

SOBRECARGA MECÂNICA NAS ARTICULAÇÕES DOS MEMBROS INFERIORES DURANTE DIFERENTES ESQUIVAS DA CAPOEIRA

Luiz Carlos dos Santos Gomes Sobrinho, M.Sc. (Instrutor Cao)
Karlsruhe Institut of Technology (KIT), Alemanha
caocapoeira@gmail.com

INTRODUÇÃO

A capoeira está difundida atualmente em todo o mundo. Há controvérsias sobre a origem desta arte-luta e muitos historiadores, assim como etnólogos discutem a sua origem exata (ASSUNÇÃO, 2005; DOWNEY, 2005; ESSIEN, 2008; LEWIS, 1992). A maioria das publicações que abordam a história e as origens da capoeira, assumem que esta é uma manifestação afro-brasileira que foi criada e desenvolvida no Brasil por escravos de diferentes regiões da África no século XVII como uma luta de resistência (ESSIEN, 2008; NETO, 2007; SOBRINHO, 2009; TKAK E OLIVEIRA, 2006).

Depois do futsal, com 10,5 milhões de praticantes, a capoeira é hoje, com 6 milhões de adeptos, o segundo esporte não olímpico mais praticado no Brasil. Dentro das artes marciais, a capoeira tem o maior número de praticantes no Brasil. Juntos, os praticantes de judô, taekwondo, caratê, jiu-jitsu e kung-fu somam um total equivalente a cerca de 3,6 milhões em todo o país (DACOSTA, 2006).

Segundo Assunção (2005), no que diz respeito a geografia, classe, gênero e etnia a capoeira vem se espalhando pelo Brasil e mostrando um constante crescimento nos últimos 50 anos. Assunção (2005) também aponta em seu livro que a capoeira se expandiu nas décadas de 1980 e 1990 nos Estados Unidos e na Europa Ocidental. Estimativas conservadoras sugerem que em 1998 existiam 3 milhões de capoeiristas fora do Brasil que praticavam o esporte em seus respectivos países. Um número, segundo Assunção (2005), que provavelmente se tornou maior hoje em dia.

Atualmente a capoeira é ensinada e aprendida em cerca de 170 países e é estimada como a maior disseminadora da língua e da cultura brasileira no mundo (CARVALHO, 2010; SOBRINHO, 2009). Com a disseminação global do esporte e o número crescente de praticantes ao redor do mundo, há também uma necessidade crescente de estudos científicos sobre a arte-luta brasileira.

Como a capoeira, além de sua variedade de movimentos físicos, também está intimamente relacionada a elementos históricos e socioculturais, ela é a arte marcial com maior número de publicações no campo das ciências sociais no Brasil (ASSUNÇÃO, 2005; FERRO, SILVA, JUNIOR, 2011). Ferro, Silva, Junior (2011) também explicam que são poucas as publicações científicas que tratam dos aspectos físicos da capoeira. Brennecke, Amadio, Serrão (2005) mencionam em seu artigo que quase não existem estudos sobre capoeira com enfoque biodinâmico. Além disso, não há estudos suficientes que registrem o desgaste causado pela capoeira no sistema músculo-esquelético. Os autores também explicam que a análise dinâmica dos diversos movimentos da capoeira é apenas insuficientemente descrita na literatura específica.

Dessa forma, de acordo com Silva (1998), muitos capoeiristas não têm um suporte teórico que os conduzam a uma melhor compreensão de seus próprios corpos. Com isso, eles acabam não conhecendo as vantagens e desvantagens que afetam seu próprio esporte. Além disso, a comunidade científica tem poucas informações sobre a capoeira e, portanto, não pode contribuir significativamente para o desenvolvimento desta importante arte marcial.

O objetivo deste trabalho é, portanto, identificar e quantificar a sobrecarga mecânica nas articulações do tornozelo, joelho e quadril durante a execução de diferentes esquivas da capoeira. Nesse sentido, foram analisadas as esquivas desenvolvidas por Mestre Camisa (esquiva de frente, esquiva de lado e esquiva diagonal) e comparadas com a tradicional esquiva da Capoeira Regional (cocorinha). Os resultados poderão contribuir para o processo de desenvolvimento da capoeira. A análise da sobrecarga mecânica nas articulações pode contribuir para que os movimentos menos lesivos sejam predominantemente utilizados e para que as antigas e novas técnicas sejam otimizadas dentro de uma perspectiva biomecânica.

As questões que devem ser esclarecidas com a ajuda deste trabalho, são: (1) Como a força de reação do solo vertical se distribui entre as duas pernas durante a execução da esquivada de frente? (2) Quais esquivadas apresentam a maior sobrecarga articular nos membros inferiores?

As relações entre todos os parâmetros analisados neste estudo podem contribuir para um melhor entendimento sobre os mecanismos que envolvem esses movimentos.

Espera-se transferir os resultados desta pesquisa para o campo prático da capoeira, o que poderá possibilitar aperfeiçoamentos nas metodologias de treinamento e, portanto, otimizar processos de ensino-aprendizagem. Além disso, espera-se contribuir com o aumento da segurança dos capoeiristas durante a execução dos movimentos.

ABADÁ-Capoeira

ABADÁ-Capoeira é uma sigla e significa Associação Brasileira de Apoio e Desenvolvimento da Arte Capoeira. De acordo com Assunção (2005) a ABADÁ-Capoeira era, já em 1996, com 20.000 membros - 25.000 em 1998 - a maior associação de capoeira do mundo. Segundo o Mestre Camisa (2012) a ABADÁ-Capoeira tinha em 2012 cerca de 45.000 membros distribuídos por todos os estados federais do Brasil e em 46 países em todos Continentes.

Esta organização foi fundada em 1988 por Mestre Camisa no Rio de Janeiro com o intuito de servir como referência institucional para o trabalho desenvolvido por ele desde a década de 1970 (CARVALHO, 2010). Assunção (2005) aponta em seu livro que a ABADÁ-Capoeira é uma das maiores e mais prestigiadas referências da capoeira contemporânea no mundo.

Mestre Camisa (2012) descreve a ABADÁ-Capoeira como mais do que uma associação de capoeira, mas sim como um método próprio de ensino da capoeira, o qual vem se desenvolvendo ao longo de mais de 40 anos de experiência e que ele não considera como pronto, mas como um sistema em constante desenvolvimento. Este método resultou da mistura de elementos das tradicionais Capoeira Angola e Capoeira Regional. Segundo Mestre Camisa (2012), esse sistema foi criado para facilitar o aprendizado da Capoeira e transmiti-la a todos, independentemente de idade, peso, sexo, nacionalidade.

Segundo Assunção (2005), o método ou sistema ABADÁ-Capoeira é considerado por muitos capoeiristas como um estilo próprio de Capoeira, sendo a palavra ABADÁ utilizada como sinônimo direto de Capoeira.

Mestre Camisa

José Tadeu Carneiro Cardoso, conhecido mundialmente como Mestre Camisa, é um Mestre de capoeira brasileiro, nascido em Jacobina, uma cidade do interior do estado da Bahia. Aos 12 anos mudou-se com a família para Salvador, capital da Bahia, onde participou das rodas de Capoeira Angola na rua e também onde começou a treinar com o Mestre Bimba, o criador da Capoeira Regional. Com 17 anos Mestre Camisa mudou-se para o Rio de Janeiro, onde começou a ensinar capoeira. Ainda inexperiente, segundo o próprio Mestre Camisa (2012), ele sentiu que algo estava faltando. Faltava esclarecimento, experiência, etc. Naquela época Mestre Camisa conhecia apenas o método de ensino de Mestre Bimba. Porém, de acordo com Mestre Camisa (2012), essa era a forma do Mestre Bimba ensinar Capoeira e não a sua própria. Além disso, segundo Mestre Camisa (2012), Mestre Bimba tinha na Bahia toda estrutura com alunos avançados que o ajudavam. No Rio de Janeiro, Mestre Camisa era ainda apenas um jovem capoeirista, inexperiente e sozinho.

Na primeira escola onde Mestre Camisa começou a ensinar no Rio de Janeiro, ele aplicou o método do Mestre Bimba. Com a necessidade de um maior desenvolvimento do trabalho, Mestre Camisa começou a adaptar nas aulas a sua própria forma de ensinar, a qual foi sendo desenvolvida no decorrer do tempo.

Mestre Camisa também foi conhecendo outros capoeiristas que jogavam diferente dos capoeiristas da Bahia. Assunção (2005) escreve em seu livro que Mestre Camisa rapidamente ocupou uma posição de liderança no então emergente grupo de Capoeira Senzala. Mestre Camisa (2012) também afirma que fazia rodas nos finais de semana juntamente com o grupo e outros capoeiristas. Baseado na necessidade de ter que viver da Capoeira, Mestre Camisa (2012) conta que começou espontaneamente a estudar os diferentes estilos de jogo.

Mestre Camisa começou então a dar aulas de capoeira em vários lugares e em em cada lugar ele utilizava uma forma diferente de ensinar. Ele aplicava seu conhecimento e experiência das rodas, misturando com o método da Capoeira Regional de Mestre Bimba. Com o decorrer do tempo ele foi acumulando a experiência dos diferentes lugares onde ele ensinava Capoeira (MESTRE CAMISA, 2012). Desde então Mestre Camisa tem contribuído muito para o desenvolvimento social e técnico da capoeira. Sua contribuição é baseada em sua longa experiência com a Capoeira Angola e Regional, com a filosofia de Mestre Bimba, com o contato com pesquisadores de diversas áreas e com sua própria pesquisa sobre as culturas africana e brasileira, assim como sobre o desenvolvimento e a organização da sociedade moderna (CARVALHO, 2010; MESTRE CAMISA, 2012).

Carvalho (2010) afirma em seu livro que as modificações e melhorias realizadas por Mestre Camisa nos movimentos da capoeira são baseadas em fatores históricos, antropológicos, sociológicos, políticos, éticos e biomecânicos que moldam esta arte-luta brasileira.

Segundo Carvalho (2010), todas as mudanças realizadas por Mestre Camisa objetivam a melhoria da dinâmica, da segurança e da eficiência do jogo de capoeira. A contribuição de Mestre Camisa para o desenvolvimento técnico da capoeira inclui a modificação ou a criação de movimentos de Capoeira. Dentro desse contexto, representam as esquivas de frente, de lado e diagonal, entre outras técnicas, elementos de extrema importância no desenvolvimento da capoeira.

REFERENCIAL TEÓRICO E TÉCNICAS ANALISADAS

A seguir serão descritas as técnicas analisadas neste estudo. As técnicas da capoeira podem ser classificadas em ataque, defesa e acrobacias. Dentro dessas categorias há um complexo repertório de elementos que, segundo Thull (2006), são coordenados fluentemente com os movimentos do adversário durante o jogo de capoeira.

Neste trabalho de pesquisa, as esquivas (esquiva de frente, de lado e diagonal) criadas por Mestre Camisa serão comparadas com a tradicional esquiva da Capoeira Regional (cocorinha).

Ginga

A ginga é o movimento básico e fundamental da capoeira. O termo ginga vem do verbo gingar, que significa balançar o corpo / bambolear / balançar. Para Wesolowski (2007) a ginga é o caminhar do capoeirista, o primeiro passo que um capoeirista aprende. A autora descreve a ginga como “*a continuous swaying side-to-side step that keeps to the beat of the music and ties attacks, defenses and acrobatics into a seamless circular whole*” (WESOLOWSKI, 2007, p. 156).

De acordo com Thull (2006), todos os movimentos posteriores se desenvolvem a partir da ginga e, portanto, não há momento estático no jogo. Esta estrutura dinâmica molda o aspecto da dança na capoeira e diferencia a arte-luta brasileira, segundo Thull (2006), de todas as outras artes marciais. Nesse sentido, a execução de todas as esquivas analisadas neste estudo partiu do movimento da ginga.

Cocorinha

Mestre Camisa (2012) explica que não havia nenhuma esquiva específica anteriormente. Ele afirma que antes do Mestre Bimba não havia um método de ensino da capoeira e que os capoeiristas aprendiam através da observação e vivência dentro da roda, a partir da necessidade do movimento. Os capoeiristas esquivavam dos ataques sempre de maneira espontânea e criativa.

A cocorinha é a primeira esquiva sistematizada da capoeira e foi desenvolvida por Mestre Bimba entre as décadas de 1920 e 1930. A cocorinha é portanto a esquiva tradicional da Capoeira Regional.

Esquivas de frente, de lado e diagonal

Quando questionado sobre como chegou ao desenvolvimento das esquivas da ABADÁ-Capoeira, Mestre Camisa (2012) respondeu que essas foram apenas uma consequência natural, pois a capoeira é a arte de esquivar. Mestre Camisa analisou as esquivas livres da capoeira antiga e começou, assim como Mestre Bimba, a observar esses movimentos e a otimizá-los através de sistematização. Ele observou que durante o jogo o capoeirista frequentemente assumia três posições básicas em relação ao

adversário. Partindo do princípio que o capoeirista, independente de sua posição, deve esquivar o mais rápido possível dos ataques do adversário, Mestre Camisa desenvolveu para cada uma dessas posições básicas a esquivas mais adequada, onde, por exemplo, o capoeirista poderia, apesar da velocidade, alcançar uma base estável para poder realizar um contra-ataque eficaz (MESTRE CAMISA, 2012). Segundo Mestre Camisa (2012) essas três posições básicas são frontal, lateral e diagonal, que por sua vez originaram, conseqüentemente, a esquivas de frente, a esquivas de lado e a esquivas diagonal.

Aspectos biomecânicos do estudo

Este estudo trata da análise biomecânica das técnicas previamente descritas. Nesse sentido, será realizada uma análise da sobrecarga mecânica nas extremidades inferiores durante a execução das quatro esquivas da capoeira em questão.

A biomecânica é uma disciplina científica que descreve e explica os movimentos utilizando termos, métodos e as leis da mecânica e da biologia, com base nas condições do sistema em questão (BALLREICH; BAUMANN, 1988). A biomecânica é, portanto, uma ciência interdisciplinar baseada em experimentos biológicos e em modelos mecânicos.

Sobrecarga mecânica

As análises de sobrecarga mecânica nas articulações são aplicadas principalmente no desenvolvimento de próteses, na avaliação de doenças do sistema musculoesquelético e na prescrição dos métodos de reabilitação apropriados. Portanto, de acordo com Robert et al. (2007), a precisão dos métodos de cálculo exerce um papel muito importante na determinação da sobrecarga mecânica. Os mesmos autores apontam em sua pesquisa que as sobrecargas articulares são classicamente calculadas usando técnicas de dinâmica inversa, como uma função da cinemática e de parâmetros inerciais do segmento corporal, e possivelmente das forças externas, como por exemplo as forças de reação do solo (ROBERT et al., 2007). Os parâmetros força e torque desempenham um papel importante no cálculo da sobrecarga mecânica.

Força

A força (F) é um vetor e é determinada através do módulo (intensidade da força exercida), do ponto de aplicação e de sua direção. Sua definição se dá através da descrição de seus possíveis efeitos: deformação e aceleração. A unidade de medida da força é o Newton (N). De acordo com Wick et al. (2009), forças aplicadas em corpos móveis livres levam a uma mudança de movimento, onde duas possibilidades devem ser distinguidas: se a força passa pelo centro de gravidade do corpo, o corpo se move translacionalmente. Mas se a força atingir o corpo fora do seu centro de gravidade, isso gera um movimento de rotação. Esta condição é chamada de torque (M).

Torque

De acordo com Wick et al. (2009), o surgimento de um movimento de rotação é explicado através de uma força excêntrica, o torque (M), que atua sobre um determinado objeto. O torque é definido como o produto entre a força (F) e a distância perpendicular (r) ao eixo de rotação ($M = F * r$). O tamanho do torque depende portanto do tamanho da força e do braço de alavanca. Sua unidade de medida é newton-metro Nm. Assim como as forças, os torques não podem ser diretamente observados. De acordo com Brinckmann, Frobin, Leivseth (2000) apenas os efeitos dos torques podem ser observados. Estes são a aceleração de um movimento de rotação e a torção ou deformação de curvatura de um objeto.

Dinâmica inversa

Para responder a problemática deste estudo foi utilizado o método da dinâmica inversa. De acordo com Nigg, Herzog (1999, apud SCHWAMEDER, 2004), as forças e torques articulares que originam os movimentos são definidos na dinâmica inversa à partir do curso espaço-temporal do

movimento, ou seja, à partir de parâmetros cinemáticos. Schwameder (2004) afirma que apenas poucos dados são necessários para os cálculos, o que faz da dinâmica inversa um método relativamente simples. Para calcular a sobrecarga mecânica nas articulações é necessário também que se leve em consideração, além dos dados cinemáticos, as forças externas e torques que atuam no corpo. Tanto os dados cinemáticos, como as forças e torques externos podem ser facilmente colhidos utilizando sistemas modernos de análise de movimento. A sobrecarga articular é proporcionalmente igual as forças geradas pelos músculos que envolvem a estrutura articular para compensar os torques externos.

Bonnefoy et al. (2006), afirmam que a determinação das forças músculo-tendíneas é importante para a pesquisa na biomecânica. Para se determinar a sobrecarga do aparelho motor durante a caminhada, por exemplo, é necessário uma representação precisa da extremidade inferior do sistema músculo-esquelético.

As forças e os torques internos são calculados à partir das medidas dos parâmetros externos. Para isso são necessários o tamanho dos braços de alavanca dos músculos em questão. De acordo com Brinckmann, Frobin, Leivseth (2000) o braço de alavanca de um músculo é definido como a distância vertical entre a linha de ação da força muscular e o eixo de rotação da articulação em questão. O braço de alavanca muda de acordo com os diferentes ângulos do movimento articular.

Os braços de alavanca dos músculos da extremidade inferior foram pesquisados e calculados por meio de vários métodos por diversos autores (NÉMETH e OHLSÉN, 1985; HOY et al., 1990; KELLIS e BALZPOULOS, 1998; MAGANARIS e PAUL, 1999; KREVOLIN et. al., 2003; TSAOPOULOS et al., 2005; BONNEFOY et al., 2006, SCHEYS et al., 2011). Esses braços de alavanca determinam o tamanho e a orientação das forças músculo-tendíneas em relação aos ossos ou às superfícies articulares. Juntamente com os torques articulares, calculados de forma direta ou por meio de dinâmica inversa, os braços de alavanca dos músculos compõem os principais parâmetros de avaliação da sobrecarga mecânica nas articulações (TSAOPOULOS et al., 2005).

METODOLOGIA

Amostra

A amostra foi composta por 15 capoeiristas experientes ($31 \pm 6,7$ anos, $74 \pm 8,3$ Kg, $1,75 \pm 0,08$ m, $11 \pm 5,4$ anos de prática). Os critérios para a admissão no estudo foram: (1) ser capoeirista experiente / avançado – isto é, treinar capoeira pelo menos duas vezes por semana e ter no mínimo 5 anos de prática e, (2) pertencer à escola ABADÁ-Capoeira e, dessa forma, ter o maior domínio possível das técnicas adotadas no estudo. Para a amostra foram selecionados capoeiristas da escola ABADÁ-Capoeira das cidades de Heidelberg, Karlsruhe, Ludwigsburg, Munique e Stuttgart.

Coleta dos dados

A observação e descrição das sequências de movimento ocorreram através da utilização de um método óptico baseado em marcadores ativos (modelo de corpo inteiro: 39 marcadores). Para a coleta dos dados cinemáticos e cinéticos foi utilizado um sistema de análise de movimento (Vicon MX 13; 14 câmeras; 200 Hz) e duas plataformas de força (AMTI; 1000 Hz).

Preparação do experimento

O experimento foi realizado no laboratório de biomecânica do Instituto de Ciências do Esporte (IfSS) da universidade de Karlsruhe (Karlsruhe Institute of Technology – KIT). As 14 câmeras infravermelhas de alta resolução e as duas plataformas de força AMTI foram precisamente calibradas. Os marcadores ativos foram colocados nos capoeiristas que compuseram a amostra de acordo com o *Plug-in Gait Markerset* (Vicon, Oxford, UK). As medidas antropométricas de cada capoeirista foram armazenadas no programa Vicon® Nexus. Uma medida referencial (estática) foi gravada e salva no mesmo programa.

Execução do experimento

Após o levantamento dos dados antropométricos, do posicionamento dos marcadores ativos e da gravação e armazenamento da medida referencial, cada capoeirista teve de 5 a 10 minutos para se aquecer e se acostumar com o ambiente do laboratório. Os capoeiristas receberam instruções técnicas sobre os critérios de validade das respectivas tentativas. Estes diziam respeito (1) à direção em que os movimentos deveriam ser executados, (2) à área onde os movimentos deveriam ser realizados e (3) às plataformas de força a serem atingidas com os respectivos pés. Nesse sentido, os capoeiristas utilizaram como parte do aquecimento a execução da ginga e das esquivas sobre as plataformas de força. A velocidade da ginga e das esquivas resultantes dela pode ser controlada apenas até um certo ponto. Já que todos os capoeiristas participantes tinham anos de experiência na capoeira e com isso possuíam provavelmente um senso de ritmo proporcionalmente bom, todos foram orientados a executarem os movimentos em um ritmo de São Bento Grande a partir de reprodução em um *compact disk*, com a mesma música, de forma que todos os participantes pudessem seguir o mesmo ritmo.

A coleta de dados foi realizada para as três esquivas desenvolvidas por Mestre Camisa (esquiva de frente, esquiva de lado e esquiva diagonal) e para a esquiva tradicional da Capoeira Regional (cocorinha). Os capoeiristas realizaram as esquivas partindo da ginga e com os dois pés atingindo as plataformas de força. As técnicas foram registradas em ordem randomizada e para cada esquiva foram salvas cinco tentativas válidas. Ao final, foram registradas no sistema 20 tentativas válidas para cada capoeirista participante.

Avaliação dos dados

Para a avaliação dos dados foram utilizados os programas *Vicon® Nexus*, *Microsoft Excel® 2007*, *Mathworks MATLAB® R2011a* e *IBM® SPSS® Statistics 20*. Todas as tentativas registradas foram previamente editadas no programa *Vicon® Nexus* para posterior processamento dos dados utilizando os demais softwares. O critério para o corte de edição das tentativas foi o tempo de contato com o solo durante a execução de cada esquiva, ou seja, o período em que pelo menos um dos pés estava em contato com as plataformas de força. Sendo assim, a esquiva de frente teve o mesmo ponto de partida e posição final que a esquiva de lado (Fig. 1). A cocorinha, por outro lado, teve a mesma posição inicial e final que a esquiva diagonal (Fig. 2).

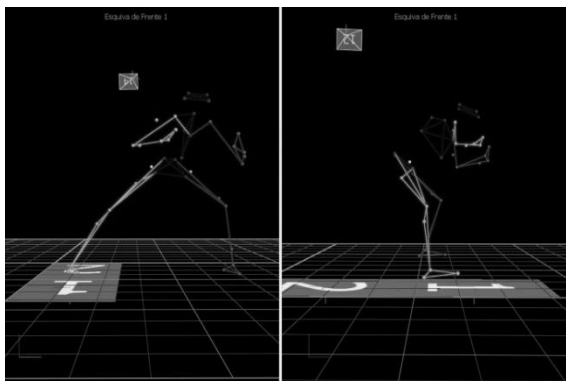


Fig. 1: corte de edição no programa Vicon®: posição inicial e final das esquivas de frente e de lado no plano frontal e sagital.

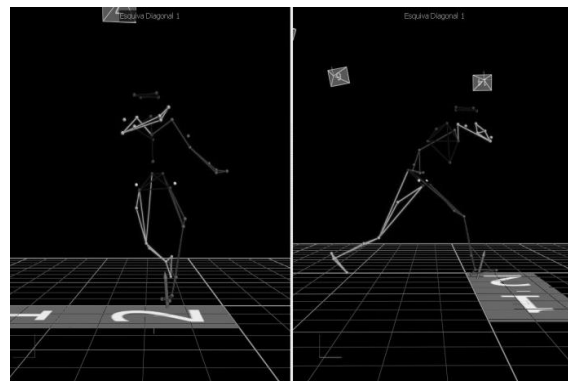


Fig. 2: corte de edição no programa Vicon®: posição inicial e final da cocorinha e da esquiva diagonal no plano frontal e sagital.

A força (F) e o torque (M) foram calculados diretamente com o programa *Vicon® Nexus*. Os dados foram então transferidos através do programa *Microsoft Excel® 2007* para o programa *Mathworks MATLAB® R2011a*, onde foram filtrados e apresentados em forma gráfica. Por fim, a análise estatística foi realizada utilizando o programa *IBM® SPSS® Statistics 20*. Para fazer a análise estatística relacionada à primeira problemática proposta no presente estudo sobre como a força de reação do solo vertical se distribui entre as duas pernas durante a execução da esquiva de frente, utilizou-se o teste T para amostras pareadas. Para as demais questões utilizou-se a análise de variância ANOVA com medidas repetidas.

RESULTADOS

Os resultados a seguir serão apresentados em forma de curvas comparativas e de diagramas e tabelas mostrados de forma descritiva e analítica. As esquivas analisadas serão apresentadas da seguinte forma: cocorinha (COC), esquiva de frente (EF), esquiva de lado (EL) e esquiva diagonal (ED).

Para que os valores pudessem ser comparados, todas as curvas comparativas tiveram a escala de tempo normalizada durante a fase de contato dos pés com o solo. Para apresentar a descrição e análise das curvas comparativas de forma mais clara, os movimentos foram divididos em três fases: (1) Fase inicial (0 - 30% do tempo de contato com o solo), fase principal (30 - 70%) e (3) fase final (70 - 100%). A fase principal (30 - 70% do tempo de contato com o solo) corresponde ao ponto mais baixo das respectivas esquivas, onde todas as articulações atingem suas maiores angulações.

Nos diagramas são apresentados os valores médios dos parâmetros dos 15 capoeiristas participantes da amostra. Os resultados se referem portanto exclusivamente à análise da média do grupo. As tabelas contêm os valores médios do grupo (MW) com seus respectivos desvios padrão (DP).

As comparações estatísticas entre as quatro esquivas analisadas no presente estudo está representada nas tabelas com o seguinte significado: „COC/EF“, „COC/EL“, „COC/ED“, „EF/EL“, „EF/ED“, „EL/ED“ para comparação entre pares com correção de Bonferroni. O grau de significância estatística está simbolicamente representado nas tabelas com: * para $p < 0,05$, ** para $p < 0,01$, *** para $p < 0,001$.

Força de reação do solo vertical durante a esquiva de frente (EF)

As curvas das forças de reação do solo vertical apresentadas abaixo foram relativizadas pelo peso corporal (N/Kg). Em termos de forças de reação do solo vertical, a perna direita gera durante a fase principal da EF cerca de duas vezes mais força do que a perna esquerda. Durante as fases inicial e final a perna direita chega a gerar de 8 a 10 N/kg a mais de força do que a perna esquerda.

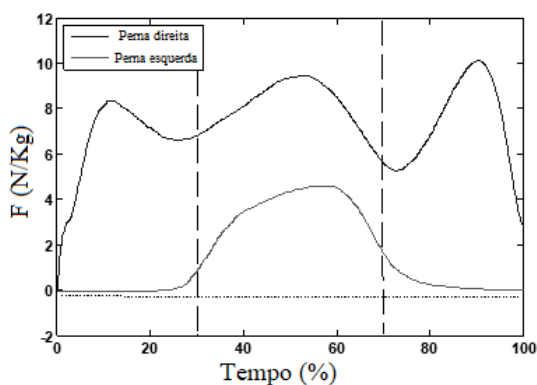
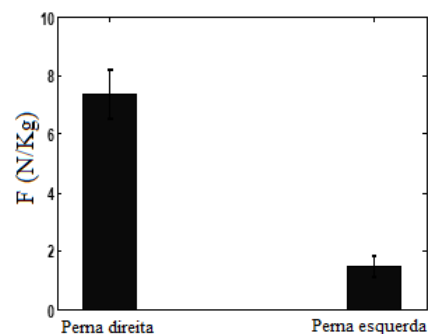


Fig. 3: Curso das forças de reação do solo vertical em ambas as pernas durante a execução da esquiva de frente.



| | Perna direita | Perna esquerda |
|----------------------------|---------------|----------------|
| MW | 7.37 | 1.49 |
| DP ± | 0.84 | 0.38 |
| esquerda/direita*** | | |

Fig. 4/Tab. 1: Forças médias de reação do solo vertical em ambas as pernas durante a execução da esquiva de frente.

Isso se deve ao fato de que, durante a execução da EF, existem momentos em que os capoeiristas transferem o peso do corpo apenas para a perna direita. Isso acontece nas fases inicial e final do movimento e pode ser observado na figura 3. Durante essas fases a força de reação do solo vertical no lado esquerdo é tão pequena que pode ser desconsiderada.

Na fase principal, porém, os capoeiristas sempre apresentam as duas pernas no chão, o que faz da fase principal a fase mais estável do movimento, onde os capoeiristas atingem o ponto mais baixo da EF, alcançando assim o ponto de maior equilíbrio durante a execução da técnica.

A figura 4 e a tabela 1 confirmam em valores médios absolutos que durante a execução da EF a perna da frente, nesse caso a perna direita, é significativamente mais sobrecarregada do que a perna de trás (perna esquerda) no que diz respeito à força de reação do solo vertical. Com um valor médio de 7,37

N/Kg de carga a perna da frente é aproximadamente cinco vezes mais sobrecarregada do que a perna de trás, com 1,49 N/kg.

Sobrecarga Articular: comparação entre as esquivas analisadas

No geral, pôde-se observar uma sobrecarga mecânica maior em todas as articulações do lado esquerdo durante a execução da COC e da ED, enquanto a EF e EL apresentaram uma maior sobrecarga mecânica nas articulações do lado direito em relação à COC e à ED. Este fato pode estar relacionado às semelhanças entre as fases de execução dos movimentos, mas também à definição dos mesmos pontos inicial e final tanto da COC e da ED, como da EF e da EL (fig. 1 e fig. 2).

Nesse sentido, observou-se que durante a execução da COC e da ED o peso do corpo foi colocado predominantemente sobre a perna esquerda, enquanto durante a EF e a EL o peso foi transferido principalmente para a perna direita. Os gráficos e considerações estatísticas abaixo oferecem um olhar mais claro sobre esses fatos.

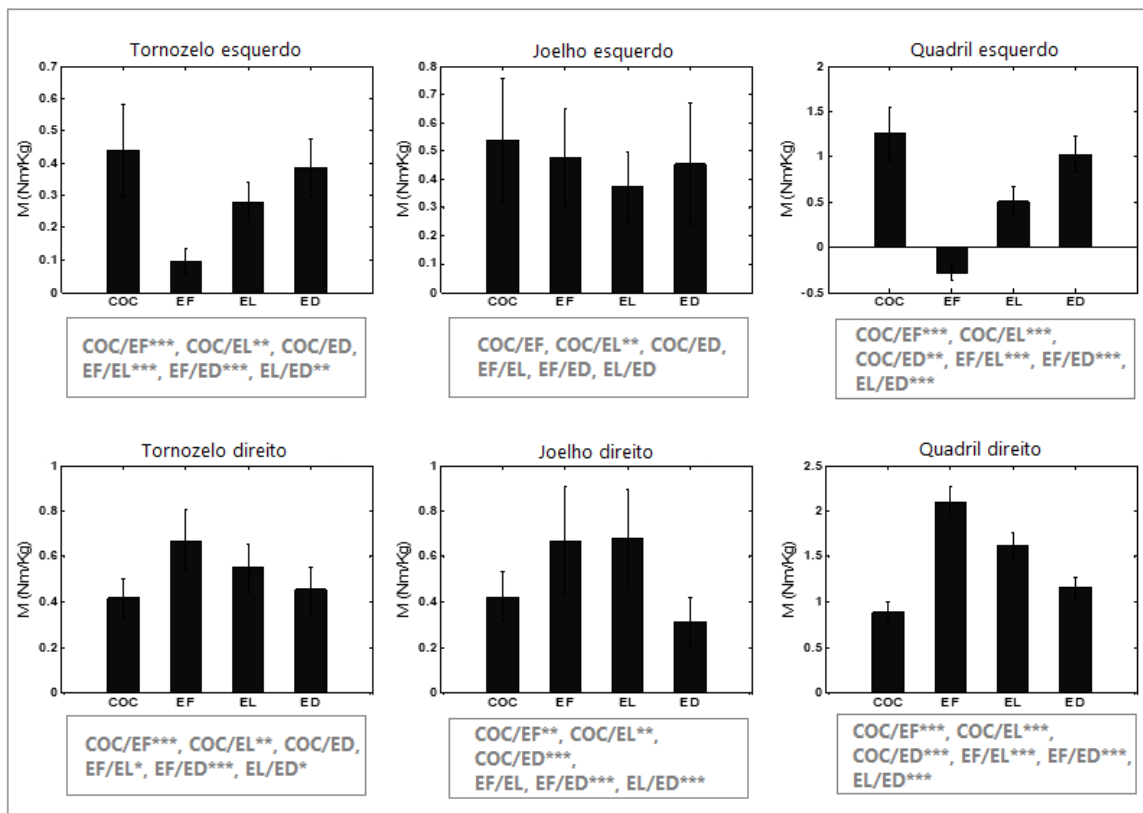


Fig. 5: Sobrecarga mecânica (torque $M = \text{Nm/Kg}$) média nas articulações da extremidade inferior durante a execução das esquivas COC, EF, EL e ED.

DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo é analisar a sobrecarga mecânica nas articulações dos membros inferiores durante a execução das quatro esquivas da capoeira propostas (COC, EF, EL, ED). Nesse sentido, as questões que devem ser respondidas com o auxílio deste estudo são: (1) Como a força de reação do solo vertical se distribui entre as duas pernas durante a execução da esquivas de frente? (2) Quais esquivas apresentam a maior sobrecarga mecânica nas articulações dos membros inferiores?

Em geral, no que diz respeito à primeira questão, os resultados do estudo mostram que os maiores valores médios da força de reação do solo vertical ocorrem no lado direito, ou seja, na perna da frente, durante a realização da EF. Este resultado está claramente representado na figura 4 e na tabela 1. Ambas as pernas diferem significativamente uma da outra no que diz respeito à média da força de reação do solo vertical durante a execução da EF. Nesse sentido, a perna direita, com 7,37 N / kg, recebe uma sobrecarga cinco vezes maior do que a perna esquerda.

Durante as fases inicial e final da EF, o peso do corpo é apoiado exclusivamente sobre a perna direita. Apenas na fase principal (30 a 70% do tempo de contato com o solo) o pé esquerdo toca o chão. Nesse momento, o peso corporal é dividido entre as duas pernas. No entanto, essa divisão não é uniforme, de modo que a carga na perna direita durante a fase principal é duas vezes maior do que a carga na perna esquerda.

Quando os valores máximos registrados neste estudo são comparados com outras atividades como caminhada (SCHMALZ et al., 2010) e corrida (KARAMANIDIS et al., 2004; BRINDLE et al., 2014), pode-se afirmar que as forças máximas de reação do solo vertical que ocorrem durante a execução da EF são relativamente pequenas.

A força máxima de reação do solo vertical durante a EF no lado direito é de 10,13 N / Kg, enquanto no lado esquerdo esse valor é de 4,61 N / Kg. Schmalz et al. (2010) observaram em seu estudo um valor médio da força máxima de reação do solo vertical de 12,29 N / kg durante a caminhada (1,27 m / s). Os resultados da pesquisa de Karamanidis et al. (2004) com corredores de longa distância experientes (3,5 m / s) mostraram forças máximas de reação do solo vertical de 26,95 N / kg.

Tabela 2: Força de reação do solo máxima (N/Kg): comparação entre a esquivada de frente (esquerda / direita) e as atividades de caminhada e corrida.

| Capoeira (SOBRINHO, 2014) | Caminhada(SCHMALZ et al., 2010) | Corrida (KARAMANIDIS et al., 2004; BRINDLE et al., 2014) |
|----------------------------------|--|---|
| 4,61 / 10,13 | 12,29 | 26,95 |

No que diz respeito à segunda questão, os resultados desta pesquisa mostram que, no geral, as maiores médias de sobrecarga mecânica durante a execução das esquivas analisadas ocorrem na articulação do quadril. As sobrecargas ocorridas nas articulações do tornozelo e do joelho são semelhantes.

À partir das semelhanças durante o processo de execução das técnicas no laboratório, definiu-se para a EF e a EL o mesmo ponto de partida e posição final (Fig. 1). A COC, por outro lado, teve a mesma posição inicial e final que a ED (Fig. 2). Dado esse fato, esses movimentos apresentaram proporções semelhantes de sobrecarga mecânica nas articulações. Em geral, a EF e a EL apresentaram valores superiores de sobrecarga mecânica no lado direito das articulações analisadas, enquanto a COC e a ED apresentaram torques superiores no lado esquerdo. Isso pode ser provavelmente explicado através das fases inicial e final dos movimentos, nas quais o peso do corpo foi deslocado majoritariamente para a perna direita durante a execução da EF e da EL e para a perna esquerda durante a COC e a ED. Neste caso, o ponto mais baixo das esquivas não seria o componente principal para o total da sobrecarga mecânica, e sim a soma das fases inicial (0 a 30% do tempo de contato com o solo) e final (70 a 100% da fase de apoio) contribuiriam de forma mais importante para o tamanho da sobrecarga mecânica média. Entretanto, para confirmar essa hipótese, deve-se realizar um novo estudo onde cada uma dessas fases sejam analisadas e comparadas entre si.

Todas as esquivas da capoeira analisadas apresentaram valores máximos de sobrecarga mecânica nas articulações dos membros inferiores consideravelmente baixos em comparação com outras atividades esportivas, como sprint (BRÜGGEMANN et al., 2008), corrida (KLEINDIENST et al., 2007) e salto (LIU et al., 2009).

Tabela 3: Sobrecarga mecânica máxima (Nm / Kg) nas articulações dos membros inferiores: comparação das esquivas da capoeira (esquerda / direita) com sprint, corrida e salto (counter movement jump).

| | Capoeira (SOBRINHO, 2014) | Corrida máxima (BRÜGGEMANN et al., 2008) | Corrida (KLEINDIENST et al., 2007) | Salto (LIU et al., 2009) |
|------------------|----------------------------------|---|---|---------------------------------|
| Tornozelo | 0,82 / 1,65 | 4,2 | 3,03 | 1,91 |
| Joelho | 1,96 / 1,64 | ~ 5 | 2,29 | 1,88 |
| Quadril | 3,13 / 4,16 | ~ 8 | - | 2,46 |

Brüggemann et al. (2008) observaram em seu estudo com velocistas de 400 m (corrida submáxima: 8,5 m / s; corrida máxima: 9,5 m / s) uma sobrecarga mecânica máxima no tornozelo com média de 4,2 Nm / kg. Os resultados das medições de Kleindienst et al. (2007) com corredores experientes (4,0 m / s) apresentaram valores máximos de torque interno de flexão plantar de 3,03 Nm / kg. Durante a execução de saltos (*counter movement jump*), os atletas do estudo de Liu et al. (2009) apresentaram torques internos de flexão plantar de 1,91 Nm / kg.

Dentre todas as esquivas da capoeira analisadas, a EF apresenta os maiores valores máximos de sobrecarga mecânica em ambos os joelhos (esquerdo: 1,96; direito: 1,64 Nm / kg). Esses valores representam os torques internos de extensão do joelho e podem ser classificados como muito baixos em comparação com outros esportes. Os velocistas do estudo de Brüggemann et al. (2008) mostraram torques internos de extensão do joelho de mais de 5 Nm / kg, enquanto os corredores do estudo de Kleindienst et al. (2007) apresentaram uma sobrecarga máxima na articulação do joelho de 2,29 Nm / kg. Os maiores valores máximos de sobrecarga mecânica durante a execução das esquivas da capoeira são encontrados na articulação do quadril. Durante a fase principal, a EL atinge a maior sobrecarga mecânica máxima no quadril esquerdo (3,13 Nm / kg) e a EF no quadril direito (4,16 Nm / kg). No entanto, esses valores são muito menores do que a sobrecarga mecânica gerada na articulação do quadril de velocistas durante a corrida submáxima e máxima. Brüggemann et al. (2008) relataram em seu estudo com velocistas de 400 m torques internos de extensão do quadril de mais de 8 Nm / kg.

Sendo as esquivas, porém, movimentos fundamentais da capoeira, elas são repetidas com muita frequência, tanto nos treinos como durante o jogo na roda. A frequência de repetições pode gerar sobrecarga nas articulações, o que, por sua vez, pode causar lesões.

De acordo com Hennig, Riehle (1988) e McClay et al. (1994) apud van Husen (2005), os seguintes fatores são fundamentais na determinação de altos níveis de sobrecarga: (1) valores máximos, (2) duração da carga e (3) frequência de repetição. Segundo Violetta (1995) apud van Husen (2005), a alta frequência de repetição de movimentos, a princípio inofensivos, pode causar lesões por sobrecarga. Ao mesmo tempo, deve-se levar em consideração que a mesma sobrecarga mecânica pode levar duas pessoas a diferentes níveis de estresse (VAN HUSEN, 2005). A reação biológica à carga externa é, portanto, individual. Nesse sentido, o estresse mecânico gerado pelas esquivas após um treino de capoeira pode ter um efeito biopositivo ou bionegativo, dependendo da condição de cada indivíduo. Em última análise, o efeito da sobrecarga mecânica sobre os indivíduos também depende de outros fatores como idade, dificuldade do exercício, nível de desempenho e capacidade de concentração (WILLIMCZIK et al. 1991 apud VAN HUSEN, 2005).

De acordo com McPherson, Pickett (2010), quedas, arremessos e saltos são as causas mais comuns de lesões entre artistas marciais no Canadá, sendo os membros inferiores mais frequentemente acometidos. Signoreti, Parolina (2009) apontam em sua pesquisa que os capoeiristas costumam lesionar mais frequentemente os pés e tornozelos, seguidos dos joelhos, cabeça, ombros e mãos. Os autores atribuem as lesões às forças de alto impacto, repetições de movimentos giratórios, saltos e aterrissagens que ocorrem durante o jogo de capoeira. No entanto, novos estudos precisam ser realizados para identificar os exatos mecanismos de lesão que envolvem a capoeira.

CONCLUSÕES

No que diz respeito à força de reação do solo vertical, a perna da frente recebe a maior sobrecarga durante a execução da EF. Com uma força de reação do solo vertical média de 7,37 N / Kg, a carga do lado direito é aproximadamente cinco vezes maior do que do lado esquerdo, com 1,49 N / Kg. Isso se deve ao fato de, em alguns momentos durante a execução da EF, os capoeiristas deslocarem o peso corporal apenas para a perna da frente (fig. 3). Isso ocorre durante as fases inicial e final do movimento. Na fase principal, os capoeiristas têm os dois pés no chão e o peso corporal é dividido entre as duas pernas, embora a perna da frente receba a maior parte do peso.

No que tange à sobrecarga mecânica durante a execução das quatro esquivas propostas, os valores apresentados neste estudo diferem em todas as articulações analisadas. Não há uma resposta clara sobre qual esquiva apresenta a maior sobrecarga articular geral. O presente estudo mostra que a sobrecarga mecânica nas articulações dos membros inferiores varia de esquiva para esquiva.

De forma descritiva, pode-se observar que, em geral, a articulação do quadril recebe as maiores sobrecargas mecânicas durante a execução das esquivas da capoeira.

Tanto a EF e a EL, assim como a COC e a ED apresentam entre si proporções semelhantes na média de sobrecarga mecânica nas articulações analisadas. Isso se deve às semelhanças no processo de execução desses movimentos durante as medições no laboratório, bem como à definição dos pontos inicial e final dessas técnicas para este estudo. Durante a execução da EF e da EL, o peso corporal é deslocado principalmente para uma das pernas, enquanto durante a COC e a ED o peso é transferido para a outra perna. Isso leva à seguinte hipótese: 'A fase inicial (0 a 30% do tempo de contato com o solo) e a fase final (70 a 100% da fase de apoio) das esquivas somadas contribuem mais para o tamanho da média da sobrecarga mecânica do que a fase principal (30 a 70% do tempo de contato com o solo)'. Se novos estudos puderem confirmar essa hipótese, a otimização dessas técnicas durante as fases inicial e final poderia ser de grande valia no que diz respeito à proteção articular.

Os valores máximos da sobrecarga mecânica durante a execução das esquivas da capoeira são, em todas as articulações analisadas, muito menores do que as sobrecargas articulares em esportes como salto, corrida e, principalmente, corrida submáxima e máxima. Como as esquivas da capoeira são repetidas com muita frequência, principalmente durante os treinos, elas podem, apesar da baixa sobrecarga mecânica, causar lesões por uso excessivo. Em última análise, a reação biológica à sobrecarga externa é individual e o efeito do estresse mecânico nos indivíduos depende de vários outros fatores, como idade, dificuldade do exercício, nível de desempenho e capacidade de concentração.

Até o momento desse estudo quase não existiam estudos que tratassem da análise biomecânica dos movimentos da capoeira. Nesse sentido, diversos estudos precisam ser realizados nessa área para que os resultados possam ser comparados.

REFERÊNCIAS

ASSUNÇÃO, M.R. **Capoeira: the History of an Afro-Brazilian Martial Art**. Oxon: Routledge, 2005.

BALLREICH, R.; BAUMANN, W. (ed.). **Grundlagen der Biomechanik des Sports. Probleme Methoden Modelle**. Stuttgart: Enke, 1988.

BONNEFOY, A. et al. A Non-Invasive Protocol to Determine the Personalized Moment Arms of Knee and Ankle Muscles. **Journal of Biomechanics**, v. 40, n. 8, p. 1776-1785, 2007.

BRENNECKE, A.; AMADIO, A.C.; SERRÃO, J.C. Parâmetros Dinâmicos de Movimentos Seleccionados da Capoeira. **Revista portuguesa de ciência do desporto**, v. 5, n. 2, 153-159, mai. 2005.

BRINCKMANN, P.; FROBIN, W.; LEIVSETH, G. **Orthopädische Biomechanik**. Stuttgart; New York: Thieme, 2000.

BRINDLE, R.A. Changing Step Width Alters Lower Extremity Biomechanics During Running. **Gait & Posture**, v. 39, n. 1, p. 124-128, jan. 2014.

BRÜGEMANN, G.-P. et al. Biomechanics of Double Transtibial Amputee Sprinting Using Dedicated Sprinting Prostheses. **Sports Technology**, v. 1, n. 4-5, p. 220-227, abr./jun. 2008.

CARVALHO, P.C.V. **Capoeira, Arte-luta: uma Abordagem Pedagógica de Inclusão**. Teresina: Ipanema, 2010.

DACOSTA, L.P. **Cenário de Tendências Gerais dos Esportes e Atividades Físicas no Brasil**. Atlas do Esporte no Brasil. Rio de Janeiro: CONFED, 2006.

DOWNEY, G. **Learning Capoeira: Lessons in Cunning from an Afro-Brazilian Art**. New York: Oxford, 2005.

ESSIEN, A. **Capoeira Beyond Brazil: from a Slave Tradition to an International Way of Life**. Berkeley: Blue Snake Books, 2008.

FERRO, L.L.; SILVA, F.B.M.; JUNIOR, T.P.S. (2011). **Periodização do Treinamento Desportivo: Proposta de um Macroциclo para Capoeiristas Desportivos**, Instituto de educação física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, não publicado, 2011.

HENNIG, E.; RIEHLE, H. **Loads on the human body during trampoline exercises.** In de Groot, G., Hol-lander, A.P., Huijing, P.A. & van Ingen Schenau, G.J. (ed.), *Biomechanics XI-B* (pp. 736-739). Amsterdam: Free University Press, 1988.

HOY, M.G.; ZAJAC, F.E.; GORDON, M.E. A Musculoskeletal Model of the Human Lower Extremity: The Effect of Muscle, Tendon, and Moment Arm on the Moment-Angle Relationship of Musculotendon Actuators at the Hip, Knee, and Ankle. **Journal of Biomechanics**, v. 23, n. 2, p. 157-169, 1990.

KARAMANIDIS, K.; ARAMPATZIS, A.; BRÜGGEMANN, G.-P. Reproducibility of electromyography and ground reaction force during various running techniques. **Gait and Posture**, v. 19, n. 2, p. 115-123, abr. 2004.

KELLIS, E.; BALTZOPOULOS, V. In Vivo Determination of the Patella Tendon and Hamstrings Moment Arms in Adult Males Using Videofluoroscopy During Submaximal Knee Extension and Flexion. **Journal of Biomechanics**. v. 14, n. 2, p. 118-124, fev. 1999.

KLEINDIENST, F.I. et al. Vergleich der Gelenkbelastung der unteren Extremitäten zwischen den Bewegungsformen Nordic Walking, Walking und Laufen mittels Inverser Dynamik. **Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin**. v. 58, n. 4, p. 105-111, 2007.

KREVOLIN, J.L.; PANDY, M.G.; PEARCE, J.C. Moment Arm of the Patellar Tendon in the Human Knee. **Journal of Biomechanics**, v. 37, n. 5, p. 785-788, mai. 2004.

LEWIS, J.L. **Ring of Liberation: Deceptive Discourse in Brazilian Capoeira**. Chicago: Chicago, 1992.

LIU, Y. et al. Lower Extremity Joint Torque Predicted by Using Artificial Neural Network During Vertical Jump. **Journal of Biomechanics**, v. 42, n. 7, p. 906-911, mai. 2009.

MAGANARIS, C.N.; PAUL, J.P. In Vivo Human Tendon Mechanical Properties. **Journal of Physiology**, v. 521, n. 1, p. 307-313, ago./set. 1999.

McCLAY, J.S. et al. A Profile of Ground Reaction Forces in Professional Basketball. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 10, n. 3, p. 222-236, 1994.

McPHERSON, M.; PICKETT, W. Characteristics of Martial Art Injuries in a Defined Canadian Population: A Descriptive Epidemiological Study. **BMC Public Health**, v. 10, n. 795, p. 1-7, dez. 2010.

MESTRE CAMISA (CARDOSO, J.T.C.). **Entrevista pessoal realizada pelo autor**. Cachoeiras de Macacu - Rio de Janeiro, 20.03.2012.

NÉMETH, G.; OHLSÉN, H. In Vivo Moment Arm Lengths for Hip Extensor Muscles at Different Angles of Hip Flexion. **Journal of Biomechanics**, v. 18, n. 2, p. 129-140, 1985.

NETO, P.C.O. (2007). **O Perfil dos Escolares da Educação Infantil, Praticantes de Capoeira, em Relação às Variáveis Psicomotoras**. Instituto de educação física, Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Uruguaiana, não publicado, 2007.

ROBERT, T. et al. Validation of Net Joint Loads Calculated by Inverse Dynamics in Case of Complex Movements: Application to Balance Recovery Movements. **Journal of Biomechanics**, v. 40, n. 11, p. 2450-2456, 2007.

SCHEYS, L. et al. Level of Subject-specific Detail in Musculoskeletal Models Affects Hip Moment Arm Length Calculation During Gait in Pediatric Subjects with Increased Femoral Anteversion. **Journal of Biomechanics**, v. 44, n. 7, p. 1346-1353, abr. 2011.

SCHMALZ, T. et al. Analysis of biomechanical effectiveness of valgus-inducing knee brace for osteoarthritis of knee. **Journal of Rehabilitation Research & Development**, v. 47, n. 5, p. 419-430, 2010.

SCHWAMEDER, H. (ed.). **Biomechanische Analysen beim Berggehen. Band 1: Spektrum Bewegungswissenschaft**. Aachen: Meyer & Meyer, 2004.

SIGNORETI, M.M; PAROLINA, E.C. Análise Postural em Capoeiristas da Cidade de São Paulo. Aspectos Fisiológicos e Biomecânicos. **Revista da Faculdade de Ciências da Saúde**, ISSN 1646-0480, n. 6, p. 462-470, 2009.

SILVA, G.O. **Capoeira: do Engenho à Universidade**. São Paulo: Coordenadoria de Comunicação Social do Estado de São Paulo, 1998.

SOBRINHO, L. C. **Capoeira Infantil e o Desenvolvimento Neuropsicomotor em Crianças de 6 e 7 Anos de Idade: Lateralização, Equilibração e Coordenação Motora Global**. Instituto de educação física, Universidade Salgado de Oliveira, Campos dos Goytacazes, não publicado, 2009.

THULL, M.-C. **Kampf und Tanz: Ein ethnologischer Vergleich von Capoeira, Moringue und Danmyé in ehemaligen portugiesischen und französischen Kolonien**. Institut für Ethnologie, Johann Wolfgang-Goethe-Universität. Frankfurt, não publicado, 2006.

TKAK, C.M.; OLIVEIRA, A.S. O Efeito da Prática da Capoeira Regional no Perfil Motor de Crianças. **Revista Teoria e Prática da Educação**, v. 9, n.2, p. 217-232, 2006.

TSAOPOULOS, D.E.; BALZOPOULOS, V.; MAGANARIS, C.N. Human Patellar Tendon Moment Arm Length: Measurement Considerations and Clinical Implications for Joint Loading Assessment. **Journal of Biomechanics**, v. 21, n. 7, p. 657-667, ago. 2006.

VAN HUSEN, M. **Belastungen der unteren Extremität im Handball und Volleyball: Eine Untersuchung zur Landung nach Sprungwürfen und Schmetterschlägen**. Institut für Humanwissenschaften (Erziehungswissenschaft, Psychologie und Sportwissenschaft), Technische Universität Darmstadt. Darmstadt, não publicado, 2005.

VIOLETTA, D.R. Belastungen im Volleyball aus physiologischer Sicht. Em DANNENMANN, F. (ed.), **Belastung im Volleyball**. (FIVB Trainer Symposium, p. 39-51), Bremen, 1995.

WESOLOWSKI, K. **Hard Play: Capoeira and the Politics of Inequality in Rio de Janeiro**. Dissertação, Depart of Anthropology and Education, Columbia University. New York, 2007.

WICK, D. et al. (ed.). **Biomechanik im Sport. Lehrbuch der biomechanischen Grundlagen sportlicher Bewegungen**. Balingen: Spitta, 2009.

WILLIMCZIK, K. et al. Auswirkungen konditioneller Beanspruchung auf das Fertigkeitensniveau im Sport Basketball. In Daus, R., Mechling, H., Blischke, K. & Olivier, N. (ed.), **Sportmotorisches Lernen und Techniktraining**, v. 2, p. 32-37, 1991.