



TCC/Unicamp
Sa59c
1333 FEF/11



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA

**COMPOSIÇÃO CORPORAL: PADRONIZAÇÃO DA TÉCNICA DE PESAGEM
HIDROSTÁTICA**

DANUSA FLÁVIA VICENTINI DOS SANTOS

CAMPINAS
2003



DANUSA FLÁVIA VICENTINI DOS SANTOS

**COMPOSIÇÃO CORPORAL: PADRONIZAÇÃO DA TÉCNICA DE PESAGEM
HIDROSTÁTICA**

**Monografia apresentada à Faculdade de Educação Física da
Universidade Estadual de Campinas, para conclusão de
Graduação (Área de Concentração: Ciência da Saúde).**

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins

**Campinas
2003**

Ao Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins

Que jamais deixou de incentivar, por menor que fosse a contribuição. Que sempre soube que a única forma de conhecer é descobrir, e que fazer descobrir é a única forma de ensinar.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração direta ou indireta de muitas pessoas. Manifesto minha gratidão a todas elas e de forma particular:

aos meus pais e à minha irmã, por todo amor e confiança e, principalmente pela total responsabilidade de eu estar aqui hoje.

à equipe do Laboratório de Fisiologia do Exercício da Faculdade de Educação Física, Unicamp, e, em especial, à Profa. Dra. Roseli Golfetti, à Srta. Giovana Virgínia de Souza, pela colaboração na execução de diversas etapas.

a todos os colegas do Departamento de Fisiologia do Exercício e, em especial, à Sras. Juliana Martuscelli da Silva Prado e Lair Oliveira de Paula, ao Sr. Gerson De Bellis Silva, pela amizade.

aos funcionários da Biblioteca da Faculdade de Educação Física, Unicamp, e, em especial, ao Sr. Luís Gonzaga de Oliveira, pelo auxílio quanto à bibliografia.

ao Prof. Dr. Paulo César Montagner, coordenador de Graduação da Faculdade de Educação Física, por permitir a realização do presente trabalho.

à Profa. Dra. Mariângela Gagliardi Caro Salvi, da Faculdade de Educação Física, Unicamp, pela ajuda disciplinar.

ao Prof. Marcos Queiroga e ao colega Fernando Montrezol, pela disponibilidade de ajuda.

ao Banco do Brasil, agência Unicamp, motivo pelo qual estou em Campinas.

à melhor amiga, Tatiana Cristina Feltrin, por todos estes inesquecíveis e especiais anos juntas, que dispensam maiores comentários.

O que sabemos é uma gota.
O que ignoramos é um oceano.

Isaac Newton (1700)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS / ANEXO	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	01
2. COMPOSIÇÃO CORPORAL	02
2.1. Índice de Massa Corporal (IMC)	06
2.2. Gordura Corporal: Conceitos	07
2.3. Modelos de Composição Corporal	08
3. TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL	12
3.1. Antropometria	13
3.1.1. <i>Espessura de Dobras Cutâneas</i>	13
3.1.2. <i>Circunferências</i>	16
3.1.3. <i>Tabelas de Peso/Estatura</i>	17
3.2. Densitometria	20
3.2.1. <i>Pletismografia</i>	21
3.3. Absortometria Radiológica de Dupla Energia	23
3.4. Bioimpedância Elétrica	24
3.5. Outras Técnicas	26
4. APLICAÇÃO DA DENSITOMETRIA: PESAGEM HIDROSTÁTICA	28
5. OBJETIVO	34
6. METODOLOGIA	35
6.1. Amostra e Procedimentos Experimentais	35
6.2. Instrumentos de Medida	36
6.2.1. <i>Calibração Estática</i>	37
6.3. Coleta de Dados	39
6.4. Cálculos	40
6.5. Processamento e Análise dos dados	40
6.6. Limitações do Estudo	42
7. RESULTADOS	43
8. DISCUSSÃO	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Pesos de referências para homens e mulheres com idade igual ou superior a vinte e cinco anos	19
TABELA 2 – Valores médios para volume residual pulmonar (ml)	31
TABELA 3 – Densidade (D) da água (g/cm^3) em várias temperaturas($^{\circ}\text{C}$)	32
TABELA 4 – Valores da pesagem hidrostática 1	43
TABELA 5 – Valores da pesagem hidrostática 2	44

ANEXO

TABELA 1 - Pesagens para calibração estática	51
TABELA 2 – Resumo dos resultados de regressão	52
TABELA 3 – Resultados de resíduos	53
ANEXO D – Gráficos 1 e 2 de regressão / calibração estática dos extensômetros	54
TABELA 4 – Pesagens para calibração estática da balança antropométrica filizola	55
ANEXO F – Gráfico 1 de regressão / calibração estática da balança antropométrica filizola	55
ANEXO G – Gráficos 2 e 3 de regressão / calibração estática da balança antropométrica filizola	56
ANEXO H - Procedimentos experimentais de pesagem hidrostática 1	57
ANEXO I - Procedimentos experimentais de pesagem hidrostática 2	58
ANEXO J - Procedimentos experimentais de pesagem hidrostática 3	59
ANEXO L - Procedimentos experimentais de pesagem hidrostática 4	60

RESUMO

A composição corporal tem sido objeto de preocupação desde época remota. Por volta de 1942, o conceito de densidade corporal foi introduzido para a estimativa da composição corporal. Desde então vários métodos têm sido propostos, estes assumem a idéia de compartimentalização do corpo em níveis distintos de organização. O primeiro modelo com essa finalidade e, que ainda nos dias de hoje é empregado, tem dois componentes, a saber: massa livre de gordura e massa gorda. Modelos com maior grau de complexidade, subdividindo o corpo em maior número de compartimentos, foram desenvolvidos. Entretanto, em nosso meio, a adoção do modelo de dois níveis representa aprimoramento na avaliação da composição corporal. Neste sentido a pesagem hidrostática se ajusta como técnica para a aplicação desse modelo. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar um aparato, desenvolvido no Laboratório de Fisiologia do Exercício, para pesagem hidrostática. Os voluntários foram orientados sobre os procedimentos em relação ao posicionamento durante a imersão, e também sobre a necessidade de realizar expiração forçada máxima, para expelir o volume de reserva expiratório dos pulmões. Imediatamente antes do início das sessões de pesagem o aparato de medida era calibrado. Nesta fase piloto de experimentação um total de 13 voluntários foram submetidos à pesagem hidrostática. As pesagens foram repetidas de 9 a 10 vezes para cada voluntário. No entanto, somente as últimas três medidas, foram consideradas para determinação do peso. A composição corporal foi determinada a partir das equações de Brozek e Siri. Os resultados sugerem que o aparato para pesagem hidrostática, embora em fase experimental, presta-se para a estimativa da composição corporal.

Palavras-chave: composição corporal, pesagem hidrostática, extensômetro.

ABSTRACT

Since a remote time, body composition has been a subject of preoccupation. Around the year of 1942, the concept of body density has been introduced to estimate body composition. Since then several methods have been suggested, which assume the idea of compartmentalization of the body in different levels of organization. The first model with this purpose, which is still applied at present time, has two components to be remarked: the mass free of fat and the fat mass. More complex models, dividing the body in a greater number of compartments, have been developed. However, in our environment, the choice for the two levels model, represents improvement in the body composition evaluation. In this case, the hydrostatic weighing suits as a technique for the application of this model. Therefore, the present study had the purpose of evaluating an apparatus, developed at the Physiology of Exercise Laboratory, for hydrostatic weighing. Volunteers were oriented about the procedures in relation to their placement during the immersions, and also about the necessity of maximum strength in exhaling, to expel the volume of air stored in the lungs. Immediately before the beginning of the sections of weighing, the measuring apparatus was calibrated. In this pilot stage of experimentation a total of 13 volunteers were submitted to hydrostatic weighing. The procedures were repeated from 9 to 10 times for each volunteer. However, the three last measurements, were considered to determine the weight. The body composition was determined from Brozek and Siri's equations. The results suggest that the apparatus for hydrostatic weighing, although in experimental stage, is suitable for the estimation of body composition.

Key words: body composition, hydrostatic weighing, extensometer.

1. INTRODUÇÃO

Pode parecer, popularmente, que a preocupação com a composição corporal é primariamente reservada a atletas, pois a performance atlética é parcialmente influenciada pela proporção entre gordura e massa corporal magra. Porém, a composição corporal é um foco de interesse muito antigo, sendo sobretudo um importante aspecto na saúde dos indivíduos, considerando a idade, sexo e raça (MACARDLE ET AL, 1998).

Para avaliação detalhada da composição corporal existe a necessidade de se fracionar o peso corporal em seus diferentes componentes na tentativa de analisar, em detalhes, as adaptações ocorridas nas constituições de cada um desses componentes. Esses, podem ser considerados como atômicos, moleculares, celulares e sistêmicos, ou ainda, massa isenta de gordura e massa gorda (BRODIE, 1999). Por intermédio de análises desses componentes é que se torna possível determinar a composição corporal.

Como a medida direta “in vivo” não é possível em humanos, uma série de estimativas indiretas dos componentes corporais foram desenvolvidas (BRODIE, 1999). A importância da avaliação da composição corporal está no fato de que o peso corporal isoladamente não é considerado um bom parâmetro para a identificação do excesso ou déficit dos componentes corporais ou alterações nas quantidades proporcionais dos mesmos em decorrência de um programa de exercício físico e/ou dieta alimentar (FOGELHOLM ET AL, 1997).

O custo, viabilidade, disponibilidade de equipamentos, validade, aplicação ética, e o modo de intervenção precisa ser considerado em pesquisas acerca da composição corporal (BRODIE, 1999). Deste modo, a importância da realização de revisões bibliográficas e estudos práticos com o objetivo de oferecer subsídios para as avaliações atuais, é evidente. O presente trabalho fez referência a métodos de avaliação da composição corporal, entretanto se concentrou em um procedimento considerado como padrão – pesagem hidrostática (KATCH, 1967).

Muitos laboratórios realizam a pesagem hidrostática através da metodologia descrita inicialmente por Behnke et al (1942) com uma cadeira conectada a uma balança. Este método pode ser modificado apropriadamente utilizando-se extensômetros em substituição à escala antropométrica. O resultado disso é a construção de um novo sistema de pesagem, cuja aplicabilidade é aqui verificada.

2. COMPOSIÇÃO CORPORAL

O remoto interesse pela análise da composição corporal tem atraído a atenção de pesquisadores e profissionais de diferentes áreas do conhecimento científico, e propiciado o desenvolvimento de novos conceitos bem como o aprimoramento de recursos tecnológicos que oferecem maior precisão na determinação e na interpretação de componentes corpóreos (BOILEAU ET AL, 1985).

A composição corporal constitui uma dinâmica dos componentes estruturais do corpo humano, sofrendo alterações durante toda a vida dos indivíduos em decorrência de vários fatores, tais como: crescimento, desenvolvimento, estado nutricional e nível de atividade física (DE ROSE ET AL, 1984).

Segundo Fogelholm et al (1997) a avaliação da composição corporal permite determinar os componentes corporais de forma quantitativa, como também ser utilizado na detecção do grau de crescimento e desenvolvimento de crianças, bem como estimar o excesso de tecido adiposo em adultos e idosos.

Manter as condições ideais para a saúde está entre os anseios de grande parte da população. Esta preocupação deve ser considerada não somente do ponto de vista estético, mas também de qualidade de vida dos indivíduos, já que a obesidade, definida por MacArdle et al (1998) como o aumento excessivo de quantidade total de gordura corporal (acima de 20% para homem e acima de 30% para mulher), está associado a um grande número de doenças crônico-degenerativas (BUSKIRK, 1991). Considerando essa relação existente, fica evidente a importância da realização de estudos com o objetivo de avaliar a composição corporal para sustentar profissionais da área biológica no combate a estes problemas.

A composição corporal sempre esteve dentre os principais assuntos de interesse de diversos pesquisadores, porém antigamente somente analisava-se a eficiência física (LOHMAN, 1992). A avaliação da composição corporal atual é de interesse científico por causa do seu impacto sobre o estado nutricional, dieta específica, físico, vital, e genético dos componentes corporais humano.

Vários métodos e técnicas para a análise da composição corporal estão disponíveis no momento, tendo como pressupostos diferentes modelos teóricos. Cada um deles apresenta características conceituais e procedimentos metodológicos que lhes conferem maior ou menor validade e facilidade de utilização, tornando-os mais ou menos

aconselháveis em razão da precisão desejável e das finalidades a que se propõem (DEMPSTER ET AL, 1995).

A avaliação atual da composição corporal se baseia na separação do peso corporal total em diferentes compartimentos. A primeira tentativa de fracionamento do peso corporal foi desenvolvida por Matiegka no início do século XX. Em 1921 esse antropologista tcheco descreveu um sistema ou modelo de quatro componentes, que consistia nos pesos do esqueleto (S), da pele e tecido subcutâneo ([SK+ST]), dos músculos esqueléticos (M) e do restante (R), de forma que os quatro componentes seriam iguais ao peso corporal (MATIEGKA APUD MACARDLE, 1998):

$$\text{Peso corporal total} = S + [\text{SK} + \text{ST}] + M + R$$

Nessa primeira tentativa de descrever analiticamente o corpo humano, Matiegka utilizou mensurações antropométricas para conseguir valores aproximados das três primeiras entidades anatómicas em seu modelo de quatro componentes. O peso S é estimado a partir da espessura de quatro estruturas ósseas (punhos, tornozelos, e côndilos umerais e femorais) mais a estatura. O peso SK+ST é determinado a partir de seis pregas cutâneas (parte superior do braço, antebraço, coxa, panturrilha, tórax e abdome) mais a área superficial corporal. O peso de M baseia-se nas mensurações das circunferências da parte superior do braço, da coxa e da panturrilha (subtraindo uma prega cutânea e determinando o raio da área a fim de computar a área em corte transversal). Em essência, os três principais componentes estruturais do corpo humano, segundo ele, incluem as massas de músculos, lipídios e ossos (MACARDLE ET AL, 1998).

Paralelamente, outros pesquisadores estudaram a composição corporal em termos de avaliação da estrutura corporal por intermédio do somatotipo (*soma* = “corpo”). A primeira abordagem a respeito disso, faz referência ao método de Sheldon que é baseado na premissa de que há uma variação contínua na distribuição de físicos, relacionada às contribuições diferenciais dos três constituintes da conformação do corpo (FOSS ET AL, 1998). Nesses três constituintes corporais estão incluídas as seguintes características:

- primeiro constituinte é a *endomorfia*, que se caracteriza por arredondamento e maciez do corpo. Em outras palavras, é o constituinte “gorduroso” do corpo.

Os diâmetros laterais tendem para a igualdade na cabeça, no pescoço, no tronco e nos membros. As características desse constituinte são uma certa predominância do abdome em relação ao tórax, ombros altos e quadrados e pescoço curto. Existe regularidade dos contornos em todas as áreas, sem relevo muscular.

- segundo constituinte é a *mesomorfia*, que se caracteriza por um corpo anguloso (quadrado) com musculatura dura, robusta e proeminente. Os ossos são grandes e as pernas, o tronco e os braços costumam ser maciçamente músculos. As características mais proeminentes desse tipo são a espessura dos antebraços e a largura dos punhos, das mãos e dos dedos. O tórax é grande e a cintura é relativamente fina. Os ombros são largos, o tronco costuma ser ereto e os músculos trapézios e deltóides são extremamente maciços. Os músculos abdominais são proeminentes e espessos. A pele parece áspera e adquire prontamente um bronzeado intenso, retendo-o por um longo período de tempo. Muitos atletas possuem um alto grau deste constituinte.
- terceiro constituinte, ou *ectomorfia*, inclui como características mais proeminentes a linearidade, a fragilidade e a delicadeza do corpo. Esse é o componente de magreza. Os ossos são pequenos e os músculos, finos. A queda dos ombros é observada sistematicamente no ectomorfo. Os membros são relativamente longos e o tronco é curto, entretanto isto não significa necessariamente que o indivíduo seja alto. O abdome e a curvatura lombar são achatados, enquanto a curvatura torácica é relativamente acentuada e elevada. Os ombros são essencialmente estreitos, faltando-lhes o relevo muscular. Não existe proeminência dos músculos em nenhum ponto do físico. A cintura escapular carece de apoio muscular e de acolchoamento e as escápulas tendem a formar uma saliência (asa) no sentido posterior.

O método de Sheldon é basicamente fotoscópico ou antroposcópico, baseado na observação e avaliação visuais da configuração do corpo como um todo, classificando cada constituinte por três números. Assim, os somatotipos extremos são 7-1-1 (endomorfia extrema), 1-7-1 (mesomorfia extrema) e 1-1-7 (ectomorfia extrema). O primeiro número sempre se refere à endomorfia, o segundo à mesomorfia e o terceiro, à ectomorfia. Se um dos constituintes é dominante, o somatotipo do indivíduo é descrito por este componente.

Este método inicial foi modificado por Sheldon, posteriormente, em tentativa de eliminar um pouco da subjetividade e responder por possíveis variações decorrentes da idade. No método original, aceitava-se que o somatotipo de um indivíduo não sofria alterações com a idade, o estado nutricional ou o estado de treinamento físico, enquanto no método modificado, o tamanho foi introduzido como fator, em forma de estatura adulta. No entanto, a subjetividade dos procedimentos fotoscópios permaneceu, permitindo o desenvolvimento de outras modificações futuras. As modificações de Parnell incorporam várias dimensões antropométricas para obter um fenótipo, que foi definido como o corpo físico em um dado momento no tempo. Heath e Carter, por sua vez, modificaram o método de Sheldon aumentando as escalas de classificação dos componentes para abranger uma faixa maior de variação, e estabelecendo um relacionamento linear entre as classificações de somatotipo e as razões estatura/peso. Todos os métodos possuem diferenças de acessar a forma física, porém todos incluem os três constituintes básicos e reconhecem a natureza contínua da variação na distribuição dos componentes que compõem a forma física, e os tipos físicos por si (MALINA ET AL, 2002).

Levando-se em conta que existem grandes diferenças entre os sexos, feminino e masculino, nas quantidades relativas dos componentes corporais, foram elaborados padrões de referência na tentativa de quantificar os elementos constituintes. Entre os mais úteis dos padrões de referência estão os conceitos propostos por Behnke de um homem e de uma mulher de referência (MACARDLE ET AL, 1998). Esse esquema de classificação distingue o peso corporal em peso corporal magro, músculo e osso, com gordura corporal total sendo subdividida em componentes de gordura de armazenamento e essencial. O homem de referência é mais alto, mais pesado, seu esqueleto pesa mais e possui uma maior massa muscular e um menor conteúdo de gordura corporal que a mulher de referência. Esse modelo teórico se baseia nas dimensões físicas médias obtidas de mensurações detalhadas de milhares de indivíduos em levantamentos antropométricos em larga escala, assim como em uma síntese da informação sobre a composição biológica e da estrutura do organismo (BEHNKE APUD MACARDLE, 1998).

2.1. Índice de Massa Corporal (IMC)

O Índice de Quelet, conhecido como Índice de Massa Corporal (IMC), representa a relação entre o peso corporal (em quilogramas) e a altura (em metros) ao quadrado. Desde 1833 caracteriza um método indireto de medida da composição corporal por se tratar de medidas externas das dimensões corporais. Esse índice é facilmente calculado e existem orientações sobre a obesidade relacionadas à classificação do percentil (85º ou 95º) ou a valores fixos (27,8 para os homens e 27,3 para as mulheres). Ele é largamente utilizado em saúde pública e na clínica como preditor de sobrepeso e obesidade, porém, Quelet não propôs um índice para avaliar adiposidade. Na verdade, o estudo publicado por Quelet em 1833 observava que em adultos o peso corporal era aproximadamente uma razão do quadrado da estatura, o que indicava que o aumento em comprimento era maior que em largura e que baixa estatura estava associada com medidas transversais maiores (ROSS, 1997).

Segundo Kostermans (1994), a vantagem do IMC é ser um indicador de peso relativo, mais ou menos independente da estatura. Neste sentido, considerando a alta correlação normalmente encontrada entre a massa corporal e o IMC, e a baixa correlação entre este índice e a estatura, o IMC destaca-se na avaliação do estado nutricional de adultos.

Alguns autores têm se mostrado contrários à utilização do IMC para a estimativa de obesidade (GARN, 1986; MCLAREN, 1987; ROSS, 1990), alegando que esse índice seja apenas uma relação entre peso e estatura, e que não considera as diferenças proporcionais entre os distintos componentes do peso corporal (massa gorda, massa muscular, massa óssea e massa residual). O que poderia produzir grandes equívocos na avaliação de indivíduos que apresentem valores elevados de sobrepeso em função de um maior desenvolvimento muscular, por exemplo, e que supostamente seriam considerados obesos.

Para a medida de um indivíduo, um alto IMC pode expressar uma grande concentração de massa muscular, portanto, este índice de massa corporal é considerado uma medida de sobrepeso e não de obesidade, mas em nível populacional uma alta prevalência de sobrepeso significa obesidade, pois a massa livre de gordura é pouco variável (FOGELHOLM ET AL, 1997).

Uma freqüente discussão em relação ao IMC, diz respeito aos valores de corte que devem ser considerados para a identificação de baixo peso, normalidade, sobrepeso e obesidade. Para Kostermans (1994), não há valores universalmente aceitos, porém é consenso que abaixo de 16 kg/m^2 pode-se considerar que o indivíduo apresente uma desnutrição severa, e acima de 27 kg/m^2 os indivíduos já podem ser considerados obesos. A Organização Mundial da Saúde, baseando-se em estudos que relacionam o IMC com morbidade e mortalidade propôs como sobrepeso valores superiores a 25 kg/m^2 (FOGELHOLM ET AL, 1997).

Mesmo com as limitações apresentadas por esta metodologia, em vista do exposto, em estudos epidemiológicos a utilização do IMC é indicada inclusive pela facilidade de aplicação e pelo baixo custo operacional, no entanto, para avaliações individuais ela deve ser vista com ressalvas, sendo mais indicado o uso de métodos de estimativa da porcentagem de gordura (FOGELHOLM ET AL, 1997).

2.2. Gordura Corporal: Conceitos

O conhecimento do percentual de gordura corporal de um indivíduo comporta muitas aplicações. Uma das mais importantes é o percentual de gordura no qual ocorre a manutenção do peso (FLATT, 1995). Em decorrência do estudo da composição corporal visar, por meio de diversas técnicas que variam em complexidade, fracionar e quantificar os principais tecidos que compõem a massa ou o peso corporal, se faz necessário definir gordura corporal.

A gordura corporal, segundo McArdle et al (1998), pode ser classificada no organismo humano sob duas formas. Primeiro: "gordura essencial", que consiste na gordura armazenada internamente nos principais órgãos, intestinos, músculos e nos tecidos ricos em lipídios presentes no sistema nervoso central. Este tipo de gordura é indispensável para o funcionamento fisiológico satisfatório do organismo. Segundo: "gordura de reserva", a qual consiste na gordura estocada no tecido adiposo, internamente revestindo vários órgãos e em grande volume na camada de gordura subcutânea.

A gordura essencial nas mulheres inclui também a gordura específica ou característica do sexo. Convém observar que, como parte dos 5 a 9% da gordura

específica para o sexo, a contribuição da gordura mamária provavelmente não ultrapassa os 4% do peso corporal para mulheres, cujo conteúdo total de gordura varia de 14 a 35%, segundo modelo teórico de Behnke. Esse fato traduz que devem existir outros depósitos de gordura substanciais específicos do sexo na mulher, tais como as regiões pélvicas, das nádegas e das coxas, que contribuem quantitativamente para as reservas adiposas da mulher (MACARDLE ET AL, 1998).

O excesso de gordura corporal, principalmente na região central do corpo, constitui-se em um fator de risco para a saúde da população na atualidade (KATCH ET AL, 1996). Fogelholm et al (1997) evidenciaram a associação do excesso e da distribuição de peso, com o surgimento de doenças, tais como, as cardíacas, hipertensão, distúrbios do metabolismo dos lipídios e glicídios, doenças articulares, ósseas e renais, diabetes, asma e várias desordens pulmonares, que levam a um aumento da morbidade e redução da longevidade.

Todos os métodos prontamente disponíveis para avaliar a composição corporal são baseados em certas suposições e, portanto, representam estimativas do percentual real de gordura corporal. Esse fato, mais a informação acerca do desempenho e do percentual de gordura corporal, deveria tornar o técnico, o professor, o especialista em aptidão ou qualquer outro profissional da saúde extremamente cauteloso ao interpretar os dados da composição corporal para atletas, estudantes ou clientes (FOSS ET AL, 1998). Um resultado em particular representa, na verdade, uma estimativa e possui uma variação prevista dentro da qual será encontrada a gordura corporal do indivíduo.

2.3. Modelos de Composição Corporal

Com o propósito de oferecer maior clareza e objetividade à análise da composição corporal, a maioria das metodologias subdividem o corpo em dois compartimentos distintos: componente de gordura e componente livre de gordura. O componente livre de gordura, ou massa livre de gordura refere-se à parte do peso corporal que permanece após a gordura ser removida, sendo formado pelos tecidos muscular e esquelético, pela pele, pelos órgãos e por todos os outros tecidos não-gordurosos. A composição de amostras homogeneizadas de tecido corporal livre de gordura possui uma densidade de aproximadamente $1,100 \text{ g/cm}^3$ para 37°C nos pequenos mamíferos, um conteúdo

hídrico de aproximadamente 73,2% e um conteúdo de potássio de 60 a 70 $\mu\text{mol/kg}$ em homens e de 50 a 60 $\mu\text{mol/kg}$ em mulheres. A gordura armazenada no tecido adiposo possui uma densidade de $0,900 \text{ g/cm}^3$ ao 37°C (MENDEZ APUD MACARDLE, 1998).

A maior vantagem dessa divisão é que, quando o conteúdo de gordura for conhecido, o componente livre de gordura pode ser determinado pela simples subtração aritmética do peso corporal. Ou, ainda, quando se tem acesso à proporção do peso corporal livre de gordura, o componente de gordura pode ser derivado por operações aritméticas. Ao se estimar um dos componentes, porção de gordura ou porção livre de gordura, se tem ao mesmo tempo uma visão bastante clara de ambos os componentes, o que facilita a análise da composição corporal (FORSLUND ET AL, 1996).

A partir dessa subdivisão inicial, vários modelos com níveis adicionais de componentes foram propostos para quantificar a composição corporal. Num modelo de três níveis, não amplamente explorado, o corpo foi dividido em água corporal, proteínas + minerais e gorduras ou, em água corporal + proteínas, minerais e gorduras. Esse modelo permite que sejam calculadas as variações da densidade óssea e da água corporal e melhora a estimativa da gordura corporal (POWERS ET AL, 2000).

Com o advento químico e através de métodos baseados em isótopos, em diluição e em *scanner*, foi definido um modelo que consiste em quatro níveis distintos: água, proteína, mineral ósseo e gordura (KEYS APUD MACARDLE, 1998). Alternativamente, o uso de métodos com imagens possibilitou a subdivisão dos compartimentos corporais em gordura, músculo, ossos, e outros tecidos, uma vez que a combinação de imagens de ressonância magnética e dissecação anatômica tem possibilitado imagens transversais de até 1mm através dos tecidos humanos (BRODIE, 1999).

Wang et al (1992) propôs um modelo com cinco níveis para identificar e quantificar os componentes da composição corporal. Cada nível apresenta maior complexidade de acordo com os níveis corporais de organização biológica. Segundo o autor, uma característica essencial do modelo é que cada nível é separado e distinto, e quaisquer métodos de mensuração podem quantificar uma característica específica dentro de um determinado nível. Os níveis de classificação se dispõem da seguinte forma:

- *Nível atômico*: o peso corporal é a soma de todos os elementos existentes no corpo (oxigênio, carbono, hidrogênio, nitrogênio, cálcio e outros elementos). A composição elementar pode ser determinada a partir de amostras de biópsia de cadáveres ou de tecidos.
- *Nível molecular*: os elementos do peso (massa) corporal formam moléculas que constituem mais de 100.000 compostos químicos diferentes. Os principais componentes são água, lipídios (essencial e de reserva) e minerais (elementos metálicos e não metálicos). Procedimentos de diluição isotópica, com mineral ósseo (osso contendo mais de 99% de cálcio extracelulares orgânicos e inorgânicos) estimam diretamente os elementos obtidos dos líquidos corporais.
- *Nível celular*: existem três compartimentos principais para a massa corporal, células (massa de células = células musculares + células do tecido conjuntivo[incluindo as células adiposas] + epiteliais + nervosas), líquidos extracelulares (plasma + líquido intersticial) e, sólidos extracelulares (sólidos extracelulares orgânicos e inorgânicos). O líquido extracelular e os volumes plasmáticos também são medidos através de diluições isotópicas.
- *Nível tecidual*: o corpo é constituído por onze subsistemas (circulatório, respiratório, nervoso, tegumentar, muscular, endócrino, respiratório, linfático, digestivo, esquelético e reprodutivo), porém para a avaliação da composição corporal, os seguintes sistemas podem ser agrupados mais facilmente a fim de representar o peso corporal total (tecido adiposo, músculo esquelético, osso e sangue). Ultra-som e ressonância magnética podem ser utilizados para estimar os volumes da gordura subcutânea, do tecido adiposo visceral e da massa muscular segmentar.
- *Nível corporal total*: os procedimentos antropométricos comuns incluem pregas adiposas, circunferências, diâmetros ósseos, peso corporal, estatura (altura), índice de peso corporal, área superficial, comprimentos dos segmentos, volume corporal segmentar e total e densidade corporal.

Novamente em 1995, Wang et al, propôs um outro modelo de organização da composição corporal dividido em seis níveis. A idéia básica é que a mensuração quantitativa relaciona-se à composição corporal por uma função matemática. Os valores quantitativos podem ser usados como uma propriedade mensurável (métodos baseados

em propriedades), quando se usa bioimpedância elétrica ou raio-X, ou como um nível já quantificado como uma propriedade (métodos baseados em componentes). Métodos baseados em propriedades e baseados em componentes são geralmente combinados no momento (FOGELHOLM ET AL, 1997).

Considerando o raciocínio de subdivisões em níveis distintos admite-se que, em relação às implicações práticas, todos os componentes corpóreos são bem mais acessíveis para possíveis mensurações.

3. TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL

De acordo com Martin & Drinkwater (1991), existem várias técnicas para determinação da composição corporal, algumas partem apenas de pressupostos e outras são realmente fundamentadas para mensuração da massa corporal. Basicamente as técnicas de avaliação podem ser subdivididas em:

- *Avaliação Direta:* O método direto utiliza a análise química da carcaça animal ou do esqueleto humano para avaliar a composição corporal. Duas abordagens foram utilizadas nessa determinação direta. Em uma técnica, o corpo é literalmente dissolvido em uma solução química e será feita a determinação dos componentes lipídicos e isentos de lipídios existentes na mistura. A outra técnica envolve a dissecação física de uma ampla variedade de componentes corporais, tais como gordura, tecido adiposo isento de gordura, músculo e osso (MACARDLE ET AL, 1998). Essas análises exigem um equipamento laboratorial especializado e envolvem muitos problemas éticos e legais para a obtenção de cadáveres e de tecidos humanos com finalidade de pesquisa.
- *Avaliação indireta:* Para determinar a composição corporal os métodos indiretos são aqueles onde não há manipulação dos componentes separadamente, mas a partir de princípios químicos e físicos que visam a extrapolação das quantidades de gordura e de massa livre de gordura, sendo validados pelo método direto. Nos procedimentos indiretos são obtidas informações quanto às variáveis de domínio físico e químico, e posteriormente, lançando mão de pressupostos biológicos, desenvolvem-se estimativas dos componentes de gordura e massa livre de gordura (LOHMAN, 1986). Estes procedimentos indiretos são realizados em laboratórios ou no campo.

3.1. Antropometria

Os procedimentos laboratoriais oferecem estimativas muito precisas associadas aos componentes de gordura e de massa livre de gordura, tornando-se a primeira opção para análise da composição corporal. No entanto, muitas vezes, em razão da inviabilidade econômica, sua utilização tem sido limitada. Nesse sentido, a simplicidade de utilização, a inocuidade, a relativa facilidade de interpretação e as menores restrições culturais, por se tratar de medidas externas das dimensões corporais, tornou a antropometria o método de maior aplicabilidade tanto no laboratório como no campo, na área clínica e em estudos populacionais (BRODIE, 1999).

Roche (1996) atribui como vantagem, a utilização de medidas antropométricas em estudos com grandes amostras populacionais, que podem proporcionar estimativas nacionais e dados para a análise de mudanças seculares.

As medidas antropométricas possibilitam o acompanhamento do crescimento morfológico, bem como de alterações de medidas corporais proporcionando dados de grande valia para os profissionais que atuam nessas áreas (FOGELHOLM ET AL, 1997).

Este método pode ser realizado simplesmente pela observação da alteração das medidas em valores absolutos ou através da utilização das mesmas em modelos matemáticos que têm a finalidade de estimar as quantidades dos diferentes componentes corporais: massa muscular, massa óssea, massa gorda e massa residual (ROCHE, 1996).

3.1.1. Espessura de Dobras Cutâneas

O uso das pregas cutâneas para predizer a gordura corporal tornou-se muito comum em laboratórios e em ensaios antropométricos de campo, junto à composição corporal e ao estado nutricional (MOSCRIP, 1995). O principal propósito dessa medida é estimar a porcentagem de gordura corporal e a distribuição do tecido adiposo subcutâneo. Como a disposição da gordura localizada no tecido subcutâneo não se apresenta de forma uniforme por todo o corpo, as medidas são realizadas em várias regiões, na tentativa de se obter informações mais exatas quanto à sua disposição (MARTIN ET AL, 1985).

As medidas de espessura das pregas cutâneas podem ser empregadas em equações de regressão, com o objetivo de prever valores de densidade corporal e, em seguida, o de gordura em relação ao peso corporal. É possível também considerar os valores de espessura das dobras cutâneas de diferentes regiões anatômicas separadamente, procurando oferecer informações quanto à distribuição relativa da gordura subcutânea de região para região do corpo (LOHMAN, 1981).

A exatidão e a precisão das medidas de espessura das dobras cutâneas dependem do tipo de compasso utilizado, da familiarização dos avaliadores com as técnicas de medida e da perfeita identificação do ponto anatômico a ser medido. Quanto aos compassos, vários tipos têm sido utilizados, no entanto, segundo Lohman (1981) o do tipo Lange e Harpenden são os que tem demonstrado maior precisão na realização de medidas e na consistência em medidas repetidas.

Com relação à localização dos pontos anatômicos para realização das medidas de espessura das dobras cutâneas, estes variam conforme a equação utilizada nas estimativas dos valores de gordura corporal. Com base na estreita relação existente entre a densidade corporal e os valores de espessura das dobras cutâneas, tem sido proposto grande número de equações preditivas (BRODIE, 1997).

Quando se utilizam equações com essa finalidade, assume-se que o somatório de algumas espessuras de dobras cutâneas possa ser um bom indicador da gordura subcutânea e da densidade corporal da quantidade total de gordura existente no corpo. Contudo, estudos têm demonstrado que o comportamento da relação espessura de dobras cutâneas com densidade corporal é influenciado por variações biológicas associadas ao sexo, à idade e à quantidade de gordura corporal apresentada pelo indivíduo (LOHMAN, 1982):

- mulheres apresentam maiores depósitos de gordura intramuscular, intermuscular e nos órgãos internos (gordura visceral) que homens, para idêntica quantidade de gordura subcutânea;
- indivíduos idosos, do mesmo sexo e com valores de densidade corporal similares, apresentam proporcionalmente menores quantidades de gordura subcutânea que seus equivalentes mais jovens; e
- indivíduos com menores quantidades de gordura corporal total apresentam proporção mais elevada de gordura interna que os mais gordos, e à medida que

quantidade total de gordura corporal aumenta, a proporção de gordura localizada internamente diminui.

Levando em conta esses pressupostos, as inúmeras equações à disposição na literatura são classificadas em dois grupos: equações específicas e equações generalizadas. As equações específicas foram desenvolvidas com base em informações apresentadas por grupos homogêneos de indivíduos quanto ao sexo, à idade e aos níveis de gordura corporal. Portanto, devem ser empregadas em segmentos específicos da população com características similares. Por outro lado, na proposição das equações gerais foram incluídos indivíduos que apresentam diferentes quantidades de gordura corporal e dentro de uma faixa etária bastante ampla. Dessa forma, procura-se minimizar a participação do grau de adiposidade e do processo de envelhecimento orgânico na relação estatística entre gordura total e gordura subcutânea (JACKSON ET AL APUD BRODIE, 1997).

A equação mais amplamente utilizada é a desenvolvida por Durnin e Wormersley em 1974. Eles testaram várias combinações de medidas de pregas cutâneas a fim de produzir uma fórmula geral para o cálculo da densidade corporal e que fosse aplicada em uma larga faixa etária e percentual de gordura corporal. Essa equação assumiu uma relação logarítmica entre obesidade e a soma das pregas do bíceps, tríceps, supra-iliaca e subescapular (BRODIE, 1997):

Homens de 20 a 69 anos

$$D = 1.1765 - 0.0744(\log_{10}\sum 4S)$$

Mulheres de 20 a 69 anos

$$D = 1.1567 - 0.0717(\log_{10}\sum 4S)$$

A princípio, parece claro que as equações específicas apresentam maior validade quando utilizadas em indivíduos pertencentes ao mesmo segmento da população da qual se originou a equação. Entretanto, quanto maior a especificidade da equação, menor sua aplicação. Dessa forma, equações gerais idealizadas com base em amostras

representativas de populações heterogêneas quanto à idade e ao nível de adiposidade popularizaram a aplicação das equações de Durnin e Wormersley (LOHMAN, 1981).

Os erros de predição associados à utilização de equações para estimativas da quantidade de gordura corporal são estabelecidos em valores por volta de 5%, embora, dependendo da equação utilizada e da amostra de indivíduos incluídos na análise, possam ser encontradas taxas entre 3% e 9% da gordura corporal real (JACKSON ET AL APUD BRODIE, 1997).

Ao optar pela utilização de uma equação empregando-se medidas antropométricas para determinação da composição corporal, deve-se observar o princípio de validação dessa mesma equação em amostras de indivíduos pertencentes à população que se pretende utilizar. A proposição de equações desse tipo, acompanhada por baixos erros de estimativa, não significa necessariamente que estas possam ser utilizadas em todas as populações. Torna-se necessário submetê-las a um processo de validação para ajustar seus coeficientes, e estabelecer os novos erros de estimativas específicos para aquela população. Portanto, deve-se ter atenção especial ao processo de validação das equações antropométricas com intenção de estabelecer estimativas de composição corporal mais precisas (BRODIE, 1997).

3.1.2. *Circunferências*

As circunferências são medidas lineares transversais, com exceção do diâmetro torácico antero-posterior, e podem ser classificados em diâmetros do tronco e diâmetros ósseos. São utilizadas, como recursos, fitas métricas constituídas de tecido ou metal que são aplicadas levemente sobre a superfície cutânea, de forma a ficarem justas, porém não demasiadamente apertadas. Este procedimento evita a compressão cutânea, que produz escores inferiores aos normais. Recomenda-se realizar mensurações duplicadas em cada local, e utiliza-se a média (MACARDLE ET AL, 1998).

Foram elaboradas diferentes equações de predição para cada sexo e para vários grupos etários. As equações elaboradas para esses subgrupos, apesar de terem recebido validação cruzada em diferentes amostras e com bons resultados, parecem ser específicas para determinadas populações e não devem ser usadas para prever a adiposidade em indivíduos que parecem muito magros ou muito gordos, que

participaram por muitos anos de desportos extenuantes de endurance ou de atividades com componentes substanciais de treinamento de resistência (MACARDLE ET AL, 1998).

As equações para predição baseadas nas circunferências são extremamente úteis para classificar ou ordenar os indivíduos dentro de um grupo, de acordo com sua adiposidade relativa. Da mesma forma que as medidas das pregas cutâneas, as circunferências também podem ser usadas para determinar a densidade corporal e/ou o percentual de gordura corporal. Se as equações e as constantes forem utilizadas para homens e mulheres jovens e mais velhos, o erro na estimativa da gordura corporal de um indivíduo em geral fica entre mais ou menos 2,5 e 4,0%. Esses erros relativamente baixos tornam as equações particularmente úteis para aqueles que não têm acesso às instalações laboratoriais. Equações específicas baseadas nas circunferências foram elaboradas para estimar as composições corporais de homens e mulheres adultos obesos (WEBSTER ET AL, 1993).

Juntamente com a determinação do percentual de gordura corporal, as mensurações das circunferências são técnicas apropriadas também para serem empregadas em pessoas obesas, para predizer os padrões de distribuição da gordura no organismo assim como as modificações observadas na gordura corporal durante uma redução ponderal (MACARDLE ET AL, 1998).

3.1.3. *Tabelas de Peso/Altura*

A tabela de peso/altura de 1959 da Metropolitan Life Insurance Company é um dos métodos mais comuns utilizados para julgar se uma pessoa apresenta ou não excesso de peso (Tabela 1). Essas tabelas são baseadas nas apólices da companhia e os pesos corporais associados com a menor taxa de mortalidade estão listados por estatura. Em 1983, foi publicada uma atualização da tabela, que permitia um maior peso para cada altura. Foi sugerido que as menores taxas de mortalidade nos pesos maiores da tabela de 1983 resultavam do melhor tratamento das coronariopatias e do diabetes, permitindo que pessoas mais pesadas vivessem mais, e com a redução do tabagismo e o aumento da atividade física (DE BAKEY, 1984). A American Heart Association continua a recomendar a tabela de 1959.

Independente da tabela utilizada, existem alguns problemas associados ao seu uso, segundo Andres (1985): a) as pessoas que procuram e recebem seguros não são representativas da população geral. b) algumas pessoas são representadas mais de uma vez na tabela, já que as apólices são tabuladas (não as pessoas). c) as alturas e os pesos não foram mensurados em todos os casos (algumas companhias de seguros simplesmente as declararam). d) o tamanho da estatura corporal não foi mensurado.

Apesar dessas limitações, um dos índices da composição corporal mais comuns é calculado a partir dessa tabela. Nesse método, o ponto médio da faixa de peso de uma estrutura média para determinada altura é utilizado como padrão para comparação com outros pesos corporais. Dividindo-se o peso de um indivíduo pelo ponto médio da faixa de peso, obtém-se um peso relativo ou índice de obesidade. Um indivíduo com peso corporal igual ao valor do ponto médio deve ter um peso relativo de 1.0 (POWERS ET AL, 2000).

No entanto, em um estudo sobre composição corporal realizado por Welham & Behnke (1942), onde foram avaliados 25 jogadores profissionais de futebol americano, dos quais 17 haviam sido considerados inaptos ao serviço militar por estarem acima dos padrões preconizados por essas tabelas de peso/estatura, e conseqüentemente sido considerados obesos, os pesquisadores constataram que estes indivíduos possuíam uma pequena quantidade de gordura e seu excesso de peso era devido a uma grande quantidade de massa muscular. Este fato evidencia que o peso corporal recebe uma contribuição diferenciada de cada um de seus componentes, e, afirmar que um indivíduo é ou não é obeso baseando-se apenas no valor de seu peso corporal total, medido na balança, pode constituir um erro.

TABELA 1 Pesos de referências para homens e mulheres com idade igual ou superior a vinte e cinco anos

Altura* (cm)	Estrutura Pequ (kg)	Estrutura Média (kg)	Estrutura Grande (kg)
Homens			
157,5	50,9-54,5	53,6-58,6	57,2-64,1
160,0	52,3-55,9	55,0-60,4	58,6-65,4
162,5	53,6-57,3	56,3-61,8	60,4-67,2
165,1	55,0-58,6	57,7-63,1	61,3-69,1
167,6	56,4-60,4	59,0-65,0	62,7-70,9
170,6	58,2-62,3	60,9-66,8	64,5-73,1
172,7	60,0-64,1	62,7-69,1	66,8-75,4
175,3	61,2-65,9	64,5-70,9	68,6-77,2
177,8	63,6-68,2	66,3-72,7	70,4-79,0
180,3	65,4-70,0	68,1-75,0	72,2-81,3
182,8	67,3-71,8	70,0-77,2	74,5-83,6
185,4	69,0-73,6	71,8-79,5	76,3-85,9
187,9	70,9-75,9	73,6-81,8	78,6-88,1
190,5	72,7-77,7	75,9-84,0	80,9-90,4
193,0	74,5-79,6	78,1-86,3	82,7-92,7
Altura** (cm)	Estrutura Pequ (kg)	Estrutura Média (kg)	Estrutura Grande (kg)
Mulheres			
147,3	41,8-44,5	43,6-48,6	47,2-54,0
149,8	42,7-45,9	44,5-50,0	48,1-55,4
152,3	43,6-47,2	45,9-51,3	49,5-56,8
154,9	45,0-48,6	47,2-52,7	50,9-58,2
157,4	46,3-50,0	48,6-54,0	52,2-59,5
160,0	47,7-51,3	50,0-55,4	53,6-60,9
162,5	49,0-52,7	51,4-57,2	55,0-62,7
165,1	50,4-54,0	52,7-59,0	56,8-64,5
168,6	51,8-55,9	54,5-61,3	58,6-66,3
170,1	53,6-57,7	56,3-63,1	60,4-68,1
172,7	55,4-59,5	58,1-65,0	62,2-70,0
175,2	57,2-61,3	60,0-66,8	64,0-71,8
177,8	59,0-63,6	61,8-68,6	65,9-74,0
180,3	60,9-65,4	63,6-70,4	67,7-76,3
182,8	62,7-67,2	65,4-72,2	69,5-78,6

Tabela extraída do Statistical Bulletin, Metropolitan Insurance Company.

*Calçando sapatos com saltos de 1 polegada (2,5 cm)

**Calçando sapatos com saltos de 2 polegadas (5 cm)

3.2. Densitometria

A técnica de densitometria baseia-se no pressuposto de que a densidade de todo o corpo é estabelecida pelas densidades de vários componentes corporais e pela proporção com que cada um desses componentes contribui para o estabelecimento da massa corporal total. Portanto, admitindo-se que a densidade da gordura é consideravelmente menor em relação à de outras estruturas do corpo, quanto maior a quantidade de gordura em proporção ao peso corporal menor deverá ser a densidade de todo o corpo (BROZEK ET AL, 1963).

A utilização dos valores de densidade corporal como referencial para análise da composição corporal exige que se assumam algumas suposições teóricas (JACKSON ET AL, 1977):

- as densidades do componente de gordura e da massa magra são conhecidas e aditivas;
- o indivíduo, ao ser avaliado, é comparado a um “padrão de referência” apenas com relação à quantidade de gordura apresentada;
- a proporção de cada um dos componentes que constitui a massa isenta de gordura, incluindo água, minerais e proteínas, é relativamente constante de indivíduo para indivíduo de mesma idade;
- a densidade da massa isenta de gordura também é relativamente constante de um indivíduo para outro de mesma idade.

Os valores de densidade corporal (kg/l) são determinados mediante a relação entre o peso corporal (kg) e o seu volume (l). A partir deles, calcula-se a porcentagem do corpo que é gordura e a porcentagem isenta de gordura (POWERS ET AL, 2000). Este é o sistema de dois componentes da composição corporal descrito por Behnke. A conversão dos valores da densidade corporal total nos componentes teciduais gordo e livre de gordura baseia-se nas “constantes” utilizadas para cada um desses componentes teciduais. Acredita-se que a massa gorda humana possua uma densidade de 0,900 g/ml e a massa livre de gordura possua uma densidade de 1,100 g/ml. Utilizando esses valores de densidade, Siri em 1961 criou uma equação para calcular a porcentagem de gordura corporal a partir da densidade corporal total (MACARDLE ET AL, 1998):

$$\% \text{ de gordura corporal} = (495/\text{Densidade}) - 450$$

Essa equação somente é correta se os valores das densidades da massa gorda e da massa livre de gordura forem 0,900 e 1,100g/ml, respectivamente. Os pesquisadores Lohman (1984) e Wilmore (1983) identificaram, porém, que determinadas populações podem apresentar densidades, da massa livre de gordura, diferentes de 1,100 g/ml ao observarem valores altos de gordura corporal em crianças e idosos, e valores extremamente baixos (menor que 1% de gordura corporal) nos jogadores profissionais de futebol americano. Segundo eles, as crianças apresentam menor conteúdo mineral, menos potássio e mais água por unidade de massa livre de gordura e, conseqüentemente, uma massa livre de gordura com menor densidade. Lohman (1984) relatou valores de densidade (g/ml) de 1,080 aos seis anos de idade, de 1,084 aos dez anos e de 1,097 em meninos com quinze anos e meio. Os valores mais baixos na criança pré-púbere superestima a porcentagem da gordura corporal em 5%.

Apesar de parecer complicado, existe uma boa razão para se ter uma equação correta para determinada população. Se forem feitos julgamentos sobre a distribuição da obesidade numa sociedade específica, é importante que as estimativas da gordura corporal sejam razoavelmente precisas (POWERS ET AL, 2000).

Para determinação da densidade corporal total, o peso corporal é facilmente aferido mediante inúmeros modelos de balanças antropométricas à disposição, enquanto as medidas de volume corporal exigem uma maior preocupação de mensuração. A pesagem hidrostática e a pletismografia têm sido as duas opções mais empregadas na verificação do volume corporal.

3.2.1. *Pletismografia*

Este é um método relativamente recente para avaliação da composição corporal, com a vantagem de ser simples, seguro e requerer uma cooperação mínima do sujeito avaliado, porém, exige equipamento complexo, sofisticado e de alto custo (DEMPSTER ET AL, 1995).

A avaliação através da pletismografia consiste de uma câmara cuja marca mais utilizada na atualidade é o BOD POD[®] – Body Composition System (LIFE MEASUREMENT INSTRUMENTS, 1997). Este modelo é construído em fibra de

vidro, com uma janela de acrílico, e porta com dispositivos eletromagnéticos para o seu fechamento. No interior da câmara o volume aproximado é de 450 litros, constituindo um ambiente confortável para o sujeito testado. Através de um *software* específico, instalado em um microcomputador conectado à câmara são determinadas variações de volumes de ar e de pressão em seu interior, com a câmara desocupada e com o avaliado, além de variáveis pulmonares necessárias às estimativas do volume corporal (DEMPSTER ET AL, 1995).

Os procedimentos da pletismografia têm como base a aplicação da lei de deslocamento de ar de Boyle (GARROW ET AL, 1979). Normalmente, durante uma transformação gasosa, a pressão, o volume e a temperatura variam. Mas, sob determinadas condições, uma delas pode ser mantida constante. A transformação isotérmica é uma dessas condições, onde variando-se a pressão e o volume a temperatura do gás permanece constante. Assim, estabelece-se a seguinte relação: “sob temperatura constante, a pressão de um gás é inversamente proporcional ao seu volume” (BOYLE APUD GARROW ET AL, 1979).

Isto equivale a dizer que em um ambiente fechado de temperatura constante, se dobrarmos o volume do gás sua pressão se reduzirá à metade, ou se reduzirmos seu volume a um terço, sua pressão triplicará, o que pode ser representado pela expressão (DEMPSTER ET AL, 1995):

$$P1.V1 = P2.V2$$

Por esse raciocínio, ao introduzir o avaliado em câmara fechada e isolada do meio exterior em condições isotérmicas, com pressão (P1) e volume (V1) de ar em seu interior, previamente conhecidos, a quantidade de ar comprimida em razão do espaço ocupado por sua massa corporal deverá diminuir o volume de ar existente na câmara em proporção. Ao se determinar nova pressão interna (P2) com o avaliado dentro da câmara, torna-se possível estimar o volume (V2) do ar em seu interior mediante equacionamento da relação citada. Por subtração de ambos os volumes de ar no interior da câmara (V1 e V2), corrigido pelo ar dos pulmões computado automaticamente por sistema de análise respiratória acoplada ao avaliado, determina-se o volume corporal (Dempster et al, 1995).

3.3. Absortometria Radiológica de Dupla Energia

Absortometria radiológica de dupla energia (conhecida como DEXA) é um dos melhores métodos para determinação da densidade óssea utilizando baixa dose de raio-X de dupla energia (FOGELMAN ET AL, 1988). Quando foi introduzida no final dos anos 80 era prematura para determinação da composição corporal (KOHRT, 1993), entretanto ela tem se tornado uma técnica de maior precisão, com o desenvolvimento de novos *softwares*, que reduziram problemas existentes nas versões anteriores (LASKEY, 1996).

O princípio físico do modelo de DEXA para composição corporal baseia-se no pressuposto de que o grau de absorção de radiações de cada tecido orgânico depende do comprimento da onda utilizada e do número atômico dos elementos interpostos. Portanto, no caso da absortometria radiológica de dupla energia, ao se estabelecer o nível de absorção diferencial de fótons emitidos a duas diferentes energias, à medida que esses ultrapassam o corpo, após o tratamento matemático das informações, pode-se distinguir o conteúdo de mineral ósseo dos demais tecidos (LOHMAN, 1996).

Esta técnica foi a primeira desenvolvida como a forma mais conveniente de absortometria de fóton duplo. Representa o aprimoramento da absortometria de fóton único, empregada exclusivamente no diagnóstico e no acompanhamento da osteoporose mediante estimativas quanto ao perfil do conteúdo mineral ósseo (GODFREDSSEN ET AL, 1986). A absortometria de dupla energia emite fótons muito mais rápidos e intensos (44 e 100 KeV) que a de fóton único, e ainda expõe o indivíduo a menor radiação (1- 4 mRems). Assim, além de fornecer informações quanto ao conteúdo de mineral ósseo, seus resultados permitem estabelecer estimativas quanto ao componente de gordura e de massa livre de gordura dos tecidos não-ósseos (MAZZESS ET AL, 1984).

Em seus procedimentos, utilizando-se de raios-X como fonte de energia radiante, o avaliado se coloca deitado em superfície plana, onde um braço de *scanner* passa sobre seu corpo de maneira retilínea, coletando informações e enviando-as para análise em microcomputador por meio de *software* específico (BRODIE ET AL, 1999).

DEXA possui alta precisão se comparado a outras técnicas. Essa precisão é normalmente obtida por repetidas operações e cálculos intra-individuais do critério de desvio, ou do coeficiente de variação (MAZZESS ET AL, 1984). A técnica também

demonstra precisa comparação com modelos de três ou quatro níveis humanos e, com análises químicas de carcaça animal. Entretanto, a validação do DEXA se dá através do modelo de quatro níveis (minerais, proteínas, água e lipídios), possibilitando uma maior viabilidade técnica in vivo (MITCHEL ET AL, 1996).

Com a absorptometria radiológica de dupla energia, a segurança dos avaliados é garantida mais facilmente que em outros métodos, e com o aumento do número de instalações, o seu uso está se tornando cada vez mais difundido, incluindo o uso como um método de referência. Não existe a possibilidade de ser como os métodos portáteis de baixo custo, mas o DEXA é uma técnica que alavancará os estudos da composição corporal no futuro (GORAN ET AL, 1996).

3.4. Bioimpedância Elétrica

Essa técnica compreende a aplicação de uma corrente de baixa amperagem pelo corpo humano e o correspondente cálculo da condutividade. A condutividade se dá por causa dos constituintes aquosos, os quais são intimamente relacionados à massa magra. A massa gorda pode ser calculada por simples subtração a partir da massa corpórea conhecida. O sistema de impedância elétrica tornou-se comercializável, embora inicialmente caro, o custo tem reduzido consideravelmente junto ao aumento das pesquisas de qualidade dos sistemas (BRODIE ET AL, 1999). Atualmente os sistemas são avaliados por menos de uma libra, havendo também modelos domésticos de menor custo (BRODIE, 1990).

Bioimpedância elétrica é baseada na relação existente entre o volume do condutor (por exemplo, massa corporal total), sua estatura, seus componentes (massa gorda e massa livre de gordura) e a impedância (BRODIE ET AL, 1998).

O protocolo de medida consiste na fixação de dois eletrodos emissores e dois eletrodos receptores. Os eletrodos emissores são colocados na superfície dorsal da mão e do pé, nas cabeças do terceiro metacarpo e do terceiro metatarso, respectivamente. Por sua vez, os eletrodos receptores são colocados também na mão e no pé. O primeiro no pulso, em um plano imaginário de união das duas apófises estilóides; e o segundo na região dorsal da articulação da tíbio-társica, na linha imaginária de união da parte mais saliente dos dois maléolos. Por convenção, os quatro eletrodos são colocados na mão e

no pé esquerdo, com o avaliado colocado na posição de decúbito dorsal (ROOS ET AL, 1992).

Por intermédio dos dois eletrodos emissores, é aplicada corrente alternada de baixa intensidade (800 μ Amp), à frequência de 50 kHz, que utilizará os fluidos celulares como condutores e as membranas celulares como condensadores. A diferença de corrente causada pela impedância é posteriormente detectada pelos dois eletrodos receptores. O analisador mede a resistência e a reactância produzida e projeta os valores de impedância. Conhecido o comprimento do condutor (estatura) e da impedância a esta corrente elétrica, calcula-se o volume do condutor (BRODIE ET AL, 1999).

Ao se admitir que a massa isenta de gordura contém grande parte da água e dos eletrólitos do organismo, sendo, portanto, o principal responsável pelo nível de condutibilidade da corrente elétrica, estima-se o componente da massa livre de gordura e, posteriormente, com base no peso corporal, a massa gorda (BRODIE ET AL, 1998).

Há um valor clínico do conhecimento a respeito da composição corporal tanto na saúde quanto na doença pela informação adicional que proporciona a respeito de comparações entre peso e massa corporal. O total de água corpórea tem valor prognóstico quando os componentes corpóreos centrais e periféricos são afetados. Isso é aplicável à obesidade moderada, a muitas doenças inflamatórias, e até mesmo ao HIV. Na mesma linha, o estado nutricional tem semelhante importância na técnica. Hemodiálise é uma provável área para as investigações da bioimpedância elétrica sobre distúrbios intracelulares e extracelulares, má maturação de proteínas, injúrias ou inflamações (BRODIE ET AL, 1998).

Apesar da relativa facilidade e rapidez de medida, a utilização de bioimpedância elétrica requer um conjunto de procedimentos prévios por parte do avaliado, sem os quais poderá ocorrer prejuízo à qualidade dos dados, estes são (LUKASKI ET AL, 1986):

- não fazer uso de medicamentos diuréticos nos últimos sete dias;
- manter-se em jejum por pelo menos 4 horas;
- não ter ingerido bebidas alcoólicas nas últimas 48 horas;
- ter-se absterido da prática de atividades físicas intensas nas últimas 24 horas;
- urinar pelo menos 30 minutos antes da medida; e
- manter-se pelo menos 5-10 minutos em repouso absoluto em posição de decúbito dorsal antes de efetuar a medida.

Além destes cuidados, o nível de desidratação e a temperatura ambiente podem induzir alguma interferência na qualidade dos dados (DELORENZO ET AL, 1997).

Com relação às equações empregadas para estimativas da massa livre de gordura através das informações produzidas pela técnica, em razão das variações biológicas existentes na proporção de água corporal em indivíduos de diferentes sexos e idades, sugere-se a utilização de equações específicas ao sexo e ao grupo etário. Em vista disso, para uma análise mais precisa da composição corporal deverá haver a preocupação de verificar se as equações disponibilizadas pelo equipamento em uso se aplicam às características do avaliado.

3.5. Outras Técnicas

Existem ainda outras possibilidades para determinação da composição corporal através da avaliação indireta por métodos químicos (POWERS ET AL, 2000). Dentre esses pode-se citar:

- Diluição de isótopos: A água corporal total é determinada pelo método de diluição de isótopos. Nesse método, um indivíduo ingere um isótopo da água triciada ($^3\text{H}_2\text{O}$), água deuterada ($^2\text{H}_2\text{O}$) ou água marcada com ^{18}O (H_2^{18}O), distribuída através da água corporal. Após três ou quatro horas, para permitir a distribuição do isótopo, é obtida uma amostra de líquido corporal (soro ou saliva) e determinada a concentração do isótopo. O volume de água corporal total é obtido por meio do cálculo da quantidade de água corporal necessária para a obtenção dessa concentração. Uma pessoa com grande quantidade de água corporal diluirá o isótopo numa maior extensão. As pessoas com grande volume de água corporal possuem mais tecido magro e menos tecido gorduroso, de modo que a água corporal total pode ser utilizada para a determinação da gordura corporal (FINBERG, 1985).
- Absorção de Fótons: Este método é utilizado para determinar o conteúdo mineral e a densidade dos ossos. Um feixe de fótons do iodo-125 é passado através do tecido ósseo e dos tecidos moles. Existe uma relação positiva muito forte entre a absorção de fótons e a densidade mineral dos ossos (CAMERON ET AL, 1963).

- Potássio-40: O potássio está localizado sobretudo no interior das células, com um radioisótopo natural do potássio: o ^{40}K . Esse elemento químico pode ser mensurado num determinante orgânico e é proporcional à massa de tecido magro (BRODIE, 1988).

4. APLICAÇÃO DA DENSITOMETRIA: PESAGEM HIDROSTÁTICA

A técnica de pesagem hidrostática foi originalmente descrita por Behnke et al em 1942. Nos estudos iniciais de Behnke com mergulhadores da marinha, 64 indivíduos foram colocados em dois grupos com base na densidade corporal. A diferença média entre os grupos em peso corporal era de 12,4 kg, enquanto no volume corporal era de 13,29 l. A relação dessas diferenças médias (Δ peso + Δ volume) era de 0,933 g/cm³, valor esse dentro da variação densitométrica de 0,92 a 0,96 g/cm³ para o tecido adiposo humano. Assim sendo, a diferença no peso corporal entre os grupos de baixa e alta densidade equivalia à densidade do tecido adiposo. Quando a densidade de um grupo de jogadores profissionais de futebol americano foi determinada por pesagem hidrostática, os jogadores tinham uma densidade média de 1,080 g/cm³ e um peso corporal médio que era de 20 kg mais alto que aquele dos mergulhadores da marinha. Behnke afirmou que, “em verdade”, havia uma demonstração presuntiva de que a gordura poderia ser separada do músculo e do osso in vivo, “a prata do ouro”, pela aplicação de um princípio que já era famoso na antiguidade (BEHNKE APUD MACARDLE ET AL, 1998).

Pesagem hidrostática é essencialmente um método de determinação do volume corporal. Considerada como a técnica mais confiável de avaliação da densidade corporal, pois procedimentos alternativos são freqüentemente julgados e validados a partir desse método. Admite-se que seja também válida para se estimar a porcentagem de gordura corporal (BRODIE, 1998).

Baseia-se no princípio de Arquimedes, onde “todo corpo mergulhado num fluido (líquido ou gás) sofre, por parte do fluido, uma força vertical para cima, cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo” (MACARDLE ET AL, 1998). Assim, quando um corpo é pesado dentro da água é possível obter seu volume e através da relação entre massa e volume corporal calcular sua densidade (GOING, 1996).

O método experimental em si geralmente compreende, de acordo com Katch (1967): a) o uso de um tanque especial ou uma piscina, no qual o indivíduo será submerso, sentado em uma cadeira ou outro tipo de estrutura; b) expiração máxima do ar pulmonar é realizada antes da submersão; c) a respiração é interrompida durante

aproximadamente cinco segundos, enquanto o peso do corpo submerso é registrado, seja por uma balança ou sensores; d) o mesmo procedimento é repetido de nove a dez vezes, até se encontrar a menor variação dos valores, para cada indivíduo.

Katch et al (1967) desenvolveram um método simples de pesagem hidrostática que pode ser desenvolvida em uma piscina. Sem um sistema fechado a corrente de água poderia causar flutuações nos dados de pesagem, porém verificou que essas flutuações são insignificativas numa escala de erro, podendo uma piscina desempenhar a mesma função de um tanque fechado.

O indivíduo é pesado de braços nesse esquema inicial, por causa da uniformidade da pressão aquática exercida sobre o corpo submerso e, relativamente pequena alteração na escala de peso durante a expiração nessa posição. No entanto, a utilização de uma cadeira para pesagem é uma importante modificação do esquema original proposto por Katch. Havendo uma nula interferência da cadeira (permanência constante em todos substratos de submersão) ou, mesmo subtraindo o peso da cadeira do peso mensurado, pode-se encontrar resultados semelhantes quando comparado ao método com o indivíduo de braços.

Muitos laboratórios ainda utilizam a pesagem hidrostática suspendendo um cesto conectado a uma balança antropométrica comum, e o volume residual não é determinado durante o procedimento de pesagem, mas separadamente após o procedimento ser completado. Alguns laboratórios já adaptaram essa escala antropométrica a um ou mais sensores elétricos, mas não inovaram o procedimento básico (ORGAN ET AL, 1993).

A determinação do volume corporal se dá então, pela diferença entre o peso corporal gravitacional do indivíduo (P_a , kg) e peso submerso (P_s , kg). Considerando que corpos mais densos que a água tendem a afundar e menos densos tendem a flutuar, quanto mais pesado for um corpo dentro da água em relação a um mesmo volume, maior a sua densidade. Como a densidade da água sofre alterações em função da temperatura (D_a , na temperatura vigente, g/ml) ou de impurezas e a densidade corporal é influenciada pelo volume de ar pulmonar (V_r , ml) e pelo ar que permanece no aparelho gastrointestinal ($V_{gi} = 100\text{ml}$), o cálculo da densidade corporal (D_c , g/ml) deve levar em consideração todas essas variáveis, sendo realizado através da seguinte relação:

$$Dc = Pa / \{ [Pa - Ps / Da] - Vr + 0,1 \} V$$

onde V é o volume corporal em litros.

Segundo Brodie, várias equações são válidas para estimar o percentual de gordura a partir da densidade corporal. A mais comumente utilizada para isso é a definida por Brozek (1963):

$$\text{Percentual de gordura corporal} = (4,57 / D - 4,142) \times 100$$

e Siri (1961):

$$\text{Percentual de gordura corporal} = (495 / D - 4,5) \times 100$$

Estas equações derivaram de um modelo de dois compartimentos do corpo, que consistia em gordura e tecidos livres de gordura. A gordura extraída do tecido adiposo possui uma densidade de $0,90 \text{ g/cm}^3$ a 36°C , enquanto o tecido magro possui uma densidade de aproximadamente $1,10 \text{ g/cm}^3$. A premissa da pesquisa inicial nessa área era que cada uma dessas densidades se mantinha relativamente constante entre os indivíduos, até mesmo entre aqueles que possuíam grandes variações individuais na gordura total e no peso livre de gordura. Além disso, admitia-se que a densidade dos componentes dos tecidos magros, tais como ossos e músculos, era a mesma entre os diferentes indivíduos (FOGELHOLM ET AL, 1997). Tais suposições implícitas nesses cálculos são reconhecidas como valores nutricionais presentes na composição corporal na forma de porcentagem de gordura, e limitam a determinação da composição corporal por pesagem hidrostática à densidade corporal (BRODIE, 1998).

Nesse sentido as equações foram corretamente modificadas considerando também a intercorrência do ar nos pulmões, do gás gastrintestinal e da densidade da água. O volume de ar existente no aparelho gastrintestinal é raramente mensurado e não é fácil de prontamente ser medido, porém uma constante de 100 ml já foi estimada para esse volume (BUSKIRK, 1991). Em contraste, o volume residual pulmonar exerce grande interferência na determinação da composição corporal, e deve ser medido e subtraído do volume corporal total (MACARDLE ET AL, 1998).

A medida do volume residual é realizada em sistema de circuito fechado através da diluição e eventual equilíbrio de nitrogênio, oxigênio ou hélio, envolvendo equipamento de alto custo (FOGELHOLM ET AL, 1997). Quando é medido em vez de previsto elimina uma possível fonte de erro significativo e ainda, esse método tem sido utilizado como padrão em relação ao qual os outros métodos são comparados (POWERS ET AL, 2000). O volume residual pulmonar costuma ser ligeiramente menor quando medido com o indivíduo submerso na água em vez de estar simplesmente no ar, provavelmente como resultado da força compressiva da água contra a cavidade torácica, porém o efeito sobre a gordura corporal computada é pequeno (OSTROVE ET AL, 1982). Desta forma, esse volume pode ser estimado separadamente, sem perda na exatidão, através de equações de predição que contam com constantes associadas a medidas antropométricas e idade, ou através de tabelas de valores médios segundo idade e sexo, como exemplificado abaixo (BOREN ET AL, 1966):

Equações para predição do volume residual pulmonar (ml)

$$\text{Homem: VR} = 0,0115 (\text{idade}) + 0,019 (\text{estatura}) - 2,24$$

$$\text{Mulher: VR} = 0,021 (\text{idade}) + 0,023 (\text{estatura}) - 2,978$$

TABELA 2 Valores médios para volume residual pulmonar (ml)

Idade	Masculino	Feminino
6 a 10	900	600
11 a 15	1000	800
16 a 20	1300	1000
21 a 25	1500	1200
26 a 30	1700	1400

Fonte: Morrow, 1986

Para indivíduos que são incomodados pela submersão da cabeça, esta poderá permanecer fora da água, e realiza-se uma inalação plena. Foss & Keteyian (1998) reportaram que esse método fornece resultados semelhantes para a densidade corporal quando comparado ao método com submersão da cabeça. Oportunamente, não foi encontrada essa dificuldade por parte dos avaliados.

A equação da densidade corporal, já mencionada, leva em conta também a intercorrência de outro fator importante, a variação da densidade da água de acordo com

a temperatura. A densidade da água deve ser considerada de acordo com a temperatura da água, pela seguinte tabela (HEYWARD, 1996):

TABELA 3 Densidade (D) da água (g/cm³) em várias temperaturas (°C)

T (°C)	D (g/cm ³)	T (°C)	D (g/cm ³)
21	0,9980	31	0,9954
22	0,9978	32	0,9951
23	0,9975	33	0,9947
24	0,9973	34	0,9944
25	0,9971	35	0,9941
26	0,9968	36	0,9937
27	0,9965	37	0,9934
28	0,9963	38	0,9930
29	0,9960	39	0,9926
30	0,9957	40	0,9922

Fonte: Heyward, 1991

Lohman (1992) observou que a técnica de pesagem hidrostática, quando usada para acessar a porcentagem de gordura corporal, pode apresentar um padrão de erro de 2,7%, primariamente por causa das variações na massa livre de gordura em específicas populações. A origem dos demais erros técnicos é identificada na variação do volume residual pulmonar, o qual provavelmente exerce maior contribuição à margem de erro, e na combinação de fatores variáveis na massa corporal, no peso submerso e na determinação da temperatura da água.

Embora a equação original de Brozek não tenha sido duplamente validada, ela é utilizada em muitos estudos científicos. Desde o seu desenvolvimento, essa equação foi freqüentemente aplicada a várias populações, incluindo crianças, idosos, mulheres, atletas e vários grupos raciais. Os ossos são menos densos em crianças, mulheres e sujeitos idosos de ambos os sexos, o que induz a uma superestimação da gordura corporal (BRODIE, 1998). Lohman (1984) também discutiu a necessidade de delimitar o uso da equação de Brozek e rever os conceitos para populações específicas o que poderia levar ao desenvolvimento de novas equações específicas a determinadas populações.

A densidade corporal é convertida a uma correspondente porcentagem de gordura corporal baseada na divisão do organismo em dois componentes homogêneos – massa gorda e massa livre de gordura – com constantes densidades (portanto 0,90 e 1,10

respectivamente). Entretanto, na realidade, a massa gorda é composta por um complexo de triacilgliceróis e de glicerídeos, esteróis, fosfolípidos, glicolípidos e esfingolípidos. Alguns desses constituintes são mais lábeis que outros e em virtude disso há uma média de variação da densidade da massa gorda entre os indivíduos e assim pode haver também variações individuais no tempo. Mesmo assim, essas dificuldades geralmente são ignoradas nos cálculos densitométricos (BRODIE, 1999).

Essas possíveis variações nas densidades e nas contribuições percentuais dos componentes de tecido livre de gordura indicam que a aplicação da densidade corporal total computada por pesagem hidrostática para calcular o percentual de gordura corporal e o peso corporal livre de gordura de determinado indivíduo poderia limitar sua pretensão de ser o “padrão de ouro”. No entanto, a técnica tem sido totalmente descrita a partir de escalas de autópsia, até como uma alternativa de se observar os métodos eletrônicos de determinação da composição corporal (BRODIE, 1998).

Conseqüentemente, a pesagem hidrostática é aqui revisada porque até a disponibilização dos recentes métodos com imagens, ela é reconhecida totalmente como a técnica não invasiva padrão.

5. OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivos:

- realizar um levantamento bibliográfico dos métodos disponíveis de avaliação da composição corporal;
- testar o aparato experimental desenvolvido no Laboratório de Fisiologia do Exercício para realização da pesagem hidrostática e;
- determinar a composição corporal utilizando-se da técnica densitométrica.

6. METODOLOGIA

6.1. Amostra e Procedimentos Experimentais

A amostra foi composta por 13 voluntários saudáveis, adaptados ao meio aquático e com idade média de 18-24 anos. Como é requerida máxima expiração quando submerso, considerou-se para a amostra apenas indivíduos nadadores e que não apresentavam desconforto na piscina.

Em adição, as flutuações normais no peso corporal, principalmente na água corporal, relacionadas ao ciclo menstrual não são suficientemente grandes a ponto de afetar a densidade corporal e a gordura corporal avaliada por pesagem hidrostática (BYRD APUD MACARDLE, 1998). Conseqüentemente, a amostra do sexo feminino da população em questão, não seria capaz de induzir um certo erro na estimativa da densidade corporal e da porcentagem de gordura corporal.

Os experimentos aconteceram em três dias diferentes: o primeiro, pela manhã (7 às 9 h); e os dois seguintes, no período vespertino (15 às 18 h). Para a realização, os voluntários trajavam roupa de banho, sem padronização.

O peso gravitacional foi mensurado, com aproximação de 0,1 kg, em uma balança antropométrica (Filizola modelo 31) de carga máxima de 150kg. Na mesma balança a medida da estatura foi realizada, com o antropômetro de divisões de 0,5 cm, enquanto com profunda inspiração o indivíduo mantinha uma postura totalmente ereta.

Foi verificado, inicialmente, o funcionamento linear da balança antropométrica, Filizola. Embora seja um equipamento projetado para fornecer uma exatidão de mais ou menos 100g, a produção massificada e mesmo o tempo desde a sua fabricação pode levar à uma distorção das medidas. Anilhas de 5 e 10 kg, de musculação foram pesadas num primeiro momento em uma balança digital Filizola de erro 0,4 g, para depois serem adicionadas uma a uma na balança antropométrica. Uma volta dos pesos também foi medida. Com o auxílio de um *software* encontrou-se uma regressão (Anexo).

Para o uso do extensômetro ligado a uma fonte de extensometria, demais procedimentos foram realizados. A fonte, ME-01 D, destina-se a medição de micro-deformações por meio de extensômetros elétricos, equipada de um indicador digital

(tipo led) de 3 ½ dígitos ou seja ± 1999 . O sistema permite a leitura digital em $\mu\text{m/m}$, com uma resolução de $\pm 1 \mu\text{m/m}$ para 10^{-6} e uma resolução de $\pm 10 \mu\text{m/m}$ para 10^{-5} , devendo ajustar todos os fatores de sensibilidade do extensômetro.

A operação do ME-01 D foi de inicialmente acionar a chave “Liga”, quando alimentado com uma tensão de 110V, o qual aciona os displays do indicador digital. O tempo de aquecimento considerado para o aparelho é de 20 minutos, de maneira que após esse intervalo foram ajustados os fatores de sensibilidade. Girou-se o sensor “zero de calibração”, com a chave “seleção de funções” na posição “zero cal”, até 000 ser lido no indicador digital. Feito o zero, ajustou-se o “ajuste calibração” ou fator K de acordo com as flutuações encontradas e conformadas experimentalmente, com a chave posicionada no “ajuste cal”. Para que fosse feito o zero para o ponto de “medida interna” girou-se o sensor até obter 000 no indicador digital com a chave sob “Med. Int.”. Após essa sequência operacional, o peso submerso pode então ser aferido.

6.2. Instrumentos de Medidas

O aparato para pesagem hidrostática que exibe a tensão desenvolvida e correspondente ao peso submerso foi construído no Laboratório de Fisiologia do Exercício da Universidade Estadual de Campinas. Este instrumento compreende dois extensômetros altamente sensíveis, posicionados, de forma equidistante, sobre uma estrutura metálica em “T” invertida, e conectados por fios elétricos a um amplificador. Nas extremidades da estrutura metálica pequenos ganchos em formato de “J” se prestam como apoio a cadeira. O aparelho é ancorado a um suporte metálico fixado na borda da piscina, por uma corrente leve e de comprimento ajustável à profundidade de submersão desejada.

Esse aparato de confecção própria tem dupla função: 1) o extensômetros captam um sinal mecânico produzido, fornecendo uma excitação em voltagem para um amplificador; e 2) a fonte de Extensometria, que também alimenta os extensômetros, produz um potencial elétrico amplificado para a leitura em μV . A tensão registrada pelo amplificador será submetida a um tratamento estatístico para conversão em gramas.

6.2.1 Calibração Estática

De acordo com Doebelin (1975), o papel da estatística é estabelecer a relação entre um modelo teórico proposto e os dados observados na realidade, devendo existir bases quantitativas para adequar um instrumento com alternativas possíveis. Sendo assim, as considerações estatísticas envolvem o estudo detalhado do desempenho do instrumento de medida de peso submerso, extensômetro, bem como o desenvolvimento de um adequado procedimento piloto.

Primeiramente, o desempenho de um instrumento pode ser caracterizado como estático ou dinâmico. Quando o instrumento se aplica às medidas quantitativas constantes ou pouco variáveis, o seu desempenho pode ser descrito quanto à qualidade de medida sem considerar equações preditoras. As relações dinâmicas, no entanto, podem ser observadas geralmente através do uso das diversas equações.

Todas as características estáticas são obtidas de uma forma ou de outra através de um procedimento chamado “calibração estática”. Utilizou-se, então, esse procedimento para alcançar um modelo de estimativa do peso submerso.

De maneira geral, a calibração estática se refere a situação em que uma inferência de estudo é variável sobre alguns valores constantes, causando um resultado ou consequência que também modifica-se de forma constante. Essa relação de inferência – consequência garante que a calibração estática seja válida em condições constantes de qualquer outra inferência.

O fato das inferências serem mantidas em condições constantes se refere a uma situação ideal de medida, que apenas pode ser aproximada, mas nunca alcançada na prática. Em outras palavras, é impossível calibrar um instrumento com maior exatidão que o padrão a que ele é comparado. Para calibrar o instrumento com maior exatidão possível deve-se :

- examinar a construção do instrumento e identificar todas as inferências possíveis;
- decidir qual inferência é significativa para a aplicação que o instrumento será calibrado;
- procurar aparelhos que permitam variar todas as inferências dentro de limites necessários;

- manter algumas inferências, variar outras e gravar resultados, projetando a relação estática de inferência – consequência.

Sendo assim, é essencial que todos os componentes do sistema de pesagem hidrostática seja calibrado antes de cada teste de medida, a fim de concordar com um possível erro de estimativa. Para isso, pesos conhecidos, que cobrem uma gama de possíveis variações de pesos submersos, foram usados para testar o funcionamento dos extensômetros. Zerar o sistema no mesmo local da pesagem, também possibilitou a leitura apropriada dos resultados exibidos. Na sequência, utilizou-se a análise da regressão, a partir da linha de calibração, como correspondência à escala de pesos submersos reais.

Anilhas de até 100 g foram pesadas no aparato confeccionado, e o resultado produzido analisado no amplificador. Com essa sequência de calibrações estáticas, pretendeu-se estabelecer a seguinte relação de causa e efeito linear:

$$P_x = T_x - b / a$$

Onde:

T_x = Tensão (V)

P_x = Peso (g)

b = coeficiente linear

a = coeficiente de proporcionalidade

Para proceder a leitura de peso a partir da tensão, referências (pesos conhecidos) foram estabelecidas tanto anteriormente como posteriormente. Pretendeu-se encontrar a proporcionalidade entre as diferenças:

$$P_2 - P_1 / T_2 - T_1 = P - P_1 / T - T_1$$

Onde:

P_1 e P_2 são pesos conhecidos

Esse procedimento de medida tende a garantir que os valores darão uma reta estável de calibração, sendo adotado um critério rígido de três desvios padrão. Depois de cada calibração, a linearidade foi testada no excel (Anexo). Conseqüentemente, procurou-se desenvolver um tratamento estatístico particularmente importante, recomendado a operadores de manufaturados e a extensômetro em questão (ORGAN, EKLUND &

LEDBETTER, 1993). Os desvios padrão servem, justamente, de referência ao equipamento, como uma extensão do conceito.

4.3. Coleta de Dados

Na piscina a temperatura da água foi mantida em aproximadamente 26°C, valor esse que fica próximo da temperatura corporal cutânea (MACARDLE ET AL, 1998). A temperatura da água foi registrada, a fim de fazer a correção para a densidade da água à temperatura da pesagem.

O procedimento de pesagem foi idealizado em três estágios. A primeira etapa consistiu nas instruções dadas aos voluntários: “Assuma a posição sentada, com o peito voltado para o encosto da cadeira, e as pernas posicionadas lateralmente”... “Então realize respirações normais e quando estiver pronto respire profundamente, expire o máximo que seja capaz, afunde e segure a respiração por aproximadamente 5 segundos” (Garantiu-se que o tempo submerso dependia estritamente dos anseios e capacidade de cada um)... “Enquanto submerso abrace a cadeira e mantenha as pernas dobradas”... “Quando de volta à superfície respire normalmente para a próxima pesagem”. A segunda etapa foi familiarização com o sistema de pesagem, os voluntários submergiram algumas vezes porém o peso não foi registrado. O terceiro estágio foi a repetição do procedimento de pesagem submersa. Para evitar qualquer apreensão durante tal procedimento, foi sugerido que os voluntários segurassem a mão de um auxiliar técnico que ficou dentro da piscina, ao primeiro sinal de desconforto.

Durante os cinco segundos que o indivíduo permaneceu submerso a alteração de voltagem foi registrada pelo extensômetro, que fornece um potencial elétrico à Fonte de Extensometria com indicador digital.

O procedimento de pesagem subaquática (figuras em anexo) foi repetido 10 vezes, pois as pessoas se tornam mais aptas a expelir o ar de seus pulmões a cada ensaio adicional. A média das três últimas pesagens foi utilizada, pois esses ensaios representam o “verdadeiro” peso subaquático da pessoa, com uma variação intra-individual mínima (KATCH, 1967).

O peso gravitacional dos voluntários foi verificado na sequência, em uma balança antropométrica Filizola. A estatura de cada um, também foi medida utilizando a haste antropométrica.

6.4. Cálculos

O volume residual pulmonar (VR, ml) e gases ou flatos presentes no aparelho gastrointestinal (VGI, ml) podem ser mensurados ou estimados. Adotou-se uma constante de 100 ml, já estimada, para esse último volume. O volume residual pulmonar, por sua vez, deve ser corretamente medido e subtraído do volume corporal total, de acordo com a equação preditiva correspondente.

Uma vez estimados tais volumes e a densidade da água verificada, pôde-se calcular a densidade corporal, para converter este valor em porcentagem de gordura corporal. Esta conversão foi realizada através das equações proposta por Siri (1961) ou Brozek (1963), como demonstrado anteriormente nesse estudo.

6.5. Processamento e Análise dos dados

Quando é realizada a medida de valores físicos com um instrumento e se obtêm resultados numéricos, o instrumento é normalmente adequado à valores restritos que são considerados como “valores verdadeiros”. O termo “verdadeiro” refere-se a valores que podem ser obtidos quando as considerações quantitativas estão de acordo com um método exemplar, ou seja, um método que concorde com uma técnica precisa.

O uso de um instrumento concorda com as características do processo de medida, isto é, pode ser realizada uma única leitura, mas ela será uma amostra de uma população estatística generalizada ao processo de medida. Esse processo consiste em cumprir as instruções do método padrão de pesagem hidrostática.

Em adição, todo instrumento é influenciado por inúmeros fatores de inferência que afetam totalmente os resultados se forem desprezados. Efeitos da pressão atmosférica, da temperatura e da umidade, são alguns desses fatores. O procedimento de calibração é que garante que eles sejam mantidos dentro de certos limites, para reduzir o erro de

estimativa do instrumento. Sendo, por essa razão, importante a relação entre as condições de calibração e as condições de realização das medidas.

As repetidas calibrações fornecem uma curva estatística para o instrumento, definindo um estreito intervalo em que se encaixam os resultados das medidas. A equação para essa curva é dada por:

$$f(x) = ax + b$$

onde, $f(x)$ Δ resultado (variável dependente)

x Δ inferência (variável independente)

a Δ inclinação da reta

b Δ intersecção do eixo vertical

Essa equação define curvas dependente de valores numéricos específicos de μ (valor médio) e do σ (desvio padrão). A característica da curva é totalmente determinada pelo μ e σ , que fornecem a identificação de pontos ao longo do eixo x . Esses valores servem de referência ao equipamento pois quanto maiores, menor a sua precisão.

A variação do erro de estimativa é de $\pm 3.8\%$ (SIRI APUD KATCH ET AL, 1980) quando a pesagem hidrostática é utilizada para determinar a densidade corpórea, independente do instrumento empregado. Acredita-se que esse erro existe em decorrência de quatro fatores principalmente: a) alteração na constituição líquida corpórea independente da massa magra; b) variação nas proteínas minerais dos ossos; c) variação na densidade do tecido adiposo; e d) variação na massa gorda. Essas variações referem-se a “variação biológica” e decorrem também da estimativa do volume residual pulmonar e do gás gastrointestinal, não podendo ser incluídas nos erros experimentais limitados pela calibração.

A análise estatística foi constituída pela observação de pares de valores de tensão e peso em cada unidade experimental, usados para determinar a composição corporal através da relação entre elas. O processamento dos dados experimentais seguiu a seguinte seqüência: 1) calibração do extensômetro; 2) instrução dos voluntários; 3) pesagem submersa e leitura no amplificador; 3) exposição dos resultados de cada ensaio num formato tabular, e seleção da média dos “verdadeiros” ensaios como resultado

final; 4) revisão a respeito da pesagem hidrostática a fim de estimar a densidade corporal, porcentagem de gordura corporal e volume residual pulmonar; e 5) calibração do extensômetro novamente.

6.6. Limitações do Estudo

No presente estudo não foram realizadas os testes de medidas inter-pesquisadores e intra-pesquisadores, ou seja, realizou-se uma única leitura dos pesos submersos sem comparação no tempo, da mesma amostra, e sem a reprodução por outro instrumentador. Em adição, o tamanho da amostra, também restringiu os resultados.

7. RESULTADOS

Inicialmente, com o intuito de fornecer uma melhor visão, quanto à caracterização da amostra estudada, procurou-se evidenciar, através da Tabela 4, os resultados encontrados no grupo feminino e masculino.

Tabela 4 Valores da pesagem hidrostática 1				
Voluntários	Altura (m)	Peso (Kg)	Dens. (g/ml)	% Gordura
Mulheres				
1	1,630	59,300	1,023	35,3
2	1,720	58,100	1,21	35,3
3	1,700	58,000	1,024	35,3
4	1,730	60,200	1,02	35,3
5	1,590	51,100	1,022	35,3
6	1,650	54,500	1,024	35,3
7	1,600	60,000	69	25,96
8	1,730	67,300	1,021	35,3
<i>Média</i>	<i>1,7</i>	<i>58,6</i>	<i>9,5</i>	<i>34,1</i>
<i>Desvio Padrão</i>	<i>0,1</i>	<i>4,4</i>	<i>22,5</i>	<i>3,1</i>
Homens				
1	1,840	69,700	1,019	35,3
2	1,710	88,900	1,018	35,7
3	1,900	85,000	1,019	35,3
4	1,700	69,500	1,024	35,3
5	1,510	54,000	1,036	27,3
<i>Média</i>	<i>1,5</i>	<i>61,4</i>	<i>5,3</i>	<i>29,4</i>
<i>Desvio Padrão</i>	<i>0,6</i>	<i>26,1</i>	<i>7,6</i>	<i>11,1</i>

Legenda: Dens.=Densidade Corporal; % Gordura= percentual de gordura

Tabela 5		Valores da pesagem hidrostática 2													
Voluntários	Calibr. S/carga	Calibr. C/ 4,5kg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio Padrão	
Mulheres															
1	0	349	90	93	88	93	90	88	85	88	91	87	89	2,6	
2	0	349	59	119	109	105	111	121	118	108	119	113	108	18,1	
3	0	349	222	-	-	-	-	128	164	170	172	158	169	30,5	
4	0	349	133	119	124	116	116	117	122	126	118	119	121	5,4	
5	0	349	102	99	92	92	89	88	84	87	87	84	90	6,0	
6	0	349	87	83	95	84	87	80	84	76	75	78	83	6,0	
7	0 - 3	256	80	66	80	75	66	66	70	70	71	70	71	5,3	
8	0	343	89	82	86	87	92	86	104	91	88	102	91	7,1	
Média	0,0	336,6	107,8	94,4	96,3	93,1	93,0	96,8	103,9	102,0	102,6	101,4	102,9	10,1	
Desvio Padrão	0,0	30,5	47,4	18,2	14,1	12,6	15,3	20,8	28,4	30,6	31,0	26,7	28,7	8,8	
Homens															
1	0	349	169	194	198	205	193	200	198	198	203	201	196	10,1	
2	0	349	54	50	53	52	54	38	51	51	51	51	51	4,6	
3	0	349	202	190	197	196	200	194	192	194	191	190	195	4,1	
4	0	349	183	186	180	184	176	183	178	183	182	179	182	5,4	
5	0	349	100	100	95	101	94	96	98	95	95	98	97	2,5	
Média	0,0	301,7	123,3	120,4	119,1	120,5	117,9	118,4	121,3	121,9	122,2	121,0	121,7	6,5	
Desvio Padrão	0,0	110,8	57,6	68,1	68,1	70,0	67,1	69,2	63,8	64,6	64,8	64,6	64,6	2,9	

Legenda: Calibr. S/ carga - c/ 4,5kg= leitura da calibração sem carga ou com o peso referência

Apenas um indivíduo do grupo não conseguiu submergir por completo para realizar a pesagem.

Observou-se que houve diferenças significativas inter-individuais, entre os resultados obtidos. Todavia, essa diferença está ausente quanto à densidade corporal. A variação intra-individual de cada sessão de imersão e pesagem, comprova a validação das três últimas.

Os resultados encontrados na Tabela 2 do percentual de gordura demonstram que todos os indicadores da composição corporal se correlacionam, por apresentarem desvios padrão de 3,1 e 11,1, embora superiores aos valores relatados na literatura. De qualquer modo, as interferências externas sobre o aparato de pesagem não foram anuladas durante os experimentos, e superestimam os valores do percentual de gordura.

8. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo piloto sugerem que o aparato desenvolvido para a pesagem hidrostática, está em condição de ser empregado nos estudos de campo, para determinação da composição corporal. A calibração estática, determinante de um desvio padrão de 1.58, indica viabilidade, pois as inferências ambientais estiveram sob controle durante a sua realização no laboratório.

Registrou-se variações nos valores correspondentes aos pesos submersos. Entretanto, considerando a inferência das condições de pesagem, e a estreita correspondência de 1 μ V a 2.33g, essas variações são válidas pois não aumentam o erro de estimativa. Adaptações ao sistema utilizado podem minimizar a interferência dos fatores externos e anular esse efeito de variação.

Quanto aos presentes dados, referentes à densidade corporal e ao percentual de gordura corporal, foram comparados a outras referências bibliográficas, observou-se que homens e mulheres jovens apresentam similaridades quanto à composição corporal segundo Wilmore e Behnke apud MacArdle et al (1998).

A viabilidade do aparato, aqui demonstrada, pode contribuir para difusão dessa metodologia que utiliza extensômetros em substituição à balança antropométrica, acompanhando a tendência de diversos laboratórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRES, R.. Mortality and obesity: The rationale for age-specific height-weight tables. **Principles of Geriatric Medicine**, v.29, p.311-318, 1985.
2. BEHNKE, A.; WILMORE, J.. **Evaluation and Regulation of Body Build and Composition**. New Jersey: Englewood Cliffs, 1942.
3. BOILEAU, R.; et al. Exercise and body composition of children and youth. **Sc. J. Sports Sciences**, v.7, p.17-27, 1985.
4. BOREN, H.; et al. The veteran's administration Army cooperative study of pulmonary function: II. **Am. J. Med.**, v.41, p.96-114, 1966.
5. BRODIE, D.. Techniques of measurement of body composition: part one. **Sports Med.**, v.5, p.11-21, 1988.
6. BRODIE, D.. The measurement of body composition. **J. P. End. & Met.**, v.19, p.6-10, 1990.
7. BRODIE, D.. Techniques of measurement of body composition: part two. **Sports Med.**, v.30, p.11-40, 1997.
8. BRODIE, D.; et al. Body composition measurement: a review of hydrodensitometry, anthropometry and impedance methods. **Nutrition**, v.14, p.296-310, 1998.
9. BRODIE, D.; STEWART, A.. Body composition measurement: a hierarchy of methods. **J. P. End. & Metabolism**, v.12, p.801-816, 1999.
10. BROZEK, J.; et al. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. **Ann. NY Acad. Sci.**, v.110, p.113-140, 1963.
11. BUSKIRK, E.. Underwater weighing and body density: a review of procedures. **N. Academy of Science**, v.110, p.113-140, 1991.
12. CAMERON, J.; SORENSON, J.. Measurement of bone mineral in-vivo: An improved method. **Science**, v.142, p.230-232, 1963.
13. DE ROSE, E.; et al. A new air displacement method for the determination of human body composition. **Med. Sci. in Sports and Exercise**, v.27, p.1692-1697, 1984.

14. DEBAKEY, M.; et al. Physical activity, body weight, and adiposity: an epidemiologic perspective. **Ex. and Sport Sciences Reviews**, v.23, p.275-303, 1984.
15. DELORENZO, A.; et al. Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological reviews. **J. Appl. Phys.**, v.82, p.1542-1558, 1997.
16. DEMPSTER, P.; AITKENS, S.. A new air displacement method for the determination of human body composition. **Med. Sc. in Sports and Exercise**, v.27, p.1692-1697, 1995.
17. DOEBELIN, E.. **Measurement systems: application and design**. Tokyo: Kosaido Printing CO, 1975.
18. FINBERG, L.. **Body-Composition Assessments in Youth and Adults**. Columbus: Roche, 1985.
19. FLATT, J.. Body composition, respiratory quotient, and weight maintenance. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.62, p.1107-1117, 1995.
20. FOGELHOLM, M.; LICHTENBELT, W.. Comparison of body composition methods: a literature analysis. **Eur. J. Clin. Nutrition**, v.51, p.495-503, 1997.
21. FOGELMAN, I.; BLAKE, G.. Clinical use of DXA measurements. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.58, p.589-591, 1988.
22. FORSLUND, A.; et al. Evaluation of modified multicompartement models to calculate body composition in healthy males. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.63, p.856-862, 1996.
23. FOSS, M.; KETEVIAN, S.. **Bases Fisiológicas do Exercício e do Esporte**. 6ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A.,1998.
24. GARN, S.; et al. Three limitations of the body mass index. **Am. J. of Cl. Nutr.**, v.44, p.996-997, 1986.
25. GARROW, J.; et al. A new method for measuring body density of obese adults. **Br. J. Nutr.**, v.42, p.173-180, 1979.
26. GODFREYSEN, A.; et al. Measurement of lean body mass and total body fat using dual photon absorptiometry. **Metabolism**, v.35, p.88-93, 1986.
27. GOING, S.. Densitometry. **Br. J. of Nutrition**, v. 42, p.173-183, 1996.

28. GORAN, M.; et al. Cross-calibration of body composition techniques against dual-energy X-ray absorptiometry in young children. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.63, p.299-305, 1996.
29. HEYWARD, V.; STOLORCZYK, L.. Applied body composition assessment. **Br. J. Nutr.**, v.40, p.497-504, 1996.
30. JACKSON, A.; POLLOCK, M.. Prediction accuracy of body density, lean body weight, and total body volume equations. **Med. Science in Sports and Exercise**, v.5, p.197-201, 1977.
31. KATCH, F.. Apparent body density and variability during underwater weighing. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v.39, n.4, p.993-999, agost., 1967.
32. KATCH, F.; MICHAEL, E.; HORVATH, S.. Estimation of body volume by underwater weighing: description of a simple method. **J. Appl. Pysiol.**, v.23, p.811-13, nov., 1967.
33. KATCH, F.. Cross validation of body composition prediction equations in obese, adult males. **Am. J. Hum. Biol.**, In Press, 1996.
34. KOHRT, W.; Body composition by DXA: tried and true? **Med. Sci. Sport Exerc.**, v.27, p.1349-1353, 1993.
35. KOSTERMANS, K.. Assessing the quality of anthropometric data. **J. Sports Med. and Physical Fitness**, v.31, p.189-195, 1994.
36. LASKEY, M.. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. **Nutrition**, v.12, p.45-51, 1996.
37. LOHMAN, T.. Skinfolds and body density and their relation to fatness: a review. **Hum. Biol.**, v.53, p.181-195, 1981.
38. LOHMAN, T.. Body composition methodology in sports medicine. **Phys. Sports Med.**, v.10, p.47-58, 1982.
39. LOHMAN, T.; et al. Bone mineral measurements and their relationship to body density in children, youth and adults. **Hum. Biol.**, v.56, p.667-673, 1984.
40. LOHMAN, T.. Applicability of body composition techniques and constants for children and youths. **Ex. Sports Science Review**, v.14, p.325-357, 1986.
41. LOHMAN, T.. Advances in Body Composition Assessment. **Am. J. Hum. Biol.**, v.86, p.507-514, 1992.

42. LOHMAN, T.; GOING, S.. Multicomponent models. **Ped. Ex. Science**, v.1, p.19-30, 1993.
43. LOHMAN, T.. Dual energy X-ray absorptiometry. **Hum. Biology**, v.53, p.181-225, 1996.
44. LUKASKI, H.; et al. Validation of the tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. **J. Appl. Phys.**, v.60, p.1327-1332, 1986.
45. MACARDLE, W.; KATCH, F.; KATCH, V.. **Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano**. 4ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A., 1998.
46. MALINA, R.; BOUCHARD, C.. Growth, maturation, and physical activity. **Hum. Biology**, v.5, p.211-223, 1991.
47. MALINA, R.; BOUCHARD, C.. **Atividade Física do Atleta Jovem: do crescimento à maturação**. São Paulo: Roca, 2002.
48. MARTIN, A.; et al. Prediction of body fat by skinfold caliper: assumptions and cadáver evidence. **Int. J. Obesity**, v.9, p.1-31, 1985.
49. MARTIN, A.; DRINKWATER, D.. Variability on the measures of body fat. **Sports Med.**, v.11, p.277-283, 1991.
50. MAZESS, R.; et al. Total body composition by dual photon (^{153}Gd) absorptiometry. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.40, p.834-839, 1984.
51. MCLAREN, O.. Three limitations of body mass index. **Am. J. of Clinical Nutr.**, v.46, p.121-130, 1987.
52. MITCHELL, A.; et al. Incremental changes in total and regional body composition by dual-energy X-ray absorptiometry. **Growth Develop Aging**, v.60, p.95-105, 1996.
53. MORROW, J.. Accuracy of measured and predicted residual lung volume on body density measurement. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.18, p.647, 1986.
54. MOSCRIP, V.. Ultrasonic estimation of adipose tissue volume in young adult females. **Br. J. Nutr.**, v.40, p.497-506, 1995.
55. ORGAN, L.; et al. Segmental bioelectrical impedance analysis: theory and application of a new technique. **J. Appl. Physiol.**, v.27, p.96-100, 1993.

56. OSTROVE, S.; VACCARO, P.. Effect of immersion on RV in Young women: implications for measurement of body density. **Int. J. Sports Méd.**, v. 3, p.220, 1982.
57. POWERS, S.; HOWLEY, E.. **Fisiologia do Exercício: Teoria e Aplicação ao Condicionamento e ao Desempenho**. São Paulo: Manole, 2000.
58. ROCHE, A.. Anthropometry and ultrasound. **Am. J. Hum. Biology**, v.60, p.167-189, 1996.
59. ROOS, A.; et al. Tetrapolar body impedance is influenced by body position and plasma sodium concentration. **Eur. J. Clin. Nutr.**, v.46, p.53-60, 1992.
60. ROSS, W.; JONES, M.. Physiological testing of the high performance athlete. **Human Biology**, v.60, p.709-723, 1990.
61. ROSS, W.; JONES, M. Generalized equation for predicting body density of women from girth measurements. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.21, p.101, 1997.
62. SIRI, W.. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. **Am. J. Hum. Biology**, v.5, p.223-244, 1961.
63. WANG, Z.; et al. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.56, p.19-28, 1992.
64. WEBSTER, B.; BARR, S.. Body composition analysis of female adolescent athletes. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.25, p.648, 1993.
65. WELHAM, W.; BEHNKE, A.. The specific gravity of healthy men. **Journal of the American Med. Association**, v.118, p.498-501, 1942.
66. WILMORE, J.. Body composition in sport and exercise: directions for future research. **Med. Sci. Sports Exerc.**, v.15, p.21-31, 1983.

ANEXOS

Tabela 1 Pesagens para calibração estática

Anilha	Peso	Peso soma	Ida (μV)	Volta (μV)
1				
2	98,82	98,82	304	300
3	97,55	196,38	333	329
4	84,77	281,15	357	353
5	96,60	377,76	385	381
6	97,34	475,10	414	410
7	98,59	573,69	442	438
8	97,23	670,93	471	466
9	97,05	767,98	499	494
10	97,14	865,12	527	522
11	95,67	960,80	554	550
12	96,91	1057,71	582	578
13	96,66	1154,38	610	606
14	97,10	1251,49	638	634
15	97,82	1349,31	666	662
16	94,96	1444,27	693	690
17	81,53	1525,81	718	714
18	85,67	1611,48	742	739
19	95,54	1707,03	770	766
20	85,11	1792,14	794	791
21	95,69	1887,83	822	818
22	83,84	1971,67	846	842
23	96,31	2067,98	874	870
24	96,88	2164,87	902	898
25	96,47	2261,34	930	926
26	97,58	2358,93	958	954
27	96,56	2455,50	985	982
28	96,62	2552,12	1013	1010
29	96,00	2648,12	1041	1037
30	96,85	2744,98	1069	1065
31	96,19	2841,17	1096	1093
32	98,81	2939,99	1125	1121
33	95,87	3035,86	1153	1149
34	84,81	3120,68	1177	1173
35	95,08	3215,76	1204	1200
36	97,35	3313,11	1232	1228
37	97,17	3410,29	1260	1256
38	95,78	3506,07	1288	1284
39	97,01	3603,08	1315	1312
40	97,40	3700,49	1344	1340
41	96,98	3797,47	1371	1367
42	96,47	3893,95	1398	1395
43	97,88	3991,83	1426	1423
44	95,52	4087,36	1453	1450
45	95,98	4183,34	1480	1478
46	97,18	4280,52	1506	1506
47	95,34	4375,87	1533	1533
48	96,45	4472,32	1561	1561
49	95,90	4568,23	1588	1588
50	96,24	4664,48	1615	1616

Anexo A – Pesos referências para Calibração Estática dos Extensômetros

TABELA 2 Resumo dos resultados de Regressão

Estatística de regressão

R múltiplo	0,999991582
R-Quadrado	0,999983164
R-quadrado ajustado	0,999982806
Erro padrão	1,615682957
Observações	49,32579321

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	7287157,555	7287157,555	2791552,962	7,5916E-114
Resíduo	47	122,6902766	2,610431418		
Total	48	7287280,245			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interseção	278,3310813	0,469009636	593,4442703	1,01786E-92	277,3875565	279,274606	277,3875565	279,274606
variável X 1	0,287467361	0,000172054	1670,794111	7,5916E-114	0,287121233	0,28781349	0,287121233	0,28781349

Anexo B – Resultados da Regressão Linear 1/ Calibração Estática dos Extensômetros

TABELA 3 Resultados de Resíduos

Observação	Y previsto	Resíduos		
1	306,7395258	-2,739525781	7,505001507	
2	334,7845253	-1,784525327	3,184530644	
3	359,1535935	-2,153593485	4,637964901	
4	386,9255565	-1,925556532	3,707767957	
5	414,9092968	-0,909296783	0,82682064	
6	443,2509339	-1,250933899	1,564835621	
7	471,2018166	-0,201816631	0,040729953	
8	499,100869	-0,100868998	0,010174555	
9	527,0264546	-0,026454602	0,000699846	
10	554,5302681	-0,530268094	0,281184252	
11	582,3896212	-0,389621219	0,151804694	
12	610,1784299	-0,178429852	0,031837212	
13	638,0938966	-0,093896605	0,008816573	
14	666,2142126	-0,2142126	0,045887038	
15	693,5134356	-0,513435571	0,263616086	
16	716,9523743	1,047625665	1,097519534	
17	741,5804793	0,419520668	0,175997591	
18	769,0468933	0,953106679	0,908412342	
19	793,5134704	0,486529593	0,236711044	
20	821,0221134	0,977886649	0,956262298	
21	845,1234344	0,876565591	0,768367236	
22	872,8098184	1,190181578	1,416532189	
23	900,6624736	1,337526444	1,788976987	
24	928,3951973	1,604802692	2,57539166	
25	956,4468948	1,553105156	2,412135627	
26	984,2074167	0,792583311	0,628188305	
27	1011,982743	1,017256896	1,034811593	
28	1039,581708	1,418291708	2,011551369	
29	1067,423986	1,576014145	2,483820585	
30	1095,076851	0,923148826	0,852203756	
31	1123,482967	1,517032781	2,301388459	
32	1151,043354	1,956645713	3,828462444	
33	1175,424812	1,575187711	2,481216326	
34	1202,758301	1,241698631	1,54181549	
35	1230,744571	1,255428667	1,576101137	
36	1258,678666	1,321334029	1,745923615	
37	1286,212807	1,78719273	3,194057855	
38	1314,100131	0,899869032	0,809764274	
39	1342,101694	1,898305804	3,603564925	
40	1369,980768	1,019232419	1,038834723	
41	1397,71513	0,284870103	0,081150976	
42	1425,853441	0,146558652	0,021479438	
43	1453,314508	-0,314508444	0,098915561	
44	1480,906747	-0,906746896	0,822189933	
45	1508,843486	-2,843486234	8,085413962	
46	1536,253269	-3,253269152	10,58376017	
47	1563,979812	-2,979812355	8,879281672	
48	1591,549427	-3,549427126	12,59843292	
49	1619,217816	-4,217815682	17,78996913	
		1,582366328	122,6902766	2,503883196
		Desviopadrazo raiz quadrada da	Soma quadrado	Media da Soma
		Média da soma dos quadrados	dos residuos	dos quadrados