamos uma curta referência a investigadores que conseguiram avaliar atletas usando estes métodos:

Tabela 3. Investigações que caracterizam a composição corporal usando um modelo a 4 compartimentos, em atletas (adaptado de [1]).

Amostra	Género	Referências
Corredores de meio e fundo (M: n=12; F: n=10)	M, F	[62]
Judocas da equipa nacional Portuguesa (n=27)	M	[8]
Halterofilistas (n=14)	M	[59]
Corredores de fundo (n=10)	M	[63]
Atletas adolescentes (M: n=46; F: n=32)	M, F	[60]
Vários desportos: natação, basquetebol, rugby, ginástica, e judo		
Bodybuilders (n=3)	M	[61]

Abreviaturas: M, Masculino; F, Feminino.

Apesar das preocupações com a determinação da MG [1], actualmente existe interesse em avaliar outras componentes a nível molecular. Em avaliações realizadas em atletas adolescentes verificou-se que maior tempo de treino desportivo por semana estava associado tanto a uma diminuição da MG como a um aumento das componentes da MIG (ACT, massa magra, e massa óssea) [65]. O nível de prática (elite vs sub-elite) também tem implicações, ou seja, atletas de elite femininas praticantes de andebol apresentam valores mais reduzidos de %MG, mais Mo e MIG, em especial nos membros superiores, do que as atletas da sub-elite [66]. No seguimento desta linha também se verificou que a MIG é um preditor do desempenho em atletas Olímpicas femininas praticantes de luta [67].

Adicionalmente, a hipohidratação diminui o desempenho em exercícios de resistência [68] e modifica as respostas hormonais e metabólicas ao mesmo [69]. Reduções da AIC estão associadas a diminuição da força e potência não só em judocas mas também em basquetebolistas, andebolistas e voleibolistas [70].

2.2.2- Análise da Composição Corporal a Nível do Corpo Inteiro

O quinto nível da composição corporal é o nível do corpo inteiro e relaciona-se com o tamanho, forma e características físicas. Tanto os humanos como alguns primatas têm semelhanças a nível atómico, molecular, celular e a nível tecidual, no entanto, somente ao nível do corpo inteiro é que é possível apontar distinções. As medidas de avaliação utilizadas a este nível baseiam-se na altura, massa corporal, índice de massa corporal, comprimento dos segmentos, circunferências, pregas cutâneas, área de superfície corporal, volume corporal ou densidade corporal. Mudanças que ocorram ao nível do corpo inteiro estão relacionadas com alterações que ocorrem nos outros quatro níveis, pelo que é frequente usar avaliações a este nível para estimar componentes dos anteriores [71].

Na população atlética, sabe-se que tradicionalmente se usavam as variáveis antropométricas para estimar componentes moleculares como a MG [72-74]. No entanto, vários investigadores demonstram que o uso do método das pregas cutâneas apresenta uma validade reduzida na estimação da MG em atletas [75, 76] mas não deve ser descartado uma vez que se trata de um método simples e pouco dispendioso.

Um outro método amplamente utilizado na determinação da composição corporal é a bioimpedância elétrica:

O corpo apresenta uma capacidade de conduzir corrente elétrica por via da ACT e dos eletrólitos presentes nos vários tecidos. Já a MG e o osso são condutores pobres da corrente elétrica [77-80]. Quanto mais quantidade de eletrólitos estiverem presentes, maior será a condutividade. O princípio da bioimpedância elétrica baseia-se numa corrente elétrica de uma determinada frequência que percorre o corpo sendo que a resistência oferecida pelo corpo é menor quanto maior a quantidade de água corporal. O sistema BIA permite obter um valor de Resistência (R) e Reactância (Xc), a partir do qual a impedância do corpo (Z) é derivada:

$$Z = \sqrt{R^2 + Xc^2} \quad (3)$$

Onde Z é a impedância, R a resistência e Xc a reactância.

A R, como o nome indica, é a resistência encontrada no fluxo por onde passa a corrente e é proporcional ao comprimento do condutor e inversamente proporcional à área de corte transversal, ou seja, um condutor longo tem mais resistência do que um curto e uma menor área transversal terá mais resistência do que uma área maior. Já a Xc é o inverso da capacitância (local onde está armazenada a energia num circuito onde há um condensador) e esta capacitância resulta dos locais onde existem grandes condutividades (como a AEC e AIC) que são separadas por zonas de baixa condutividade (como membranas celulares) [77-80].

Uma vez que as características dos fluídos corporais estão relacionadas com a condutividade, a componente de resistência está presente. As membranas celulares atuam como

condensadores imperfeitos e vão remeter para a dependência de frequências no campo das componentes de reactância [81-84].

A uma frequência de 0 kHz a corrente não atravessa as membranas celulares sendo que não há reactância e apenas resistência, uma vez que o caminho é percorrido todo na AEC o que aumenta o comprimento da trajetória [85]. A uma frequência de 50 kHz já há alguma corrente elétrica que passa para a AIC [86], e a resistência a esta frequência é menor que a anterior uma vez que o comprimento do percurso é menor e a área da secção transversal é maior [84]. A frequências muito elevadas (> 500 kHz), a corrente percorre o corpo pelo caminho mais direto apanhando tanto o meio extracelular como intracelular e, desta forma, a resistência é menor [84]. O principal pressuposto da medição é de que o corpo humano tem área de secção transversal uniforme e condutividade homogénea, embora não seja um condutor cilíndrico e os tecidos não são sejam eletricamente isotrópicos [87].

Desta forma, recorre-se a divisões cilíndricas e uniformes do corpo (2 braços, 2 pernas e tronco) cujas dimensões são proporcionais à estatura do participante [88].

Num análise feita numa bioimpedância elétrica com elétrodos no punho e tornozelo, verificou-se que a resistência varia devido aos aspectos de comprimento e área de secção transversal, ou seja, apesar de um braço e uma perna contribuírem respetivamente para 4% e 17%, da MC, as suas resistências são de 47% e 50%, respectivamente por terem uma menor área de secção transversal que o tronco, que contribui para cerca de 50% da MC mas com 5%-12% de resistência corporal total [88, 89].

Nos instrumentos comerciais a resistividade específica é assumida como sendo constante em todo o corpo [90]. E é neste sentido que se recomenda a exclusão de instrumentos comerciais em atletas por não estarem devidamente validados e recomenda-se que estes se sujeitem a sistemas de elétrodos que forneçam a informação crua (R e Xc) em vez de valores automaticamente calculados pelo equipamento [13].

Há vários fatores que afetam a medição da bioimpedância elétrica em humanos tais como ingestão de alimentos e de líquidos, prática de exercício e ciclo menstrual [91]. Duas a quatro horas após a ingestão de uma refeição a impedância corporal diminuiu cerca de 13-17 Ohms em comparação a um estado de jejum [91]. A ingestão de um chá normal com 200 mL não revelou mudança na impedância corporal mas a ingestão de um chá de carne com a mesma quantidade baixou a impedância corporal cerca de 4 Ohms [91]. A nível de exercício moderado não houve alterações mas a nível vigoroso a diminuição foi entre 9 a 11 Ohms [91]. Durante o ciclo menstrual, as alterações foram pequenas mas a diferença entre as medições da impedância uma semana antes do início e uma semana após a menstruação foram estatisticamente significativas (8 a 9 Ohms) [91]. Seguindo as condições padrão (jejum pela manhã, depois de esvaziar a bexiga) a variação é de apenas 2,8 % (cerca de 13 Ohms) [91]. Um estudo indica que o método utilizado pela BIA na determinação da percentagem de gordura corporal em humanos não é perturbado pelos fluidos corporais adquiridos várias horas antes da medição [92]. Para melhorar a precisão da medição da BIA é preciso medir com rigor a altura e peso do sujeito e cumprir os critérios estabelecidos na avaliação, nomeadamente: posição do corpo, exercício, consumo alimentar e temperatura da pele. Erros de menor dimensão podem clinicamente ser tolerados mas se estes forem cometidos em todo o grupo, o erro será significativo na predição da composição corporal [93]. A ingestão de refeições antes das medições diminui a impedância elétrica, o que por sua vez diminui a percentagem de massa gorda calculada [94].

A impedância aumenta gradualmente com os sujeitos em decúbito dorsal ao longo do tempo e pode ser eliminada se o sujeito se levantar entre as medições. Outros fatores que aumentam a impedância são a limpeza da pele com álcool, afastamento dos braços do corpo (abdução) e a ingestão de uma grande refeição antes da avaliação. A colocação dos elétrodos parece ter também um efeito grande (diminuição da impedância) uma vez que o volume do

tecido condutor é menor. A ingestão de um litro de água e ciclos respiratórios profundos parecem não afetar a impedância [95].

Os elevados custos das técnicas de diluição levaram à procura de um método mais barato, simples e acessível para avaliar a ACT, AEC e AIC [96].

Bioimpedância elétrica de Uni-Frequência (BIA-UF)

A BIA-UF, usualmente considerada à frequência de 50 kHz, passa a corrente através de eletrodos de superfície que se encontram localizados nas mãos e pés como são o caso dos equipamentos Tanitas Pé-Pé e/ou Mão-Mão. À frequência de 50 kHz não é medida a ACT mas uma soma ponderada das resistências a ~25% de AEC mais AIC. A BIA-UF permite a estimação da MIG e da ACT mas não consegue quantificar individualmente os compartimentos hídricos intra e extracelular. Os resultados obtidos para MIG e ACT são baseados em diversas teorias e equações empíricas [97]. Para a MIG é cientificamente aceite o seu cálculo assumindo a sua hidratação constante a 73,2% [29], sendo a MG calculada através da diferença entre a MC e a MIG. A principal limitação desta assunção trata-se de a hidratação ser assumida como constante em todas as populações [84], problema já anteriormente discutido.

Bioimpedância elétrica de Multifrequência (BIA-MF)

A BIA-MF assemelha-se à anterior em relação ao uso de equações empíricas de modelos de regressão mas difere no sentido que usa várias frequências individuais para calcular a impedância. O conjunto de frequências mais usual baseia-se no uso discreto e combinado das seguintes frequências: 1, 5, 50, 100, 200 a 500 kHz. Este método permite a avaliação da MIG, ACT, AIC e AEC, sendo estes dois últimos compartimentos corporais calculados de forma individual [97].

Thomasset foi o primeiro a propor o uso de duas frequências (1 e 100 kHz) para avaliar a AEC e ACT, respectivamente [79], tendo posteriormente proposto o cálculo da AIC como a diferença entre as outras duas.

Na multifrequência assume-se que há dois tipos de resistividade: um para a AEC (baixa frequência – R_e) e outro para todo o fluido corporal (alta frequência – R_t), sendo que para a AIC ambas as frequências ajudam na obtenção da resistência neste compartimento (R_i) [84].

Em modo comparativo, a MF-BIA revelou ser mais válida e com menos viés que a BIA-UF para a predição da AEC, enquanto a BIA-UF foi mais válida e com menos viés para a ACT em pessoas em estado crítico [98]. No entanto, vários estudos demonstraram que a bioimpedância de multifrequência melhorou a estimativa da composição corporal em relação às estimativas da uni-frequência especialmente na determinação da ACT [84].

Bioimpedância espectral (BIS)

Esta variação da técnica de bioimpedância incorpora modelos matemáticos como método de análise e cálculo (gráfico de Cole-Cole e o modelo de Hanai) [99, 100] para criar uma relação entre a resistência e os fluidos corporais dos compartimentos. A BIS demonstrou ser válida e com um mínimo de viés em pessoas saudáveis [97, 98].

Devido a estes modelos matemáticos e respectivas equações, é possível medir a impedância através de um espectro de frequências e extrapolar a linha de impedância para dois pontos imaginários no eixo das abcissas, correspondentes a R_0 e R_∞ , ou seja resistência teórica à frequência 0 e à frequência infinito. Esta modelação matemática permite acomodar as variações interindividuais [99]. Por outras palavras, a frequências infinitas o sinal consegue penetrar em todas as membranas e passa através de todos os fluidos [97].

A Bioimpedância elétrica espectral é segura, rápida e fácil de usar como método alternativo [97]. Na população atlética foi usada para estimar mudanças na MIG num grupo de judocas antes de uma competição, embora neste mesmo estudo se tenha observado que este método é menos válido na determinação individual das alterações da MIG [101].

É um método alternativo rápido, seguro e não-invasivo para avaliar a ACT e os seus respectivos compartimentos. Até à data, poucos estudos testaram a validade do método de bioimpedância elétrica espectral em população atlética [102], sendo que um destes estudos recentemente demonstrou que este método é também uma ferramenta válida na determinação dos compartimentos da AEC e AIC em atletas de várias modalidades [103]. O mesmo estudo conclui ainda que apesar da sua validade, segurança, rapidez e facilidade deve, contudo, ser limitado para estudos epidemiológicos devido à falta de precisão individual.

Bioimpedância elétrica segmentar

Estudos foram realizados no sentido de perceber se seria possível estimar com precisão a resistência total do corpo através de medição de segmentos corporais (comprimento e resistência). Os resultados demonstraram que avaliando a resistência e comprimento do braço podemos estimar a composição corporal através da bioimpedância elétrica segmentar em vez de utilizarmos métodos ao nível de todo o corpo [104].

As avaliações podem ser obtidas através de quatro tipos de protocolos: 1) utiliza elétrodos de injeção de corrente dupla no dorso da mão (próximo da articulação cárpico-falângica) e no dorso do pé (próximo da articulação metatarso-falângica) direitos e elétrodos de voltagem colocados do lado direito do corpo na mão (próximo do carpo), no dorso do pé (próximo do tarso), no ombro (perto do troquiter) e na perna (próximo da tuberosidade anterior da tíbia) [13]; 2) utiliza elétrodos de injeção de corrente dupla do lado direito do corpo no dorso

da mão (próximo da articulação cárpico-falângica) e no dorso do pé (próximo da articulação metatarso-falângica) e elétrodos de voltagem colocados do lado direito do corpo na mão (próximo do carpo), no dorso do pé (próximo do tarso), no ombro (perto do troquiter) e na parte de cima da bacia (próximo da espinha ilíaca ântero-superior) [105]; 3) utiliza elétrodos de injeção de corrente dupla do lado direito do corpo no dorso da mão (próximo da articulação cárpico-falângica) e no dorso do pé (próximo da articulação metatarso-falângica) e dois elétrodos de voltagem colocados do lado direito na mão (próximo do carpo) e no dorso do pé (próximo do tarso) e mais dois, um colocado na mão (próximo do carpo) e outro colocado no dorso do pé (próximo do tarso) esquerdos [106]; 4) utiliza elétrodos de injeção de corrente dupla no lado direito e esquerdo no dorso da mão (próximo da articulação cárpico-falângica) e no dorso do pé (próximo da articulação metatarso-falângica) e dois elétrodos de voltagem colocados do lado direito e esquerdo na mão (próximo do carpo) e no dorso do pé (próximo do tarso) [107].

A bioimpedância elétrica oferece uma variedade de métodos com resultados confirmados, pelo que a BIA segmentar é um método viável na determinação da composição corporal, nomeadamente na avaliação da MG e MIG [108]

2.2.2.1- Bioimpedância Elétrica e Equipamentos de avaliação

Os equipamentos de bioimpedância elétrica, conforme já foi mencionado, distinguem-se em dois grandes grupos, uni-frequência e multifrequência. Os equipamentos usam métodos de avaliação diferentes desde:

- O método clássico Mão-Pé, que é um dos métodos mais comuns e que se encontra apresentado na figura 2 a). O indivíduo está em decúbito ventral durante 10min para estabilização dos fluidos corporais e são posteriormente colocados elétrodos no dorso

da mão (um próximo do carpo e outro da articulação cárpico-falângica) e no dorso do pé (um próximo do tarso e outro da articulação metatarso-falângica) direitos que contêm um gel que minimiza a impedância, de acordo com o método padrão tetrapolar de colocação de elétrodos [84]; o método pé-pé (figura 2 – b) utiliza uma balança que reage à pressão de contacto do pé [109] onde o indivíduo permanece na posição vertical, com os pés descalços em cima de quatro painéis de aço inoxidável onde se encontram os elétrodos e estes se dividem em parte da frente (dedos) e parte de trás (calcanhares) para a passagem de corrente elétrica [110];

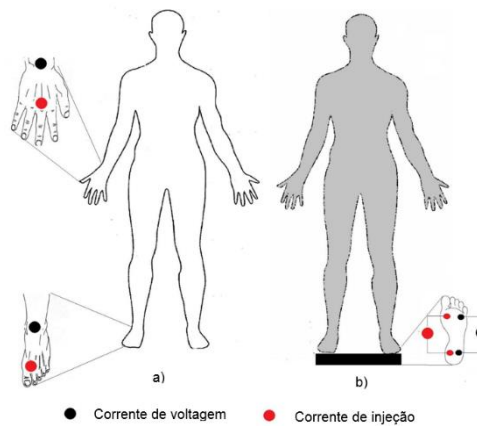


Figura 2: Técnica de medição da bioimpedância a) a nível de todo o corpo segundo a técnica Mão-Pé; b) técnica Pé-Pé [111].

- O método mão-mão (figura 3) que surgiu num estudo para medir a impedância em indivíduos com desnutrição [112] e onde o equipamento é segurado à frente do corpo, com os braços na horizontal e esticado.

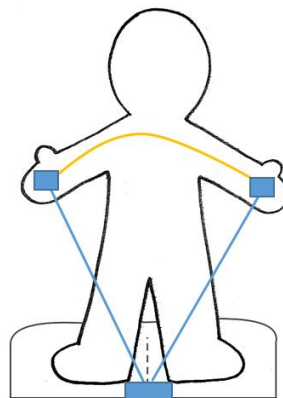


Figura 3: Técnica de medição da bioimpedância Mão-Mão onde a amarelo está representado o circuito elétrico e a azul os constituintes do equipamento em questão.

- Por fim, o método segmentar que divide o corpo em cinco cilindros (membros inferiores, membros superiores e tronco) baseia-se num dos quatro protocolos já mencionados na secção da bioimpedância elétrica segmentar e é apresentado na figura 4 [97];

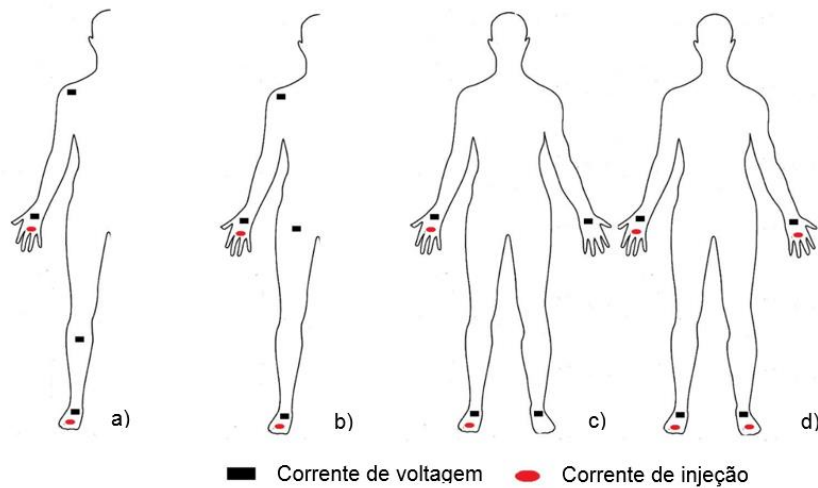


Figura 4: Técnica de medição da bioimpedância segmentar onde a) utiliza eléctrodos de injeção e tensão de corrente dupla do lado direito do corpo; b) utiliza eléctrodos de injeção e tensão de corrente dupla do lado direito do corpo; c) utiliza eléctrodos de injeção apenas do lado direito do corpo e tensão de corrente dupla de ambos os lados do corpo; d) utiliza eléctrodos de injeção e tensão de corrente dupla do lado direito do corpo e do lado esquerdo [111].

Existem vários fabricantes como a Omron (Mão-Mão), Tanita (Pé-Pé, Segmentar), Xitron (BIS), Seca e Nutriguard sendo que cada um destes tem vários modelos. A escolha do método base de bioimpedância elétrica e do seu modelo em particular deve ser efectuada com base no protocolo de estudo a aplicar, na população a estudar, assim como nas condições em que serão efectuadas as medições de impedância.

2.2.2.2- Estudos de validade da BIA em Atletas

Na tabela 4 estão referidos estudos de validação de equações da BIA, usando diversos equipamentos e fabricantes, em populações atléticas:

Tabela 4. Validação de equações de bioimpedância elétrica em atletas

Amostra	Método Referência	Estimação	r ²	EPE	EP	CCC	Análise Concordância			BIA	Referência
							Viés	Intervalo Confiança	Tendência		
1	DXA	MIG (kg)	0,96	1,1	± 5,9	ND	-0,1	ND	ND	RJL 101A Analyzer	[113]
2	DXA	MIG (kg)	0,83 ^a	1,45 ^a	ND	ND	0,05 ^{ac} /0,13 ^{bd}	-2,83 a 2,73 ^{ac} / -3,08 a 2,81 ^{bd}	NS	RJL 101A Analyzer	[114]
			0,87 ^b	1,37 ^b			0,05 ^{ac} /0,17 ^{bd}	-2,04 a 2,12 ^{ac} / -2,93 a 2,58 ^{bd}			
3	Ph ^{e,f}	MIG (kg)	0,74 ^g	2,3 ^g	2,4 ^g	ND	0,4 ^{eg}	ND	NS	RJL Systems BIA-106	[115]
			0,72 ^h	2,4 ^h	2,4 ^h		-0,3 ^{eh}	ND	NS		
			0,76 ⁱ	2,3 ⁱ	2,4 ⁱ		-1,3 ^{fh}	ND	ND		
4	DXA	MIG (kg)	0,92 ^j	ND	ND	ND	0	ND	Significativo	Tanita BC-418 ^l	[116]
			0,92 ^k	ND	ND		0				
5	Ph	MG (%)	0,73 ^m	2,0 ^m	ND	ND	1,2 ^m	-6,2 a 3,8 ^m	Significativo	BIA 101 RJL	[117]
			0,66 ⁿ	1,9 ⁿ			0,9 ⁿ	-4,8 a 3,2 ⁿ			
6	Ph	MIG (kg)	0,81	5,8	ND	ND	-4,6	ND	Significativo	BMR	[118]
			0,77	5,6			-3,5			VAL	
			0,85	5,1			-3,6			RJL	
		0,66	6,0	4,7	BMR						
		0,50	5,6	3,7	VAL						
0,52	5,5	4	RJL								

Amostra	Método Referência	Estimação	r ²	EPE	EP	CCC	Análise Concordância			BIA	Referência
							Viés	Intervalo Confiança	Tendência		
7	PDA	MG (%)	0,638	3,6	4,16	ND	2,2	-5 a 9,4	Significativo	TBF-300A ^o	[119]
			0,08 ^p	3,0	5,3	ND	2,1 ± 5,2	-8,09 a 12,29	NS		
8	DXA	MG (%)	0,09 ^a	3,0	5	ND	1,8 ± 5,4	-8,78 a 12,38	NS	Valhalla Scientific BIA	[120]
			0,08 ^r	3,0	6,5	ND	5,5 ± 4,0	-2,34 a 13,34	NS		
			0,10 ^s	3,0	6	ND	4,4 ± 4,5	-4,42 a 13,22	NS		
9	DXA	MG (%)	0,724	3,42	ND	0,7773	-2,8	-10,1 a 4,5	Significativo	Tanita MC-180 MA ^u	[121]
		MIGO (kg)	0,959	2,36	ND	0,9275	2	-2,6 a 7,1	Significativo		

Abreviaturas: r², coeficiente de determinação; EPE, erro padrão de estimação; EP, erro puro; CCC, coeficiente de correlação de concordância; BIA, bioimpedância elétrica; DXA, Densitometria Radiológica de Dupla Energia; MIG, Massa Isenta de Gordura; ND, não disponível; NS, não significativo; Ph, pesagem hidrostática; PDA, Pletismografia por deslocamento de ar.

Amostra e equações: **1) Atletas Femininas Universitárias praticantes de diversos desportos (n=132)** - $MIG = (0,282 \times E) + (0,415 \times P) - (0,037 \times Re) + (0,096 \times Xc) - 9,734$; **2) Jovens dançarinas (n=42)** - Equação 1 (E_{BIA}) $MIG (kg) = 0,247 \times P + 0,214 \times (E^2/R) + 0,191 \times E - 14,96$ [122]; Equação 2 (E_{BIA-TRICEPS}) $MIG (kg) = 0,391 \times P$, onde $P + 0,168 \times E - 0,253 \times Triceps + 0,144 \times (E^2/R) - 9,49$; **3) Jovens ginastas femininas (n=97)** - $MIG(kg) = 0,512(E^2/R) + 0,507(P) - 0,731(CircBra) + 10,85$ [123]; $MIG (kg) = 0,52(E^2/R) + 0,23(P) + 7,49$ [124]; $MIG (kg) = 0,475 \left(\frac{E^2}{R}\right) + 0,295(P) + 5,49$ [125]; **4) Futebolistas Tailandeses (n=27)** - Equação 1a) $MIG(kg) = -2,215 + 0,185 \times E^2/Z + 0,778 \times P - 0,072 \times id$ [116]; Equação 1b) $MIG (kg) = -3,617 + 0,171 \times E^2/Z + 0,786 \times P - 0,072$ [116]; **5) Atletas Universitários (n=117 H e N=114 F)** - ND; **6) Jovens Universitário praticantes de futebol Americano (n=28)** - ND; **7) Atletas Universitários praticantes de luta (n=25)** - ND; **8) Heptatletas de Elite Femininas (n=19)** - Equação A^p: $MIG = [0,73 \times (E^2/Re)] + (0,16 \times P) + 2,0$ (Equação [125] p.53); Equação B^q: $MIG = [0,666 \times (E^2/R)] + (0,217 \times Xc) + (0,164 \times P) - 8,78$, sendo a MIG Ajustada = $0,18 \times (45,0 - MIG) + MIG$ (Equação [125] p. 127); Equação C^r: Valhalla Impedance Analyzer (Equação [23]); Equação D^s: $MIG = [0,73 \times (E^2/Re)] + (0,116 \times P) + (0,096 \times Xc) - 4,03$ (equação [126]); **9) Atletas portugueses praticantes de diversos desportos (n=35 H | n=44 M)** - ND.

^aEquação 1 (E_{BIA}); ^bEquação 2 (E_{BIA-TRICEPS}); ^cSub-grupo 1; ^dSub-grupo 2; A validade das duas equações derivadas deste estudo foram avaliadas em dois sub-grupos, igualmente selecionados e de forma aleatória, do grupo de estudo inicial (n₁=n₂=21) (2); ^ePh por Brozek [41]; ^fPh por Lohman [47]; ^gequação 3 [123]; ^hequação 13 [124]; ⁱequação 14 [125]; (3); ^jEquação 1a); ^kEquação 1b); ^lTanita Corp., Tokyo, Japan; (4); ^mHomens; ⁿMulheres; (5); ^oTanita Corporation of America, Inc., Arlington Heights, IL; (7); ^pBIA A; ^qBIA B; ^rBIA C; ^sBIA D; (8); ^tos valores apresentados consideram o n total; ^u Tóquio, Japão (9).

2.3. Pertinência do Estudo e Objetivos

A avaliação da composição corporal em populações atléticas é reconhecida como um fator a ter em conta, sobretudo, para a estimação da MG e da MIG. Deste modo, é necessária a utilização de técnicas adequadas para determinar os principais componentes moleculares.

Atualmente, o modelo a 4C é considerado o “estado da arte”, ou seja, é o modelo de referência devido à sua grande validade uma vez que controla a variabilidade dos principais componentes da MIG (água corporal, Mo e proteína ou Res). Em populações atléticas é fundamental o uso deste método porque há variabilidade da MIG e este modelo incorpora a avaliação da água.

A escolha do método deve recair no modelo que apresente menos pressupostos, como é o caso dos modelos a 4C, no entanto, os métodos de avaliação da composição corporal devem ser fáceis e rápidos de executar, seguros e com interpretação de resultados intuitiva.

Deste modo, a bioimpedância elétrica é uma técnica simples e prática na determinação da composição corporal e é muito utilizada por treinadores e atletas.

A tabela 4 apresenta uma revisão da validação de equações da BIA para a MG e MIG em populações atléticas. Apenas três estudos validam a Tanita e nenhum deles se refere ao modelo usado no presente estudo (TBF-310) nem são validados tendo como método de referência o modelo a 4C. Desta forma, a sua validade na determinação da composição corporal em atletas permanece desconhecida.

A Tanita é uma opção para determinar a MG em populações atléticas e com extremo controlo de peso, sendo muito importante uma vez que se trata de um método portátil e barato quando comparado com métodos mais precisos e sofisticados e, portanto, muito utilizado por

parte de atletas e treinadores. No entanto, a sua validade nesta população especial é ainda desconhecida. A literatura não tem nenhum estudo comparando a Tanita ao modelo 4C numa população desportiva como o judo.

O objectivo deste estudo é testar a validade da bioimpedância elétrica por multifrequência (Tanita - TBF-310) na estimação da MG e MIG em judocas de elite, tendo o modelo molecular a 4C como referência.

3. Metodologia

Participantes:

Um total de 29 atletas de judo do género masculino da Seleção Nacional Portuguesa foram avaliados num período em que o seu peso se encontrava estável.

Os critérios de inclusão foram: 1) terem mais de 18 anos; 2) terem, no mínimo, 5 anos de treino; 3) treinarem, pelo menos, 15h por semana; 4) possuírem um nível técnico do 1º de cinturão negro; 5) não acusarem positivo nos processos de avaliação de anti-doping; 6) não tomarem nenhuma medicação ou suplementos dietéticos.

Não existem limitações de saúde para a participação deste grupo de atletas no estudo. Todos os participantes assinaram o seu consentimento informado antes da participação no estudo.

Todos os procedimentos foram aprovados pela Comissão de Ética da Faculdade de Motricidade Humana, Universidade de Lisboa e conduzidos de acordo com as Declarações de Helsínquia para estudos com humanos da World Medical Association [[127](#)].

Desenho Experimental:

Uma amostra de atletas de elite, da equipa Nacional de Judo, participou numa investigação durante o período de estabilidade de peso. O presente estudo considerou os dados recolhidos no momento inicial, efetuados entre Setembro e Outubro (um mês a um mês e meio antes dos atletas participarem em competições previstas no calendário desportivo da modalidade). Os atletas de judo estiveram envolvidos em treinos, geralmente em regime bi-diário com durações de aproximadamente 2 horas de manhã e 2 horas à tarde. Duas das sessões matinais eram direcionadas à melhoria da condição cardiorrespiratória e força enquanto as sessões da tarde focavam as técnicas específicas do judo, treinos diversos e randori (prática de combate).

Medições da Composição Corporal:

As medições foram feitas antes da competição e após jejum de 12 horas, sem consumo de álcool ou de bebidas estimulantes, e sem prática desportiva nas últimas 15 horas. Todas as avaliações foram realizadas na mesma manhã.

Os procedimentos relativos às avaliações encontram-se descritos abaixo:

Antropometria

Os indivíduos foram pesados com uma aproximação a 0,01 kg vestindo um fato de banho, sem sapatos, numa balança eletrónica conectada ao computador do pletismógrafo (BOD POD, COSMED, Rome, Italy). A altura foi medida com precisão de 0,1 cm, com um estadiómetro (Seca, Hamburgo, Alemanha), de acordo com os procedimentos standardizados e descritos anteriormente [128].

Hidratação

Para assegurar que todos os atletas estavam num estado de hidratação neutro no período de estabilidade, observou-se se a urina evacuada era amarela clara (diluída) e confirmou-se com os atletas que a primeira medição do dia do peso corporal após esse esvaziamento nos 3 dias anteriores à primeira visita não mudou em mais de 1% [129].

Modelo de 4 Compartimentos

O modelo a 4 compartimentos foi usado como método de referência, calculado depois de usar os componentes do mineral não ósseo (MNO) obtidos como $MNO (kg) = 0,0129 \times ACT$ [49]. O modelo apresenta a seguinte equação:

$$Mg(kg) = 2,748 \times VC - 0,715 \times ACT + 1,129 \times Mo + 1,222 \times Ms - 2,051 \times MC \quad (4)$$

Entende-se por VC o volume corporal (L), ACT é a água corporal total (kg), Mo é o mineral ósseo (kg), Ms é o mineral não ósseo (kg) e MC o massa corporal (kg).

Deste modo, a equação 4 foi recalculada como:

$$Mg(kg) = 2,748 \times VC - 0,699 \times ACT + 1,129 \times Mo + 2,051 \times PC \quad (5)$$

Entende-se por VC o volume corporal (L), ACT é a água corporal total (kg), Mo é o mineral ósseo (kg), e PC o peso corporal (kg).

Desta forma, o mineral corporal total (M) foi recalculado como:

$$M = Mo + MNO \quad (6)$$

Entende-se por Mo o mineral ósseo (kg) e MNO o mineral não ósseo (kg).

Cálculo da densidade da Massa Isenta de Gordura (MIG_D)

A MIG_D foi estimada através da ACT, Mo, MNO e Proteína (Proteína é igual ao PC menos MG, ACT, Mo e MNO do modelo a 4C) presentes na MIG (estimada como PC menos MG do modelo a 4C) e das respectivas densidades (0,9937; 2,982; 3,317 e 1,34 g/cc), para ACT, Mo, MNO e proteína, respectivamente.

$$Mig_D = 1/[ACT/ACT_D) + (Mo/Mo_D) + (MNO/MNO_D) + (proteína/proteína_D)] \quad (7)$$

Entende-se por _D a densidade, MIG a massa isenta de gordura, ACT a água corporal total, Mo o mineral ósseo e MNO o mineral não ósseo.

Mineral Ósseo (Mo)

A DXA Hologic Explorer-W (software QDR para Windows versão 12.4, Hologic, Waltham, Massachusetts, USA) foi usada para medir o conteúdo mineral ósseo (CMO). Considerando que o CMO representa as cinzas do osso, o mesmo foi convertido para Mineral Ósseo corporal total (Mo) multiplicando CMO por 1,0436 [130]. Baseado no teste-reteste de 10 indivíduos, CV para o CMO no laboratório é de 1,6%.

Volume Corporal (VC)

O Volume Corporal (VC) foi avaliado através da pletismografia por deslocamento de ar (PDA) (COSMED, Rome, Italy). O uso deste método foi descrito em detalhe anteriormente [45, 131]. De modo resumido, após esvaziamento da bexiga, cada sujeito foi pesado com aproximação a 0,01 kg, descalço e em fato de banho. O aparelho de PDA foi calibrado de acordo com as instruções do fabricante e o Volume Corporal não ajustado (VC_{naj}) foi determinado. O efeito do volume da roupa e cabelo é minimizado pela utilização de fato de banho e touca de natação para o cabelo. Por último, o volume de gás torácico (V_{gt}) foi medido no BOD POD usando a “manobra de Valsava”. O sujeito respirava através de um tubo tendo o nariz tapado com uma mola; após duas ou três respirações normais, a via aérea foi ocluída durante 3 segundos. Durante esse tempo, o atleta foi instruído a soprar levemente contra a oclusão alternando entre contração e relaxação do diafragma. No período de estabilidade o V_{gt} foi medido em todos os sujeitos, sendo o mesmo valor introduzido no segundo momento de avaliação (1-3 dias antes da competição).

Todas as medições foram conduzidas com a versão de software 1.68. O CV para o VC, baseado no teste-reteste usado em 10 sujeitos, foi de 0,5%.

Água Corporal Total (ACT)

A água corporal total foi avaliada através da técnica de diluição de Deutério, um isótopo estável de Hidrogénio (PDZ, Europa Scientific, UK). Depois de um período de 12h de jejum, uma amostra da primeira urina da manhã foi recolhida e foi imediatamente administrada uma dose de solução de óxido de deutério ($^2\text{H}_2\text{O}$) de 0,1 g/kg do peso corporal diluída em 30 mL de água. Após um período de equilíbrio de 4h, recolheu-se uma nova amostra de urina. A quantidade de $^2\text{H}_2\text{O}$ no isótopo diluído foi analisada. As amostras de urina foram preparadas para analisar o rácio $^1\text{H}/^2\text{H}$ usando a técnica de equilíbrio de Prosser e Scrimgeour [132]. Após os tubos serem preenchidos, foram equilibrados a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ durante a noite durante 3 dias. Os tubos foram então introduzidos sequencialmente dentro de um fluxo de hélio, secado por perclorato de magnésio, e analisado por espectrometria de massas para detetar o rácio $^1\text{H}/^2\text{H}$. Os padrões de enriquecimento da água equilibrada foram calibrados em relação ao padrão internacional SMOW (Standardized Mean Ocean Water). Com base neste padrão a ACT foi estimada, incluindo uma correção de 4% devido ao reconhecimento de uma quantidade correspondente à diluição de deutério em outros compartimentos [133].

O CV para a ACT por espectrometria de massas no laboratório foi de 1,3%.

Propagação do Erro de Medição

No presente estudo selecionou-se o PDA para determinar o VC, a DXA para o Mo e a diluição do deutério para a ACT. A propagação do erro de medição associado com a determinação do VC, ACT e Mo pode ser calculada se assumirmos que o quadrado do erro técnico de medição (ETM^2) é independente e aditivo [56].

Portanto,

$$\text{ETM} = \text{ETM} = [\text{ETM}^2 \text{ para o efeito da PDA na \% MG} + \text{ETM}^2 \text{ para o efeito da ACT na \% MG} + \text{ETM}^2 \text{ para o efeito do Mo na \% MG}]^{0,5} \quad (8)$$

Usando a equação acima,

$$ETM = [0,81^2 + 0,36^2 + 0,04^2]1^{0,5} = 0,89 \%Mg \quad (9)$$

A precisão do modelo a 4C na determinação da MG no presente é de ~1%.

Bioimpedância Elétrica

A composição corporal, nomeadamente a MG e a MIG, foi medida através de uma Tanita Pé-Pé de uni-frequência (modelo TBF-310; Tanita Corp., Tokyo, Japan – frequência a 50kHz). A hidratação da MIG é assumida a um valor constante de 73,2%. Os atletas realizaram a avaliação descalços e em fato de banho.

Análise Estatística

A análise estatística foi realizada através do software SPSS (SPSS Inc., versão 22, Chicago IL, USA). Começou-se pela análise descritiva da média, desvio padrão, mínimo e máximo das variáveis demográficas e da composição corporal. Para comparar as variáveis obtidas pela BIA com o método de referência (4C), foi efetuada uma comparação de médias, através do teste *t Student* para amostras emparelhadas e através do teste de Wilcoxon para amostras não paramétricas. A normalidade foi testada pelo teste de Shapiro-Wilk. Para testar se os valores da composição e densidade da MIG diferiam dos valores propostos por Brozek [41] foi utilizado o teste t para uma amostra.

Em 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).

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[[134](#)].

Recorreu-se ao método de Bland e Altman para analisar a concordância entre os dois métodos, sendo definidos intervalos de confiança a 95%[[135](#)]. Adicionalmente, foi verificada a correlação entre a diferença dos métodos e a média dos métodos. O nível de significância foi estabelecido a $p < 0,05$.

4. Resultados

As variáveis representativas das características e composição corporal dos participantes estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Características e composição corporal dos participantes (n=29)

	Total (n = 29) Média ± DP	Amplitude
Idade (anos)	23,1 ± 3,4	18 – 31
Peso (kg)	73,5 ± 8,4	56,5 – 100,1
Altura (cm)	175,4 ± 5,7	165 – 188,7
IMC (kg/m ²)	24,0 ± 2,6	20,2 – 31,2
MG _{4C} (kg) ^a	7,0 ± 3,1	2,9 – 16,7
MG _{4C} (%) ^a	9,5 ± 3,7	3,7 – 20,6
MIG _{4C} (kg)	66,5 ± 7,8	51,2 – 89,7
MG _{Tanita} (kg) ^a	7,2 ± 3,6	2,8 – 17,4
MG _{Tanita} (%) ^a	9,5 ± 3,8	4,1 – 20,4
MIG _{Tanita} (kg)	65,7 ± 5,93	52,8 – 82,8
Fração Água (%)	71,6 ± 2,1	68 – 77
Fração Mineral Ósseo (%)	4,9 ± 0,3	4 – 5
Fração Mineral Não Ósseo (%)	0,9 ± 0,03	1 – 1
Fração Residual (%)	22,6 ± 2,4	18 – 27
MIG _D (g/cm ³)	1,101 ± 0,007	1,085 – 1,112

Abreviaturas: DP, desvio padrão; MG_{4C}, Massa gorda calculada pelo método de referência dos 4 compartimentos calculados por Wang (Massa Corporal (MC) = Massa Gorda (MG) + Água + Mineral Ósseo (Mo) + Proteína – Wang’s Model (2002)); MIG_{4C}, Massa isenta de gordura calculada pelo método de referência dos 4 compartimentos; MG_{Tanita}, Massa gorda calculada pelo método da Tanita; MIG_{Tanita}, Massa isenta de gordura calculada pelo método da Tanita; MIG_D, Densidade da massa isenta de gordura.

^a Diferença significativa do método de referência, p <0,05

Os valores médios de MG calculada pelo método da Tanita e calculada pelo método de referência dos 4C apresentam diferenças significativas (p< 0,05) enquanto que para a MIG não se observam diferenças significativas entre o método de avaliação pela Tanita e o método de referência. Foram verificadas diferenças (p<0,05) na composição e densidade da MIG face aos valores propostos por Brozek [41].

Na tabela 6 encontram-se os resultados referentes ao desempenho da Tanita relativamente ao método de referência na avaliação da MG (kg) e MIG (kg) através da análise da regressão e do coeficiente de correlação da amostra.

Tabela 6. Análise do desempenho da Tanita na estimação da MG e MIG através das regressões e coeficientes de correlação de concordância face ao método de referência.

	R	R ²	EPE (kg)	Declive	Intercepção na Origem	CCC	Precisão (p)	Validade (Cb)
MG (kg)	0,46	0,21	2,75	0,39 ^a	4,24 ^b	0,45	0,46	0,98
MIG (kg)	0,85	0,72	4,20	1,11 ^a	-6,41	0,81	0,85	0,96

Abreviaturas: R², coeficiente de determinação; EPE, erro padrão de estimação; CCC, coeficiente de correlação de concordância; MG, Massa gorda; MIG, Massa isenta de gordura.

^a Declive significativamente diferente de 1, $p < 0,05$

^b Intersecção na Origem significativamente diferente de 0, $p < 0,05$

O método alternativo explica 21% e 72% da variabilidade dos valores absolutos observados na MG e MIG, respetivamente, a partir do método de referência.

Relativamente ao declive da recta e à intercepção na origem, os valores diferem de 1 e 0, respectivamente, tanto na MG como na MIG.

A análise de concordância entre métodos está representada na Figura 5 através do método de Bland-Altman. Esta análise mostra as associações entre a diferença e a média dos métodos.

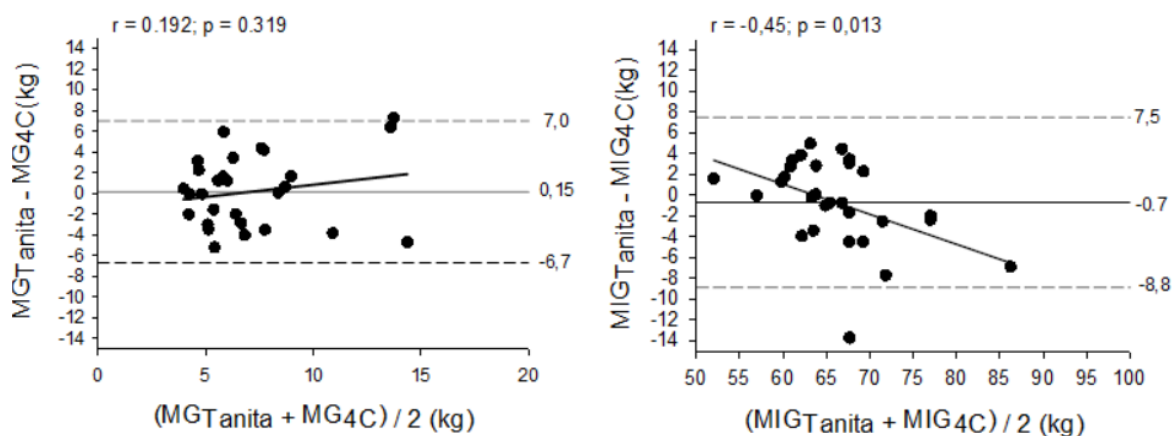


Figura 5. Análise do método de Bland-Altman que representa a concordância entre os métodos para a avaliação da MG (kg) e MIG (kg). A linha média sólida representa a diferença média entre os resultados da Tanita e o método de referência dos 4 compartimentos de Wang. As linhas superiores e inferiores tracejadas representam $\pm 1,96$ desvio padrão dos limites médios, ou seja, 95% de concordância ($\pm 1,96$ DP). A linha de tendência representa a associação entre as diferenças de métodos e as médias de ambos os métodos, tal como ilustrado pelo coeficiente de correlação (r).

Foi observada para a MG (kg) uma sobrestimação individual que atingiu valores de 7,0 kg e uma subestimação de -6,7 kg. Para a MIG (kg) a sobrestimação atingiu valores de 7,5 kg e uma subestimação de -8,8 kg.

5. Discussão

O principal objectivo deste estudo foi avaliar a validade da Tanita TBF-310 na estimação da MG e MIG absolutas em atletas de alta competição, da modalidade de judo, sendo o método de referência os 4 compartimentos.

Não foram encontrados na literatura estudos que validassem a Tanita TBF-310 na determinação da composição corporal em atletas, especificamente da MG e MIG, tendo como método de referência o modelo a 4C. Deste modo, a comparação dos resultados será feita em relação a outros modelos de bioimpedância elétrica de unifrequência testados e validados com métodos de referência diferentes, em populações atléticas [17, 116, 119]. Para judocas e usando estas variáveis ainda não existem artigos publicados.

A Tanita MC-180 apresentou uma concordância aceitável e um elevado poder explicativo em comparação aos valores preditos pela DXA o que revelou ser um método alternativo válido na determinação do MIGO em desportos como o andebol, voleibol, basquetebol, natação, atletismo, triatlo, judo, vela e ténis [17].

Kao, *et al* [122], não só conceberam duas equações específicas para determinar a MIG em futebolistas como provaram que estas não só tinham um grande poder explicativo como apresentavam a melhor validade em relação ao leque de equações já existentes quando comparado com os valores estimados pela DXA. Esta conclusão revela que a população atlética necessita de equações específicas uma vez que representam uma pequena porção da população mundial e, como tal, as equações existentes, formuladas para a generalidade das pessoas, não se aplicam à mesma.

Em relação à estimação da MG (%), tendo como método de referência a PDA, os resultados indicam que a TBF-300^a subestimou em 5% e sobrestimou em 9,4% a MG. Desta forma, não se trata de um método de avaliação aceitável para este tipo de população [125].

Numa população onde os escalões de competição são determinados pelo peso [1], a Tanita TBF-310 sobrestimou a MG e MIG em relação ao método de referência mas apenas a MG apresentou diferença significativa. O poder explicativo obtido pela Tanita em relação ao método dos 4C revelou ser fraco para a estimação da MG mas aceitável para a MIG. Em relação aos limites de concordância, estes foram elevados tanto na MG como na MIG. Uma vez que os valores diferem de 1, no declive da recta, e 0 na interseção, conclui-se que a recta se desvia da sua linha de identidade (Tabela 6) pelo que não há correspondência entre métodos para as variáveis da composição corporal estudadas. O coeficiente de correlação de concordância para a MG (kg) e MIG (kg) apresentam uma força de concordância fraca (<90) observando-se ainda que a força de concordância para a MG (kg) é bem inferior à força de concordância para a MIG (kg) [136]. A elevada variabilidade individual verificada corresponde à validade deste equipamento na determinação da composição corporal em judocas e, segundo o Bland-Altman, quanto maior os limites do intervalo, menor o nível de concordância entre métodos [135]. O EPE do estudo para a MG apresentou valores de 2,75 kg e para a MIG apresentou valores de 4,20 kg. Quanto mais reduzido o EPE maior a validade da variável. Se os valores do EPE para a MG $<3\%$, estamos perante um método aceitável e válido, valores entre 3-4% indicam uma limitação e $EPE > 4\%$ já indicam uma variabilidade muito grande [125].

A Tanita TBF-310 apresenta algumas vantagens pelo facto de ser portátil, pouco dispendiosa e fácil de usar [96], no entanto, não foi válida na estimação da MG na população judoca.

Em avaliações que usaram a DXA como método de referência, as medições que foram efetuadas a um grupo de crianças pertencentes a uma escola desportiva usando a equação da Tanita na estimação da MG (%) e MIG (kg), revelaram uma diferença média entre a Tanita e a DXA de -1,3 kg para a MIG e 1,8 % para a MG [137]. A Tanita TBF-300 estimou a MG e obteve elevada associação ($r=0,94$) e um EPE de 3,58 (%) comparativamente à DXA em

adultos saudáveis [138]. Um estudo que visou comparar vários métodos de bioimpedância (mão-pé; mão-mão; pé-pé), revelou que a Tanita (pé-pé) obteve a pior correlação, na estimação da MIG, dos três modelos apesar de o coeficiente de determinação ser superior a 0,90 ($r=0,92$) [139]. Já em relação à MG, a Tanita TBF-300 revelou ser melhor ($r^2=0,61$) do que a BIA tetrapolar ($r^2=0,57$) durante um período de perda de peso, em adultos participantes num programa específico de controlo do peso [140].

Existem poucas equações de validade da Tanita na população atlética sendo que o coeficiente de determinação varia entre 0,64 [119] e 0,72 [17] para a % MG e é de 0,92 [116] para a MIG (kg). O EPE varia entre 3,42 [17] e 3,6 [119] para a % MG e é de 1,96-1,98 [116] para a MIG (kg). O intervalo de confiança varia entre -10,1 [17] e 9,4 [119] para a % MG e varia entre -9,6 e 6,8 obtidos neste estudo para a MIG (kg). A título de curiosidade, pela análise da tabela de validação de equações da BIA, o fabricante mais utilizado e com melhores valores foi o RJL 101^a e aquele com piores resultados foi Valhalla Scientific BIA.

A densidade da MIG e respetivas percentagens dos constituintes da MIG têm valores assumidos como constantes, a uma temperatura de 36°C (tabela 2). No entanto, alguns estudos utilizam o modelo a 2C para validar a BIA [29, 44, 45]. Neste sentido procedeu-se à recolha de dados que nos permitissem perceber se valores como a ACT, Proteína, Mno e MO se comportavam da mesma forma numa população atlética [29]. Segundo a referência corporal, a ACT/MIG é de $73,2\% \pm 0,036$ [29] enquanto a obtida neste estudo é de $71,5\% \pm 0,021$. De acordo com Brozek [41], o Mo foi referido como sendo 5,6% da MIG e o Mno como sendo 1,2% [41] e as obtidas neste estudo são de 4,8% e 0,92%, respectivamente. Em relação à proteína o contributo é de 19,4% e os resultados do estudo revelaram ser 22,6%. Portanto, usando técnicas hidrométricas para a estimação da MIG com base no valor assumido de 73,2% [29], uma subestimação da MIG seria de esperar tendo em conta que foram encontrados valores de 71,6%. Estes valores demonstram que a assunção da estabilidade da composição e densidade

da MIG não é a mais apropriada para a população estudada comprometendo a estimação da composição corporal se técnicas hidrométricas e densitométricas forem usadas. A densidade da MIG é maior possivelmente devido ao aumento do contributo da proteína e diminuição da % água na MIG.

Os modelos Mão-Mão e Pé-Pé não nos dão com precisão a percentagem de massa gorda [84]. De um modo geral percebe-se que a bioimpedância elétrica pode de facto ser usada por ser aceitável na estimação da composição corporal em grupos de pessoas ou entre indivíduos ao longo do tempo mas que não é recomendada para medições isoladas/individuais. Esta conclusão tem implicações em contexto clínico [84]. Nas mulheres em pós-menopausa, a BIA pé-pé, revela ser simples, rápida e extremamente reprodutível na medição da composição corporal ao nível do grupo mas com mais limitações na validade da medição individual [141].

Um dos aspectos a ter em conta é a variabilidade biológica que não é facilmente manipulada, daí a necessidade de utilizarmos uma técnica de medição de acordo com os procedimentos anteriores.

Apesar de se perceber que este método não é indicado para estimar a composição corporal numa população atlética de judocas, muitas limitações poderão ter contribuído para o seu insucesso, desta forma há que ter em linha de conta a amostra ser pequena e ter uma grande variabilidade de pesos, a técnica ter sido aplicada apenas em atletas masculinos, e adicionalmente só ser válida para esses modelos. Além disso esta técnica é menos válida a nível individual e desta forma não permite detetar pequenas mudanças fisiológicas.

Com base na literatura, existem poucos estudos que comparem o método da Tanita com o modelo a 4C, incluindo a ACT, em populações atléticas e a capacidade deste equipamento para detetar mudanças nos atletas, independentemente do desporto, idade, etnia ou somatótipo ainda não permanece claro. É necessário fazer mais investigação comparando estas duas

técnicas de avaliação da composição corporal para determinar equações que sejam apropriadas na deteção de mudanças na MIG e MG.

Algumas limitações podem ser apontadas neste estudo, uma vez que os resultados são apenas aplicáveis ao modelo de Tanita TBF-310 e a esta amostra em concreto, não podendo deste modo ser generalizados a outros equipamentos e modelos de BIA e a populações com características diferentes. Também a validade do equipamento foi testada na determinação da composição corporal num momento em que o peso destes judocas se encontrava estável, desconhecendo-se a sua validade se os atletas fossem avaliados antes de uma competição que tivesse implicações no aumento ou diminuição do peso.

No entanto, a utilização do modelo a 4C é um ponto forte do estudo uma vez que é atualmente considerado o “estado da arte” na determinação dos componentes moleculares MG e MIG, já que não apresenta assunções e permite controlar para a variabilidade dos vários componentes moleculares da MIG ao incorporá-los no seu desenvolvimento. No entanto, é dispendioso e de difícil acesso. Nesse sentido, se a Tanita se revelasse um instrumento válido na avaliação da composição corporal, seria uma mais-valia por ser mais prático, simples e barato.

Futuras investigações, em período de peso estável com um número maior de judocas e abrangendo o género feminino, deverão ser realizadas para se compreender se a validade da Tanita TBF-310 foi comprometida pelo baixo número de sujeitos avaliados ou se a Tanita não é, de facto, um equipamento útil para a população em questão.

6. Conclusões

O estudo em judocas de elite indica que a Tanita TBF-310 não é uma alternativa válida na estimação da massa gorda devido a um fraco poder explicativo e concordância em relação aos valores obtidos pelo modelo de referência (4C). No entanto, o desempenho na estimação da MIG em termos de grupo apresenta uma validade mais aceitável, o que não se verifica quando a estimação da composição corporal é determinada em termos individuais, ou seja, apresenta uma validade limitada. Deste modo, a Tanita TBF-310 não deve ser utilizada com o intuito de prescrição e controlo do treino de forma a não comprometer o atleta em termos de saúde e rendimento desportivo.

7. Referências Bibliográficas

- 1 Ackland, T. R., Lohman, T. G., Sundgot-Borgen, J., Maughan, R. J., Meyer, N. L., Stewart, A. D., & Muller, W. (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 Med*, 42(3), 227-249. doi: 10.2165/11597140-000000000-00000
- 2 Casa, D. J., Armstrong, L. E., Hillman, S. K., Montain, S. J., Reiff, R. V., Rich, B. S., Stone, J. A. (2000). National athletic trainers' association position statement: fluid replacement for athletes. *J Athl Train*, 35(2), 212-224.
- 3 Armstrong, L. E., Pumerantz, A. C., Fiala, K. A., Roti, M. W., Kavouras, S. A., Casa, D. J., & Maresh, C. M. (2010). Human hydration indices: acute and longitudinal reference values. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 20(2), 145-153.
- 4 Klára, C. D., J C; Tomáš, M; Jan, H. (2014). Changes in body composition, anthropometric indicators and maximal strength due to weight reduction in judo. *Arch Budo*, 10, 159-164.
- 5 Fogelholm, M., & van Marken Lichtenbelt, W. (1997). Comparison of body composition methods: a literature analysis. *Eur J Clin Nutr*, 51(8), 495-503.
- 6 Heymsfield, S. B., Wang, Z., Baumgartner, R. N., & Ross, R. (1997). Human body composition: advances in models and methods. *Annu Rev Nutr*, 17, 527-558. doi: 10.1146/annurev.nutr.17.1.527

- 7 Silva, A. M., Fields, D. A., Quiterio, A. L., & Sardinha, L. B. (2009). Are skinfold-based models accurate and suitable for assessing changes in body composition in highly trained athletes? *J Strength Cond Res*, 23(6), 1688-1696. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b3f0e4
- 8 Santos, D. A., Silva, A. M., Matias, C. N., Fields, D. A., Heymsfield, S. B., & Sardinha, L. B. (2010). Accuracy of DXA in estimating body composition changes in elite athletes using a four compartment model as the reference method. *Nutr Metab (Lond)*, 7, 22. doi: 10.1186/1743-7075-7-22
- 9 Ostojic, S. M. (2006). Estimation of body fat in athletes: skinfolds vs bioelectrical impedance. *J SPORTS MED PHYS FITNESS*, 46(3), 442-446.
- 10 Gonzalez-Rave, J. M., Arija, A., & Clemente-Suarez, V. (2011). Seasonal changes in jump performance and body composition in women volleyball players. *J Strength Cond Res*, 25(6), 1492-1501. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181da77f6
- 11 Andreoli, A., Melchiorri, G., Brozzi, M., Di Marco, A., Volpe, S. L., Garofano, P., De Lorenzo, A. (2003). Effect of different sports on body cell mass in highly trained athletes. *Acta Diabetol*, 40 Suppl 1, S122-125. doi: 10.1007/s00592-003-0043-9
- 12 Nescolarde, L., Yanguas, J., Lukaski, H., Rodas, G., & Rosell-Ferrer, J. (2014). *Localized BIA identifies structural and pathophysiological changes in soft tissue after post-traumatic injuries in soccer players*. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2014, 3743-3746. doi: 10.1109/EMBC.2014.6944437

- 13 Moon, J. R. (2013). Body composition in athletes and sports nutrition: an examination of the bioimpedance analysis technique. *Eur J Clin Nutr*, 67 Suppl 1, S54-59. doi: 10.1038/ejcn.2012.165
- 14 Edelman, I. S., & Leibman, J. (1959). Anatomy of body water and electrolytes. *Am J Med*, 27, 256-277.
- 15 Hendry, E. B. (1962). The osmotic pressure and chemical composition of human body fluids. *Clin Chem*, 8, 246-265.
- 16 Sawka, M. N., & Coyle, E. F. (1999). Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exerc Sport Sci Rev*, 27, 167-218.
- 17 Mouad, M., Matias, C. N., Santos, D. A., Teixeira, V. H., Sardinha, L. B., & Silva, A. M. (2015). Validação da bioimpedância elétrica por multifrequência em atletas. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, 23(21):48-57.
- 18 Swartz, A. M., Swartz, A. M., Jeremy Evans, M., King, G. A., & Thompson, D. L. (2002). Evaluation of a foot-to-foot bioelectrical impedance analyser in highly active, moderately active and less active young men. *Br J Nutr*, 88(2), 205-210. doi: 10.1079/BJNBJN2002612
- 19 Kukidome, T., Shirai, K., Kubo, J., Matsushima, Y., Yanagisawa, O., Homma, T., & Aizawa, K. (2008). MRI evaluation of body composition changes in wrestlers undergoing rapid weight loss. *Br J Sports Med*, 42(10), 814-818. doi: 10.1136/bjism.2007.044081

- 20 Ellis, K. (2001). Selected body composition methods can be used in field studies. *J Nutr.*, 131:1589-1595.
- 21 Nattiv, A., Loucks, A. B., Manore, M. M., Sanborn, C. F., Sundgot-Borgen, J., Warren, M. P., & American College of Sports, M. (2007). American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc*, 39(10), 1867-1882. doi: 10.1249/mss.0b013e318149f111
- 22 Sundgot-Borgen, J., & Torstveit, M. K. (2010). Aspects of disordered eating continuum in elite high-intensity sports. *Scand J Med Sci Sports*, 20 Suppl 2, 112-121. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01190.x
- 23 Houtkooper, L. (2000). *Body Composition*. In Sport Nutrition for Health and Performance, ed. M.M. Manore and J. L. Thompson, 197-216. Champaign, IL.: Human Kinetics: M.
- 24 Clark, R. R., Bartok, C., Sullivan, J. C., & Schoeller, D. A. (2004). Minimum weight prediction methods cross-validated by the four-component model. *Med Sci Sports Exerc*, 36(4), 639-647.
- 25 Kleiner, S. M. (1999). Water: an essential but overlooked nutrient. *J Am Diet Assoc*, 99(2), 200-206. doi: 10.1016/S0002-8223(99)00048-6
- 26 Goulet, E. D. (2011). Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: a meta-analysis. *Br J Sports Med*, 45(14), 1149-1156. doi: 10.1136/bjism.2010.077966

- 27 Goulet, E. D. (2013). Effect of exercise-induced dehydration on endurance performance: evaluating the impact of exercise protocols on outcomes using a meta-analytic procedure. *Br J Sports Med*, 47(11), 679-686. doi: 10.1136/bjsports-2012-090958
- 28 Silva, A. M., Fields, D. A., Heymsfield, S. B., & Sardinha, L. B. (2010). Body composition and power changes in elite judo athletes. *Int J Sports Med*, 31(10), 737-741. doi: 10.1055/s-0030-1255115
- 29 Wang, Z., Deurenberg, P., Wang, W., Pietrobelli, A., Baumgartner, R. N., & Heymsfield, S. B. (1999). Hydration of fat-free body mass: review and critique of a classic body-composition constant. *Am J Clin Nutr*, 69(5), 833-841.
- 30 Ellis, K. J., & Wong, W. W. (1998). Human hydrometry: comparison of multifrequency bioelectrical impedance with 2H₂O and bromine dilution. *J Appl Physiol*, 85(83); p.1056-1062.
- 31 Sawka, M. N., Cheuvront, S. N., & Carter, R., 3rd. (2005). Human water needs. *Nutr Rev*, 63(6 Pt 2), S30-39.
- 32 Schoeller DA. Hydrometry. In: Heymsfield SB, Lohman TG, Wang Z, Going S, editors. *Human body composition*. Champaign, IL: Human Kinetics; 2005. pp. 35–49.
- 33 Wang, Z. M., Pierson, R. N., Jr., & Heymsfield, S. B. (1992). The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr*, 56(1), 19-28.

- 34 Cunningham, J. J. (1994). N x 6.25: recognizing a bivariate expression for protein balance in hospitalized patients. *Nutrition*, 10(2), 124-127.
- 35 Kehayias, J. J., Heymsfield, S. B., LoMonte, A. F., Wang, J., & Pierson, R. N., Jr. (1991). In vivo determination of body fat by measuring total body carbon. *Am J Clin Nutr*, 53(6), 1339-1344.
- 36 Wang, Z., St-Onge, M. P., Lecumberri, B., Pi-Sunyer, F. X., Heshka, S., Wang, J., Heymsfield, S. B. (2004). Body cell mass: model development and validation at the cellular level of body composition. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 286(1), E123-128. doi: 10.1152/ajpendo.00227.2003
- 37 Pace, N., & Rathbun, E. N. (1945). Studies on body composition: III. The body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content. *Journal of Biological Chemistry*, 158(3), 685-691.
- 38 Snyder, W. S., Cook, M. J., Nasset, E. S., Karhausen, L. R., Howells, P. G., & Tipton, I. H. (1984). *Reports of the Task Group on Reference Man*. Oxford: Pergamon Press.
- 39 Wang, Z. M., Heshka, S., Pierson, R. N., Jr., & Heymsfield, S. B. (1995). Systematic organization of body-composition methodology: an overview with emphasis on component-based methods. *Am J Clin Nutr*, 61(3), 457-465.
- 40 Forbes, G. B. (1987). *Human Body Composition: Growth, Aging, Nutrition and Activity*. New York, NY: Springer-Verlag.

- 41 Brožek, J., Grande, F., Anderson, J. T., & Keys, A. (1963). Densitometric Analysis of Body Composition: Revision of Some Quantitative Assumptions*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 110(1), 113-140. doi: 10.1111/j.1749-6632.1963.tb17079.x
- 42 Gurr, M. L., & Harwood, J. L. (1991). *Lipid Biochemistry. An Introduction*, 4th edn. London: Chapman and Hall.
- 43 Diem, K. (1962). *Constituents of Living Matter*. New York: Geigy Pharmaceuticals.
- 44 Behnke, A. R., Jr., Feen, B. G., & Welham, W. C. (1995). The specific gravity of healthy men. Body weight divided by volume as an index of obesity. 1942. *Obes Res*, 3(3), 295-300.
- 45 Dempster, P., & Aitkens, S. (1995). A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc*, 27(12), 1692-1697.
- 46 Siri, W. E. (1993). Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. *Nutrition*, 9(5), 480-491; discussion 480, 492.
- 47 Lohman, T. G. (1986). Applicability of body composition techniques and constants for children and youths. *Exerc Sport Sci Rev*, 14, 325-357.
- 48 Fuller, N. J., Jebb, S. A., Laskey, M. A., Coward, W. A., & Elia, M. (1992). Four-component model for the assessment of body composition in humans:

- comparison with alternative methods, and evaluation of the density and hydration of fat-free mass. *Clin Sci (Lond)*, 82(6), 687-693.
- 49 Wang, Z., Pi-Sunyer, F. X., Kotler, D. P., Wielopolski, L., Withers, R. T., Pierson, R. N., Jr., & Heymsfield, S. B. (2002). Multicomponent methods: evaluation of new and traditional soft tissue mineral models by in vivo neutron activation analysis. *Am J Clin Nutr*, 76(5), 968-974.
- 50 Withers, R. T., & al, e. (1992). A comparison of four methods of estimating the body composition of male endurance athletes. *Eur J Clin Nutr*, 46(11): p. 773-784.
- 51 Sicocolfi, S. F., Gretebeck, R. J., & Wong, W. W. (1995). Assessing total body protein, mineral and bone mineral content from total body water and body density. *J Appl Physiol*, 79(75): p. 1837-1843.
- 52 Heymsfield, S. B., Lichtman, S., Baumgartner, R. N., Wang, J., Kamen, Y., Aliprantis, A., & Pierson, R. N., Jr. (1990). Body composition of humans: comparison of two improved four-compartment models that differ in expense, technical complexity, and radiation exposure. *Am J Clin Nutr*, 52(1), 52-58.
- 53 Friedl, K. E., & al, e. (1992). Reliability of body fat estimations from a four-compartment model by using density, body water, and bone mineral measurements. *Am J Clin Nutr*, 55(54): p. 764-770.
- 54 Baumgartner, R. N., Heymsfield, S. B., Lichtman, S., Wang, J., & Pierson, R. N., Jr. (1991). Body composition in elderly people: effect of criterion estimates on predictive equations. *Am J Clin Nutr*, 53(6), 1345-1353.

- 55 Whiters, R. T., J. L., & Heymsfield, S. B. (1999). Critical appraisal of the estimation of body composition via two-, three-, and four-compartment models. *Am J Hum Biol*, 11(12): p. 175-185.
- 56 Wang ZM, Shen W, Withers R, Heymsfield SB. Multicomponent molecular-level models of body composition analysis. In: Heymsfield SB, Lohman TG, Wang ZM, Going SB, editors. *Human Body Composition*, 2nd edition. Champaign, IL: Human Kinetics; 2005. pp. 163–176.
- 57 Allen, T. H., Welch, B. E., Trujillo, T. T., & Roberts, J. E. (1959). Fat, water and tissue solids of the whole body less its bone mineral. *J Appl Physiol*, 14, 1009-1012.
- 58 Malina, R. M. (2007). Body composition in athletes: assessment and estimated fatness. *Clin Sports Med*, 26(1), 37-68. doi: 10.1016/j.csm.2006.11.004
- 59 Modlesky, C. M., Cureton, K. J., Lewis, R. D., Prior, B. M., Sloniger, M. A., & Rowe, D. A. (1996). Density of the fat-free mass and estimates of body composition in male weight trainers. *J Appl Physiol* (1985), 80(6), 2085-2096.
- 60 Silva, A. M., Minderico, C. S., Teixeira, P. J., Pietrobelli, A., & Sardinha, L. B. (2006). Body fat measurement in adolescent athletes: multicompartiment molecular model comparison. *Eur J Clin Nutr*, 60(68): p. 955-964.
- 61 Withers, R. T., Noell, C. J., Whittingham, N. O., Chatterton, B. E., Schultz, C. G., & Keeves, J. P. (1997). Body composition changes in elite male bodybuilders during preparation for competition. *Aust J Sci Med Sport*, 29(1), 11-16.

- 62 Arngrimsson, S., Evans, E. M., Saunders, M. J., Ogburn, C. L., Lewis, R. D., & Cureton, K. J. (2000). Validation of body composition estimates in male and female distance runners using estimates from a four-component model. *Am J Hum Biol*, 12(13): p.301-314.
- 63 Penn, I. W., Wang, Z. M., Buhl, K. M., Allison, D. B., Burastero, S. E., & Heymsfield, S. B. (1994). Body composition and two-compartment model assumptions in male long distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 26(3), 392-397.
- 64 Moon, J. R., Tobkin, S. E., Smith, A. E., Lockwood, C. M., Walter, A. A., Cramer, J. T., Stout, J. R. (2009). Anthropometric estimations of percent body fat in NCAA Division I female athletes: a 4-compartment model validation. *J Strength Cond Res*, 23(4), 1068-1076. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181aa1cd0
- 65 Quiterio, A. L., Carnero, E. A., Silva, A. M., Baptista, F., & Sardinha, L. B. (2009). Weekly training hours are associated with molecular and cellular body composition levels in adolescent athletes. *J SPORTS MED PHYS FITNESS*, 49(1), 54-63.
- 66 Milanese, C., Piscitelli, F., Lampis, C., & Zancanaro, C. (2011). Anthropometry and body composition of female handball players according to competitive level or the playing position. *J Sports Sci*, 29(12), 1301-1309. doi: 10.1080/02640414.2011.591419

- 67 Garcia Pallares, J., Lopez-Gullon, J. M., Torres-Bonete, M. D., & Izquierdo, M. (2012). Physical fitness factors to predict female Olympic wrestling performance and sex differences. *J Strength Cond Res*, 26(23): p. 794-803.
- 68 Judelson, D. A., Maresh, C. M., Farrell, M. J., Yamamoto, L. M., Armstrong, L. E., Kraemer, W. J., Anderson, J. M. (2007). Effect of hydration state on strength, power, and resistance exercise performance. *Med Sci Sports Exerc*, 39(10), 1817-1824. doi: 10.1249/mss.0b013e3180de5f22
- 69 Judelson, D. A., Maresh, C. M., Yamamoto, L. M., Farrell, M. J., Armstrong, L. E., Kraemer, W. J., Anderson, J. M. (2008). Effect of hydration state on resistance exercise-induced endocrine markers of anabolism, catabolism, and metabolism. *J Appl Physiol*, 105(3), 816-824. doi: 10.1152/jappphysiol.01010.2007
- 70 Silva, A. M., Matias, C. N., Santos, D. A., Rocha, P. M., Minderico, C. S., & Sardinha, L. B. (2014). Increases in intracellular water explain strength and power improvements over a season. *Int J Sports Med*, 35(13), 1101-1105. doi: 10.1055/s-0034-1371839
- 71 Shen W, St-Onge M, Wang Z, Heymsfield SB (2005) *Study of Body Composition: An Overview*. In: Heymsfield SB, Lohman TG, Wang Z, Going SB, editors. *Human Body Composition*. Champaign, IL: Human Kinetics. pp. 3–14.

- 72 Granados, C., Izquierdo, M., Ibanez, J., Ruesta, M., & Gorostiaga, E. M. (2008). Effects of an entire season on physical fitness in elite female handball players. *Med Sci Sports Exerc*, 40(2), 351-361. doi: 10.1249/mss.0b013e31815b4905
- 73 Gonzalez, A. M., Hoffman, J. R., Rogowski, J. P., Burgos, W., Manalo, E., Weise, K., Stout, J. R. (2013). Performance changes in NBA basketball players vary in starters vs nonstarters over a competitive season. *J Strength Cond Res*, 27(23): p.611-615.
- 74 Ratamess, N. A., Hoffman, J. R., Kraemer, W. J., Ross, R. E., Tranchina, C. P., Rashti, S. L., Faigenbaum, A. D. (2013). Effects of a competitive wrestling season on body composition, endocrine markers, and anaerobic exercise performance in NCAA collegiate wrestlers. *Eur J Appl Physiol*, 113(5), 1157-1168. doi: 10.1007/s00421-012-2520-8
- 75 Withers, R. T., Craig, N. P., Bourdon, P. C., & Norton, K. I. (1987). Relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 56(2), 191-200.
- 76 Whithers, R. T., Whittingham, N. O., Norton, K. I., La Forgia, J., Ellis, M. W., & Crockett, A. (1987). Relative body fat and anthropometric prediction of body density of female athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 56(52): p.155-160.
- 77 Nyboer, J. (1959). Regional pulse volume and perfusion flow measurement: electrical impedance plethysmography. *Harper Hosp Bull*, 17, 185-201.

- 78 Thomasset, M. A. (1962). Bioelectric properties of tissue. Impedance measurement in clinical medicine. Significance of curves obtained. *Lyon Med*, 94, 107-118.
- 79 Thomasset, A. (1963). Bio-electric properties of tissues. Estimation by measurement of impedance of extracellular ionic strength and intracellular ionic strength in the clinic. *Lyon Med*, 209, 1325-1350.
- 80 Nyboer, J., Bagno, S. & Nims, L. (1943). *The Impedance Plethysmography: An Electrical Volume Recorder*. National Research Council, Committee on Aviation Medicine, Report No. 149.
- 81 Ellis, K. J. (2000). Human body composition: in vivo methods. *Physiol Rev*, 80(2), 649-680.
- 82 Chumlea, W.C., Sun, S.S. Bioelectrical impedance analysis. in: S.B. Heymsfield, T.G. Lohman, Z.M. Wang et al, (Eds.) *Human body composition*. 2nd edition. Human Kinetics, Champaign (IL); 2005:79–88.
- 83 Jaffrin, M. Y., & Morel, H. (2008). Body fluid volumes measurements by impedance: A review of bioimpedance spectroscopy (BIS) and bioimpedance analysis (BIA) methods. *Med Eng Phys*, 30(10), 1257-1269. doi: 10.1016/j.medengphy.2008.06.009
- 84 Buchholz, A. C., Bartok, C., & Schoeller, D. A. (2004). The validity of bioelectrical impedance models in clinical populations. *Nutr Clin Pract*, 19(5), 433-446.

- 85 De Lorenzo, A., Andreoli, A., Matthie, J., & Withers, P. (1997). Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review. *J Appl Physiol* (1985), 82(5), 1542-1558.
- 86 Hoffer, E. C., Meador, C. K., & Simpson, D. C. (1969). Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J Appl Physiol*, 27(4), 531-534.
- 87 Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement: National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement. (1996). *Am J Clin Nutr*, 64(3 Suppl), 524S-532S.
- 88 Baumgartner RM. *Electrical impedance and total body electrical conductivity*. In: Human body composition. Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996: 79–108.
- 89 Foster, K. R., & Lukaski, H. C. (1996). Whole-body impedance--what does it measure? *Am J Clin Nutr*, 64(3 Suppl), 388S-396S.
- 90 Geddes, L. A., & Baker, L. E. (1967). The specific resistance of biological material--a compendium of data for the biomedical engineer and physiologist. *Med Biol Eng*, 5(3), 271-293. doi: 10.1007/BF02474537
- 91 Deurenberg, P., Weststrate, J. A., Paymans, I., & van der Kooy, K. (1988). Factors affecting bioelectrical impedance measurements in humans. *Eur J Clin Nutr*, 42(12), 1017-1022.

- 92 Khaled, A., McCutcheon, M. J., Reddy, S., Pearman, P. L., Hunter, G. R., & Weinsier, R. L. (1988). Electrical impedance in assessing human body composition: the BA method. *Am J Clin Nutr*, 47:789-792.
- 93 Kushner, R. F., Gudivaka, R., & Schoeller, D. A. (1996). Clinical characteristics influencing bioelectrical impedance analysis measurements. *Am J Clin Nutr*, 64(3 Suppl), 423S-427S.
- 94 Slinde, F., & Rossander-Hulthen, L. (2001). Bioelectrical impedance: effect of 3 identical meals on diurnal impedance variation and calculation of body composition. *Am J Clin Nutr*, 74(4), 474-478.
- 95 Evans, W. D., McClagish, H., & Trudgett, C. (1998). Factors affecting the in vivo precision of bioelectrical impedance analysis. *Appl Radiat Isot*, 49(5-6), 485-487.
- 96 Matias, C. N., Santos, D. A., Magalhães, J. P., Judice, P. B., Minderico, C. S., Fields, D. A., Silva, A. M. (in review). BIA models to assess total body and extracellular hydration in athletes. *British Journal of Nutrition*.
- 97 Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gomez, J. M., & Schimmer, R. P. (2004). Bioelectrical impedance analysis--part I: review of principles and methods. *Clin Nutr*, 23(5), 1226-1243. doi: 10.1016/j.clnu.2004.06.004
- 98 Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gomez, J., & Schimmer, R. P. (2004). Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr*, 23(6), 1430-1453. doi: 10.1016/j.clnu.2004.09.012

- 99 Cole, K. (1941). Dispersion and absorption in dielectrics. I. Alternating current characteristics. *J Chem Phys*, 9:341–951.
- 100 Hanai T. *Electrical properties of emulsions*. In: Sherman PH, editor. Emulsion science. London: Academic Press; 1968. pp. 354–477.
- 101 Matias, C. N., Santos, D. A., Fields, D. A., Sardinha, L. B., & Silva, A. M. (2012). Is bioelectrical impedance spectroscopy accurate in estimating changes in fat-free mass in judo athletes? *J Sports Sci*, 30(12), 1225-1233. doi: 10.1080/02640414.2012.692481
- 102 Quiterio, A. L., Silva, A. M., Minderico, C. S., Carnero, E. A., Fields, D. A., & Sardinha, L. B. (2009). Total body water measurements in adolescent athletes: a comparison of six field methods with deuterium dilution. *J Strength Cond Res*, 23(4), 1225-1237. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181a9ec39
- 103 Matias, C. N., Santos, D. A., Gonçalves, E. M., Fields, D. A., Sardinha, L. B., & Silva, A. M. (2013). Is bioelectrical impedance spectroscopy accurate in estimating total body water and its compartments in elite athletes? *Annals of Human Biology*, 40(42): p. 152-156.
- 104 Baumgartner, R. N., Chumlea, W. C., & Roche, A. F. (1989). Estimation of body composition from bioelectric impedance of body segments. *Am J Clin Nutr*, 50(2), 221-226.
- 105 Zhu, F., Kuhlman, M., Kotanko, P., Handelman, G., Leonard, E., & Levin, N. Zhu F., Kuhlman M., Kotanko P., Handelman G., Leonard E., Levin N. *A device for monitoring hydration state in hemodialysis patients using a calf*

- bioimpedance technique*. Proceedings of the 13th International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography; Graz, Austria. 29 August– 2 September 2007. pp. 775–778.
- 106 Organ, L. W., Bradham, G. B., Gore, D. T., & Lozier, S. L. (1994). Segmental bioelectrical impedance analysis: theory and application of a new technique. *J Appl Physiol*, 77(1), 98-112.
- 107 Jaffrin, M. Y. (2009). Body composition determination by bioimpedance: an update. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 12(5), 482-486. doi: 10.1097/MCO.0b013e32832da22c
- 108 Ward, L. C. (2012). Segmental bioelectrical impedance analysis: an update. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 15(5), 424-429. doi: 10.1097/MCO.0b013e328356b944
- 109 Nunez, C., Gallagher, D., Visser, M., Pi-Sunyer, F. X., Wang, Z., & Heymsfield, S. B. (1997). Bioimpedance analysis: evaluation of leg-to-leg system based on pressure contact footpad electrodes. *Med Sci Sports Exerc*, 29(4), 524-531.
- 110 Utter, A. C., Nieman, D. C., Ward, A. N., & Butterworth, D. E. (1999). Use of the leg-to-leg bioelectrical impedance method in assessing body-composition change in obese women. *Am. J. Clin. Nutr*, 69, pp. 603–607.
- 111 Khalil, S. F., Mohktar, M. S., & Ibrahim, F. (2014). Review: The Theory and Fundamentals of Bioimpedance Analysis in Clinical Status Monitoring and Diagnosis of Diseases. *Sensors*, 14, pp. 10895-10928.

- 112 Ghosh, S., Meister, D., Cowen, S., Hannan, J. W., & Ferguson, A. (1997). Body composition at the bedside. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol*, 9, pp. 783–788.
- 113 Fornetti, W. C., Pivarnik, J. M., Foley, J. M., & Fiechtner, J. J. (1999). Reliability and validity of body composition measures in female athletes. *J Appl Physiol*, 87(3), 1114-1122.
- 114 Yannakoulia, M., Keramopoulos, A., Tsakalagos, N., & Matalas, A. L. (2000). Body composition in dancers: the bioelectrical impedance method. *Med Sci Sports Exerc*, 32(1), 228-234.
- 115 Eckerson, J. M., Evetovich, T. K., Stout, J. R., Housh, T. J., Johnson, G. O., Housh, D. J., . . . Smith, D. B. (1997). Validity of bioelectrical impedance equations for estimating fat-free weight in high school female gymnasts. *Med Sci Sports Exerc*, 29(7), 962-968.
- 116 Kao, M. F., Lu, H. K., Jang, T. R., Yang, W. C., Chen, C. H., Chen, Y. Y., & Hsieh, K. C. (2010). Comparison of Different Measurement Equations for Body Composition Estimation in Male Athletes. *International Journal of Sport and Exercise Science*, 3(1): 11-16.
- 117 Williams, C. A., & Bale, P. (1998). Bias and limits of agreement between hydrodensitometry, bioelectrical impedance and skinfold calipers measures of percentage body fat. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 77(3), 271-277. doi: 10.1007/s004210050332
- 118 Oppliger, R. A., Nielsen, D. H., Shetler, A. C., Crowley, E. T., & Albright, J. P. (1992). Body composition of collegiate football players: bioelectrical

- impedance and skinfolds compared to hydrostatic weighing. *J Orthop Sports Phys Ther*, 15(4), 187-192. doi: 10.2519/jospt.1992.15.4.187
- 119 Dixon, C. B., Deitrick, R. W., Pierce, J. R., Cutrufello, P. T., & Drapeau, L. L. (2005). Evaluation of the BOD POD and leg-to-leg bioelectrical impedance analysis for estimating percent body fat in National Collegiate Athletic Association Division III collegiate wrestlers. *J Strength Cond Res*, 19(1), 85-91. doi: 10.1519/14053.1
- 120 Houtkoopr, L., Mullins, V. A., Going, S. B., Brown, C. H., & Lohman, T. G. (2001). Body composition profiles of elite American heptathletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 11(2), 162-173.
- 121 Mouad, M., Matias, C. N., Santos, D. A., Teixeira, V. H., Sardinha, L. B., & Silva, A. M. (2015). Validação da bioimpedância elétrica por multifrequência em atletas. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, 23(21):48-57.
- 122 Houtkooper, L. B., Lohman, T. G., Going, S. B., & Howell, W. H. (1996). Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity. *Am J Clin Nutr*, 64(3 Suppl), 436S-448S.
- 123 Houtkooper, L. B., Going, S. B., Lohman, T. G., Roche, A. F., & Van Loan, M. (1992). Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross-validation study. *J Appl Physiol*, 72(1), 366-373.
- 124 Van Loan, M. D., Boileau, R. A., Slaughter, M. H. S., R J, Lohman, T. G., Going, S. B., & Carswell, C. (1990). Association of bioelectrical resistance with

- estimates of fat-free mass determined by densitometry and hydrometry. *Am. J. Hum. Biol.*, 2: p.219-226.
- 125 Lohman, T. G. (1992). *Advances in Body Composition Assessment*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- 126 Lukaski, H. C., Bolonchuk, W. W., Hall, C. B., & Siders, W. A. (1986). Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol*, 60(4), 1327-1332.
- 127 World Medical Association Declaration of Helsinki (2013): ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191-2194. doi: 10.1001/jama.2013.281053
- 128 Lohman, T. G., Roche, A. F., & Martorell, R. (1988). *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, IL: Human Kinetics Books.
- 129 Casa, D. J., Clarkson, P. M., & Roberts, W. O. (2005). American College of Sports Medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statements. *Curr Sports Med Rep*, 4(3), 115-127.
- 130 Heymsfield, S. B., Wang, J., Lichtman, S., Kamen, Y., Kehayias, J., & Pierson, R. N., Jr. (1989). Body composition in elderly subjects: a critical appraisal of clinical methodology. *Am J Clin Nutr*, 50(5 Suppl), 1167-1175; discussion 1231-1165.
- 131 McCrory, M. A., Gomez, T. D., Bernauer, E. M., & Mole, P. A. (1995). Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition. *Med Sci Sports Exerc*, 27(12), 1686-1691.

- 132 Prosser, S., & Scrimgeour, C. (1995). High-Precision Determination of $2\text{H}/1\text{H}$ in H_2 and H_2O by continuous-flow isotope ratio mass spectrometry. *Anal Chem*, 67:1992-1997.
- 133 Schoeller, D. A., van Santen, E., Peterson, D. W., Dietz, W., Jaspan, J., & Klein, P. D. (1980). Total body water measurement in humans with 18O and 2H labeled water. *Am J Clin Nutr*, 33(12), 2686-2693.
- 134 Lin, L. I. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 45(1), 255-268.
- 135 Bland, J., & Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1:307-310.
- 136 McBride, G. (2005). A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's concordance correlation coefficient. *NIWA client report: HAM*, 62, 2005.
- 137 Gerasimidis, K., Shepherd, S., Rashid, R., Edwards, C. A., & Ahmed, F. (2014). Group and individual agreement between field and dual X-ray absorptiometry-based body composition techniques in children from standard schools and a sports academy. *J Acad Nutr Diet*, 114(1), 91-98. doi: 10.1016/j.jand.2013.06.353
- 138 Rubiano, F., Nunez, C., & Heymsfield, S. B. (2000). A comparison of body composition techniques. *Ann N Y Acad Sci*, 904, 335-338.

- 139 Nunez, C., Tan, Y. X., Zingaretti, G., Punyanitya, M., Rubiano, F., Wang, Z. M., & Heymsfield, S. B. (2000). The best predictive model for estimating fat-free mass. *Ann N Y Acad Sci*, 904, 333-334.
- 140 Frisard, M. I., Greenway, F. L., & Delany, J. P. (2005). Comparison of methods to assess body composition changes during a period of weight loss. *Obes Res*, 13(5), 845-854. doi: 10.1038/oby.2005.97
- 141 Xie, X., Kolthoff, N., Barenholt, O., & Nielsen, S. P. (1999). Validation of a leg-to-leg bioimpedance analysis system in assessing body composition in postmenopausal women. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 23(10), 1079-1084.