

Respostas eletromiográficas induzidas pelo isolamento e pela imersão sobre os eletrodos de superfície

Cristine L. Alberton
Eduardo M. Silva
Eduardo L. Cadore
Marcelo Coertjens
Paulo O. Beyer
Luiz F. Marocco
Luiz F.M. Kruel

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre
Rio Grande do Sul
Brasil

<https://doi.org/10.5628/rpcd.08.03.330>

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi verificar alterações no sinal eletromiográfico (EMG) durante contrações isométricas realizadas nos meios aquático e terrestre. Oito mulheres (23 ± 1 anos) realizaram contrações isométricas voluntárias máximas em um dinamômetro isocinético para o registro do pico do torque dos extensores do joelho e do sinal EMG do músculo vasto lateral (flexão do joelho em 90°) com e sem isolamento sobre os eletrodos de superfície. Em seguida, outra contração voluntária máxima foi realizada contra resistência fixa nos meios terrestre e aquático. Para a análise estatística utilizou-se o Teste T pareado, com $\alpha=0,05$ (SPSS versão 11.0). Nenhuma diferença significativa foi encontrada entre os valores rmsEMG para o vasto lateral nas situações com ($0,560 \pm 0,118$ mV) e sem ($0,538 \pm 0,110$ mV) isolamento ($p=0,306$), para valores de pico de torque similares ($p=0,191$). Os mesmos resultados foram encontrados comparando os meios terrestre ($0,428 \pm 0,054$ mV) e aquático ($0,388 \pm 0,105$ mV) ($p=0,446$). O uso de adesivos resistentes à água não alterou o sinal EMG. Além disso, não houve diferenças nos valores rmsEMG durante a contração voluntária máxima realizada nos meios aquático e terrestre, sugerindo que o meio não influenciou a amplitude do rmsEMG.

Palavras-chave: electromiografia, imersão, isolamento.

ABSTRACT

Electromyographic responses induced by superficial electrodes isolation and by immersion

The objective of the present study was to verify the electromyographic (EMG) signal alterations during isometric actions performed in water and on land. Firstly, 8 women (23 ± 1 yrs) performed maximal voluntary isometric actions in a isokinetic dynamometer to record the peak torque for knee extensors and the EMG signal of the vastus lateralis muscle (90° knee flexion) with and without superficial electrodes isolation. Subsequently, another maximal isometric action was performed against fixed resistance on land and in water immersion. For statistical analysis a paired T-Test was used, with $\alpha=0.05$ (SPSS vs 11.0). No significant difference was found between vastus lateralis rmsEMG values for situations with (0.560 ± 0.118 mV) and without (0.538 ± 0.110 mV) isolation ($p=0.306$), for similar peak torque values ($p=0.191$). The same results were found comparing on land (0.428 ± 0.054 mV) and in water immersion (0.388 ± 0.105 mV) situations ($p=0.446$). The water-resistant adhesive taping did not alter the EMG signal. Based in this finding, we found no differences on rmsEMG values during maximal isometric actions performed both in water and on land, suggesting that the environment did not influence the rmsEMG amplitude.

Key-words: electromyography, immersion, isolation

INTRODUÇÃO

A eletromiografia caracteriza-se pelo estudo da função muscular através do sinal elétrico enviado pelo músculo (1) e tem sido amplamente utilizada na busca pela quantificação do somatório dos potenciais de ação muscular. No meio aquático, muitos estudos têm sido desenvolvidos para avaliar a ativação muscular, através da análise do sinal eletromiográfico (EMG), em diversos tipos de modalidades, tais como natação^(6,21,28), caminhada aquática^(2,5,12,14,15,16,17,29) e exercícios de hidroginástica ou hidroterapia^(1,13,18,23,24).

Vários estudos na literatura, que procuraram comparar as respostas EMG entre os meios aquático e terrestre, referem valores mais baixos para o meio aquático nas diferentes musculaturas analisadas, tanto em exercícios dinâmicos^(13,14,15,17,18) como em exercícios isométricos^(9,22,25). No entanto, recentemente, as pesquisas de Rainoldi *et al.*⁽²⁶⁾ e Veneziano *et al.*⁽³⁰⁾ mostraram que a amplitude do sinal EMG pode ser semelhante entre os meios aquático e terrestre, quando alguns fatores são controlados, tais como tipo de protocolo, temperatura da pele, que reflete a temperatura muscular e utilização de isolamento adequado sobre os eletrodos.

De acordo com o estudo de Benfield *et al.*⁽⁴⁾ e Rainoldi *et al.*⁽²⁶⁾, a utilização de isolamento sobre os eletrodos de superfície para as coletas realizadas no meio líquido é de fundamental importância, uma vez que o movimento da água sobre os eletrodos pode introduzir artefatos de baixas frequências no sinal EMG. Logo, a utilização de adesivos, que impedem a entrada e contato da água com os eletrodos, é a melhor solução para manter inalterada a frequência e a amplitude do sinal EMG.

Todavia, a utilização desses adesivos pode introduzir diferenças na pressão do eletrodo contra a pele e no volume muscular sob os eletrodos, resultando, conseqüentemente, em possíveis diferenças no sinal EMG devido a sua utilização⁽³⁰⁾. Assim, o objetivo do presente estudo foi verificar a resposta da amplitude do sinal EMG do músculo Vasto Lateral durante a contração isométrica voluntária máxima dos extensores do joelho com e sem a utilização de isolamento sobre os eletrodos de superfície no meio terrestre, e comparar as respostas obtidas no meio terrestre com as respostas no meio aquático.

METODOLOGIA

Amostra

A amostra do presente estudo foi composta por oito mulheres jovens fisicamente ativas, com idades entre 20 e 25 anos, estudantes da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), sem limitações músculo-esqueléticas. Os indivíduos foram convidados a participar do estudo, após a explicação de todos os procedimentos experimentais e esclarecimento de dúvidas. Para tanto, foi solicitado que permanecessem por um período de 24 horas prévio à sessão de coleta sem praticar exercícios intensos. Os dados de caracterização da amostra estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Médias e desvios padrão ($\bar{X} \pm DP$) das variáveis de caracterização da amostra idade, massa corporal, estatura e massa gorda.

	Idade (anos)	Massa corporal (kg)	Estatura (cm)	Massa gorda (%)
$\bar{X} \pm DP$	23,13 \pm 1,13	58,03 \pm 8,07	1,60 \pm 0,07	27,42 \pm 3,72

Preparação dos indivíduos

A sessão de avaliação foi realizada no Laboratório de Pesquisa do Exercício da UFRGS. Inicialmente, um termo de consentimento foi assinado, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS.

Posteriormente, foram mensuradas a massa corporal e a estatura com uma balança analógica (resolução de 0,1 kg) e um estadiômetro (resolução de 1 mm), respectivamente, ambos da marca *FILIZOLA*. A densidade corporal (DC) foi medida com um plicômetro da marca *LANGE* (resolução 1 mm) e estimada utilizando-se o protocolo de dobras cutâneas propostos por Jackson *et al.*⁽¹¹⁾. Posteriormente, a composição corporal foi estimada por meio da fórmula de Siri *apud* Heyward e Stolarczyk⁽¹⁰⁾.

Para o posicionamento dos eletrodos foram realizadas a depilação da pele dos indivíduos e a limpeza com abrasão de algodão com álcool na superfície muscular de interesse. Esse procedimento foi realizado para remoção de células mortas e diminuição da impedância da pele. A seguir, eletrodos de superfície, com 15 mm de raio, pré-amplificados com configuração bipolar modelo *Mini Medi-Trace 100*, da marca *KENDALL MEDI-TRACE*, foram posicionados no ventre muscular do Vasto Lateral (VL), a 2 cm

Figura 1.
Posicionamento dos
eletrodos [A] e técnica
do isolamento [B].



abaixo do ponto motor, identificado por um eletroestimulador (*EGF 4030, CARCI*), de acordo com as recomendações de Rainoldi *et al.*⁽²⁷⁾. A distância entre o centro dos eletrodos foi mantida em 30 mm. O nível de resistência entre os eletrodos foi controlado antes de cada sessão com um multímetro digital (*DT-830B, Smart*), e mantido abaixo de 3000 Ohms⁽¹⁹⁾. Um eletrodo de referência foi posicionado na face anterior da clavícula.

Para os testes realizados com isolamento, foram colocados sobre os eletrodos de superfície adesivos oclusivos transparentes (*1634W e 1636W, TEGADERM, 3M*) conforme metodologia descrita por Figueiredo *et al.*⁽⁸⁾. Na saída dos cabos foi colocada cola de silicone transparente (*Loctite Super Flex*) para impedir a entrada de água. Os cabos, assim como os pré-amplificadores foram fixados com fita adesiva (*Silver Tape, 3M*) para minimizar as interferências no sinal que podem ocorrer devido ao movimento dos mesmos. Esses procedimentos podem ser visualizados na Figura 1.

Protocolo de testes

Inicialmente, os sujeitos realizaram um protocolo de testes em um dinamômetro isocinético (*Cybex Norm, Lumex & Co.*), com coleta dos valores de pico de torque e amplitude do sinal eletromiográfico nas situações sem (*SEM*) e com (*COM*) isolamento sobre os eletrodos de superfície. Para tanto, o eixo de rotação do dinamômetro foi alinhado com a articulação do joelho dos indivíduos, que eram mantidos na posi-

ção sentada com o quadril e joelhos em flexão de 90°, fixados com faixas de velcro. Este protocolo consistiu em 3 séries de contração isométrica voluntária máxima (*CIVM*) dos extensores do joelho direito, com duração de 5 segundos⁽⁷⁾ e 60 segundos de intervalo entre séries. Este protocolo pode ser visualizado na Figura 2-A.

O torque muscular foi obtido através dos valores registrados pelo dinamômetro e transmitido para um conversor analógico-digital. Esse transmitia os dados para uma placa de aquisição, possibilitando o armazenamento dos dados e permitindo a visualização on-line das avaliações. O *software* *HUMAC* foi utilizado para essa coleta.

Após um intervalo de 5 minutos, o mesmo protocolo foi realizado fora do dinamômetro com a coleta dos valores de EMG. Três séries de *CIVM* dos extensores do joelho foram realizadas contra resistência fixa no meio terrestre (*TERRA*) e no meio aquático (*ÁGUA*), com a utilização de isolamento sobre os eletrodos de superfície. Os ângulos do quadril e do joelho foram medidos com um goniômetro de acrílico à prova d'água (*CARCI*) e mantidos iguais aos dos testes realizados no dinamômetro.

Para o teste no meio aquático, os indivíduos permaneciam sentados, imersos até a cicatriz umbilical, num tanque de fibra de vidro (250 l) isolado termicamente. A temperatura de imersão foi de 30°C, controlada através de um termostato eletrônico (*Novus N320*) e mantida por um aparelho de ar condicionado adaptado de 14.000 btus (*14R23CR*,

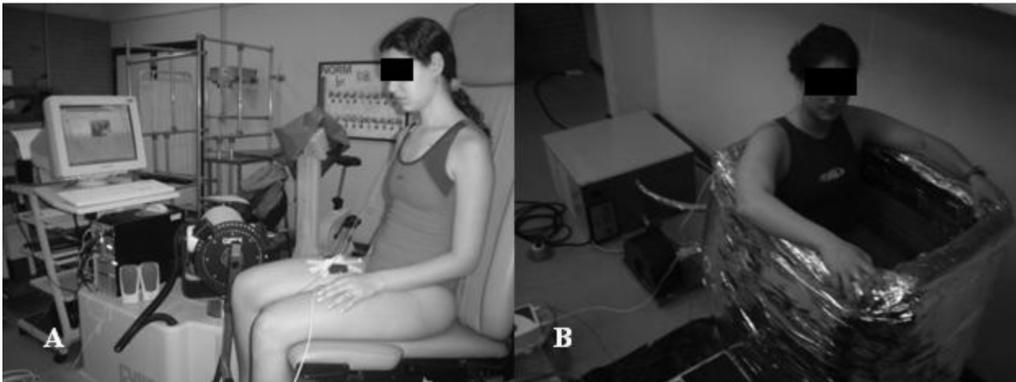


Figura 2. Protocolo de testes no dinamômetro isocinético (A) e no tanque de imersão (B).

Springer Admiral), cujo evaporador foi trocado por um chiller para refrigeração e aquecimento da água. Esse protocolo pode ser visualizado na Figura 2-B. Para a aquisição dos dados eletromiográficos em todos os testes foi utilizado um eletromiógrafo composto por um sistema de 4 canais, com frequência de amostragem de 2000 Hz por canal (*Miotool 400, MIOTEC Equipamentos Biomédicos*). Os dados coletados foram transmitidos para um computador via porta USB. O *software* MIOGRAPH foi utilizado para essas coletas.

Tratamento dos dados

Das três CIVM's realizadas, a contração com o valor mais alto de torque foi selecionada para a análise dos dados. O valor de pico de torque foi utilizado para a análise estatística.

O sinal EMG captado pelo eletromiógrafo gravado no *software* MIOGRAPH foi exportado para posterior análise no *software* SAD32. Foi realizada a filtragem digital do sinal utilizando-se um filtro do tipo passa-banda *Butterworth*, de 5ª ordem, com frequências de corte entre 25 e 500 Hz. O sinal correspondente a cada uma das CIVM's selecionada (total de 5 segundos) foi recortado entre os tempos 2 e 4 segundos (descartando-se os dois primeiros e o último segundos) para a obtenção do valor *root mean square* (RMS) nessa janela de 2 segundos (20).

Análise Estatística

Para a verificação da normalidade dos dados foi realizado o teste de Shapiro-Wilk. A partir desses resultados, testes paramétricos foram utilizados para as análises subsequentes. Para a comparação do valor RMS do sinal EMG da CIVM do músculo VL e do torque dos extensores do joelho entre a situação SEM e COM foi utilizado o teste-T pareado. Para verificar a correlação de cada uma dessas variáveis entre estas duas situações utilizou-se o Teste de Correlação intra-classe de Pearson. Para a comparação do valor RMS do sinal EMG da CIVM do músculo VL entre as situações TERRA e ÁGUA utilizou-se o Teste-T pareado. O índice de significância adotado para todos os testes foi de $\alpha=0,05$ e o pacote estatístico utilizado foi o SPSS versão 11.0.

RESULTADOS

Os resultados referentes à comparação do valor RMS do sinal EMG da CIVM do músculo VL e do pico de torque dos extensores do joelho entre as situações SEM e COM no meio terrestre demonstram não haver diferenças significativas induzidas pelo uso de isolamento nessas variáveis (Quadro 2). Ao mesmo tempo, as Figuras 3 e 4 apresentam os coeficientes de correlação fortes e significativos encontrados entre essas duas situações.

Quadro 2. Médias e desvios-padrão ($X \pm DP$) dos valores root mean square do músculo Vasto Lateral e pico de torque dos extensores do joelho entre as situações sem e com isolamento sobre os eletrodos de superfície.

	SEM $X \pm DP$	COM $X \pm DP$	Sig.
RMS VL (mV)	0,560 \pm 0,118	0,538 \pm 0,110	0,306
Torque (Nm)	132,50 \pm 16,90	126,50 \pm 20,15	0,191

Nota: RMS VL – valor root mean square do sinal eletromiográfico do músculo vasto lateral; SEM – situação sem isolamento sobre os eletrodos de superfície; COM – situação com isolamento sobre os eletrodos de superfície.

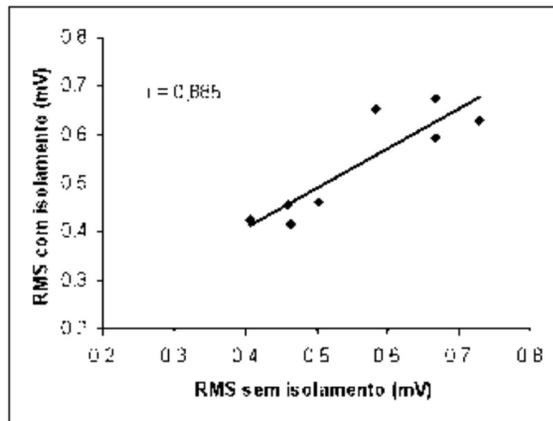


Figura 3. Correlação para o valor root mean square (RMS) do sinal eletromiográfico na contração isométrica voluntária máxima do músculo Vasto Lateral entre as situações sem isolamento e com isolamento.

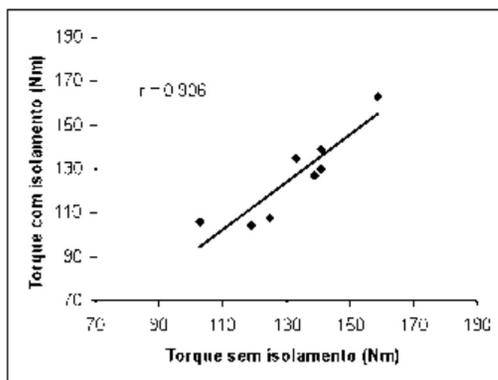


Figura 4. Correlação para os valores de pico de torque na contração isométrica voluntária máxima dos extensores do joelho no dinamômetro entre as situações sem isolamento e com isolamento.

Já o Quadro 3 apresenta os resultados da comparação entre os meios TERRA e ÁGUA, mostrando também não haver diferenças significativas para a atividade EMG induzidas pela imersão.

Quadro 3. Médias e desvios-padrão ($X \pm DP$) do valor root mean square do músculo Vasto Lateral entre as situações com isolamento no meio terrestre e com isolamento no meio aquático.

	TERRA $X \pm DP$	ÁGUA $X \pm DP$	Sig.
RMS VL (mV)	0,428 \pm 0,054	0,388 \pm 0,105	0,446

Nota: RMS VL – valor root mean square do sinal eletromiográfico do músculo vasto lateral; TERRA – situação com isolamento sobre os eletrodos de superfície no meio terrestre; ÁGUA – situação com isolamento sobre os eletrodos de superfície no meio aquático.

DISCUSSÃO

Ainda não existe um consenso acerca das respostas EMG obtidas durante exercícios realizados no meio aquático quando comparadas aos mesmos exercícios no meio terrestre. Conforme a literatura pesquisada, muitos estudos encontraram valores mais baixos da amplitude do sinal eletromiográfico no meio líquido quando comparado ao meio terrestre^(9,13,14,15,17,18,22,25), independente deste ter sido coletado com eletrodos de superfície à prova d'água ou isolados com adesivos oclusivos.

Um estudo recente de Rainoldi *et al.*⁽²⁶⁾ sugere que a utilização de isolamento sobre os eletrodos de superfície para as coletas realizadas no meio líquido é a melhor solução para manter inalteradas a frequência e a amplitude do sinal EMG. Nesse estudo, a ativação muscular do músculo bíceps braquial a 50% da CVM foi comparada entre as condições terra sem isolamento, água sem isolamento e água com isolamento. Uma redução estatisticamente significativa foi observada em todas as variáveis EMG analisadas no exercício realizado no meio aquático sem a utilização de adesivos oclusivos. Já, o mesmo realizado com a técnica do isolamento, impedindo a entrada e contato da água com os eletrodos, obteve respostas EMG semelhantes entre os meios aquático e terrestre.

Entretanto, a utilização desses adesivos poderia resultar em possíveis diferenças no sinal EMG, devido à introdução de diferenças na pressão do eletrodo contra a pele e no volume muscular sob os eletro-

dos⁽³⁰⁾. Esses fatores poderiam prejudicar as comparações entre os meios, uma vez que no meio terrestre os exercícios são realizados sem a utilização de isolamento. Logo, para evitar a possibilidade dessa influência externa, realizamos no presente estudo a comparação do valor RMS do músculo Vasto Lateral na contração isométrica voluntária máxima dos extensores do joelho entre as situações com e sem a utilização da técnica de isolamento sobre os eletrodos de superfície, para valores semelhantes de torque. Os resultados observados mostraram não haver diferenças estatisticamente significativas entre as duas situações, com coeficientes de correlação fortes e significativos. Esse fato sugere que a comparação do RMS do sinal EMG entre os meios pode ser realizada, independentemente de no meio terrestre os eletrodos estarem ou não isolados.

A seguir, realizou-se a análise comparativa da CIVM do músculo Vasto Lateral entre os meios aquático e terrestre com a utilização de isolamento. Os indivíduos foram mantidos na mesma posição em ambos os testes, que foram realizados contra resistência fixa, e as respostas da atividade elétrica muscular medida pelo RMS mostraram-se semelhantes entre os meios.

Ao comparar os meios, vários estudos na literatura referem valores mais baixos para o meio aquático quando comparado com o meio terrestre em exercícios dinâmicos^(13,14,15,17,18). Este fato pode ser justificado pelos diferentes exercícios e protocolos utilizados em cada uma das pesquisas. Em exercícios isométricos, parte dos estudos também sugere uma redução significativa do sinal EMG, para as diversas musculaturas analisadas, quando todo o corpo é imerso^(9,22,25).

Entretanto, estudos recentes mostraram que com a imersão parcial do membro correspondente à musculatura analisada, a amplitude do sinal EMG pode ser semelhante entre os meios aquático e terrestre em contrações isométricas^(26,30). Veneziano *et al.*⁽³⁰⁾ sugerem que essa resposta semelhante pode ser encontrada entre os meios quando alguns fatores são controlados, tais como tipo de protocolo, temperatura da pele, que reflete a temperatura muscular e utilização de isolamento adequado sobre os eletrodos. Os resultados encontrados no presente estudo corroboram com os achados dos autores supracitados. É

importante salientar que foi utilizada a metodologia de isolamento proposta por Figueiredo *et al.*⁽⁸⁾, que se mostrou eficiente, impedindo a entrada de água nos eletrodos. A temperatura da água também foi controlada, sendo mantida sempre em 30°C, para manter uma temperatura muscular constante. Por fim, o protocolo de testes foi exatamente o mesmo nos dois meios, com a CIVM realizada contra resistência fixa. Além disso, o corpo foi imerso até a cicatriz umbilical, sugerindo que não é necessário imergir somente o membro utilizado no exercício para que essas respostas semelhantes entre os meios sejam possíveis. Cabe salientar, todavia, que durante a comparação do sinal EMG dentro e fora da água houve uma ausência de controle de torque, o que não garante que a força produzida entre os meios seja a mesma.

De acordo com os resultados da literatura e do presente estudo, parece-nos poder concluir-se que o registro da atividade EMG em coletas realizadas no meio aquático deve ser realizado com a utilização de isolamento sobre os eletrodos de superfície, visto que a amplitude do sinal coletado nessa pesquisa foi semelhante entre os meios. Além disso, a utilização de adesivos sobre os eletrodos manteve o RMS do sinal EMG inalterado, mostrando que as coletas aquáticas podem ser comparadas às terrestres, independentemente de estas serem realizadas com ou sem isolamento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro do CNPq-UFRGS, Brasil.

CORRESPONDÊNCIA

Cristine Lima Alberton

Grupo de Pesquisa em Atividades Aquáticas e Terrestres

Laboratório de Pesquisa do Exercício

Escola de Educação Física

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Rua Felizardo, 750 – Bairro Jardim Botânico – CEP

90690-200 – Porto Alegre/RS

Telefone: 0055 (51) 3308-5820

E-mail: tinialberton@yahoo.com.br

REFERÊNCIAS

1. Alberton CL, Black GL, Vendrusculo AP, Brentano MA, Borges Jr NG, Kruehl LFM (2006). Muscle activation in water exercise: Agonist and antagonist action with or without resistive equipment. *Rev Port Cienc Desp* 6(Supl.1): 71.
2. Barela AMF, Stolf SF, Duarte M (2006). Biomechanical characteristics of adults walking in shallow water and on land. *J Electromyogr Kinesiol* 16: 250-256.
3. Basmajian JV, DeLuca CJ (1985). *Muscle Alive: their function revealed by electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins.
4. Benfield RD, Newton ER, Hortobágyi T (2007). Waterproofing EMG instrumentation. *Biol Res Nurs* 8(3): 195-201.
5. Chevutschi A, Linsel G, Vaast D, Thevenon A (2007). An electromyographic study of human gait both in water and on dry ground. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 26(4): 467-473.
6. Clarys JP (1985). Hydrodynamics and electromyography: ergonomics aspects in aquatics. *Appl Ergon* 16(1): 11-24.
7. DeLuca CJ (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *J Appl Biomech* 13: 135-163.
8. Figueiredo PAP, Borges Jr NG, Tartaruga LAP, Kruehl LFM (2006). Methodology of isolate the system to collect EMG signal in the water. *AEA Aquatic Fitness Journal* 3(1): 32.
9. Fujisawa H, Suenaga N, Minami A (1998). Electromyographic study during isometric exercise of the shoulder in head-out water immersion. *J Shoulder Elbow Surg* 7: 491-494.
10. Heyward VH, Stolarczyk LM (2000). *Avaliação da composição corporal aplicada*. São Paulo: Manole.
11. Jackson AS, Pollock ML, Ward A (1980). Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc* 12: 175-182.
12. Kaneda K, Wakabayashi H, Sato D, Nomura T (2007). Lower extremity muscle activity during different types and speeds of underwater movement. *J Physiol Anthropol* 26(2): 197-200.
13. Kelly BT, Roskin LA, Kirkendall DT, Speer KP (2000). Shoulder muscle activation during aquatic and dry land exercises in nonimpaired subjects. *J Orthop Sports Phys Ther* 30(4): 204-210.
14. Masumoto K, Takasugi S, Hotta N, Fujishima K, Iwamoto Y (2004). Electromyographic analysis of walking in water in healthy humans. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 23(4): 119-127.
15. Masumoto K, Takasugi S, Hotta N, Fujishima K, Iwamoto Y (2005). Muscle activity and heart rate response during backward walking in water and on dry land. *Eur J Appl Physiol* 94: 54-61.
16. Masumoto K, Shono T, Takasugi S, Hotta N, Fujishima K, Iwamoto Y (2007). Age-related differences in muscle activity, stride frequency and heart rate response during walking in water. *J Electromyogr Kinesiol* 17: 596-604.
17. Miyoshi T, Shirota T, Yamamoto S, Nakazawa K, Akai M (2004). Effect of the walking speed to the lower limb joint angular displacements, joint moments and ground reaction forces during walking in water. *Disabil Rehabil* 26(12): 724-732.
18. Müller ESM, Black GL, Figueiredo PP, Kruehl LFM, Hanish C, Appell HJ (2005). Comparação eletromiográfica do exercício abdominal dentro e fora da água. *Rev Port Cienc Desp* 5(3): 255-265.
19. Narici MV, Roi GS, Landoni L, Minetti AE, Cerretelli P (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol* 59: 310-319.
20. Pinciviero DM, Green RC, Mark JD, Campy RM (2000). Gender and muscle differences in EMG amplitude and median frequency, and variability during maximal voluntary contractions of the quadriceps femoris. *J Electromyogr Kinesiol* 10:189-196.
21. Pink M, Perry J, Browne A, Scovazzo ML, Kerrigan J (1991). The normal shoulder during freestyle swimming: An electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles. *Am J Sports Med* 19(6): 569-576.
22. Pöyhönen T, Keskinen KL, Hautala A, Savolainen J, Mälikä E (1999). Human isometric force production and electromyogram activity of knee extensor muscles in water and on dry land. *Eur J Appl Physiol* 80: 52-56.
23. Pöyhönen T, Kyrolainen H, Keskinen KL, Hautala A, Savolainen J, Mälikä E (2001a). Neuromuscular function during therapeutic knee exercise under water and on dry land. *Arch Phys Med Rehabil* 82: 1446-1452.
24. Pöyhönen T, Kyrolainen H, Keskinen KL, Hautala A, Savolainen J, Mälikä E (2001b). Electromyographic and kinematic analysis of therapeutic knee exercises under water. *Clin Biomech* 16: 496-504.
25. Pöyhönen T, Avela J (2002). Effect of head-out water immersion on neuromuscular function of the plantar flexor muscles. *Aviat Space Environ Med* 73(12): 1215-1218.
26. Rainoldi A, Cescon C, Bottin A, Casale R, Caruso I (2004a). Surface EMG alterations induced by underwater recording. *J Electromyogr Kinesiol* 14: 325-331.
27. Rainoldi A, Melchiorri G, Caruso I (2004b). A method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles. *J Neurosci Methods* 134: 37-43.
28. Ruwe PA, Pink M, Jobe FW, Perry J, Scovazzo ML (1994). The normal and the painful shoulders during the breaststroke: Electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles. *Am J Sports Med* 22(6): 789-796.
29. Shono T, Masumoto K, Fujishima K, Hotta N, Ogaki T, Adachi T (2007). Gait patterns and muscle activity in the lower extremities of elderly women during underwater treadmill walking against water flow. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 26(6): 579-586.
30. Veneziano WH, Rocha AF, Gonçalves CA, Pena AG, Carmo JC, Nascimento FAO, Rainoldi A (2006). Confounding factors in water EMG recordings: an approach to a definitive standard. *Med Biol Eng Comput* 44: 348-351.