

U. PORTO



**FACULDADE DE DESPORTO
UNIVERSIDADE DO PORTO**

**Avaliação da Água Corporal Total e seus
Compartimentos em Atletas de Elite por Espectrometria
de Impedância.**

Flávia Alves Noujeimi

2012

Avaliação da Água Corporal Total e seus Compartimentos em Atletas de Elite por Espectrometria de Impedância.

Dissertação apresentada às provas de Mestrado no ramo de actividade física e saúde, na área de especialização em Atividade Física e Saúde, nos termos do Decreto-Lei nº 216/02 de 13 de Outubro, orientada pelo Professor Doutor Vitor Hugo da Costa Gomes Moreira Teixeira (Professor Auxiliar na Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação da Universidade do Porto) e co-orientada pela Professora Doutora Analiza Mónica Lopes de Almeida Silva (Professora Auxiliar da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Tecnica de Lisboa) e Professor Doutor José Carlos Rodrigues Dias Ribeiro (Professor Auxiliar da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto).

Flávia Alves Noujeimi

Porto, 2012

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

Dedicatória

*Quando penso na pessoa que mais amei.
Quando falo naquela que mais me deixou saudades.
Quando fecho os olhos e sinto quem mais me compreendeu.
Uma parte de mim foi embora.
Mas a que ficou tenta ser um pouquinho de tudo que ela foi.
Minha eterna alma gémea,
Maria de Nazaré.*

Agradecimentos

À Deus

Primeiramente agradeço à Deus, que tantas vezes me carregou no colo, por seu amor incondicional, proteção e carinho, não se fazendo distante em nenhum momento, e sendo a sua força crucial para o findar dessa jornada.

À minha Família

Por transformarem a minha saudade em inspiração, meus queridos irmãos, tias muitas vezes mães, primos muitas vezes irmãos. Em especial minha mãe fonte inesgotável de incentivo, onde alimento minhas forças e minha fé. Izabel, amiga, prima irmã, meu porto seguro sempre, o que teria sido dessa aventura sem o seu apoio. Pai, Tio Jorge e Heloisa pela confiança. Primos lisboetas, mas em especial Paula e Ruy que abriram as portas de sua casa e me acolheram no momento de maior necessidade.

Aos Amigos

Aos amigos incansáveis que foram apoio nos momentos mais difíceis e cúmplice nos mais felizes, Ricardo Arantes, Yara Gomes, Angela Matos, Jairo Azevedo, André Amaral, Lucas Diniz, Vera Lucia, Barbara Borges, Tony Abbass, Sumara Gilanni, Nando Ribeiro, Suerlen Alves, Portugal me trouxe vocês de presente. Aos amigos que ficaram do outro lado do oceano e provaram que a distância é incapaz de abalar uma verdadeira amizade.

Aos que ensinaram

Pelo trabalho e conhecimentos partilhados ao ensinar e orientar essa etapa de minha Vida, professores: Jose Alberto Duarte, Analiza Mónica Silva, Vitor Hugo Teixeira, e José Carlos Ribeiro. Ao Laboratorio de Exercício e Saúde da FMH, por ter aberto suas portas e tão bem me acolhido, Lurdes, Pedro, Graça. Em especial Catarina Matias e Analiza pela paciência e dedicação, sem vocês este trabalho não teria se realizado.

À Universidade

As instituições de ensino Faculdade de Desporto da Universidade do Porto e Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Técnica de Lisboa pela contribuição na formação de conhecimento. A todos os professores e funcionários, mas principalmente as solícitas funcionárias da secretaria, Lurdes voce é um Anjo.

Ao Trabalho

Sem o qual não teria sido possível a concretização desse sonho, Dona Teresa pela confiança e afeto, Bia e Milesa, pelo convívio e companherismo.

Aos Amores

Tiago Albuquerque pelo carinho de ter estado do meu lado nesses dois anos e nunca me abandonado estendendo sempre a mão quando eu mais precisava. A família Travessa da Fontinha meu lar e orgulho. Camilo Alves, amor que ignora a distância, obrigada por despertar uma parte da minha essência adormecida, e contribuir para minha tão almejada evolução espiritual. Avó amada, Maria de Nazaré, por ser minha alma gêmea, onde quer que se encontre.

ÍNDICE GERAL

Dedicatória	III
Agradecimentos	V
Índice Geral	VII
Índice de Figuras	VIII
Índice de Tabelas	IX
Resumo	XI
Abstract	XIII
Lista de Abreviaturas e Símbolos	XV
1. Introdução Geral	1
2. Revisão da Literatura	7
BALANÇO HÍDRICO EM ATLETAS: SIGNIFICADO E AVALIAÇÃO (revisão crítica)	9
3. Estudo Empírico	29
AVALIAÇÃO DA ÁGUA CORPORAL TOTAL E SEUS COMPARTIMENTOS EM ATLETAS DE ELITE POR ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA.	31
4. Discussão geral	47
5. Conclusão e Perspectivas Futuras	51
Referencias	55

Lista de Figuras

Capítulo 3

Figura 1. A figura 1 ilustra os resultados da análise de regressão para a água corporal total (ACT), água extracelular (AEC) e água intracelular (AIC) através da estimativa obtida pela Tanita e técnicas de diluição como o método de referência (REF). O r^2 e o EPE representam o coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa, respectivamente. 39

Capítulo 3

Figura 2. A figura 2 ilustra a análise de Bland-Altman da concordância entre os métodos para a avaliação da água corporal total (ACT), a água extracelular (AEC), e água intracelular (AIC). A linha média sólida representa a diferença média entre os resultados da Tanita e do método de referência (REF). A linha superior e inferior tracejada representa ± 2 desvio padrão dos limites médios, ou seja 95% de concordância ($\pm 1,96$ DP). A linha de tendência representa a associação entre as diferenças dos métodos e as médias de ambos os métodos, tal como ilustrado pelo coeficiente de correlação (r). 40

Lista de Tabelas

Capítulo 2

Tabela 1 - Água corporal total (ACT) em percentagem do peso total do corpo em vários grupos de faixas etárias e de gênero Características subjetivas e composição corporal. 11

Tabela 2. Perdas e Produção Diárias de Água 14

Capítulo 3

Tabela 1 - Características subjetivas e composição corporal 37

Tabela 2 - Regressão para ACT, AEC e estimativa AIC usando Tanita e o método de referência. 38

RESUMO

Este estudo tem como objetivo validar a Tanita MC-180 na determinação da água corporal total (ACT) e seus compartimentos: água extracelular (AEC) e água intracelular (AIC) em atletas, utilizando técnicas de diluição. Para apoiar nosso objetivo compilamos dois artigos nesse documento, sendo o primeiro um artigo de revisão para fundamentar as bases teóricas necessárias para realização do nosso estudo experimental, que é apresentado no segundo artigo. Na revisão da literatura foi apresentado a importância da manutenção da homeostase hídrica corporal, além dos efeitos do exercício físico sobre a regulação hídrica. Métodos de referência para avaliação do estado de hidratação agudo e crônico serão apresentados, com um enfoque nas técnicas de diluição consideradas padrão ouro de referência, entretanto tais técnicas são caras e laboriosas. A análise de impedância bioelétrica (BIA) é um método seguro, de baixo custo, não invasivo, e rápido para a avaliação da composição corporal, portanto, tem um grande potencial para ser empregada em estudos epidemiológicos e clínicos que buscam a avaliação da água corporal no atleta. Foi ressaltada a importância da avaliação do estado de hidratação do atleta, assim como as interferências da perda de água nos compartimentos corporais acerca do desempenho atlético. O trabalho experimental consistiu na validação em si da Tanita MC-180 na determinação da água corporal total (ACT) e seus compartimentos (AEC e AIC), em atletas, utilizando técnicas de diluição como referência. Foi possível concluir que a Tanita MC-180 é uma alternativa válida na estimativa da água corporal total, água extracelular e água intracelular, num grupo de atletas, relativamente aos valores obtidos pelas técnicas de diluição. Contudo, devido aos limites de concordância obtidos na determinação dos compartimentos este equipamento apresenta uma validade mais limitada na estimativa individual da AEC e AIC.

PALAVRAS-CHAVE: ATLETA, BIA, COMPARTIMENTOS DE ÁGUA CORPORAL, HOMEOSTASE HÍDRICA, TANITA, TÉCNICAS DE DILUIÇÃO.

ABSTRACT

This study aims to validate the MC-180 Tanita in determining total body water (TBW) and its compartments: extracellular water (ECW) and intracellular water (ICW) in athletes using dilution techniques. To support our goal two articles were compiled in this document. The first one is a review article to support the necessary theoretical background to achieve our experimental study, which appears in the second article. In the literature review was addressed the maintaining of body fluid homeostasis importance, in addition to the effects of physical exercise on the water regulation. Reference methods for assessment of acute and chronic hydration status will be presented, with a focus on techniques dilution considered golden standard, though such techniques are expensive and laborious. The bioelectrical impedance analysis (BIA) is a safe, inexpensive, noninvasive, and quick for body composition assessment, therefore, has great potential to be used in epidemiological and clinical studies that seek to evaluate the water body the athlete. It was stressed the importance of assessing the hydration status of athletes as well as the interference of water loss in the body compartments on athletic performance. The experimental work consisted of validation of Tanita MC-180 in determining total body water (TBW) and its compartments (ECW and ICW) in athletes using dilution techniques as a reference. It was concluded that the Tanita MC-180 is a valid alternative in the estimation of total body water and extracellular and intracellular water in athletes group in relation to the values obtained by dilution techniques. However, due to the limits of agreement obtained in the determination of the compartments, this equipment presents a more limited validity in the estimation of individual ECW and ICW.

Keywords: ATHLETES, BIA, COMPARTMENTS BODY OF WATER, DILUTION TECHNIQUES, TANITA, WATER HOMEOSTASIS.

Lista de Abreviaturas

- ACT - Agua Total Corporal
- AEC - Agua Extracelular
- AI - Ingestão Adequada
- AIC - Agua Intracelular
- Br⁻ - Ião Brometo
- BIA - Análise de Impedância Bioelétrica
- Cb - Fator de Correção
- CCC - Coeficiente de Correlação de Concordância
- C_p - Coeficiente de Correlação de Pearson
- CV - Coeficiente de Variação
- DP - Desvio Padrao
- EPE - Erro Padrão de Estimacão
- GEU - Gravidade Especifica da Urina
- H - Hidrogénio
- ²H₂O - Óxido de deutério
- IMC - Indice de Massa Corporal
- IOM – Instituto de Medicina
- MF-BIA - Bioimpedância de Uni-freuencia
- MG - Massa Gorda
- MIG - Massa Isenta de Gordura
- NaBr – Brometo de Sódio
- R - Resistência
- r² - Coeficiente de Determinação
- REF - Metodo de referencia (Tecnica de diluicao)
- SF-BIA - Bioimpedância de Uni-freuencia
- Xc - Reactância
- Z - Impedância

1. Introdução Geral

O ser humano é capaz de regular e manter diariamente o equilíbrio hídrico, apesar da exposição a fatores de estresse e mudanças no seu desenvolvimento biológico. No organismo, o defice hídrico agudo ou crônico pode resultar do reduzido consumo de líquidos, ou de perdas excessivas de água. Ao longo do dia ocorre uma variação de 5% a 10% da água total do corpo, devido a perdas de fluidos a nível da via respiratória, urinária e fecal, para além das perdas insensíveis. No entanto, a hidratação no dia-a-dia é geralmente bem mantida, desde que a dieta seja equilibrada, e tanto os alimentos como os líquidos estejam sempre disponíveis [12].

A quantidade de água ingerida varia de acordo com o género, idade e fase de desenvolvimento de um indivíduo, assim como a prática de atividade física [5]. A ingestão diária de água de 3,7 L para homens adultos e 2,7 L para mulheres adultas satisfaz as necessidades hídricas da vasta maioria das pessoas. Contudo, o exercício físico e o aumento da temperatura provocam um aumento significativo das necessidades diárias de água. A variabilidade individual entre atletas é outro fator substancial para o consumo de água [4, 8]. Dessa forma o atleta necessita de maior ingestão hídrica para compensar as suas maiores perdas de suor e para manter o balanço hídrico [13].

A água corporal total (ACT) é distribuída em dois compartimentos: o extracelular (AEC) e o intracelular (AIC), compreendendo cerca de 65% e 35% da água corporal total, respetivamente [12]. Mesmo quando a hidratação é normal, existe um constante fluxo de fluido para dentro e para fora das células [6, 7], sendo de extrema importância a manutenção do volume de água corporal total, além da proporção extracelular e intracelular, para que a homeostasia dos fluidos corporais sejam preservadas [19].

O estado de hidratação e consumo de água, relacionados ao desempenho no exercício e no trabalho têm sido tema de debates científico nos últimos anos [8,16-18]. Recentemente foi documentado em judocas de elite que uma redução na água intracelular resultou na diminuição da potência muscular dos membros superiores, e não no decréscimo da força máxima de preensão [17, 18].

Os benefícios e importância da água corporal são conhecidos e documentados, o que ainda não está claro é a sua avaliação exata em populações de atletas [3, 12], o que é de

extrema importância, dada a ligação entre a água corporal, exercício e desempenho do atleta [8, 17, 18].

As técnicas de diluição são consideradas o estado da arte na avaliação da ACT e compartimentos hídricos [15], destacando-se a técnica de diluição do deutério para avaliar a ACT e a técnica de diluição do brometo de sódio para determinação da AEC. A compreensão do efeito da hidratação no desempenho atlético, utilizando as técnicas de referência mencionadas é escassa, em parte devido à morosidade e complexidade dos procedimentos analíticos necessários para o processamento das amostras assim como ao seu elevado custo [3]. Desta forma, é importante identificar métodos alternativos, para avaliar a água corporal e os seus compartimentos de forma menos dispendiosa, rápida e válida.

A bioimpedância elétrica (BIA) é um método seguro, de baixo custo, não invasivo, e rápido para a avaliação da composição corporal, sendo referenciada como uma boa alternativa em estudos epidemiológicos e clínicos [1, 9, 14]. Dada a reconhecida facilidade em utilizar esta técnica, vários equipamentos têm surgido no mercado para estimar a água corporal total com base numa frequência única, normalmente 50 kHz. No entanto, para a correta estimação dos compartimentos hídricos seria necessária a utilização de frequência mais elevadas e com um espectro mais alargado [10]. Mais recentemente foi conceptualizado um equipamento que permite gerar 4 frequências de 5 a 500 kHz, produzido pela Tanita ® (Tanita MC-180), e cuja validade ainda não foi testada. Assim, e em virtude da importância para o rendimento desportivo de avaliar e monitorizar o compartimento intracelular em atletas [17, 18], se torna determinante conhecer a validade de um equipamento com as características atrás mencionadas.

A presente dicertação é constituída por cinco capítulos principais. O primeiro capítulo é composto por uma introdução geral, onde os objetivos gerais desse trabalho são apresentados bem como a organização desse documento. No segundo capítulo é apresentado o referencial teórico em formato de artigo de revisão, no qual foram coletados e organizados os principais estudos pertinentes e relacionados com a hidratação, com os compartimentos de fluidos corporais e com as técnicas de referência e alternativas para medição de ACT, AEC, e AIC, dando enfoque ao atleta e seu desempenho. O terceiro capítulo é constituído por um artigo experimental que objetiva

validar a Tanita MC-180 na determinação da água corporal total (ACT) e seus compartimentos: água extracelular (AEC) e água intracelular (AIC) em atletas, utilizando técnicas de diluição. O quarto capítulo constitui uma discussão geral dos tópicos deste documento seguidos por uma conclusão final, no capítulo cinco, onde perspectivas futuras são apresentadas.

2. Revisão da Literatura

BALANÇO HÍDRICO EM ATLETAS: SIGNIFICADO E AVALIAÇÃO

Noujeimi FA, Silva AM², Teixeira VH¹, Ribeiro JC¹

¹CIAFEL, Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Portugal

²Laboratório de Exercício e Saúde: FMH, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal

Balanço Hídrico em Atletas: Significado e Avaliação

Noujeimi FA, Silva AM, Teixeira VH, Ribeiro JC

CIAFEL, Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Portugal

Laboratório de Exercício e Saúde: FMH, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal

RESUMO

A água é um bem de extrema importância para a manutenção da homeostasia corporal, entretanto muitas vezes a sua importância é negligenciada. Diariamente cada indivíduo é capaz de regular e manter o equilíbrio hídrico, apesar da exposição a fatores de estresse e de mudanças no desenvolvimento biológico. O défice hídrico compromete a capacidade do corpo em manter o equilíbrio da água corporal total (ACT) e seus compartimentos, o extracelular (AEC) e o intracelular (AIC), durante as eventuais perturbações a que pode estar sujeito. Este documento dará atenção aos efeitos do exercício físico e as manobras para regulação hídricas diante desta variável, que também interfere nas necessidades de ingestão diária de água. Métodos de referência para avaliação do estado de hidratação agudo e crônico serão apresentados, com um enfoque nas técnicas de diluição consideradas o estado da arte. Contudo o processamento das amostras de fluido por meio de técnicas de diluição é demorado, laborioso, dispendioso, e requerem substancial perícia técnica. Os métodos alternativos de Bioimpedância (BIA) têm o potencial para medir o volume de água corporal total e seus compartimentos. A aplicação da análise de BIA, sendo um método não invasivo e de relativo baixo custo, representa uma importante alternativa para a avaliação da ACT, AEC e AIC. Estudos realizados com atletas no âmbito de alterações hídricas crônicas em detrimento dos estudos com indução de alterações agudas na hidratação serão abordados. A Bioimpedância pode ser utilizada na avaliação do estado de hidratação crônico e relacionada ao desempenho desportivo, no entanto, poucos estudos foram realizados no sentido de analisar o impacto de alterações hídricas na força e potência muscular.

PALAVRAS-CHAVE: Atleta, bioimpedância, brometo, défice hídrico, desempenho, deutério.

1. INTRODUÇÃO

A água está presente em todos os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem no organismo. Além de permitir a regulação da temperatura corporal, é essencial para a manutenção do volume vascular e serve como meio de transporte interno para o fornecimento de nutrientes e remoção de resíduos. Tem sido sugerido que a hidratação das células parece ser um sinal importante para a regulação do metabolismo celular [17]. Entretanto, mesmo sendo a água um bem de extrema importância para a manutenção da homeostasia corporal, muitas vezes a sua importância é negligenciada [10, 41]. É o componente mais abundante a nível molecular em indivíduos saudáveis, representando até 70% do peso corporal, como no caso dos recém-nascidos [53].

Cada indivíduo é capaz de regular e manter diariamente o equilíbrio hídrico, apesar da exposição a fatores de estresse e de mudanças no desenvolvimento biológico. O déficit hídrico agudo ou crônico pode resultar do reduzido consumo ou do aumento das perdas de água. A ingestão total de água inclui a água na sua forma natural e a água presente nas bebidas e nos alimentos. Ao longo do dia, aproximadamente 5% a

10% da água total do corpo varia, em função das perdas de fluidos distribuídos por várias vias nomeadamente, respiratória, urinária, fecal, além de perdas insensíveis. Contudo no dia-a-dia a hidratação é geralmente mantida desde que os alimentos e líquidos estejam disponíveis [41].

Durante a vida necessitamos de ingerir água, cuja quantidade pode variar de acordo com o género e a fase de desenvolvimento em que o indivíduo se encontra [13]. A ingestão adequada (AI) de água total é definida para evitar desidratação ou outras disfunções metabólicas. Uma ingestão diária de água de aproximadamente 3,7 L para homens adultos e 2,7 L para mulheres adultas satisfaz as necessidades hídricas da maioria das pessoas [11, 23]. Contudo, a variabilidade individual, o exercício e o meio ambiente podem aumentar significativamente as necessidades diárias de água.

Os benefícios e a importância da água corporal são conhecidos e documentados, embora a sua correta determinação em populações atléticas carece de mais investigação, nomeadamente na validade de técnicas alternativas existentes, como a bioimpedância elétrica, tendo como

referência o estado da arte na avaliação hídrica: as técnicas de diluição [10, 41].

Serão abordados estudos realizados com atletas no âmbito de alterações hídricas crônicas em detrimento dos estudos com indução de alterações agudas na hidratação, e serão relacionados ao desempenho desportivo.

2. ÁGUA CORPORAL TOTAL E SEUS COMPARTIMENTOS

A água corporal total (ACT) é distribuída em dois compartimentos, o extracelular (AEC) e o intracelular (AIC), compreendendo cerca de 65% e 35% da água corporal total,

respectivamente [41]. Mesmo quando a hidratação é normal, existe um constante fluxo de fluido para dentro e para fora das células [14, 16]. A manutenção do volume de água corporal total, além da proporção extracelular e intracelular é de extrema importância para que a homeostase dos fluidos corporais sejam preservadas [50].

As variações na água corporal total podem ser explicadas pela composição corporal que difere em cada indivíduo de acordo com a idade, gênero e aptidão aeróbica [13]. A Tabela 1 apresenta valores de ACT para diferentes grupos etários e de gênero, com base em métodos de diluição [3].

TABLE 4-1 Água corporal total (ACT) em percentagem do peso total do corpo em vários grupos de faixas etárias e de gênero

Grupos	Percentagem de ACT no peso total do corporal, média (intervalo).
0–6 meses	74 (64–84)
6 meses–1 ano	60 (57–64)
1–12 anos	60 (49–75)
Homens, 12–18 anos	59 (52–66)
Mulheres, 12–18 anos	56 (49–63)
Homens, 19–50 anos	59 (43–73)
Mulheres, 19–50 anos	50 (41–60)
Homens, + 51 anos	56 (47–67)
Mulheres, + 51 anos	47 (39–57)

Adaptado de: Altman [3].

Mulheres e idosos apresentam um valor de ACT mais reduzido principalmente devido à menor massa isenta de gordura

e a maior gordura corporal. Não são observadas diferenças na ACT entre os sexos até aproximadamente 12 anos de

idade [36], quando os rapazes começam a aumentar a sua massa isenta de gordura a uma taxa mais rápida do que as rapargas.

A água extracelular (AEC) inclui cinco subcompartimentos: intersticial, plasmático, tecido conjuntivo, osso e trato gastrointestinal. Este compartimento pode ser avaliado através da contagem de potássio corporal total e da água corporal total, ou apenas através de métodos de diluição como o de brometo de sódio, tiosulfato de sódio, entre outros. Uma interpretação apropriada da AEC no contexto clínico é crítica dado que este compartimento varia marcadamente de volume, tanto na saúde como na doença. A avaliação deste composto molecular é de especial importância na monitorização do estado de certas doenças que promovem a expansão de fluidos extracelulares, como a insuficiência renal e a acromegalia.

A água intracelular (AIC), compartimento aquoso distribuído no meio intracelular é um componente molecular cuja avaliação e monitorização são fundamentais, já que alterações neste componente estão associadas a alterações no estado nutricional e metabólico do organismo.

No estado avançado de algumas doenças como o cranco e a sida, verifica-se uma perda deste composto molecular, o que reflete uma perda de massa celular nestes pacientes.

Estes não são volumes estáticos, mas representam um dinâmico intercâmbio de fluidos com diferentes taxas de rotatividade entre os compartimentos. Perturbações tais como exercício, exposição ao calor, febre, diarreia, traumas e queimaduras na pele modificam muito os volumes de líquidos e taxas de rotatividade de água entre os compartimentos hídricos corporais.

Os atletas têm valores relativamente altos de ACT, em virtude de apresentarem uma maior massa isenta de gordura, baixa massa gorda, e altos níveis de glicogénio no músculo-esquelético. Os elevados níveis de glicogénio muscular promovem maior retenção de água intracelular devido à pressão osmótica exercida pelos depósitos de glicogénio no sarcoplasma do músculo [32, 37].

2.1 Estado de hidratação

A ingestão diária de água deve ser equilibrada consoante a sua perda a fim de manter a homeostasia corporal. O

défice hídrico compromete a capacidade do corpo em manter a homeostasia durante as eventuais perturbações a que pode estar sujeito (exercício físico, doenças, e exposição ao calor), podendo até mesmo afetar o seu estado de saúde.

Em circunstâncias mais raras, um consumo de fluidos hipotônicos em excesso e a baixa ingestão de sódio podem promover edema e hiponatremia celular [11].

As mudanças agudas na massa corporal num curto período de tempo são frequentemente o resultado da perda ou ganho de água corporal. Um ml de água equivale a aproximadamente 1 grama e por isso, mudanças na massa corporal podem ser utilizadas para quantificar a perda ou o ganho de água [26].

Desta forma as alterações do peso têm sido utilizadas como o principal método para quantificar as perdas ou ganhos de água, durante o exercício, ou a exposição ao calor, ou a ingestão hídrica [11]. Inclusive este método é utilizado para validar outros métodos existentes.

No entanto, quando a pessoa se encontra num estado de desidratação crónica, o peso corporal é insuficiente para quantificar o estado de hidratação. Nesse sentido existem vários indicadores como a gravidade específica da urina (GEU),

osmolalidade da urina, osmolalidade do plasma, entre outros. Contudo alguns destes indicadores são utilizados em estudos que promovam desidratação aguda.

2.2 Regulação hídrica

Quando o organismo apresenta níveis adequados de água considera-se que este está num estado de euhidratação (normoidratado). A necessidade diária de água varia individualmente, sendo influenciada por uma série de fatores, como as condições ambientais, as características da atividade física tais como duração e intensidade, e o próprio vestuário que pode interferir na termorregulação [27].

A água que compõem o nosso corpo é proveniente de fontes exógenas ingeridas sob a forma de água simples e da água que compõe os alimentos líquidos e sólidos. Existe, ainda, a produção endógena de água, decorrente da oxidação dos macronutrientes. A soma das fontes exógena e endógena precisa de igualar a quantidade de água correspondente às perdas diárias, para que a homeostasia dos fluidos seja mantida. Portanto, para que exista equilíbrio entre ingestão e excreção,

cabe aos rins a tarefa de regular a perda de líquidos e eletrólitos, por meio de múltiplos mecanismos, sendo assim, de grande importância o funcionamento renal [15].

O ser humano é capaz de regular e manter diariamente o equilíbrio hídrico, apesar da exposição a fatores de estresse e de mudanças no seu desenvolvimento biológico. No corpo o déficit hídrico agudo ou crônico pode resultar do reduzido consumo ou do aumento de

perdas hídricas, mas no dia-a-dia a hidratação é geralmente, bem mantida contanto que alimentos e líquidos estejam facilmente disponíveis [11, 41].

Na tabela 2 são apresentadas as perdas e produção diárias de água, relação que mostra um déficit hídrico que deve ser compensado pela ingestão de água. A produção de água adicional acarretada pelo exercício não é considerada uma vez que se assume a compensação por perdas respiratórias paralelas (como ilustrado abaixo).

Tabela 2. Perdas e Produção Diárias de Água

Referencias	Fonte	Perda	Produção
		mL/d	
Hoyt and Honig, 1996 [21]	PerdaRespiratoria	-250 a -350	
Adolph, 1947 [2]	PerdaUrinaria	-500 a -1000	
Newburgh et al., 1930 [33]	Perda Fecal	-100 a -200	
Kuno, 1956 [24]	Perda Insenssivel	-450 a -1900	
Hoyt and Honig, 1996 [21].	ProduçãoMetabolica		+250 a +350*
	TOTAL	-1300 a -3450	+250 a +350
	PerdaLiquida (Sedentario)	-1050 a -3100	
Burke, 1997 [6]	Perda pelo suor em variosesportes	-455 a -3630	
	PerdaLiquida (Atleta)	-1550 a -6730	

Tabela modificada da IOM.

* Produção de água metabólica com base no gasto energético de 2500- 3000 kcal por dia.

Ao longo do dia aproximadamente 5% a 10% da água total do corpo varia, devido a perdas de fluidos distribuídos por várias vias [11]. A perda de água

respiratória é influenciada pelo ar inspirado (temperatura e humidade) e pela ventilação pulmonar. A água metabólica é formada por oxidação de

substratos, e pode ser relativamente compensada pelas perdas de água respiratórias [21]. A perda de água urinária acontece através da produção de urina, geralmente numa média 0,5-1,0 L por dia, mas pode aumentar consoante o volume de líquido ingerido [2]. Esta grande capacidade de variar o débito urinário representa a principal via de regulação do equilíbrio de água corporal [11].

Segundo o Food and Nutrition Board, Institute of Medicine o equilíbrio da água corporal é bem regulado devido ao mecanismo de sede e sensação de fome [11]. Ao longo de algumas horas, o défice de água do corpo pode ocorrer devido à ingestão reduzida ou aumento das perdas de água, concomitantemente à realização de atividade física e exposição ambiental. Assim, para grandes perdas de água corporal, tais como nas situações de exercício em climas quentes e húmidos é necessário reidratar [46].

Obter um volume de água adequado no corpo é essencial para uma adequada termorregulação [18]. A temperatura interna do corpo é regulada pelo equilíbrio entre o calor produzido pelo seu metabolismo, e o calor ganho ou

perdido para o ambiente externo, fazendo com que a temperatura corporal permaneça estável.

O fluxo sanguíneo que atravessa as células do hipotálamo anterior permite obter a temperatura sanguínea [12]. Portanto sempre que o centro termorregulador detecta variações do ambiente térmico, que por sua vez, geram aumento da temperatura central, desencadeando um mecanismo de termorregulação, que culmina com a formação e evaporação do suor [30].

Os mecanismos da termorregulação e da manutenção da homeostasia cardiocirculatória podem entrar em conflito, principalmente se houver desidratação com diminuição do volume plasmático circulante, nomeadamente quando é privilegiada a manutenção do volume plasmático em detrimento da termorregulação [30, 31], promovendo uma diminuição da vasodilatação periférica e da produção de suor [40]. Este quadro favorece um aumento da temperatura central, que conseqüentemente acarreta uma diminuição do desempenho físico, que pode culminar com colapso, exaustão e insolação, ocasionando até mesmo morte [30, 31].

Pode constatar-se que uma elevada taxa metabólica, como acontece durante a realização de atividade física, juntamente com altas temperaturas ambientais, dificulta uma adequada evaporação [34]. Dessa maneira as perdas de água pelo suor variam amplamente e são dependentes do nível de atividade física e das condições ambientais [45]. Os restantes mecanismos, designadamente, a irradiação e a convecção, têm uma menor importância durante a prática de exercício, principalmente os mais intensos e prolongados. À medida que ocorre a elevação da temperatura externa, estes mecanismos tornam-se ainda menos efetivos.

Portanto maiores perdas de suor levam conseqüentemente a maiores necessidades hídricas. Dessa forma o atleta necessita de maior ingestão hídrica para compensar as suas maiores perdas de suor e para manter o balanço hídrico [42].

O suor não é composto apenas de água, mas também de eletrólitos, por isso a sua perda pode acarretar graves problemas a nível fisiológico. As concentrações de suor variam de acordo com a predisposição genética, alimentação, a taxa de sudorese e aclimação ao calor

[42]. Sendo o suor hipotónico em relação ao plasma, inicialmente a perda de água é proporcionalmente maior do que a de eletrólitos, principalmente de sódio, levando a ocorrência de desidratação com hipernatremia. Na sequência do processo de reidratação, visto que é fornecida mais água do que sódio pode ocorrer hiponatremia por hemodiluição [29, 35]. A quantidade de perda do sódio vai depender da aclimação ao calor e da taxa de sudorese [12]. Assim quando a ingestão de água é igual à perda de água por transpiração, é expectável que os níveis plasmáticos de eletrólitos, especialmente os de sódio diminuam.

3. Métodos de Avaliação

Nessa seção serão descritos os métodos de referência e alternativos que permitem determinar a água corporal total e seus compartimentos.

3.1 Métodos de Referência

A água corporal total pode ser avaliada pela técnica de diluição do deutério, através de espectrometria de massas de razões isotópicas. Com esta metodologia, a concentração de isótopo nos fluidos biológicos é medida antes e após a administração dos isótopos. A 1ª urina da manhã é recolhida e uma dose

de Óxido de Deutério ($^2\text{H}_2\text{O}$) contendo 0,1 g por kg de peso é diluída em 50 ml de água é administrada. É necessário um período de 4 horas para equilíbrio do isótopo no organismo, após o qual uma nova amostra de urina é recolhida. As taxas de água do corpo assumem um equilíbrio entre o influxo e o efluxo, e são determinados seguindo o declínio do isótopo ao longo do tempo [43]. O volume dos compartimentos de ACT é então calculado baseado no conceito geral de que $C_1V_1=C_2V_2$, em que C_1 é a concentração inicial do isótopo / marcador, e V_1 o volume conhecido de água, C_2 é a concentração final de isótopo / marcador na urina, e V_2 é o volume de água a ser calculado.

A abundância em isótopo $^2\text{H}_2\text{O}$ é analisada de acordo com a técnica de Prosser and Scrimgeour [38] em que os tubos contendo 0,5 ml de amostra de urina são cheios com Hidrogénio gasoso e permanecem em equilíbrio durante 3 dias à temperatura ambiente. Após este período de equilíbrio, as espécies de Hidrogénio são introduzidas num fluxo constante de Hélio e analisadas no espectrómetro de massas definindo a detecção da razão $^1\text{H}/^2\text{H}$. O enriquecimento da amostra é avaliado de acordo com os calibradores SMOW

(Standard Mean Ocean Water) e com base nesta unidade a ACT é estimada, incluindo uma correção de 4% correspondente à existência de deutério noutros compartimentos [44]. O valor de ACT obtido em litros é convertido a kg, multiplicando por 0,9937 kg/L, assumindo a temperatura corporal de 36° .

Conjuntamente com a água intracelular, a água extracelular (AEC) representa um dos dois compartimentos celulares de água do organismo. Para a avaliação da AEC é utilizada a técnica de diluição do brometo de sódio (NaBr). Neste método é administrada uma dose de 0,030 g por kg de peso de NaBr diluída em 50 ml de água destilada. A concentração do ião Br^- é medida por cromatografia de troca iónica em amostras de plasma ou de saliva. São recolhidas amostras biológicas pré-dose há 3 horas após a administração da dose de NaBr. O volume de AEC é calculado da seguinte forma:

$$\text{AEC (L)} = [\text{dose} / (\text{concentração } \text{Br}^- \text{ após a dose} - \text{concentração } \text{Br}^- \text{ baseline})] \times 0,90 \times 0,95$$

Em que 0,90 é um factor de correção para o Br^- intracelular e 0,95 um factor de correção para o equilíbrio da amostra

[44]. É utilizado ainda um factor de 0,9745 de correção para a existência de sólidos nos fluidos biológicos. O valor de AEC obtido em litros é convertido a kg, multiplicando por 0,9937 kg/L, assumindo a temperatura corporal de 36°.

O compartimento intracelular é calculado através da diferença entre a ACT e a AEC obtida pelas técnicas de diluição [44].

Vários autores têm realizado pesquisas utilizando as técnicas de diluição padrão para avaliação da ACT [1, 4, 8, 22, 39, 42, 49, 51], sendo uma vertente desses estudos voltada para o atleta, e para a compreensão do efeito da hidratação sobre o desempenho atlético [1, 4, 8, 39, 42, 49]. Valores de referência para os compartimentos de água corpora total e extracelular em populações saudáveis são disponíveis, embora sua aplicabilidade a uma população atlética ainda está a ser validada [47].

Embora os métodos de diluição proporcionem medidas consideradas como critério dos compartimentos de água do corpo, não é o método ideal para a aplicação na prática clínica [7]. Os procedimentos analíticos necessários

para o processamento das amostras de fluido por meio de técnicas de diluição são demorados, laboriosos, dispendiosos, e requerem substancial perícia técnica. O que elimina assim, a sua utilização rotineira para avaliação imediata ou monitoramento contínuo da distribuição de fluidos nos compartimentos de água corporal do atleta [10].

No sentido de avaliar o quadro de hidratação existem varios indicadores como a gravidade específica da urina (GEU), osmolalidade da urina, osmolalidade do plasma, entre outros. Contudo alguns destes indicadores são utilizados em estudos que promovam desidratação aguda, ou apenas para caracterizar a amostra testada em avaliações da desidratação crónica.

3.2 Métodos Alternativos

A Bioimpedância (BIA) é a tecnologia de campo que tem o potencial para medir o volume de água corporal total e seus compartimentos (ACT, AEC e AIC). A aplicação da análise de BIA, método não invasivo, para a avaliação da composição corporal foi originalmente descrita por Hoffer e seus colaboradores

[20]. Os aparelhos de BIA utilizam uma corrente que percorre o corpo com uma baixa voltagem. O condutor é a água corporal e o analisador estima a impedância deste fluido. A resistência (R) oferecida pelo corpo é a mesma observada em condutores não biológicos, ou seja, é proporcional ao comprimento do condutor e inversamente proporcional à área de corte transversal. A corrente é bem conduzida por tecidos ricos em água e eletrólitos (por exemplo, sangue, e músculo) e é mal conduzida em outros tecidos como por exemplo gordura e osso [5]. A reactância (X_c) é causada pelo efeito da capacitância das membranas celulares, superfície de tecidos e tecidos não iônicos que retardam parte da passagem do fluxo elétrico através destes múltiplos caminhos. Em frequências de 5 kHz ou menos, a corrente elétrica flui diferencialmente através da água extracelular e a reactância é mínima. A medida que a frequência aumenta, a corrente também passa para o espaço intracelular e as propriedades de capacitância, como as membranas celulares e as superfícies tecidulares, retardam a corrente causando a reactância. A impedância é a oposição, dependente da frequência, de um

condutor ao fluxo de passagem de uma corrente a outra, ou seja é a falta de condutividade [28].

A impedância (Z) é determinada como a resultante entre R e X_c estimadas a uma dada frequência de acordo com a equação: $Z^2=R^2+X_c^2$. Dessa maneira a impedância é uma função dependente de duas variáveis, a resistência e reactância [5], que estão diretamente ligadas a frequência [9]. A variação, que ocorre nas resistividades específicas entre os tecidos e segmentos corporais e entre indivíduos, deve-se a diferenças intra e interindivíduos na composição dos tecidos. Esta variação pode aplicar, em parte, alguns dos erros preditivos na utilização da impedância para estimar a composição corporal.

Teoricamente a corrente bioelétrica pode ser aplicada ao longo de um intervalo de frequências, e a impedância encontrada através da resistência ao fluxo da corrente pode ser quantificado e utilizado para determinar o volume dos fluidos corporais. Em frequências muito baixas, praticamente sem condução, devido a alta capacitância da membrana celular torna-se possível a quantificação de AEC. Já em frequências muito altas ocorre a condução total da corrente

através da membrana celular, permitindo assim a quantificação de ACT [9]. A bioimpedância pode ser aplicada assim, para a medição de água do corpo, com base na utilização de dispositivos que apresentem frequências únicas ou múltiplas [7].

A análise de impedância em frequência bioelétrica única (SF-BIA) é, de longe, a metodologia de bioimpedância mais amplamente disponível, e envolve a aplicação de uma frequência bioelétrica única normalmente de 50 kHz. Através dos dados de impedância, que entram posteriormente em equações específicas de predições obtidas através de regressão estatística, é possível determinar a ACT, a partir da qual é calculado diretamente, ou indiretamente a MIG e a MG [7]. Entretanto tais equipamentos estão limitados na sua capacidade de distinguir a distribuição de fluidos nos seus compartimentos intra e extracelulares.

Já a impedância em frequência bioelétrica múltipla aplica-se geralmente a corrente bioelétrica ao longo de um espectro de frequências que vai de 5 a 1000 kHz, e é capaz de avaliar a ACT, AIC, e AEC [25]. Só mais recentemente foram desenvolvidos tais dispositivos que aplicam correntes definidas de

múltiplas frequências (por exemplo, 5, 50, 100, 200, ou 500 kHz).

Tradicionalmente, tem havido duas principais abordagens para a utilização de dados da frequência múltipla. A primeira abordagem, colocada por Thomasset [52], tem sido chamada de múltipla frequência BIA (MF-BIA). MF-BIA

usa dados de impedância medidos em duas frequências: uma muito baixa (geralmente 5 kHz) e outra elevada (tipicamente de 50, 100, 200, ou 500 kHz) [5]. Na baixa frequência, as medidas de impedância da corrente podem ser utilizadas para determinar a AEC. Nas frequências mais altas, a corrente pode passar através a membrana celular e, assim, as medições da impedância podem ser utilizadas para determinar a ACT [7]. Os dados de impedância são aplicados à regressão derivada de equações para prever ACT, AEC e AIC. A segunda abordagem é denominada BIS, e envolve os dados de impedância utilizando medidas ao longo de todo espectro de frequências, 5-1000 kHz [19]. Alguns autores têm defendido abordagens alternativas para manipular dados da impedância derivada da BIS [14], entretanto a abordagem mais prática para a determinação dos volumes

dos fluidos na prática clínica, é a utilização dos *softwares* que acompanham os dispositivos BIS. A AEC e a AIC são assim calculadas individualmente, e sua soma é referente ao valor da ACT. Constantes de resistividade para AEC e AIC foram desenvolvidas para homens e mulheres separadamente, a partir de dados de diluição, sendo estas constantes utilizadas atualmente no *software* [7].

Os métodos de bioimpedância além de exigirem pouca manutenção são seguros, fáceis, portáteis e relativamente baratos [5, 10]. A obtenção dos volumes dos compartimentos corporais por tal método não é invasivo, ou seja, depende apenas que partes específicas do corpo entrem em contato com os eletrodos do equipamento [7]. Dessa forma profissionais da saúde e pesquisadores devem ser encorajados a testar técnicas alternativas para avaliar e acompanhar os compartimentos de água corporal em atletas. Tal como análise de impedância bioelétrica por multifrequência, já que os métodos de campo com base na aplicação da tecnologia de bioimpedância fornecem possibilidades viáveis para avaliação da distribuição dos fluidos corporais no âmbito clínico.

Pode-se constatar que os métodos de bioimpedância representam uma importante alternativa para o desenvolvimento de estratégias para reidratação do atleta, a partir do conhecimento e acompanhamento da água corporal e seus compartimentos. O método de bioimpedância deve ser validado em função do método de diluição múltipla, por ser considerado o estrado da arte, a fim de determinar a sua eficácia no âmbito clínico em várias populações [7].

4. Hidratação e Desempenho Desportivo

Diversos estudos apontaram os efeitos da desidratação aguda, obtidos através de uma determinada quantidade de peso perdido, na força, potência e resitência muscular [23]. No entanto, poucos estudos foram realizados no sentido de analisar o impacto de alterações hídricas na força e potência muscular. Ainda existe um longo caminho a ser percorrido para se conhecer todos os benefícios e desvantagens da ingestão hídrica considerada correta, algo ainda não completamente elucidado pela literatura científica. Principalmente em atletas, cuja relação entre o desempenho

e a hidratação já há muito tempo atraiu a curiosidade de pesquisadores e profissionais da saúde.

Nesta seção serão apresentados os estudos realizados no âmbito de avaliarem as alterações hídricas de caráter crônico, utilizando as técnicas de diluição para avaliação dos compartimentos de água corporal, em relação a métodos de bioimpedância. Na literatura ainda não existem estudos sobre a BIA multifrequência relacionada à métodos de diluição, o que justifica a discussão apenas dos estudos que abordaram a BIA unifrequência (SF-BIA).

Até à data, apenas um estudo [39], validou um equipamento SF-BIA da marca Tanita (pé-pé) numa população atlética tendo como referência a técnica de diluição do deutério, embora outros estudos de validação tenham sido conduzidos em populações não atléticas [22, 51]. Strain e colaboradores [51], verificaram que numa amostra de pacientes obesos a capacidade da Tanita TBF-310 em estimar os valores obtidos pelo método de diluição do deutério foi de 85%. Também com o modelo de Tanita TBF-310 os resultados obtidos por Quiterio e Colaboradores foram de 87 e 88% respectivamente para rapazes e

raparigas atletas [39]. Isenring e Colaboradores, numa população com doença oncológica, apenas obtiveram um valor de 56% na capacidade preditiva da Tanita TBF 410 em estimar a variabilidade dos valores do método de referência [22]. Relativamente à análise da concordância pelo método de Bland-Altman, Strain e Colaboradores [51], apontaram limites que variaram entre -6.7 e 10.3 L, enquanto estes valores variaram entre -4.8 a 3.7 kg e -6.6 a 5.1 kg para raparigas e rapazes, respectivamente, no estudo de Quiterio e Colaboradores [39]. Isenring e Colaboradores [22] verificaram uma maior variabilidade individual na determinação da ACT com limites de concordância a variarem entre -8,6 e 12 L.

Entretanto os estudos abordados acima não discutem a relação dos compartimentos hídricos com o desempenho. Importante relação a ser avaliada, uma vez que estudos têm demonstrado que em atletas o desempenho e a potência muscular estão relacionados à desidratação [23, 48, 49]. Através de alguns estudos é possível vislumbrar a relação da diminuição da força e do desempenho no atleta, durante o quadro de desidratação,

com as perdas de água nos compartimentos hídricos, principalmente o intracelular (AIC) [48, 49].

Desta forma, é importante identificar métodos alternativos para avaliar a água corporal e os seus compartimentos (ACT, AEC, AIC) de forma menos dispendiosa, rápida e válida. Por não terem sido encontrados na literatura estudos que validassem a BIA multifrequência, especificamente a Tanita modelo MC-180 na obtenção da ACT e seus compartimentos, tendo como referência métodos de diluição, em atletas de elite, torna-se necessário a realização de estudos com este enfoque.

5. Conclusão

Pode-se constatar que os métodos de bioimpedância representam uma importante alternativa para conhecimento e acompanhamento da água corporal e seus compartimentos em indivíduos no âmbito clínico. No entanto, poucas investigações têm sido realizadas para validação de equipamentos de BIA na medição dos compartimentos de água corporal em atletas. A partir desta validação será possível o desenvolvimento de estratégias para minimizarem os efeitos

indesejáveis da desidratação, e principalmente da perda de água específica de cada compartimento hídrico (ACT, AEC, e AIC), que por sua vez, interferem no desempenho.

Referências

1. Andreoli A, Melchiorri G, Volpe SL, Sardella F, Iacopino L, De Lorenzo A. 2004. Multicompartment model to assess body composition in professional water polo players. *J Sports Med Phys Fitness* 44:38-43.
2. Adolph E. 1947. Urinary excretion of water and solutes. In: Adolph EF. *Physiology of Man in the Desert*. New York: Intersciences Publishers 96–109.
3. Altman P. 1961. *Blood and Other Body Fluids*. Washington, DC: Federation of American Societies for Experimental Biology.
4. Battistini, N, Virgili, F, and Bedogni, G. 1994. Relative expansion of extracellular water in elite male athletes compared to recreational sportsmen. *Ann Hum Biol* 21: 609–612,
5. Buchholz AC, Bartok C, Schoeller DA. 2004. The validity of bioelectrical impedance models in clinical populations. *Nutr Clin Pract* 19:433–446

6. Burke LM. 1997. Fluid balance during team sports. *J Sports Sci* 15:287–295.
7. Carrie Earthman, Diana Traugher, Jennifer Dobratz and Wanda Howell. 2007. Bioimpedance Spectroscopy for Clinical Assessment of Fluid Distribution and Body Cell Mass *Nutr Clin Pract* 22: 389
8. Casa DJ, Clarkson PM, Roberts WO. 2005. American College of Sports Medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statements. *Curr Sports Med Rep* 4:115-27.
9. 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* 82:1542–1558.
10. Ellis KJ, Wong WW. 1998. Human hydrometry: comparison of multifrequency bioelectrical impedance with $2H_2O$ and bromine dilution. *J Appl Physiol* 85:1056-62.
11. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine (FNB). 2005. Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate. Washington, DC: National Academies Press. Available online at: <http://www.nap.edu/books/0309091691/html>. Acesso 22 Agosto, 2012.
12. Gisolfi CV, Duchman SM. 1992. Guidelines for optimal replacement beverages for different athletic events. *Med Sci Sports Exerc* 24:679-87.
13. Grandjean AC, Reimers KJ, Bannick KE, Haven MC. 2000. The effect of caffeinated, non-caffeinated, caloric and non-caloric beverages on hydration. *J Am Coll Nutr* 19:591–600.
14. Gudivaka, R, Schoeller, DA, Kushner, RF, and Bolt, MJ. 1999. Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments. *J Appl Physiol* 87: 1087–1096.
15. Guyton AC HJ. 2002. *Tratado de fisiologia médica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; p, 250-5.
16. Harrison, MH. 1985. Effects on thermal stress and exercise on blood volume in humans. *Physiol Rev* 65: 149–209.
17. Haussinger D, Lang F, Gerok W. 1994. Regulation of cell function by the cellular hydration state. *Am J Physiol* 267:E343–E355.
18. Heaps, CL, Gonzalez-Alonso, J, and Coyle, EF. 1994. Hypohydration causes cardiovascular drift without reducing blood volume. *Int J Sports Med* 15: 74–79.

19. Heymsfield SB, Wang Z, Visser M, Gallagher D, Pierson RN Jr. 1996. Techniques used in the measurement of body composition: an overview with emphasis on bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 64(3 suppl):478S–484S.
20. Hoffer, E. C., C. K. Meador, and D. C. Simpson. 1969. Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J. Appl. Physiol.* 27: 531–534.
21. Hoyt R, Honig A. 1996. Environmental influences on body fluid balance during exercise: Altitude. In: Buskirk E, Puhl S, eds. *Body Fluid Balance: Exercise and Sport*. Boca Raton, FL: CRC Press 183–196.
22. Isenring E, Bauer J, Capra S, Davies PS. 2004. Evaluation of foot-to-foot bioelectrical impedance analysis for the prediction of total body water in oncology outpatients receiving radiotherapy. *Eur J Clin Nutr* 58:46-51.
23. Judelson DA, Maresh CM, Anderson JM, Armstrong LE, Casa DJ, Kraemer WJ, Volek JS. 2007. Hydration and muscular performance: does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? *Sports Med* 37:907-21.
24. Kuno Y. 1956. *Human Perspiration*. Springfield, IL: Charles C. Thomas.
25. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, et al. 2004. Bioelectrical impedance analysis, part I: review of principles and methods. *Clin Nutr* 23:1226–1243.
26. Lentner C (editor).1981. *Geigy Scientific Tables*, 8th ed. Basle, Switzerland: Ciba-Geigy Ltd.
27. Lopez RM, Casa DJ. 2009. The influence of nutritional ergogenic aids on exercise heat tolerance and hydration status. *Curr Sports Med Rep* 8:192-9.
28. Lukaski HC. 1996. Biological indexes considered in the derivation of the bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 64:397S– 404S.
29. MaraLS, Lemos R, Brochi L, Rohlfs ICPM, Carvalho T. 2007. Alterações hidroeletrolíticas agudas ocorridas no Triatlon Ironman Brasil. *Rev Bras Med Esporte* 13:397-401.
30. Montain SJ, Coyle EF. 1992 a. Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume. *J ApplPhysiol* 73:903-10.
31. Montain SJ, Coyle EF. 1992 b. Influence of graded dehydration on

- hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol* 73:1340-50.
32. Neuffer PD, Sawka MN, Young AJ, Quigley MD, Latzka WA, Levine L. 1991. Hypohydration does not impair skeletal muscle glycogen resynthesis after exercise. *J Appl Physiol* 70:1490–1494.
 33. Newburgh L, Woodwell JM, Falcon-Lesses M. 1930. Measurement of total water exchange. *J Clin Invest* 8:161–196.
 34. Nielsen M. 1938. Die Regulation der Korpertemperatur bei Muskelarbeit. *Skand Arch Physiol* 79:193–230.
 35. Noakes TD, Sharwood K, Perkins DR. 2004. The dipsomania of great distance: water intoxication in an Ironman triathlete. *Br J Sports Med* 38:e16.
 36. Novak LP. 1989. Changes in total body water during adolescent growth. *Hum Biol* 61:407–414.
 37. Olsson K-E, Saltin B. 1970. Variation in total body water with muscle glycogen changes in man. *Acta Physiol Scand* 80:11–18.
 38. Prosser SJ, Scrimgeour CM. 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.
 39. Quiterio AL, Silva AM, Minderico CS, Carnero EA, Fields DA, Sardinha LB. 2009. Total body water measurements in adolescent athletes: a comparison of six field methods with deuterium dilution. *J Strength Cond Res* 23:1225-37.
 40. Sawka MN. 1992. Physiological consequences of hypohydration: exercise performance and thermoregulation. *Med Sci Sports Exerc* 24:657-70.
 41. Sawka MN, Chevront SN, Carter R, 3rd. 2005. Human water needs. *Nutr Rev* 63:S30-9.
 42. Sawka, MN, Burke, LM, Eichner, ER, Maughan, RJ, Montain, SJ, and Stachenfeld, NS. 2007. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 39: 377–390.
 43. Schoeller DA and van Santen E. 1982. Measurement of energy expenditure in humans by doubly labeled water method. *J Appl Physiol* 53: 955–959.
 44. Schoeller DA. 2005. Hydrometry. In *Human Body Composition*. Heymsfield, SB, Lohman, TG, Wang, Z & Going, SB

- (Eds.). Champaign, IL, Human Kinetics
45. Shapiro Y, Pandolf KB, Goldman RF. 1982. Predicting sweat loss response to exercise, environment and clothing. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 48:83–96.
 46. Shirreffs SM. 2005. The importance of good hydration for work and exercise performance. *Nutr Rev* 63:S14-21.
 47. Silva, AM, Wang, J, Pierson, RN Jr, Wang, Z, Spivack, J, Allison, DB, Heymsfield, SB, Sardinha, LB, and Heshka, S. 2007. Extracellular water across the adult lifespan: Reference values for adults. *Physiol Meas* 28: 489–502,
 48. Silva AM, Fields DA, Heymsfield SB, Sardinha LB. 2010. Body composition and power changes in elite judo athletes. *Int J Sports Med* 31:737-41.
 49. Silva AM, Fields DA, Heymsfield SB, Sardinha LB. 2011a. Relationship between changes in total-body water and fluid distribution with maximal forearm strength in elite judo athletes. *J Strength Cond Res* 25:2488-95.
 50. Speedy DB, Noakes TD, Schneider C. 2001. Exercício associado à hiponatremia: Uma revisão. *Emerg Med (Fremantle)* 13 : 17 – 27.
 51. Strain GW, Wang J, Gagner M, Pomp A, Inabnet WB, Heymsfield SB. 2008. Bioimpedance for severe obesity: comparing research methods for total body water and resting energy expenditure. *Obesity (Silver Spring)* 16:1953-6.
 52. Thomasset A. 1963. Propriétés bio-électriques des tissus: appréciation par la mesure de l'impe'dance de la teneur ionique extra-cellulaire et de la teneur ionique intra-cellulaire en clinique. *Lyon Med* 209:1325–1352
 53. Wang Z, Deurenberg P, Wang W, Pietrobelli A, Baumgartner RN and Heymsfield SB. 1999. Hydration of fat-free body mass: new physiological modeling approach. *American Journal of Physiology* 276(6 Pt 1): E995–E1003.

3. Trabalho Experimental

AVALIAÇÃO DA ÁGUA CORPORAL TOTAL E SEUS COMPARTIMENTOS EM ATLETAS DE ELITE POR ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA.

Noujeimi FA, Silva AM², Teixeira VH¹, Ribeiro JC¹

¹CIAFEL, Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Portugal

²Laboratório de Exercício e Saúde: FMH, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal

AValiação DA ÁGUA CORPORAL TOTAL E SEUS COMPARTIMENTOS EM ATLETAS DE ELITE POR ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA.

Noujeimi FA, Silva AM, Teixeira VH, Ribeiro JC

CIAFEL: Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Portugal

Laboratório de Exercício e Saúde: FMH, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal

RESUMO

Objetivo: Este estudo tem como objetivo validar a Tanita MC-180 na determinação da água corporal total (ACT) e seus compartimentos: água extracelular (AEC) e água intracelular (AIC) em atletas, utilizando técnicas de diluição. **Materiais e Métodos:** Foram avaliados trinta e seis atletas (17 homens e 19 mulheres) com média de idade de $22,1 \pm 4,9$ anos. A ACT e respetivos compartimentos hídricos foram estimados pela Tanita MC-180 e por métodos de referência (REF). A ACT_{REF} e AEC_{REF} foram obtidas através das técnicas de diluição do deutério e brometo de sódio, respetivamente. A AIC_{REF} foi calculada através da diferença entre a ACT_{REF} e a AEC_{REF} .

Resultados: Considerando a amostra total, a Tanita subestimou a AEC em relação aos métodos de referência, sobrestimando a ACT e AIC. A Tanita explicou 96%, 81% e 83%, da variabilidade total da amostra, para a ACT, AEC e AIC, respetivamente. Os erros padrão de medição variaram entre 1,6 e 2,9 kg. Um elevado coeficiente de correlação de concordância ($r = 0,97$) entre a Tanita e o método de referência foi observado para a ACT. Valores satisfatórios deste coeficiente foram obtidos para os compartimentos extra e intracelular ($r = 0,75$ e $r = 0,81$, respetivamente). Elevados limites de concordância foram observados entre AEC e AIC obtidas pela Tanita relativamente aos métodos de referência (-5,0 a 2,3 kg e -2,5 a 9,6 kg, respetivamente) enquanto na obtenção da ACT a variabilidade individual foi menor (-3,1 a 5,1 kg).

Conclusão: O presente estudo mostrou que a Tanita MC-180 é uma alternativa válida na estimação da água corporal total, água extracelular e água intracelular num grupo de atletas. Contudo, devido aos limites de concordância obtidos na determinação dos compartimentos hídricos, este equipamento apresenta uma validade mais limitada na estimação individual da AEC e AIC.

PALAVRAS-CHAVE: Atletas, água corporal total, brometo, deutério, Tanita, técnicas de diluição.

INTRODUÇÃO

Os benefícios e importância da água corporal são conhecidos e documentados, o que ainda não está claro é a sua avaliação exata e detalhada em populações de atletas [7, 9, 23, 26], o que é de extrema importância, dada a ligação entre a água corporal, exercício e desempenho no trabalho [11, 27, 28]. Sabe-se que o atleta necessita de maior ingestão hídrica para compensar as suas maiores perdas de suor e para manter o balanço hídrico [22]. Recentemente, foi documentado em judocas de elite que uma redução na água intracelular resultou na diminuição da potência muscular dos membros superiores, e não no decréscimo da força máxima de preensão [27, 28].

A água corporal total (ACT) é distribuída em dois compartimentos: a água extracelular (AEC) e água intracelular (AIC), compreendendo cerca de 65% e 35% da água corporal total, respetivamente [23]. As técnicas de diluição são consideradas o estado da arte na avaliação da ACT e compartimentos hídricos [25], destacando-se a técnica de diluição do deutério para avaliar a ACT e a técnica de diluição do brometo de sódio para

determinação da AEC. A compreensão do efeito da hidratação no desempenho atlético, utilizando as técnicas de referência mencionadas é escassa [2, 6, 22], em parte devido à morosidade e complexidade dos procedimentos analíticos necessários para o processamento das amostras, assim como ao seu elevado custo [9].

Desta forma, é importante identificar métodos alternativos para avaliar a água corporal e os seus compartimentos de forma menos dispendiosa, rápida e válida. A bioimpedância elétrica (BIA) é um método seguro, de baixo custo, não invasivo, e rápido para a avaliação da composição corporal, sendo referenciada como uma boa alternativa em estudos epidemiológicos e clínicos [1, 12, 24]. Por ser a impedância proporcional à ACT, tais equipamentos são capazes de fornecer estimativas da composição corporal [13]. Dada a reconhecida facilidade em utilizar esta técnica, vários equipamentos têm surgido no mercado para estimar a água corporal total com base numa frequência única, normalmente 50 kHz. No entanto, para a correcta estimação dos compartimentos hídricos seria necessária à utilização de frequência mais elevadas e com um espectro mais alargado [16]. Mais

recentemente foi conceptualizado um equipamento que permite gerar 4 frequências de 5 a 500 kHz, produzido pela Tanita ® (Tanita MC-180), e cuja validade ainda não foi testada. A Tanita é um sistema capaz de estimar a composição corporal com base no princípio da impedância bioelétrica (BIA) [19, 32], no caso do modelo Tanita MC-180 por BIA multifrequência. Assim, e em virtude da importância para o rendimento desportivo de avaliar e monitorizar o compartimento intracelular em atletas [27, 28], se torna determinante conhecer a validade de um equipamento com as características atrás mencionadas.

MATERIAIS E METODOS

Sujeitos

Trinta e seis atletas portugueses que representam clubes desportivos em campeonatos nacionais e internacionais, (17 homens e 19 mulheres: andebol, voleibol, basquetebol, natação), foram avaliados durante o período competitivo da época. Todos os participantes foram esclarecidos e deram o seu consentimento assinado antes da participação no estudo. Todos os procedimentos foram aprovados pelo Comité de Ética da Faculdade de

Motricidade Humana, Universidade Técnica de Lisboa e conduzida de acordo com a declaração de Helsinki para estudos humanos das World Medical Association [34].

Avaliação da composição corporal

As avaliações decorreram após jejum de 12 horas, com abstinência de álcool, consumo de bebidas estimulantes e exercício físico nas 15 horas que antecederam os testes. Todas as medições foram efetuadas na mesma manhã.

Os indivíduos foram pesados com uma aproximação de 0,01 kg vestindo apenas roupa interior e sem sapatos, numa balança eletrónica associada ao computador de Pletismógrafo (BOD POD ®, Life Measurement, Inc., Concord, CA, EUA). A altura foi medida com a aproximação de 0,1 cm com um estadiómetro (Seca, Hamburgo, Alemanha), de acordo com procedimentos normalizados e padronizados [15]

Massa gorda e Massa isenta de gordura

A massa gorda (%MG e MG) e a massa isenta de gordura (MIG) foram estimadas por densitometria radiológica de dupla radiação (Hologic Explorer W,

QDR para windows versão 12.4, Waltham, MA, USA). A confiabilidade, com base em 10 sujeitos, no nosso laboratório para FM e FFM é de 2,5% e 1,1%, respetivamente [29].

Água Corporal Total (ACT)

A ACT foi avaliada através da técnica de diluição do deutério usando um Espectrómetro de Massas de Razão Isotópica (PDZ, Europa Scientific, UK). Após um jejum de 12 horas, uma amostra de urina foi recolhida por cada atleta seguida do qual foi administrada uma dose oral de óxido de deutério de 0,1 g $^2\text{H}_2\text{O}$ (99,8%) por kg de peso corporal (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO), diluída em 30mL de água. Após um período de equilíbrio de 4 horas, uma segunda amostra de urina foi recolhida. As amostras de urina foram preparadas para análise utilizando a técnica de equilíbrio de Prosser e Scrimgeour [20]. Os enriquecimentos das amostras foram analisados contra a água padrão da média do oceano (SMOW). Baseado no valor de delta SMOW obtido, a ACT foi estimada, incluindo uma correção de 4% devido à diluição de deutério noutros compartimentos não aquosos [25]. A ACT foi então convertida para kg multiplicando os valores em litros por

0,9937 kg/L, assumindo uma temperatura média do corpo de 36 ° C. A confiabilidade do nosso laboratório, com base em 10 adultos, e de 0,4% [28].

Água extracelular (AEC)

A AEC foi avaliada pela técnica de diluição do brometo de sódio (NaBr). Uma amostra de saliva foi obtida após jejum de 12h, seguida da qual foi administrada uma dose de 0,030 g/kg de peso corporal de NaBr (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO), diluída em 50 mL de água desionizada, a cada sujeito. A concentração de NaBr foi medida por Cromatografia Líquida de Elevada Performance (Dionex Corporation, Sunnyvale, CA). Uma nova amostra de saliva foi recolhida 3 horas após a dosagem de NaBr. O volume de AEC foi calculado após as análises de enriquecimento, como:

$$\text{AEC (L)} = \left[\frac{\text{dose (pós-brometo de fluido ([Br-]) - pré-fluido ([Br-])}}{\text{0,90}} \right] \times 0,95$$
 Onde 0,90 é um fator de correção para o brometo intracelular (Br^-), encontrado principalmente nos glóbulos vermelhos do sangue, e 0,95 é o fator de equilíbrio de Donnan [25]. A AEC também convertida em quilogramas através da multiplicação dos valores da AEC em litros por 0,9937 kg/L

assumindo uma temperatura corporal média de 36 ° C. Um fator de correção de 0,9996 foi utilizado para o conteúdo sólido em fluidos biológicos. A confiabilidade, em 7 indivíduos, para a AEC no nosso laboratório é de 0,5% [28].

Água intracelular (AIC)

A AIC foi calculada através da diferença entre ACT e AEC utilizando as técnicas de diluição acima mencionadas de deutério e de brometo de sódio, respetivamente.

Impedância bioeléctrica por multifrequência

A ACT, AEC e AIC foram estimadas com base na determinação da impedância bioeléctrica por multifrequência. O equipamento utilizado (Tanita MC-180 MA, Tóquio, Japão) tem um sistema de 8 eléctrodos (2 em cada mão e pé) e realiza medições da resistência e reactância em cada um dos segmentos (braço direito, braço esquerdo, tronco, perna direita e perna esquerda) usando 4 frequências diferentes (5, 50, 250 e 500 kHz). A partir destes valores é estimada a ACT e respectivos compartimentos por

intermédio de equações de regressão embutidas no *software*, derivadas de análise de regressão múltipla e em função dos dados previamente introduzidos na interface (estatura, idade, sexo e nível de actividade física). Face aos diferentes níveis de hidratação observados em indivíduos atléticos, escolheu-se no dispositivo o modo “atleta” para todos os participantes, que é definido pelo fabricante como o correspondente a uma pessoa envolvida em actividade física intensa por mais de 12h por semana.

Foram seguidos os procedimentos metodológicos especificados pelo fabricante, sendo a avaliação realizada: mais de 3 horas após acordar e desde a última refeição, mais de 12h após exercício físico extenuante e sem ingerir bebidas alcoólicas, depois do indivíduo ter urinado e fora do período menstrual. Todas as medições foram efectuadas com o indivíduo em pé há pelo menos 10 minutos de forma a reduzir possíveis erros com as alterações agudas na distribuição de fluido corporal. Foi solicitado aos participantes que retirassem todos os acessórios de joalheria e permanecessem descalços e com roupas leves em posição vertical sobre eléctrodos de pé na plataforma do

equipamento, sem as pernas e as coxas se tocarem e sem os braços tocarem no tronco, enquanto seguravam nas mãos as pás com os eléctrodos o tempo necessário para fazer a análise. A confiabilidade, em 10 indivíduos, para ACT, AEC e AIC em nosso laboratório é de 0,3%, 0,7% e 0,3%, respectivamente.

Estado de hidratação

A gravidade específica da urina foi determinada na 1ª urina da manhã usando um refractómetro (Urisys 1100, Roche Diagnostics, Portugal) para assegurar que todos os atletas estavam em estado de euhidratação [30]. O coeficiente de variação (CV) para a gravidade específica da urina, com base em 10 adultos jovens ativos, no nosso laboratório é de 0,2% [17].

Análise estatística

Foram usados teste-t para amostras independentes nas variáveis paramétricas e sempre que uma distribuição não-paramétrica foi observada, o teste de Mann-Whitney foi aplicado, para comparação de géneros. O teste-t para amostras emparelhadas foi utilizado para comparar a média entre as técnicas. A análise de regressão múltipla foi realizada para testar a influência do

género por si só na interação com TBW, ECW e ICW. Se a interação entre o género e o método alternativo estimado não for significativa, a análise de regressão linear será realizada utilizando a totalidade da amostra. Testámos se a linha de regressão diferiu da linha de identidade, analisando se o declive e a intercepção eram diferentes a partir de 1 e 0, respectivamente. Posteriormente, foi avaliado o coeficiente de correlação de concordância (CCC) utilizando a abordagem de Lin [14] utilizando o software MedCalc® vs 11.1.1.0 (2009). O CCC contém uma medição de ρ precisão e exatidão ($\rho_c = \rho_{Cb}$) onde ρ é o coeficiente de correlação de Pearson, que mede a distância em que cada observação se desvia da linha base. O C_b é um fator de correção que mede a que distancia a linha de base se desvia da linha de 45° da origem, sendo portanto uma medida de exatidão. A concordância entre os métodos foi avaliada usando o método de Bland-Altman [4], incluindo a análise da correlação entre a média e a diferença dos métodos. Os dados foram analisados com o SPSS para Windows versão 18.0 (SPSS Inc., uma empresa IBM, Chicago). Para todos os testes, a

significância estatística foi fixada em $p < 0,05$.

RESULTADOS

As variáveis da composição corporal dos participantes são apresentadas na Tabela 1. Existem diferenças significativas entre géneros, para todas as variáveis

analisadas, com exceção da idade e da gravidade específica da urina. Em média, os atletas apresentam um estado de hidratação no limite máximo recomendado para este indicador ($1,020 \text{ g/cm}^3$), como se pode observar na tabela 1.

Tabela 1. Características subjetivas e composição corporal

	Homem (n=17)	Mulher (n=19)	Total (n=36)
	Média ± DP	Média ± DP	Média ± DP
Idade (anos)	21.3 ± 4.4	22.8 ± 5.3	22.1 ± 4.9
Peso (Kg)	82.73 ± 12.21*	66.32 ± 9.74	74.07 ± 13.63
Altura (cm)	186.59 ± 10.83*	172.26 ± 9.19	179.02 ± 12.23
IMC (kg/m²)	23.68 ± 2.13*	22.27 ± 1.94	22.93 ± 2.13
GEU (g/cm³)	1.021 ± 0.003	1.019 ± 0.006	1.020 ± 0.005
MIG (kg)	68.84 ± 11.07*	48.09 ± 6.22	57.58 ± 13.58
MG (kg)	13.63 ± 4.47*	17.42 ± 4.53	15.69 ± 4.83
MG (%)	16.52 ± 4.66*	26.36 ± 4.46	21.86 ± 6.69
ACT_{REF} (kg)	50.91 ± 7.87*	34.79 ± 4.51	42.41 ± 10.26
ACT_{Tanita} (kg)	51.20 ± 7.70*	36.50 ± 4.60‡	43.45 ± 9.66‡
AEC_{REF} (kg)	19.83 ± 3.31*	14.89 ± 1.94	17.22 ± 3.64
AEC_{Tanita} (kg)	17.84 ± 1.68*,‡	14.09 ± 1.33‡	15.86 ± 2.41‡
AIC_{REF} (kg)	31.08 ± 4.99*	19.91 ± 2.87	25.18 ± 6.90
AIC_{Tanita} (kg)	34.29 ± 6.49*,‡	23.73 ± 3.16‡	28.72 ± 7.28‡

Abreviaturas: DP, desvio padrão; IMC, índice de massa corporal; GEU, gravidade específica da urina; MIG, massa isenta de gordura; MG, massa gorda; ACT, água corporal total; AEC, água extracelular; AIC, água intracelular; REF, método de referência (técnicas de diluição).

* Significativamente diferente entre os géneros ($p < 0,05$)

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

Foram observadas diferenças significativas entre o método de

referência (técnica de diluição) e o método alternativo (Tanita) para a ACT

e respectivos compartimentos, com exceção da ACT em homens. Quando avaliados os atletas do sexo masculino, a Tanita subestimou a AEC e sobrestimou a AIC. Nas atletas do sexo feminino, observou-se uma sobrestimação da ACT e da AIC nos valores obtidos pela Tanita, em relação aos métodos de referência, enquanto para a AEC se observou uma subestimação dos valores médios. Considerando a amostra total, a Tanita subestimou a AEC em relação à técnica de diluição, e sobrestimou a ACT e a AIC.

Foi determinado se a interação do gênero contribuía para as relações entre a água estimada pela Tanita e pelos métodos de diluição. Uma interação não significativa foi observada para todos os parâmetros, pelo que se usou a amostra total na avaliação da precisão da Tanita para estimação da ACT, AEC, AIC.

Os resultados referentes às regressões entre os métodos de referência e o método alternativo para a avaliação da ACT, AEC e AIC são apresentados na Tabela 2 e ilustrados na figura 1.

Tabela 2. Regressão para ACT, AEC e estimativa AIC usando Tanita e o método de referência.

	R	EPE (kg)	Declive	Interceção	CCC	Cp	Cb
TBW	0.981	2.04	1.042	-2.855	0,9734	0,9807	0,9926
ECW	0.900	1.61	1.359†	-4.341§	0,7532	0,8998	0,8371
ICW	0.911	2.89	0.864	0.377	0,8068	0,9111	0,8855

Abreviaturas: r², coeficiente de determinação; EPE, erro padrão de estimação; ACT, água corporal total; AEC, água extracelular; AIC, água intracelular.

† Declive significativamente diferente de 1, p <0,05.

§ Interceção significativamente diferente de 0, p <0,05.

A Tanita explica 96 %, 81% e 83% da variabilidade total observada a partir do método de referência para a ACT, AEC

e AIC, respetivamente (Figura 1). Os erros padrão de estimação variam entre 1,61 a 2,89 kg (Tabela 2).

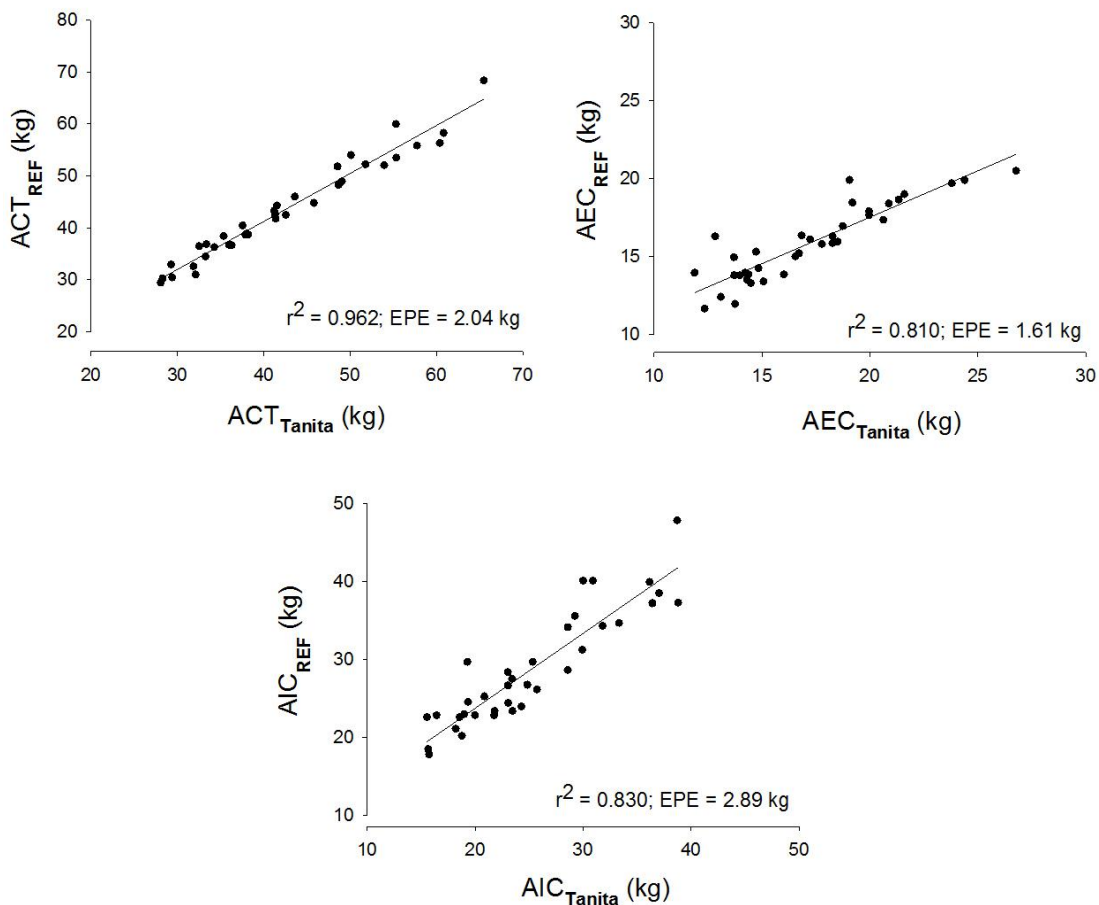


Figura 1. A figura 1 ilustra os resultados da análise de regressão para a água corporal total (ACT), água extracelular (AEC) e água intracelular (AIC) através da estimativa obtida pela Tanita e técnicas de diluição como o método de referência (REF). O r^2 e o EPE representam o coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa, respectivamente.

A linha de regressão, não diferiu da linha de identidade, ou seja o declive e a interceção na origem não foram diferentes entre 1 e 0, respectivamente ($p > 0,05$), com exceção do declive na AEC (Tabela 2).

O coeficiente de correlação de concordância para a ACT é de 0.97, para a AEC e AIC observou-se um CCC de 0.75 e 0.81, respectivamente (tabela 2).

A concordância entre os métodos foi avaliada pela técnica de Bland-Altman, incluindo a análise da correlação entre a média e a diferença dos métodos. Esta análise é apresentada na figura 2. Foram observados limites de concordância relativamente elevados para a ACT e respectivos compartimentos hídricos (AEC e AIC). Foi observada uma sobrestimação de 5,1 e 2,3 kg ou subestimação de 3,1 e 5,0 kg para ACT e

AEC, respetivamente. Foi observada uma subestimação de 2,5 kg ou uma sobrestimação de 9,6 kg para a AIC.

Foram ainda analisadas se as diferenças entre os métodos na obtenção da ACT, AEC e AIC estariam associadas com a magnitude dos valores de massa gorda,

massa isenta de gordura e gravidade específica da urina. Não se verificou qualquer associação entre estas variáveis e as diferenças entre os métodos na obtenção da ACT e AIC, mas foi observada uma relação inversa e significativa da AEC e a massa isenta de gordura ($r=-0,727$; $p<0,001$).

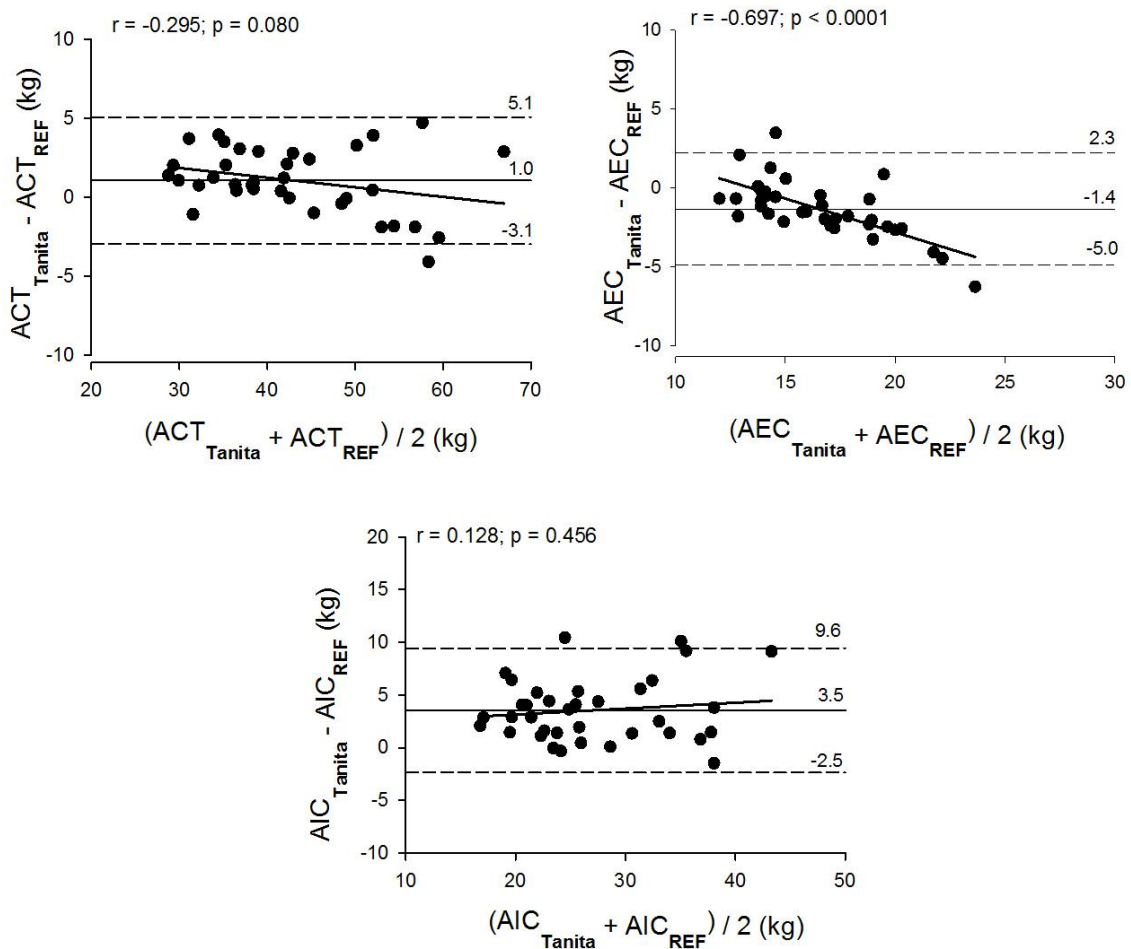


Figura 2. A figura 2 ilustra a análise de Bland-Altman da concordância entre os métodos para a avaliação da água corporal total (ACT), a água extracelular (AEC), e água intracelular (AIC). A linha média sólida representa a diferença média entre os resultados da Tanita e do método de referência (REF). A linha superior e inferior tracejada representa ± 2 desvio padrão dos limites médios, ou seja 95% de concordância ($\pm 1,96$ DP). A linha de tendência representa a associação entre as diferenças dos métodos e as médias de ambos os métodos, tal como ilustrado pelo coeficiente de correlação (r).

DISCUSSÃO

Este estudo teve como principal objetivo avaliar a validade da Tanita MC-180 na estimação da ACT, AEC e AIC, tendo como método de referência as técnicas de diluição, numa amostra de atletas de elite. Pequenas diferenças, embora significativas, entre o método alternativo (Tanita) e o método de referência (técnicas diluição) foram observadas.

Até à data, apenas um estudo [21], validou um equipamento da marca Tanita (pé-pé) numa população atlética tendo como referência a técnica de diluição do deutério, embora outros estudos de validação tenham sido conduzidos em populações não atléticas [10, 31]. Além disso, não foram encontrados na literatura estudos que validassem especificamente a Tanita modelo MC-180 na obtenção da ACT e seus compartimentos, tendo como referência métodos de diluição, em atletas de elite. Por isso, só é possível comparar os nossos resultados aos estudos supracitados que validaram o modelo da Tanita TBF 310 na determinação apenas da ACT. Strain e colaboradores [31], verificaram que numa amostra de pacientes obesos a capacidade da Tanita TBF-310 em estimar os valores obtidos pelo método

de diluição do deutério foi de 85%. Também com o modelo de Tanita TBF-310 os resultados obtidos por Quiterio e Colaboradores foram de 87 e 88% respectivamente para rapazes e raparigas atletas [21]. Isenring e Colaboradores, numa população com donça oncológica, apenas obtiveram um valor de 56% na capacidade preditiva da Tanita TBF 410 em estimar a variabilidade dos valores do método de referência [10].

Relativamente à análise da concordância pelo método de Bland-Altman [4], Strain e Colaboradores [31] apontaram limites que variaram entre -6.7 e 10.3 L, enquanto que estes valores variaram entre -4.8 a 3.7 kg e -6.6 a 5.1 kg para raparigas e rapazes, respectivamente, no estudo de Quiterio e Colaboradores [21]. Isenring e Colaboradores [10] verificaram uma maior variabilidade individual na determinação da ACT com limites de concordância a variarem entre -8,6 e 12 L. Assim, de forma genérica, a determinação da ACT pelo presente equipamento mostrou ser uma alternativa mais válida quer na capacidade preditiva em estimar os valores obtidos pela diluição de deutério (96%), quer na análise da concordância pelo método de Bland-Altman onde foi observada uma variabilidade individual

na diferença entre os métodos mais reduzida (-3.1 a 5.1 kg). Foi sugerido por diversos autores que a estimativa da ACT por metodologia de impedância bioelétrica pode ser influenciada por fatores capazes de alterar propriedades de condutividade do corpo, tais como variações no plasma e tonicidade extracelular [3, 33]. Este facto pode justificar os valores individuais não terem sido tão satisfatórios quanto às expectativas.

Importa salientar que o facto de estarmos perante um equipamento que em vez de emitir uma frequência única de 50 kHz, como nos estudos reportados anteriormente, existe a emissão de 4 frequências de intensidades de 5, 50, 250 e 500 kHz, o que pode justificar a maior validade deste equipamento relativamente aos estudos referidos. De acordo com Buchholz e Colaboradores [5] medidas da impedância associadas a frequências mais reduzidas (5 kHz) permitem determinar a AEC e impedância associadas a frequências mais elevadas possibilitam a passagem da corrente eléctrica através das membranas celulares, e portanto a quantificação da AIC, e por consequência da ACT, através de modelos de regressão. A este propósito,

e ao contrário da bioimpedância espectral que utiliza o modelo biofísico proposto por Cole and Cole [8], não é conhecido o algoritmo utilizado pelo equipamento Tanita MC-180 na estimação da ACT, AEC e AIC, embora seja referida a utilização de equações no manual disponibilizado pelo fabricante.

Relativamente aos compartimentos hídricos da ACT, foi possível observar uma tendência da na subestimação da AEC pela Tanita MC-180 quando comparada com a técnica de diluição do brometo. De forma expectável foi verificada uma sobrestimação dos valores da AIC obtidos pela Tanita face ao método de referência. No entanto, foi observada uma elevada associação entre os valores da AEC e AIC obtidos pela Tanita MC-180 e o método de referência. De facto, a AEC e AIC obtidas pela Tanita MC-180 explicaram 81 e 83%, respectivamente dos valores observados pelo método de referência. Este facto pode justificar os valores individuais não terem sido tão satisfatórios quanto as expectativas. Na análise dos limites de concordância observou-se, no entanto, uma elevada variabilidade individual, com limites de concordância a variarem de -5,0 kg a 2,3

kg e -2,5 kg a 9,6 kg, para a AEC e AIC, respectivamente.

Na presente investigação, foram analisados os coeficientes de correlação de concordância entre os valores obtidos pelo equipamento de bioimpedância e os métodos de diluição na determinação da ACT e respectivos compartimentos extra e intracelulares. Os valores de CCC entre a Tanita e as técnicas de diluição foram de 0.97 para a ACT representando uma força de concordância substancial, enquanto que para ambos os compartimentos o a força de concordância foi menos satisfatória ($<0,90$) [18].

A avaliação da ACT e seus compartimentos através de técnicas de diluição foram utilizados em dois estudos com um desenho observacional do tipo prospectivo, tendo sido observada uma associação entre as alterações da AIC e o rendimento desportivo em atletas de judo, sendo apontado que atletas que reduziram a AIC reduziram a potência e a força muscular [27, 28]. Desta forma uma correcta avaliação da água que se encontra no compartimento celular permite um controlo mais efetivo do processo de treino, de forma a evitar um

decréscimo na força e na potência muscular do atleta.

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

CONCLUSÃO

O presente estudo mostrou que a Tanita MC-180 é uma alternativa válida na estimação da água corporal total, água extracelular e água intracelular, num grupo de atletas de elite, relativamente aos valores obtidos pelas técnicas de diluição. Contudo, devido aos limites de

concordância obtidos na determinação dos compartimentos este equipamento apresenta uma validade mais limitada na estimação individual da AEC e AIC.

REFERÊNCIAS

1. Andreoli A, Melchiorri G, De Lorenzo A, Caruso I, Sinibaldi Salimei P, Guerrisi M.J. 2002. Bioelectrical impedance measures in different position and vs dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *Sports Med Phys Fitness*. Jun 42(2):186-9.
2. Andreoli A, Melchiorri G, Volpe SL, Sardella F, Iacopino L, De Lorenzo A. 2004. Multicompartment model to assess body composition in professional water polo players. *J Sports Med Phys Fitness* 44:38-43.
3. Armstrong LE, Kenefick RW, Castellani JW, Riebe D, Kavouras SA, Kuznicki JT, Maresh CM. 1997. Bioimpedance spectroscopy technique: intra-, extracellular, and total body water. *Med Sci Sports Exerc* 29:1657-63.
4. Bland JM, Altman DG. 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1:307-10.
5. Buchholz AC, Bartok C, Schoeller DA. 2004. The validity of bioelectrical impedance models in clinical populations. *Nutr Clin Pract* 19:433-446
6. Casa DJ, Clarkson PM, Roberts WO. 2005. American College of Sports Medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statements. *Curr Sports Med Rep* 4:115-27.
7. Cheuvront SN, Carter R, 3rd, Sawka MN. 2003. Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr Sports Med Rep* 2:202-8.
8. Cole K S and Cole R H. 1941. Dispersion and adsorption in dielectrics. *J. Chem. Rev.* 9 341-52
9. Ellis KJ, Wong WW. 1998. Human hydrometry: comparison of multifrequency bioelectrical impedance with 2H₂O and bromine dilution. *J Appl Physiol* 85:1056-62.
10. Isenring E, Bauer J, Capra S, Davies PS. 2004. Evaluation of foot-to-foot bioelectrical impedance analysis for the prediction of total body water in oncology outpatients receiving radiotherapy. *Eur J Clin Nutr* 58:46-51.
11. Judelson DA, Maresh CM, Anderson JM, Armstrong LE, Casa DJ, Kraemer WJ, Volek JS. 2007. Hydration and muscular performance: does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? *Sports Med* 37:907-21.

12. Kushner RF. 1992. Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications. *J Am Coll Nutr*;11:199–209.
13. LaForgia J, Gunn S, Withers RT. 2008. Body composition: validity of segmental bioelectrical impedance analysis. *Asia Pac J Clin Nutr* 17:586-91.
14. Lin LI. 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45:255-68.
15. Lohman, T.G., Roche, A.F., & Martorell, R. 1988. Anthropometric standardization reference manual. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
16. Lukaski HC. 1996. Biological indexes considered in the derivation of the bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 64:397S– 404S.
17. Matias CN, Silva AM, Santos DA, Gobbo LA, Schoeller DA, Sardinha LB. 2012. Validity of extracellular water assessment with saliva samples using plasma as the reference biological fluid. *Biomed Chromatogr.* (e-pub ahead)
18. McBride GB. 2005. A proposal for Strength-of-Agreement Criteria for Lin.s.Concordance Correlation Coefficient. Hamilton, National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd.
19. Nunez C, Gallagher D, Visser M, Pi-Sunyer FX, Wang Z & Heymsfield SB. 1997. Bioimpedance analysis: evaluation of leg-to-leg system based on pressure contact foot-pad electrodes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29, 524–531.
20. Prosser SJ, Scrimgeour CM. 1995. High-Precision Determination of 2H/1H in H2 and H2O by continuous-flow isotope ratio mass spectrometry. *Anal Chem* 67, 1992–1997.
21. Quiterio AL, Silva AM, Minderico CS, Carnero EA, Fields DA, Sardinha LB. 2009. Total body water measurements in adolescent athletes: a comparison of six field methods with deuterium dilution. *J Strength Cond Res* 23:1225-37.
22. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. 2007. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 39:377-90.
23. Sawka MN, Cheuvront SN, Carter R, 3rd. 2005. Human water needs. *Nutr Rev* 63:S30-9.
24. Schoeller DA. 2000. Bioelectrical impedance analysis. What does it measure? *Ann NY Acad Sci*; 904:159–162.

25. Schoeller DA. 2005. Hydrometry. In Human Body Composition. Heymsfield, SB, Lohman, TG, Wang, Z & Going, SB (Eds.). Champaign, IL, Human Kinetics.
26. Shirreffs SM. 2005. The importance of good hydration for work and exercise performance. *Nutr Rev* 63:S14-21.
27. Silva AM, Fields DA, Heymsfield SB, Sardinha LB. 2010. Body composition and power changes in elite judo athletes. *Int J Sports Med* 31:737-41.
28. Silva AM, Fields DA, Heymsfield SB, Sardinha LB. 2011a. Relationship between changes in total-body water and fluid distribution with maximal forearm strength in elite judo athletes. *J Strength Cond Res* 25:2488-95.
29. Silva AM, Santos DA, Matias CN, Rocha PM, Petroski EL, Minderico CS, Sardinha LB. 2011b. Changes in regional body composition explain increases in energy expenditure in elite junior basketball players over the season. *Eur J Appl Physiol*. (e pub ahead)
30. Simerville JA, Maxted WC, Pahira JJ. 2005. Urinalysis: a comprehensive review. *Am Fam Physician* (Strain et al., 2008) 71:1153-62.
31. Strain GW, Wang J, Gagner M, Pomp A, Inabnet WB, Heymsfield SB. 2008. Bioimpedance for severe obesity: comparing research methods for total body water and resting energy expenditure. *Obesity* (Silver Spring) 16:1953-6.
32. Swartz AM, Evans MJ, King GA & Thompson DL. 2002. Evaluation of a foot-to-foot bioelectrical impedance analyser in highly active, moderately active and less active young men. *Br J Nutr* 88, 205–210.
33. van Marken Lichtenbelt WD, Westerterp KR, Wouters L, Lujendijk SC. 1994. Validation of bioelectrical-impedance measurements as a method to estimate body-water compartments. *Am J Clin Nutr* 60:159-66.
34. World Medical Association. 2008. Declaration of Helsinki - Ethical Principles for Medical Research involving Human Subjects. *WMJ* 54:122-125.

4. DISCUSSÃO GERAL

A presente investigação deu origem a dois documentos que assinalam a importância da avaliação da água corporal total (ACT) e respetivos compartimentos extra (AEC) e intracelular (AIC), em atletas de alto rendimento. O estudo prático teve como principal objetivo a avaliação da água através da Tanita modelo MC-180, com base na técnica de impedância bioelétrica (BIA), e a posterior validação da Tanita como método não invasivo alternativo na avaliação da água total, extra e intracelular do atleta. Esta discussão é conduzida tendo como base a revisão da literatura e o estudo de investigação realizado.

A revisão bibliográfica salientou a importância da água na saúde e no rendimento, destacando os métodos de referência e os métodos alternativos disponíveis para determinar a água total e seus compartimentos. As técnicas de diluição, consideradas como o estado da arte na avaliação da ACT, AEC e AIC requerem procedimentos e análises complexas e morosas, para além de envolverem equipamentos muito dispendiosos como o espectrómetro de massas de razões isotópicas, para a determinação da água corporal e o cromatógrafo de trocas iónicas para a determinação da água extracelular. Assim, é necessária a utilização de técnicas rápidas e fáceis de utilizar em contextos clínicos.

Nesta dissertação foi apresentada uma descrição detalhada da técnica, bioimpedância eléctrica, como método alternativo na estimação da água corporal e seus compartimentos. Adicionalmente, foi escolhido um equipamento recentemente comercializado pela empresa Tanita e cuja particularidade de gerar mais do que uma só frequência permite, em teoria, uma determinação mais válida da água extra e intracelular. Embora alguns estudos tenham sido conduzidos para determinar a validade dos equipamentos BIA comercializados por esta empresa na determinação da água corporal total, tendo como referência a técnica de diluição do deutério, apenas o estudo de Quitério e colaboradores [11] validou um desses equipamentos em populações atléticas.

A investigação conduzida para testar a validade deste equipamento, Tanita MC-180, na estimação da água corporal demonstrou a sua validade quer em termos de grupo como na avaliação individual, em atletas de alto rendimento. Para além disso, e pela primeira vez, foi apresentada a validade de um equipamento simples, não invasivo e rápido na

estimação dos compartimentos hídricos, extra e intracelulares. De forma genérica, os resultados mostraram que a Tanita MC-180 comportou-se como uma alternativa válida na determinação da água extra e intracelular numa população atlética, ainda que com alguma variabilidade individual que requer uma interpretação cuidadosa na monitorização individual dos compartimentos hídricos.

Por último, e dada a relevância da água intracelular na força e potência musculares em atletas [17, 18], é importante destacar que o facto deste equipamento providenciar esta medição possibilitando um controlo do treino mais adequado de forma a evitar decréscimos neste compartimento.

Apesar de serem necessários mais estudos, nomeadamente com um desenho longitudinal, os resultados obtidos pela Tanita MC-180 na estimação da ACT e compartimentos hídricos tem aplicações práticas, nomeadamente por possibilitar uma adequada avaliação e monitorização da água corporal e a respectiva distribuição de fluidos nos atletas, de forma rápida, segura e não invasiva ao longo da época desportiva.

5. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Baseado na revisão teórica e no trabalho experimental apresentados nesse documento chegamos a seguintes conclusões e reflexões:

- Pode-se constatar que os métodos de bioimpedância representam uma importante alternativa para conhecimento e acompanhamento da água corporal e seus compartimentos em indivíduos no âmbito clínico.
- O presente estudo mostrou que a Tanita ® (Tanita MC-180) é uma alternativa válida na estimação da água corporal total, água extracelular e água intracelular, num grupo de atletas, relativamente aos valores obtidos pelas técnicas de diluição.
- Contudo, devido aos limites de concordância obtidos na determinação dos compartimentos este equipamento apresenta uma validade mais limitada na estimação individual da AEC e AIC.

Este estudo deu um contributo inicial importante para o caminho necessário a ser percorrido para a validação dos equipamentos de BIA multifrequência. Já que os resultados encontrados são promissores para a avaliação da água corporal total e seus compartimentos em grupo de atletas. Todavia, devem ser ainda desenvolvidos mais estudos em atletas para volumar os dados de forma a melhorar as equações de regressão para estimar com maior exatidão aqueles parâmetros em atletas individuais. Além disso, a validade da Tanita foi testada num desenho observacional transversal, sendo necessário verificar a validade deste equipamento na detecção de alterações hídricas em estudos longitudinais.

REFERÊNCIAS

1. Andreoli A, Melchiorri G, De Lorenzo A, Caruso I, Sinibaldi Salimei P, Guerrisi M.J. 2002. Bioelectrical impedance measures in different position and vs dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *Sports Med Phys Fitness*. Jun;42(2):186-9.
2. Chevront SN, Carter R, 3rd, Sawka MN. 2003. Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr Sports Med Rep* 2:202-8.
3. Ellis KJ, Wong WW. 1998. Human hydrometry: comparison of multifrequency bioelectrical impedance with 2H₂O and bromine dilution. *J Appl Physiol* 85:1056-62.
4. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine (FNB). 2005. Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate. Washington, DC: National Academies Press. Available online at: <http://www.nap.edu/books/0309091691/html>. Acesso 22 Agosto, 2012.
5. Grandjean AC, Reimers KJ, Bannick KE, Haven MC. 2000. The effect of caffeinated, non-caffeinated, caloric and non-caloric beverages on hydration. *J Am Coll Nutr* 19:591–600.
6. Gudivaka, R, Schoeller, DA, Kushner, RF, and Bolt, MJ. 1999. Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments. *J Appl Physiol* 87: 1087–1096.
7. Harrison, MH. 1985. Effects on thermal stress and exercise on blood volume in humans. *Physiol Rev* 65: 149–209.
8. Judelson DA, Maresh CM, Anderson JM, Armstrong LE, Casa DJ, Kraemer WJ, Volek JS. 2007. Hydration and muscular performance: does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? *Sports Med* 37:907-21.
9. Kushner RF. 1992. Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications. *J Am Coll Nutr*;11:199–209.
10. Lukaski HC. 1996. Biological indexes considered in the derivation of the bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 64:397S– 404S
11. Quiterio AL, Silva AM, Minderico CS, Carnero EA, Fields DA, Sardinha LB. 2009. Total body water measurements in adolescent athletes: a comparison of six field methods with deuterium dilution. *J Strength Cond Res* 23:1225-37.
12. Sawka MN, Chevront SN, Carter R, 3rd. 2005. Human water needs. *Nutr Rev* 63:S30-9.

13. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. 2007. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 39:377-90.
14. Schoeller DA. 2000. Bioelectrical impedance analysis. What does it measure? *Ann NY Acad Sci*; 904:159–162.
15. Schoeller DA. 2005. Hydrometry. In *Human Body Composition*. Heymsfield, SB, Lohman, TG, Wang, Z & Going, SB (Eds.). Champaign, IL, Human Kinetics
16. Shirreffs SM. 2005. The importance of good hydration for work and exercise performance. *Nutr Rev* 63:S14-21.
17. Silva AM, Fields DA, Heymsfield SB, Sardinha LB. 2010. Body composition and power changes in elite judo athletes. *Int J Sports Med* 31:737-41.
18. Silva AM, Fields DA, Heymsfield SB, Sardinha LB. 2011a. Relationship between changes in total-body water and fluid distribution with maximal forearm strength in elite judo athletes. *J Strength Cond Res* 25:2488-95.
19. Speedy DB, Noakes TD, Schneider C. 2001. Exercício associado à hiponatremia: Uma revisão. *Emerg Med (Fremantle)* 13 : 17 – 27.