

## ESTIMADOR DE MASSA CORPÓREA POR IMPEDÂNCIA: UMA APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE REGRESSÃO

**Giancarlo de França Aguiar** – [giancarlo.aguiar@ifpr.edu.br](mailto:giancarlo.aguiar@ifpr.edu.br)  
Universidade Positivo-UP e Instituto Federal do Paraná – IFPR  
Rua Pedro Viriato Parigot de Souza, 5300, Campo Comprido  
81280-330 – Curitiba – Paraná  
**José Carlos da Cunha** – [cunha@up.com.br](mailto:cunha@up.com.br)

**Bárbara de C. X. C. Aguiar** – [babi.eg@ufpr.br](mailto:babi.eg@ufpr.br)  
Universidade Federal do Paraná - UFPR, Departamento de Expressão Gráfica  
Centro Politécnico, Jardim das Américas  
81531-990 – Curitiba – Paraná

**Resumo:** *O estudo e tratamento de dados aplicados ao processo de ensino-aprendizagem constituem uma metodologia eficaz de conhecimento ao estudante, podendo tornar-se prática significativa em disciplinas de Estatística em cursos de graduação. Neste trabalho está ilustrada uma aplicação da Análise de Regressão para determinar estimativas de massas de pacientes que se encontram em unidades de tratamento intensivo (UTI), utilizando para isso o processo de impedância elétrica a partir dos valores da circunferência de três músculos (tríceps, abdômen e panturrilha). Após um conjunto de testes, foi possível estimar a massa de pacientes com erro de aproximadamente 10 % de sua massa real.*

**Palavras-chave:** *Estimativa de Massa Corporal, Impedância Elétrica, Processo de Ensino e Aprendizagem em Estatística.*

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo Rodriguês (2001), a determinação dos componentes da composição corporal possui diversas aplicações em programas direcionados à promoção da saúde e treinamento físico-desportivo. Neste trabalho iremos ilustrar uma aplicação da análise de regressão (para encontrar equações de regressão, e desta forma, estimar com precisão a massa corpórea de pacientes em Unidades de Tratamento Intensivo-UTI), utilizando para isto, um conjunto de dados (massas de pacientes) tratados em uma dissertação de mestrado que consiste na estimativa de massa a partir dos valores da circunferência de três músculos específicos.

A equação de regressão linear vem sendo proposta para relacionar medidas de impedância para a gordura corporal total, e tem obtido resultados muito úteis em seres humanos (Khaled, 1988). As medidas de massa são dados importantes para a avaliação do estado nutricional e também para o planejamento de terapias nutricionais e medicamentosas (Rabito, 2008).

O estudo pode auxiliar profissionais da área de saúde na estimativa de massa corpórea de pacientes que se encontram na UTI, e assim, contribuir para um receituário mais confiável de intervenção da dosagem de fármacos e quantidade de alimentos aos pacientes.

Atualmente, existem opções no mercado de aparelhos para medição de massa corpórea utilizando a técnica de impedância (oposição ao fluxo de elétrons, a corrente que circula no circuito série, é o valor da resposta a essa oposição), no entanto, esses são em forma de balanças convencionais, o que pode tornar seu uso às vezes inviável em pacientes do grupo de repouso forçado (pacientes em Unidades de Tratamento Intensivo), que estão em macas e na maioria das vezes inconscientes. A medição de somente três músculos para a estimativa da massa favorece o uso do aparelho sem necessidade de grandes transtornos ao repouso do paciente. A Figura 1 a seguir ilustra o circuito série equivalente formado entre a fonte e a impedância do músculo a ser tratado (neste caso, tríceps, abdômen e panturrilha).

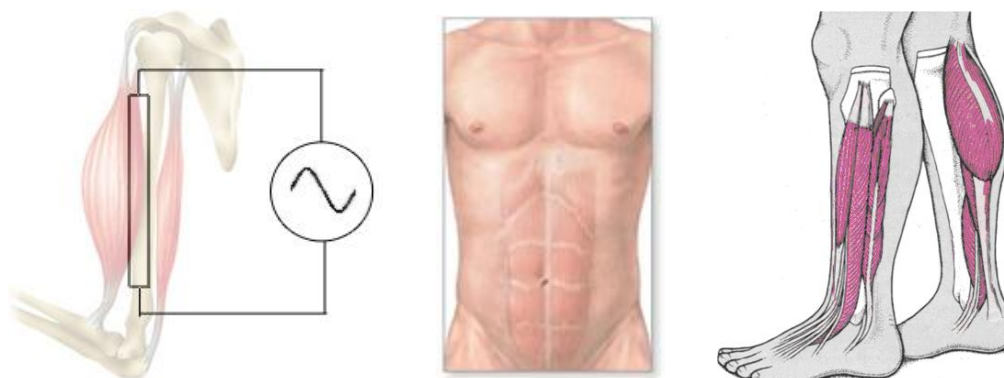


Figura 1 – Circuito série equivalente formado entre a fonte e a impedância da região (tríceps, abdômen e panturrilha).

Fonte: Adaptado de [www.daviddarling.info](http://www.daviddarling.info), [www.adam.com](http://www.adam.com)

Dessa forma, foi inevitável o desenvolvimento acelerado de recursos computacionais direcionados a resolução dos mais variados problemas, sejam eles de ordem econômica, administrativa, industriais e de engenharia. Tornar-se-á mais comum a cada dia, a construção de portais virtuais acadêmicos em cursos de graduação, sejam eles desenvolvidos por professores ou por estudantes.

O sistema proposto foi dividido em dois módulos: um software e um hardware. O software tem a função de efetuar os cálculos para a estimativa da massa corporal, assim como controlar as informações que são mostradas no display e a interface de cadastro dos pacientes em um banco de dados. Já o hardware é responsável pela geração da senoidal (sinal em forma de função) que será injetada no paciente, bem como, a recepção do sinal de resposta, conversão dos dados (realizados por um micro controlador) para serem trabalhados pelo software, armazenamento dos dados do cadastro e indicação dos dados por meio de um display.

O hardware foi decomposto em: geração do sinal; tratamento do sinal; micro controlador e display. O software foi separado em: cálculo da massa corporal; cadastro e controle da conversão dos dados.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Foi desenvolvido em um trabalho de conclusão de curso (Engenharia da Computação da Universidade Positivo) um medidor de massa corpórea (hardware) por impedância. Este aparelho é portátil e de fácil manuseio, sendo ajustado próximo ao paciente (através de eletrodos ligados sobre a pele dos músculos de pacientes), e assim, minimizando a movimentação da pessoa acamada. Associado ao medidor foi desenvolvido o software controlador e divulgador dos resultados (utilizando para isto, a reta de regressão). As Figuras 2 e 3 a seguir ilustram os botões de interface do medidor com o usuário e o display gerador dos resultados do software controlador.

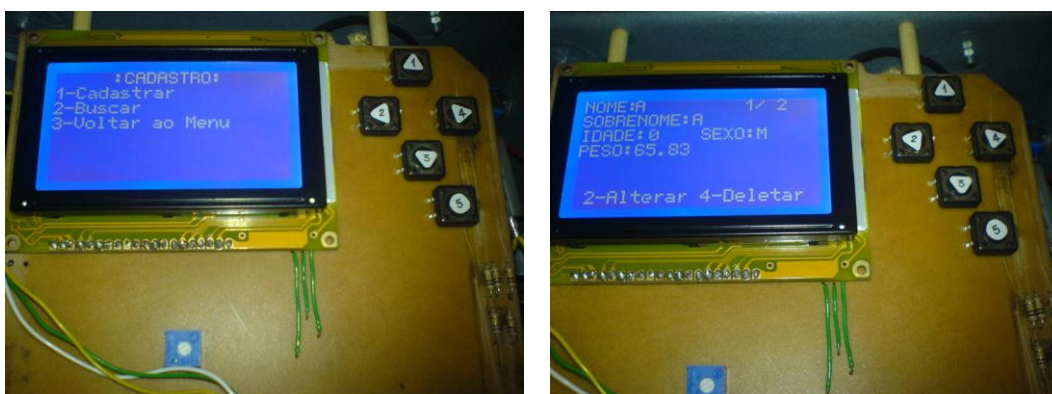


Figura 2 - Interface de comando e display de resultados.

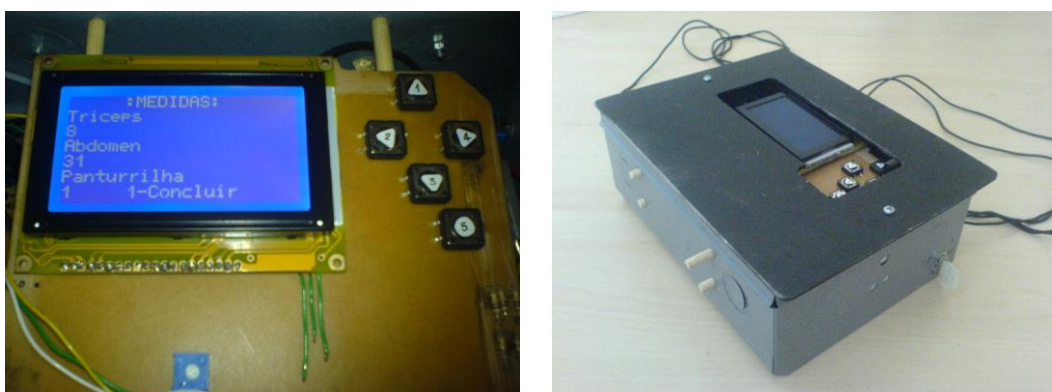


Figura 3 - Display de resultados e aparelho em fase de conclusão.

Para que o usuário pudesse navegar e cadastrar os usuários, confeccionou-se uma interface composta por cinco botões que interagem diretamente com o display e consequentemente com o micro controlador (é através dele que o sinal é convertido para uma grandeza digital com a finalidade de ser quantificado a ponto de ser trabalhado numericamente). Os botões possuem diversas finalidades dependendo da aplicação no aparelho, podendo fazer a seleção dos itens no menu principal, ou fazendo a seleção das letras



na interface de cadastro, ou então confirmar inclusões e deleções de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos no software.

O display tem como funções principais, a interface de navegação entre o usuário e as funções executadas pelo aparelho, assim como mostrar os resultados para os usuários. O dispositivo é ligado independentemente da parte de aquisição, ficando dependente somente do micro controlador que faz todo o controle das funções do display.

Na implementação do código do software foi utilizada a análise de regressão linear múltipla como metodologia matemática de estimativa.

### **3. RESULTADOS**

Contribuíram com a pesquisa 40 pacientes selecionados aleatoriamente, sendo do total, 21 mulheres (52,5 %), e 19 homens (47,5%). A seleção seguiu os seguintes critérios: possuir idade entre 15 e 65 anos; não estar grávida ou amamentando; dispor de boa saúde sendo toleradas doenças passageiras e corriqueiras; ter nacionalidade brasileira e não estar sob efeito de álcool.

#### **3.1. Experimento com Pacientes**

O teste consiste na ligação de três pares de eletrodos nos três músculos do paciente simultaneamente. O aparelho é ligado e então é efetuada a medição, os dados do aparelho são anotados e inicia-se a etapa de medição da circunferência dos músculos pré-definidos. A massa dos voluntários foi medida usando uma balança comum digital. A colocação dos eletrodos foi padronizada para cada um dos três músculos, sendo colocados sempre no braço direito e na perna direita. Isso ocorre devido ao padrão já existente para se efetuar medidas antropométricas que diz que as medidas devem ser feitas no lado direito do avaliado.

As medidas efetuadas pelo aparelho foram parametrizadas da seguinte forma: após a colocação correta dos eletrodos e conexão dos cabos nos eletrodos, o aparelho é ligado e a opção 1 do menu é selecionada, fazendo com que o aparelho chame a função de medição retornando os valores já convertidos. O processo de acionamento do equipamento e visualização dos dados na tela (display) não deve demorar mais do que cinco segundos. No caso do procedimento demorar mais do que o tempo definido, a retirada dos cabos faz-se necessária e o acionamento do aparelho sem nenhum cabo ligado, fazendo com que a tensão na saída do detector de pico (para que haja a conversão de um sinal analógico em digital, a retificação da onda faz-se necessária, uma forma simplificada de se conseguir um sinal constante no tempo pode ser conseguida confeccionando um detector de pico) atinja um valor próximo de zero rapidamente, possibilitando outro teste.

#### **3.2. Estimativa de Massa de Pacientes**

O cálculo da estimativa de massa é feita por meio de uma equação de regressão linear múltipla, relacionando as perimétricas da região tricípital, abdominal e da panturrilha. Outro

fator relevante na estimativa da massa é o sexo do avaliado, sendo ponderado com o valor 1 (sexo masculino) ou com valor 2 (sexo feminino). A Equação (1) nos mostra os parâmetros para a estimativa de massa. Sendo todos os valores das circunferências das regiões medidas em centímetros, e a massa estimada sendo dada em quilogramas.

$$\text{Peso Estimado} = 0,5759*CT + 0,5263*CA + 1,2452*CP - 4,8689*S - 32,9241 \quad (1)$$

Onde:

CT = circunferência tricípital.

CA = circunferência abdominal.

CP = circunferência da panturrilha.

S = sexo do avaliado.

Com o intuito facilitador, ilustramos na Figura 4 o modelo para a obtenção das circunferências dos músculos e do uso desses valores para estimar a massa do primeiro paciente.

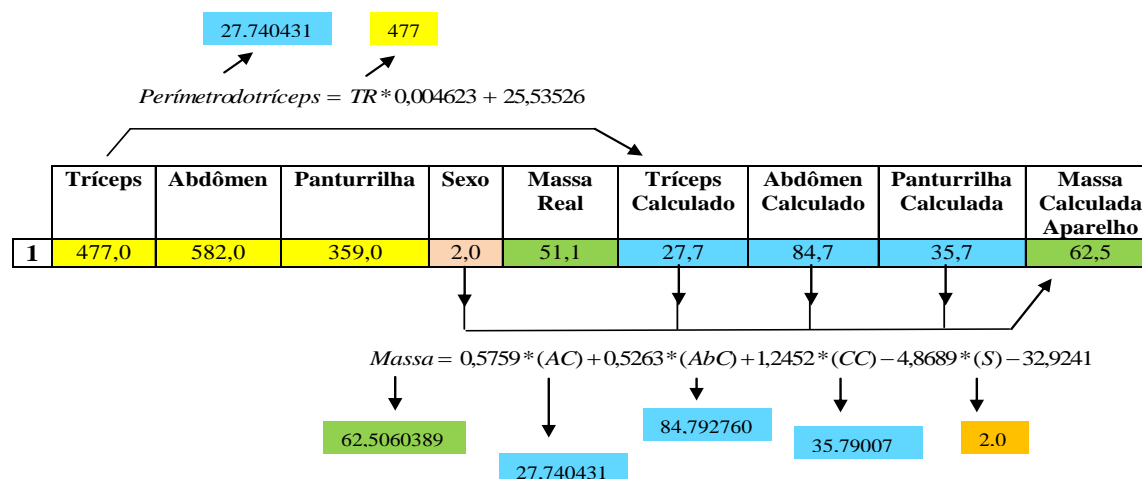


Figura 4 - Exemplo do cálculo da circunferência do tríceps e estimativa de massa por meio da equação da regressão.

A Tabela 1 a seguir ilustra as massas reais dos pacientes, as massas estimadas pelo aparelho e o módulo do percentual de erro.

Tabela 1- Massas reais, massas calculadas usando os parâmetros do conversor A/D e percentuais de erro.

	Massa real (Kg)	Massa estimada (aparelho) (Kg)	Módulo do percentual de erro
1	51,10	62,50603896	22,32101559
2	51,40	63,32538126	23,20113086
3	54,90	63,92548207	16,43985806
4	55,00	60,98115433	10,87482606
5	56,00	64,01021205	14,30395008
6	57,80	63,38433876	9,661485739
7	58,00	63,87678229	10,13238326
8	58,30	62,90623491	7,900917517
9	58,50	63,5054504	8,556325463
10	58,80	63,07563429	7,271486887
11	59,80	64,18639268	7,335104808
12	59,90	64,60541741	7,855454767
13	62,20	63,93035095	2,781914711
14	62,40	64,85642519	3,936578831
15	63,30	64,25335096	1,50608367
16	64,30	69,02160739	7,343090805
17	64,60	69,44911583	7,506371255
18	65,80	63,47298498	3,536496993
19	65,90	64,5201062	2,093920789
20	66,30	64,25100913	3,090483962
21	67,90	69,47744263	2,323185015
22	68,40	67,97635768	0,619360111
23	69,50	70,3821332	1,269256409
24	70,00	70,27797244	0,397103483
25	70,10	68,38913209	2,440610434
26	70,10	63,0835538	10,00919572
27	72,40	69,40986951	4,130014494
28	73,10	70,30440376	3,824345067
29	74,00	64,39140998	12,98458111
30	74,40	69,35850384	6,776204511
31	75,90	69,67708437	8,198834816
32	77,90	64,6070997	17,06405687
33	79,00	69,1049318	12,52540278
34	79,50	69,45310591	12,63760263
35	79,90	69,3635077	13,18709925
36	81,50	69,50731684	14,71494866
37	87,60	71,18887656	18,73415918
38	93,10	69,65642737	25,18106619
39	94,50	68,67782843	27,32504928
40	97,70	69,60346657	28,75796667
Percentual de erro médio:			10,01872307



A linha 20 ilustra uma pessoa com uma massa de 66,3 Kg (massa real do paciente), seguida pela massa encontrada pelo aparelho desenvolvido (64,25 Kg aproximadamente) e o erro aproximado das medidas que é de 3,09 %. Para toda a amostra, foi encontrado um erro médio de aproximadamente 10%.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Analisando a amostra (40 pacientes com massa média de 68,77Kg) podemos concluir que:

A predição da massa utilizando o aparelho teve uma margem de erro (considerada por médicos) pequena nos intervalos entre 59,90Kg e 73,10Kg, com erro médio de aproximadamente 3,8%. Para a mesma amostra, as estimativas de massa utilizando a fita antropométrica obtiveram erro de aproximadamente 6%.

As massas fora desse intervalo, ou seja, valores menores que 59,90 Kg e maiores que 73,10 Kg, a margem de erro das estimativas feitas com o aparelho sobe consideravelmente para 14,52% (erro médio), enquanto que o erro médio calculado com as medidas da fita antropométrica é de 5,34%.

Acredita-se que a proposta de estimativa de massa por impedância pode ser considerada viável, pois obteve erros dentro de um intervalo de confiança (aceitos por especialistas médicos).

No âmbito hospitalar, o uso do aparelho teria grande utilidade na pesagem de pacientes acamados, não causando desconforto no repouso do paciente, e desta forma, os especialistas podem prescrever dosagens mais precisas de medicamentos.

#### **5. REFERÊNCIAS / CITAÇÕES**

ADAM, O. Adam OnDemand Biblioteca de Programas Médicos. Disponível em: <[www.adam.com](http://www.adam.com)> Acesso em: Abril 2009.

BUZZELI, P., PINTAURO, S. Bioelectric Impedance Analysis: Table of contents. Disponível em: <<http://nutrition.uvm.edu/bodycomp/bia/bia-toc.html>> Acesso em: abril 2009.

DAVID, D. The Worlds of David Darling. Disponível em: <[www.daviddarling.info](http://www.daviddarling.info)> Acesso em: abril 2009.

KHALED, M. A., MCCUTCHEON, M. J., REDDY, S., PEARMAN, P. L., HUNTER, G. R., WEINSIER, R. L., (1988) "Electrical impedance in assessing human body composition: the BIA method", American Journal of Clinical Nutrition, vol. 47, p. 789-792.

PETROSKI L.; Edio. Antropometria: técnicas e padronizações. Porto Alegre. Pallotti, 1999.

RABITO, E. I., MILIACH, M. S., MARTINEZ, E. Z., DIEZ, G. R. W., JORDÃO, A. A., MARCHINI, J. C. (2008) "Validation of predictive equations for weight and height using a metric tape", Nutrición Hospitalaria, Madrid, n. 6, vol. 23, p. 614-618.



RODRIGUES, M. N., SILVA, S. C., MONTEIRO, W. D., FARINATTI, P. T. V., (2001) “Estimativa da gordura corporal através de equipamentos de bioimpedância, dobras cutâneas e pesagem hidrostática”, Rev. Bras. Med. Esporte, vol. 7, n. 4.

Triola, “Introdução à Estatística”, 7ª ed., LTC, 1999.

## **BODY MASS ESTIMATOR FOR IMPEDANCE: AN APPLICATION OF REGRESSION ANALYSIS**

***Abstract:** The study and data processing applied to teaching-learning process is an effective method of knowledge to student, may become significant in practical disciplines of Statistics in undergraduate courses. This paper illustrated an application of regression analysis to determine estimates of masses of patients who are in intensive care units (ICU), using for this the process of electrical impedance from the values of circumference of three muscles (triceps, abdomen and calf). After a series of tests, it was possible to estimate the mass of patients with error of about 10% of its actual mass.*

***Key-words:** Estimation of Body Mass, Electrical Impedance, Statistical Process Learning-Teaching*