

Estimativa de Massa Corporal por Bioimpedância Elétrica – Uma Aplicação da Análise de Regressão

Giancarlo de França Aguiar

Engenharia da Computação/Universidade Positivo
giancarl@up.edu.br

Bárbara de Cássia Xavier Cassins Aguiar

Coordenação Regional de Tecnologia na Educação PR-AM Norte
babimat@seed.pr.gov.br

José Carlos da Cunha

Engenharia da Computação/Universidade Positivo
cunha@up.edu.br

Edson Pedro Ferlin

Engenharia da Computação/Universidade Positivo
ferlin@up.edu.br

Ricardo Duarte Ramlow

Engenharia da Computação/Universidade Positivo
rdramlow@hotmail.com.br

Alessandro Zittlau Soncini

Engenharia da Computação/Universidade Positivo
alesbier@bol.com.br

RESUMO

O estudo e tratamento de dados aplicados ao processo de ensino-aprendizagem constituem uma base sólida de conhecimento ao estudante, podendo tornar-se material referência à prática de metodologias de sucesso e motivação a pesquisa. Neste trabalho está ilustrada uma aplicação da Análise de Regressão para determinar estimativas de massa corporal de pacientes que se encontram em unidades de tratamento intensivo (UTI), utilizando para isso o processo de bioimpedância 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: Análise de Regressão; Massa Corporal; Bioimpedância Elétrica.

1. INTRODUÇÃO

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. São eles: tríceps, abdômen e panturrilha.

O estudo pode auxiliar profissionais da área de saúde na estimativa da massa corporal de pacientes que se encontram na UTI, e assim, podendo colaborar 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 bioimpedância (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 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. O sistema proposto foi dividido em dois módulos: um software (decomposto em cálculo da massa, cadastro e controle da conversão dos dados) e um hardware (separado em geração do sinal, tratamento do sinal, micro controlador e display). 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 do 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.

2. METODOLOGIA

Foi desenvolvido em um trabalho de conclusão de curso (Engenharia da Computação da Universidade Positivo) um medidor de massa corpórea (hardware) por bioimpedância. 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). A Figura 1 a seguir ilustra os botões de interface do medidor com o usuário e o display gerador dos resultados do software controlador.



Figura 1: 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 conseqüentemente 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 como metodologia matemática de estimativa. Foram encontradas as equações de regressão individuais segundo as Equações I, II e III a seguir.

$$\hat{y} = b_0 + b_1x \quad (I)$$

$$b_0 = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (II)$$

$$b_1 = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (III)$$

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Contribuíram com a pesquisa 40 pacientes selecionados aleatoriamente, sendo do total, 21 mulheres, (52,5 %) e 19 homens (47,5%). A seleção dos avaliados 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.

O primeiro eletrodo é colocado na parte posterior, logo acima do cotovelo e o segundo eletrodo é colocado na parte interior do braço, posicionado próximo à axila (para o tríceps). As medidas efetuadas pelo aparelho foram parametrizadas da seguinte forma: após a colocação dos eletrodos no paciente 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 e 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. Aciona-se o aparelho sem nenhum dos cabos ligados, fazendo com que a tensão na saída do detector de pico (corrige os sinais transformando-os em sinais constantes, na conversão do sinal analógico em um sinal digital) atinja um valor próximo de zero rapidamente, possibilitando outro teste.

3.2. PERÍMETROS DOS MUSCULOS

A Tabela 1 ilustra as medidas reais (em cm) dos perímetros dos músculos do avaliado usando a fita antropométrica (colunas 2, 3 e 4 em verde claro). As massas reais (em Kg) dos avaliados utilizando uma balança digital (coluna 5 em verde escuro). Os perímetros dos músculos (em cm) utilizando o aparelho (calculados através de regressão linear) (colunas 6, 7 e 8 em azul). As massas (em Kg) calculados pelo aparelho (utilizando a equação de regressão linear múltipla) (coluna 9), e as massas (em Kg) calculados utilizando a equação de regressão linear múltipla (tendo como parâmetro, os valores dos perímetros reais dos músculos) (coluna 10).

Tabela 1: Estudo dos dados amostrais organizados em ordem crescente de massa.

	Tríc. Med.	Abd. Med.	Pant. Med.	Massa Real	Tríc. Cal.	Abd. Cal.	Pant. Cal.	Massa Apar.	Massa Cal.
1	25,00	65,60	34,60	51,10	27,740	84,792	35,790	62,506	49,344
2	25,60	75,00	31,90	51,40	27,421	86,064	36,057	63,325	51,275
3	24,00	68,70	34,50	54,90	27,527	85,733	36,630	63,925	50,275
4	26,10	72,20	33,50	55,00	26,529	83,960	35,477	60,981	52,082
5	26,50	78,00	34,00	56,00	27,393	85,424	36,891	64,010	55,987
6	26,10	79,50	33,20	57,80	27,629	85,016	36,452	63,384	55,550
7	26,70	75,10	37,70	58,00	27,953	86,566	36,043	63,876	59,183
8	26,50	81,50	35,70	58,30	26,298	88,416	35,246	62,906	59,946
9	28,00	78,70	37,60	58,50	26,788	86,959	36,117	63,505	61,702
10	27,00	76,60	36,00	58,80	27,453	87,491	35,239	63,075	58,029
11	24,80	84,30	36,40	59,80	27,074	87,869	36,147	64,186	61,312
12	24,00	68,70	34,80	59,90	27,758	86,103	36,913	64,605	50,649
13	28,60	73,80	37,50	62,20	27,980	86,496	36,102	63,930	59,344
14	27,00	78,00	36,90	62,40	27,865	87,784	36,355	64,856	59,886
15	27,90	73,10	37,80	63,30	28,211	86,434	36,281	64,253	58,946
16	29,00	74,90	34,40	64,30	27,402	87,252	36,229	69,021	61,162
17	28,60	77,00	32,50	64,60	28,401	84,507	37,270	69,449	59,671
18	28,00	76,50	40,00	65,80	27,194	87,244	35,782	63,472	63,533
19	28,50	79,00	38,60	65,90	27,046	86,843	36,861	64,520	63,393
20	28,00	81,00	37,00	66,30	27,333	85,085	37,255	64,251	62,166
21	24,20	76,60	36,50	67,90	28,091	85,463	37,032	69,477	61,908
22	26,90	79,60	36,40	68,40	28,040	85,571	35,804	67,976	64,917
23	27,60	88,00	35,00	69,50	27,513	86,635	37,531	70,382	67,998
24	24,20	76,60	36,50	70,00	28,179	85,656	37,553	70,277	61,908
25	26,90	79,60	36,40	70,10	27,851	85,964	36,057	68,389	64,917
26	30,00	87,50	42,00	70,10	27,282	87,306	35,403	63,083	72,964
27	30,00	92,60	36,70	72,40	27,301	86,974	36,705	69,409	73,918
28	30,40	98,60	38,10	73,10	27,620	86,635	37,419	70,304	79,049
29	34,60	89,70	40,00	74,00	27,629	88,162	35,931	64,391	74,281
30	28,10	93,30	36,40	74,40	28,156	86,627	36,415	69,358	72,818

31	30,00	91,30	36,40	75,90	27,587	86,411	37,025	69,677	72,860
32	32,20	92,70	39,00	77,90	28,013	84,191	37,605	64,607	73,232
33	30,60	78,40	36,80	79,00	26,908	87,159	36,563	69,104	66,914
34	29,20	91,40	38,00	79,50	28,156	84,114	37,553	69,453	74,444
35	31,50	90,00	41,00	79,90	27,24	88,038	36,243	69,363	78,768
36	29,00	96,50	36,60	81,50	27,499	86,758	36,787	69,507	75,270
37	34,00	95,00	38,80	87,60	28,481	86,897	37,642	71,188	80,099
38	34,40	108,2	41,60	93,10	27,990	86,689	36,705	69,656	90,763
39	29,40	94,50	35,40	94,50	27,430	85,987	36,474	68,677	72,953
40	33,30	103,4	40,00	97,70	28,156	84,769	37,397	69,603	85,611

Na Tabela 2 podemos observar a média das larguras dos músculos estudados (valores medidos com a fita antropométrica). As massas estimadas pelo aparelho são aquelas onde os valores de entrada são convertidos pelo conversor A/D (dispositivo eletrônico capaz de gerar uma representação digital (ex. seqüência de números binários) através de uma grandeza analógica (sinal emitido por bioimpedância)). As massas calculadas usam os valores das medidas das circunferências medidas para estimar a massa.

Tabela 2: Média dos valores amostrais.

Dados	Média
Tríceps	28,31 cm
Abdômen	83,02 cm
Panturrilha	36,81 cm
Massa real	68,77 Kg
Massa estimada (aparelho)	66,45 Kg
Massa estimada (calculado)	65,48 Kg

Para a transformação dos dados observados no aparelho, em valores antropométricos dos perímetros dos músculos, foi utilizada a análise de regressão linear. No caso do tríceps, a reta de regressão linear encontrada é dada pela Equação (IV), mostrada a seguir.

$$\text{Perímetro do Tríceps} = 0,004623 * TR + 25,53526 \quad (\text{IV})$$

Esta equação de regressão linear resulta no perímetro do músculo, utilizando para isto, o valor do tríceps proveniente do conversor A/D. TR é a variável que possui o valor do conversor A/D referente ao tríceps. A Tabela 3 a seguir ilustra o valor do conversor A/D, o valor medido com a fita antropométrica e finalmente o valor calculado utilizando a Equação (IV) para os cinco primeiros pacientes.

Tabela 3: Valor do conversor A/D, medida real (perímetro do músculo) e valor calculado do tríceps.

	Tríceps (TR) Valor Conversor A/D	Tríceps medido (cm)	(Perímetro do Tríceps) Tríceps calculado (cm)
1	477,00	25,00	27,740431
2	408,00	25,60	27,421444
3	431,00	24,00	27,527773
4	215,00	26,10	26,529205
5	402,00	26,50	27,393706

O abdômen resultou na Equação (V) de regressão linear a seguir. Esta equação resulta no perímetro do músculo, utilizando para isto, o valor do abdômen proveniente do conversor A/D. AB é a variável que possui o valor do conversor A/D referente ao abdômen.

$$\text{Perímetro do Abdômen} = -0,00771 * AB + 89,27998 \quad (\text{V})$$

É possível observar na Tabela 4 o valor do conversor A/D para o abdômen, o valor medido com a fita antropométrica e o valor calculado utilizando a Equação (V) para os cinco primeiros pacientes.

Tabela 4: Valor do conversor A/D, medida real (perímetro do músculo) e valor calculado do abdômen.

	Abdômen (AB)	Abdômen medido (cm)	(Perímetro abdominal) Abdômen calculado (cm)
1	582,00	65,60	84,792760
2	417,00	75,00	86,064910
3	460,00	68,70	85,733380
4	690,00	72,20	83,960080
5	500,00	78,00	85,424980

Para a panturrilha temos a seguinte Equação (VI) de regressão linear.

$$\text{Perímetro da Panturrilha} = 0,00744 * PT + 33,11911 \quad (\text{VI})$$

Esta equação de regressão linear resulta no perímetro do músculo, utilizando para isto, o valor da panturrilha proveniente do conversor A/D. PT é a variável que possui o valor do conversor A/D referente à panturrilha. Na Tabela 5 temos o valor do conversor A/D para a panturrilha, o valor medido com a fita antropométrica e o valor calculado utilizando a Equação (VI) para os cinco primeiros pacientes.

Tabela 5: Valor do conversor A/D, medida real (perímetro do músculo) e valor calculado da panturrilha.

	Panturrilha (PT)	Panturrilha medida (cm)	(Perímetro da panturrilha) Panturrilha calculada (cm)
1	359,00	34,60	35,79007
2	395,00	31,90	36,05791
3	472,00	34,50	36,63079
4	317,00	33,50	35,47759
5	507,00	34,00	36,89119

3.3. ESTIMATIVA DE MASSA DOS PACIENTES

O cálculo da estimativa de massa corpórea 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 do peso é o sexo do avaliado, sendo

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

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

Onde: CT = circunferência tricípital; CA = circunferência abdominal; CP = circunferência da panturrilha e S = sexo do avaliado.

Na Tabela 6 a seguir foram ilustrados as massas reais dos pacientes, as massas estimadas pelo aparelho e o módulo do percentual de erro.

Tabela 6: Pesos reais, pesos calculados 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

Encontramos para a amostra avaliada, um erro percentual médio de aproximadamente 10%. Na Tabela 7 podemos observar as massas reais dos pacientes, a massa estimada por análise de regressão utilizando as circunferências medidas com fita antropométrica e o módulo do percentual de erro.

Tabela 7: Massas reais, massas calculadas usando as circunferências das regiões medidas com a fita antropométrica e o percentual de erro.

	Massa real (Kg)	Massa estimada (calculado) (Kg)	Módulo do percentual de erro
1	51,10	49,3448	3,434833659
2	51,40	51,27552	0,242178988
3	54,90	50,27591	8,422750455
4	55,00	52,08215	5,305181818
5	56,00	55,98765	0,022053571
6	57,80	55,55058	3,891730104
7	58,00	59,1838	2,041034483
8	58,30	59,94654	2,824253859
9	58,50	61,70263	5,474581197
10	58,80	58,02918	1,310918367
11	59,80	61,31279	2,529749164
12	59,90	50,64947	15,44328881
13	62,20	59,34478	4,590385852
14	62,40	59,88668	4,02775641
15	63,30	58,9468	6,877093207
16	64,30	61,16285	4,878926905
17	64,60	59,67184	7,62873065
18	65,80	63,53325	3,444908815
19	65,90	63,39367	3,80323217
20	66,30	62,166	6,235294118
21	67,90	61,90816	8,824506627
22	68,40	64,91747	5,091418129
23	69,50	67,99824	2,160805755
24	70,00	61,90816	11,55977143
25	70,10	64,91747	7,393052782
26	70,10	72,96475	4,086661912
27	72,40	73,91822	2,09698895
28	73,10	79,04966	8,139069767
29	74,00	74,28135	0,380202703
30	74,40	72,81886	2,125188172
31	75,90	72,86047	4,004650856
32	77,90	73,23289	5,991155327
33	79,00	66,91482	15,2976962
34	79,50	74,4447	6,358867925
35	79,90	78,76805	1,416708385
36	81,50	75,27037	7,643717791

37	87,60	80,09986	8,561803653
38	93,10	90,76394	2,509194415
39	94,50	72,95389	22,8001164
40	97,70	85,61189	12,37268168
Percentual de erro médio:			5,781078537

A estimativa da massa corporal quando calculada utilizando os valores medidos com fita antropométrica resultou em um erro médio de aproximadamente 5,7%.

4. CONCLUSÕES

De acordo com a amostra (40 avaliados com massa média de 68,77Kg) podemos concluir que:

A predição da massa corporal 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 bioimpedância pode ser considerada viável, pois obteve erros dentro de um intervalo de confiança (sugerido por especialistas médicos).

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

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, G. F. et AL. Memorização x Aprendizagem: uma aplicação de equações diferenciais. XXXII CNMAC, UFMT, Cuiabá, 2009.

BUZZELI, P., PINTAURO, S. Bioelectric Impedance Analysis: Table of contents. Disponível em: <<http://nutrition.uvm.edu/bodycomp/bia/bia-toc.html>>, <<http://www.daviddarling.info>>, <<http://www.adam.com>> e <<http://www.msd-brazil.com>> Acesso em: abril 2009.

HALKIAS, C. C.; MILLMAN, J. Eletrônica: Dispositivos e Circuitos. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981.

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

RABITO I. E. Validation of predictive equations for weight and height using a metric tape. Nutrición Hospitalaria [s.l], 2008.

TRIOLA, M. F. Introdução à Estatística. 9ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2005