

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**LÍGIA YUMI MOCHIDA**

**ESTUDO BIOMECÂNICO DA MARCHA DE**  
**MULHERES IDOSAS ULTRAPASSANDO OBSTÁCULOS:**  
**EFEITO DA ATIVIDADE FÍSICA**

**São Carlos, SP**

**2008**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**LÍGIA YUMI MOCHIDA**

**ESTUDO BIOMECÂNICO DA MARCHA DE**  
**MULHERES IDOSAS ULTRAPASSANDO OBSTÁCULOS:**  
**EFEITO DA ATIVIDADE FÍSICA**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Fisioterapia do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fisioterapia.**

**Orientadora: Profa. Dra. Paula Hentschel Lobo da Costa**

**São Carlos, SP**

**2008**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

M688eb

Mochida, Lígia Yumi.

Estudo biomecânico da marcha de mulheres idosas  
ultrapassando obstáculos : efeito da atividade física / Lígia  
Yumi Mochida. -- São Carlos : UFSCar, 2008.  
76 f.

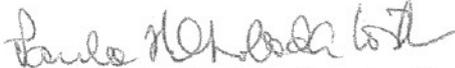
Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São  
Carlos, 2008.

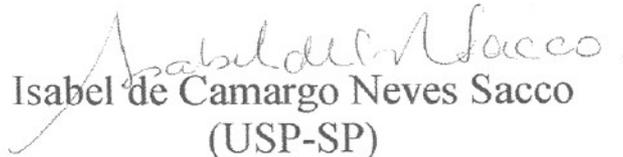
1. Fisioterapia. 2. Biomecânica - exercícios físicos.  
3. Envelhecimento. 4. Marcha. 5. Cinemática. 6. Força de  
reação do solo. I. Título.

CDD: 612.76 (20<sup>a</sup>)

**MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA PARA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE Lígia Yumi Mochida, APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM 30 DE JUNHO DE 2008.**

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Paula Hentschel Lobo da Costa  
(Presidente)

  
Isabel de Camargo Neves Sacco  
(USP-SP)

  
Lilian Teresa Bucken Gobbi  
(UNESP-Rio Claro)

## AGRADECIMENTOS

À todas voluntárias, pela participação e colaboração nesse trabalho.

À CAPES, pelo suporte financeiro.

Ao Prof. José Rubens Rebelatto e a Universidade Aberta da Terceira Idade, por permitir o recrutamento de voluntárias durante as avaliações trimestrais do Programa de Revitalização Geriátrica.

À Rosália, ao Nilton, à Vilmara e à Carolina Pimentel, por me auxiliarem no recrutamento de pessoas para participar nesse estudo e por todo apoio que sempre me deram desde o momento em que os conheci, vocês são minha família e estarão sempre em meu coração!!!

Aos grupos de Terceira Idade da cidade de São Carlos, por abrirem espaço para eu apresentar meu trabalho e, assim, encontrar mais participantes.

À secretaria do Programa de Pós-graduação em Fisioterapia da UFSCar, em especial, a secretária Ana Cláudia, pela prontidão em auxiliar em todas as intercorrências que houveram durante todo o processo do meu mestrado.

Aos membros do LABAT-NAM Nadiesca, Gardênia, Giovana, Mário, Diana, Fanny e, em especial, ao SUPER Preto e sua parceira Larissa e a grande Marê (a melhor apoio-técnico que qualquer laboratório poderia ter), pela ajuda inestimável principalmente nas coletas.

À prof<sup>a</sup>. Paula, por ser mais do que minha orientadora, ser uma grande amiga e ser uma pessoa admirável pelo seu caráter em realizar aquilo que acredita com dedicação e carinho, enfrentando todas as intempéries.

Aos professores Milton e Fabrício da UniFEI, por me auxiliarem durante as etapas de processamento dos dados.

Às amigas do LAFIPE, em especial, Bia, Tati e Lê por também me ajudarem nas etapas de processamento e análise dos dados.

Ao prof. Benedito Benze, grande professor de bioestatística, pela prontidão em me auxiliar na análise dos dados.

À prof<sup>a</sup>. Selva, pelas dicas, críticas e sugestões para o meu trabalho e, principalmente, pela amizade.

Às fisiomigas, pela amizade, pelo apoio e pelo carinho de sempre.

À Mali, por me auxiliar desde o meu ingresso no mestrado até as etapas finais deste, além, é claro, da grande amizade.

À Gigi, minha querida fisioterapeuta, por colocar tanto minha cabeça quanto meu corpo “no lugar”.

À prof<sup>a</sup>. Fernanda Telles, minha eterna professora, por toda compreensão e carinho me ensinando a trilhar o caminho das palavras.

À minha querida mãe, por ser meu exemplo de determinação, de caráter, de moral, de tudo! A pessoa mais brilhante que eu conheço e que não mediu esforços para proporcionar a melhor formação e educação para mim e para minha irmã, sempre nos apoiando em todos os momentos de nossas vidas.

À minha adorada irmã, ao meu cunhado Irier, ao Henry (meu pai do coração) e à Tuca (minha segunda mãe), por me auxiliarem no processamento dos dados e pelo amor incondicional.

À Solange e ao Baiano, pelo apoio nos momentos difíceis que passei durante o mestrado e pela grande amizade e carinho.

Ao meu amado Guilherme, pela ajuda imprescindível desde as etapas das coletas de dados até o dia da defesa; sem o seu apoio e colaboração esse trabalho certamente não teria sido concretizado em tempo hábil. Além disso, pelo companheirismo, compreensão, carinho, apoio e amor durante todo esse período.

À todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão dessa grande etapa da minha vida.

Por fim, à Deus, por ter colocado todas essas pessoas incríveis na minha vida!

**MUITO OBRIGADA!!!**

## RESUMO

Sabe-se que a prática regular de exercícios traz inúmeros benefícios para os indivíduos idosos. Contudo, nenhum estudo avaliou seus efeitos na negociação de obstáculos dessa população. Assim, o objetivo desse trabalho foi estudar a marcha durante a negociação de obstáculos de mulheres idosas fisicamente ativas e fisicamente independentes através da avaliação de variáveis biomecânicas, a fim de identificar quais são as adaptações realizadas pelos dois grupos diante de uma tarefa de marcha mais complexa. A amostra foi composta por idosas saudáveis, sendo dez fisicamente independentes (FI) e as outras dez fisicamente ativas (FA) há mais de um ano. Duas ferramentas biomecânicas foram utilizadas: a cinemetria e a dinamometria. As voluntárias efetuaram dois tipos de protocolo em velocidade auto-selecionada: marcha livre e marcha com obstáculo. O obstáculo foi disposto de duas formas diferentes, uma imediatamente antes da plataforma de força (P1) e outra após a plataforma de força (P2), a fim de se analisar as diferentes fases do membro inferior (abordagem primária e secundária e suporte primário e secundário) durante a negociação de obstáculo. A altura do obstáculo foi personalizada, definida de acordo com o comprimento do membro inferior da respectiva voluntária, sendo utilizadas as alturas de 10, 20 e 30% da medida verificada. A ordem para a realização das tarefas foi aleatória e cada participante executou três tentativas válidas para cada condição experimental, totalizando 21 tentativas randomizadas. As variáveis analisadas foram: amplitude da passada, distâncias horizontais do hálux e do calcâneo, distâncias verticais do hálux e do calcâneo, ângulo absoluto do quadril, ângulos relativos do joelho e tornozelo, forças de reação máximas, mínima e impulso vertical relativo da componente ortogonal vertical e tempo de apoio. O teste ANOVA de Friedman foi utilizado para detectar diferenças entre as tarefas, enquanto o teste de Mann-Whitney foi utilizado para apontar diferenças entre os dois grupos. O Erro Tipo-I foi controlado com nível de significância menor que 0,05 para ambos os testes. Os resultados estatisticamente significativos não forneceram conclusões a respeito do efeito da atividade física na marcha durante a negociação de obstáculos de mulheres idosas. Contudo, pode-se verificar alguns indícios de que sua prática promoveu uma facilitação na ultrapassagem das perturbações impostas em idosas. Talvez, com a seleção de outras variáveis e com a utilização de alturas mais elevadas de obstáculo as diferenças entre os grupos tornem-se mais evidentes.

**Palavras-chave:** Biomecânica, Envelhecimento, Marcha, Obstáculos, Atividade Física, Cinética, Cinemática.

## ABSTRACT

It is known that practicing regular exercises promotes several benefits to elderly individuals. However, no studies have assessed the effects of activity on obstacle negotiation with this population. Therefore, the objective of this research was to study the gait during obstacle negotiation of elderly women who were physically active and physically independent by means of the analysis of biomechanical variables to identify which adaptations are performed by each group when executing a more complex gait task. The sample was comprised of healthy elderly female subjects, in which ten were physically independent (PI) and the other ten were physically active (PA) for more than one year. Two biomechanical tools were utilized: kinematics and dynamometry. The volunteers performed two types of protocols at self-selected speed: unobstructed gait and obstructed gait. The obstacle was positioned in two different manners, one immediately before the force plate (P1) and the other just after the force plate (P2), so the authors could analyze the different phases of the lower limb (primary and secondary approach, and primary and secondary support) during the negotiation of an obstacle. Obstacle height was customized according to the volunteer's lower limb length, and the heights of 10, 20 and 30% were utilized from the verified measure. The order in which the volunteers performed the task was randomized, and each volunteer executed three valid trials to each experimental condition, with the total amount of 21 randomized trials. The analyzed variables were: stride length, toe and heel horizontal distances, toe and heel clearances, hip joint absolute angle, knee and ankle joints relative angles, first and second peak vertical forces, minimum vertical force, relative vertical impulse of the ground reaction force, and support time. The Friedman analysis of variance was applied to detect differences between the tasks, while the Mann-Whitney test was applied to indicate differences between the groups. Type-I Error was controlled with the significance level stipulated below 0.05 to both tests. The statistically significant results did not provide conclusions regarding the effect of physical activity on the gait during obstacle negotiation of elderly women. However, it was observed certain indications that physical activity promoted facilitation when negotiating the imposed perturbations. Perhaps, by analyzing other variables and higher obstacle heights, the differences between the groups may become more apparent.

**Keywords:** Biomechanics, Aging, Gait, Obstacles, Physical Activity, Kinetics, Kinematics.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dados individuais dos grupos FI (n=10) e FA (n=10) .....	25
Tabela 2	Variáveis cinemáticas demonstrando as distâncias avaliadas durante a negociação do obstáculo posicionado antes da plataforma de força. Valores estão apresentados como média (desvio padrão). ). O símbolo * representa diferença significativa entre os grupos. ....	45
Tabela 3	Variáveis cinemáticas demonstrando as distâncias avaliadas durante a negociação do obstáculo posicionado após a plataforma de força. Valores estão apresentados como média (desvio padrão). ). O símbolo * representa diferença significativa entre os grupos. ....	46
Tabela 4	Variáveis cinemáticas demonstrando os ângulos avaliados durante a negociação do obstáculo posicionado antes da plataforma de força. Valores estão apresentados como média (desvio padrão). O símbolo * representa diferença significativa entre os grupos. O símbolo + representa diferença significativa intragrupo entre as alturas 10 e 30%. ....	50
Tabela 5	Variáveis cinemáticas demonstrando os ângulos avaliados durante a negociação do obstáculo posicionado após a plataforma de força. Valores estão apresentados como média (desvio padrão). O símbolo + representa diferença significativa intragrupo entre as alturas 10 e 30%. O símbolo ‡ representa diferença significativa intragrupo entre as alturas 20 e 30%. ....	50

Tabela 6	Variáveis obtidas pela plataforma de força durante a realização da marcha sem obstáculo. O tempo de apoio está apresentado em segundos, e as demais variáveis em porcentagem do peso corporal (100%) .....	52
Tabela 7	Variáveis obtidas durante a realização da marcha com o obstáculo posicionado antes da plataforma de força (P1, suporte secundário). O tempo de apoio está apresentado em segundos, e as demais variáveis em porcentagem do peso corporal (100%). O símbolo * representa diferença significativa entre os grupos. ). O símbolo + representa diferença significativa intragrupo entre as alturas 10 e 30%. .....	52
Tabela 8	Variáveis obtidas durante a realização da marcha com o obstáculo posicionado depois da plataforma de força (P2, suporte primário). O tempo de apoio está apresentado em segundos, e as demais variáveis em porcentagem do peso corporal (100%). O símbolo * representa diferença significativa entre os grupos. ....	53

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Volume de calibração .....	28
Figura 2	Disposição das câmeras e da plataforma de força para a coleta .....	29
Figura 3	Representação das distâncias mensuradas através da cinemetria. O desenho representa os segmentos perna e pé; a linha preta representa o obstáculo. A) representa a distância do pé antes de ultrapassar o obstáculo (distância horizontal do hálux). B) representa a distância do pé depois de ultrapassar o obstáculo (distância horizontal do calcâneo). C) representa a distância do pé no momento de ultrapassagem do obstáculo com o calcâneo (distância vertical do calcâneo). D) representa a distância do pé no momento de ultrapassagem do obstáculo com o hálux (distância vertical do hálux) .....	31
Figura 4	Componente Vertical da força de reação do solo e as variáveis analisadas .....	32
Figura 5	Posicionamento do obstáculo durante as funções distintas do membro inferior avaliado (membro inferior direito destacado pela cor preta). Posicionamento 1 (P1) do obstáculo: A - membro inferior avaliado realiza a abordagem primária ao obstáculo; B - membro inferior avaliado realiza a fase de suporte secundário. Posicionamento 2 (P2) do obstáculo: C - membro inferior avaliado realiza a fase de suporte primário; D - membro inferior avaliado realiza a abordagem (secundária) ao obstáculo .....	33

Figura 6	Obstáculo .....	34
Figura 7	Análise espectral da componente vertical da força de reação do solo da plataforma de força .....	39

## LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 Distância horizontal do hálux (DHH) do membro inferior direito antes da ultrapassagem do obstáculo. O símbolo <sup>+</sup> representa pontos *outliers*. Para essa variável é mais importante observar a posição do obstáculo P2, pois corresponde a perna na fase de suporte primário, representando uma distância segura de ultrapassagem. Análise intergrupos: diferença significativa entre FI e FA em P2-20%. Análise intragrupo-altura do obstáculo: não houve diferenças significativas para ambos os grupos..... 43
- Gráfico 2 Distância horizontal do calcâneo (DHC) do membro inferior direito após a ultrapassagem do obstáculo. O símbolo <sup>+</sup> representa pontos *outliers*. Para essa variável é mais importante observar a posição do obstáculo P1, pois corresponde a perna na fase de suporte secundário, representando uma distância segura de abordagem. Análise intergrupos: não houve diferenças significativas entre os grupos. Análise intragrupo-altura do obstáculo: não houve diferenças significativas para ambos os grupos..... 44
- Gráfico 3 Distância vertical do calcâneo (DVC) do membro inferior direito durante a ultrapassagem do obstáculo. O símbolo <sup>+</sup> representa pontos *outliers*. Para essa variável é mais importante observar a posição do obstáculo P1, pois corresponde a perna na fase de abordagem primária, sendo o marcador do calcâneo o que mais se aproxima do obstáculo. Análise intergrupos: não houve diferenças significativas entre os grupos. Análise intragrupo-altura do obstáculo: não houve diferenças significativas para ambos os grupos..... 44

- Gráfico 4 Distância vertical do hálux (DVH) do membro inferior direito durante a ultrapassagem do obstáculo. O símbolo <sup>+</sup> representa pontos *outliers*. Para essa variável é mais importante observar a posição do obstáculo P2, pois corresponde a perna na fase de abordagem secundária, sendo o marcador do hálux o que mais se aproxima do obstáculo. Análise intergrupos: não houve diferenças significativas entre os grupos. Análise intragrupo-altura do obstáculo: não houve diferenças significativas para ambos os grupos..... 45
- Gráfico 5 Ângulo do quadril durante a ultrapassagem do obstáculo. Este ângulo é chamado de absoluto, pois considera a angulação do quadril em relação ao solo (WINTER, 1991). A inflexão para baixo da curva (sentido negativo) indica flexão, enquanto que a inflexão para cima (sentido positivo) indica a extensão da articulação. O momento da ultrapassagem do obstáculo (DVH) está representado pelo círculo no gráfico, e o membro inferior direito está destacado pela cor preta no desenho representativo do movimento. Estão representadas duas tentativas de duas voluntárias..... 47
- Gráfico 6 Ângulo relativo do joelho durante a ultrapassagem do obstáculo. A inflexão para baixo da curva (sentido negativo) indica flexão, enquanto que a inflexão para cima (sentido positivo) indica a extensão da articulação. O momento da ultrapassagem do obstáculo (DVH) está representado pelo círculo no gráfico, e o membro inferior direito está destacado pela cor preta no desenho representativo do movimento. Estão representadas duas tentativas de duas voluntárias..... 48

- Gráfico 7 Ângulo relativo do tornozelo durante a ultrapassagem do obstáculo. A inflexão para baixo da curva (sentido negativo) indica flexão, enquanto que a inflexão para cima (sentido positivo) indica a extensão da articulação. O momento da ultrapassagem do obstáculo (DVH) está representado pelo círculo no gráfico, e o membro inferior direito está destacado pela cor preta no desenho representativo do movimento. Estão representadas duas tentativas de duas voluntárias..... 49
- Gráfico 8 Variáveis dinamométricas e tempo de apoio comparadas entre os grupos, nas três diferentes alturas e na marcha livre, para os dois posicionamentos do obstáculo. O membro inferior direito está destacado pela cor preta no desenho representativo do movimento. O símbolo “ \* ” representa diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ )..... 51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Por cento
A/D	Analógico - Digital
cm	Centímetros
cm <sup>2</sup>	Centímetros ao quadrado
DHC	Distância horizontal do calcâneo (ao obstáculo)
DHH	Distância horizontal do hálux (ao obstáculo)
DLT	Direct linear transformation. Método utilizado para representação tridimensional de coordenadas contendo valores no eixo $x$ e $y$
DVC	Distância vertical do calcâneo (ao obstáculo, durante a ultrapassagem)
DVH	Distância vertical do hálux (ao obstáculo, durante a ultrapassagem)
<i>et al.</i>	Abreviação do Latim <i>et alii</i> , significando “e outros”
FA	Fisicamente ativas
FI	Fisicamente independentes
Fz1	Força máxima de reação do solo que corresponde à fase de aceitação do peso corporal na marcha
Fz2	Força mínima de reação do solo que corresponde à fase de médio apoio na marcha
Fz3	Força máxima de reação do solo que corresponde à fase propulsiva da marcha
H <sub>0</sub>	Hipótese nula
H <sub>1</sub>	Hipótese alternativa
Hz	Hertz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IVR	Impulso Vertical Relativo. Representa a integral da componente vertical da força de reação do solo
Kg	Quilograma
Obst.	Obstáculo
p	Nível de significância
P1	Posicionamento do obstáculo antes da plataforma de força
P2	Posicionamento do obstáculo após a plataforma de força
TUG	Teste <i>Timed Up and Go</i>
seg.	Segundos

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	20
3 OBJETIVO .....	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	24
4.1 Delineamento .....	24
4.2 Casuística .....	24
4.2.1 Critérios de Inclusão e Exclusão .....	26
4.3 Cinemetria .....	27
4.3.1 Acurácia da Cinemetria .....	31
4.4 Dinamometria .....	32
4.5 Protocolo Experimental .....	33
4.6 Análise Estatística .....	35
4.6.1 Análise Intergrupos .....	35
4.6.2 Análise Intragrupo .....	36
4.6.2.1 Altura dos Obstáculos .....	36
4.6.2.2 Fases do Membro Inferior .....	37
4.7 Processamento dos Dados .....	38
4.7.1 Cinemetria .....	38
4.7.2 Dinamometria .....	39
5 RESULTADOS .....	40
5.1 Resultados da Análise Intergrupos .....	40
5.1.1 Variáveis Obtidas Pela Cinemetria .....	40
5.1.2 Variáveis Obtidas Pela Dinamometria .....	41
5.2 Resultados da Análise Intragrupo .....	41
5.2.1 Altura do Obstáculo .....	41
5.2.1.1 Variáveis Obtidas Pela Cinemetria .....	41
5.2.1.2 Variáveis Obtidas Pela Dinamometria .....	42
5.2.2 Fases do Membro Inferior .....	42
5.2.2.1 Variáveis Obtidas Pela Cinemetria .....	42
5.2.2.2 Variáveis Obtidas Pela Dinamometria .....	43

6 DISCUSSÃO .....	54
6.1 Análise Intergrupos .....	54
6.1.1 Variáveis Obtidas da Cinemetria .....	54
6.1.2 Variáveis Obtidas da Dinamometria .....	56
6.2 Análise Intragrupo .....	57
6.2.1 Efeito da Altura do Obstáculo .....	57
6.2.1.1 Variáveis Obtidas da Cinemetria .....	57
6.2.1.2 Variáveis Obtidas da Dinamometria .....	57
6.2.2 Fases do Membro Inferior .....	58
6.2.2.1 Variáveis Obtidas da Cinemetria .....	58
6.2.2.2 Variáveis Obtidas da Dinamometria .....	58
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	60
REFERÊNCIAS .....	61
APÊNDICE A .....	67
APÊNDICE B .....	73
ANEXO A .....	76

# 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2000 é possível constatar um crescente aumento da população idosa no Brasil. Do ano de 1991 a 2000 o número de indivíduos com 60 anos ou mais aumentou em quase 4 milhões representando 8,6% da população total. Estima-se que em 2050 essa proporção cresça para 18% totalizando 38 milhões (CHAIMOWICZ, 2006). Esse crescimento na expectativa de vida é uma conquista importante, mas não está diretamente relacionada com a qualidade com que esta é vivida.

O envelhecimento é marcado pelo declínio progressivo de diversas funções do corpo, levando a uma redução na capacidade física dos indivíduos (CATAI, 1999; RIBEIRO, 2001), aumento na incidência de processos degenerativos músculo-esqueléticos (VELOSO & XIMENES, 2001) e de desordens articulares devido às mudanças no aporte sanguíneo e alterações do colágeno (REKERS *et al.*, 1992) entre outras modificações. Assim, a função motora é uma das mais acometidas pelo envelhecimento. Com o aumento da dificuldade de movimentar-se o idoso restringe-se às tarefas menos complexas e, gradativamente, insere-se num ciclo vicioso incapacitante. Esse processo de deterioração do movimento está diretamente relacionado com a diminuição da qualidade de vida da população idosa, principalmente quando se trata de uma das condições mais básicas de independência: a locomoção.

A locomoção, especificamente a marcha, é de particular importância para a população em idade avançada como instrumento para a manutenção das atividades de vida diária e de interação social, bem como para a garantia de independência. Quando se considera a marcha como uma perturbação contínua da condição de equilíbrio no processo de transferência do centro de gravidade de um pé ao outro, podem-se esperar adaptações em seus padrões para a população em idade mais avançada, devidas às mudanças nos sistemas motor e cognitivo que acompanham o processo de envelhecimento. Limitações na função perceptiva, nos sistemas nervoso, muscular e ósseo produzem condições iniciais diferenciadas para a produção e o controle de movimentos nesses indivíduos. Dessa maneira, pode-se abordar a marcha de idosos como adaptada às condições típicas do sistema motor desse grupo, a fim de garantir as funções básicas para uma marcha bem sucedida.

As características de uma marcha bem sucedida baseiam-se em critérios globais de propulsão eficiente do corpo e segurança. Segundo Winter (1991), esses critérios são:

- manutenção da sustentação do corpo durante o apoio, prevenindo o colapso dos membros inferiores;
- manutenção da postura ereta e equilíbrio do corpo;
- controle da trajetória do pé, garantindo uma passagem segura sobre o solo na fase de balanço e um contato suave com o calcanhar no apoio inicial;
- geração de energia mecânica para manter ou aumentar a velocidade de progressão;
- absorção de energia mecânica para o controle do impacto inicial e estabilidade ou para reduzir a velocidade de progressão.

A marcha, portanto, apresenta-se como uma tarefa complexa a ser realizada, onde há a necessidade de interação de vários sistemas fisiológicos. O seu controle se dá em três níveis diferentes, proporcionando o controle da passada reflexa básica e dos padrões de suporte, o controle postural e equilíbrio, e os mecanismos que permitem ao corpo adaptar-se a mudanças inesperadas no ambiente (SPIRDUSO, 1995).

Uma simples avaliação visual revela a preferência de idosos por mais baixas velocidades de deslocamento, menores amplitudes de passos e maiores durações do apoio duplo. Pesquisas sistematizadas confirmaram tais características e os autores apontam que estas garantem uma máxima economia de energia, além de segurança contra quedas (WINTER, 1991; ELBLE *et al.*, 1991; SERRÃO & AMADIO, 1993; PRINCE *et al.*, 1997).

Uma vez que as características da marcha podem refletir o estado geral de bem estar e da saúde do sistema motor como um todo, a avaliação da marcha de idosos tem sido rotina nos programas de Educação Física, de Reabilitação e demais programas que qualificam a capacidade dessa população em desempenhar atividades de vida diária. Um exemplo da marcha sendo representativa do estado geral do indivíduo pode ser observado em um estudo conduzido por Bendall e colaboradores (1989), onde as alterações na marcha de idosos foram mais presentes em indivíduos institucionalizados ou recém hospitalizados.

Um outro grande problema é a manutenção do equilíbrio. Masud e Morris (2001) realizaram uma revisão epidemiológica de quedas em uma população senil dos anos 80 e início dos anos 90, observando que com o avançar da idade a proporção de quedas aumentou de 28-35% para 32-42%, nas faixas etárias de 65 anos ou mais e 75 anos ou mais, respectivamente. Elas são importantes causas de morbidade e mortalidade

dos idosos, sendo a fratura de quadril sua morbidade mais importante (CHANDLER, 2002). Este último desfecho implica na imobilização e hospitalização, fato que proporciona um aumento dos gastos com saúde dos sistemas públicos e privados. Conseqüentemente, a busca pelos fatores de risco das quedas e por estratégias para a sua diminuição tornou-se imprescindível na medida em que houve um aumento substancial da população idosa no Brasil e no mundo.

Alguns autores dividem os fatores de risco para quedas em extrínsecos, provenientes de causas ambientais, e intrínsecos, oriundos do próprio indivíduo que sofre o acidente (HALE *et al.*, 1992; DIEËN *et al.*, 2005). As mudanças na marcha e mobilidade em geral, fraqueza muscular, aumento do tempo de reação entre outras alterações decorrentes do envelhecimento têm sido associadas com fatores de risco intrínsecos. Deste modo, fundamentado nessas características decorrentes do envelhecimento, tem-se abordado a estratégia de promoção de atividade física para amenizar tais modificações que contribuem para os fatores de risco.

Segundo Wilmore e Costil (2001) um estilo de vida ativa não impede, mas desacelera o processo de envelhecimento biológico. Dessa forma, o declínio progressivo do sistema motor, nos aspectos de força, tempo de reação e tempo de movimento, podem ser minimizados por meio de treinamentos adequados e específicos (SPIRDUSO, 2005; WEINECK, 2005; FLECK & KRAEMER, 2006). Por esse motivo, várias pesquisas procuram relacionar a atividade física com a diminuição do risco de quedas (DALEY & SPINKS, 2000; LI *et al.*, 2004; KANNUS *et al.*, 2005).

Todavia, esses estudos restringem-se em analisar fatores intrínsecos, em um ambiente laboratorial, bem iluminado, sem anteparos que exijam mais do indivíduo. Essas condições fogem muito da situação real para se compreender as causas das quedas. Estudos mais recentes têm acrescentado fatores extrínsecos às análises, a fim de adquirirem novas informações que auxiliem o entendimento da queda em idosos. Portanto, a inclusão de uma perturbação ambiental durante a marcha apresenta-se como uma tarefa mais corriqueira, capaz de fornecer informações valiosas sobre o comportamento motor na negociação de obstáculos.

Dieën e colaboradores (2005) realizaram uma revisão bibliográfica e observaram uma maior frequência de quedas nas mulheres idosas do que nos homens. Esse é um fato importante na medida em que observamos um processo de feminização da população idosa as quais sofrem muito mais com as seqüelas da queda em decorrência da osteoporose, evidente nessa fase da vida.

Do nosso conhecimento não existe nenhum estudo avaliando a marcha de idosos durante a negociação de obstáculos comparando dois níveis de atividades físicas. A maioria visa comparar grupos de faixas etárias distintas, geralmente adultos jovens e idosos (CHEN *et al.*, 1994; HAHN & CHOU, 2004; SCHILLINGS *et al.*, 2005), outros comparam grupos de idosos destreinados com treinados por meio de fortalecimento (LAMOUREAUX *et al.*, 2003). Mas não observamos estudos que buscam analisar os efeitos da prática regular de atividades físicas como forma de aprimorar a ultrapassagem de anteparos, diminuindo, assim, o risco de quedas. Dessa forma, esse estudo buscou compreender melhor as alterações na marcha de mulheres idosas que apresentavam estilo de vida díspar; sendo um grupo fisicamente independente (nível de sedentarismo) e outro fisicamente ativo que participava de atividades físicas regulares supervisionadas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Os aspectos abordados nesta revisão são referentes a diferentes tipos de estudos que utilizam perturbações ambientais na avaliação da marcha. Além disso, são relatados os efeitos benéficos da atividade física na promoção de saúde para a população idosa.

Menz e colaboradores (2003) estudaram o comportamento da marcha de 30 indivíduos jovens (11 homens e 19 mulheres) e 30 idosos (8 homens e 22 mulheres) saudáveis em terreno irregular. Esse terreno foi montado em três camadas: grama artificial com 5mm de espessura (camada superficial), finos blocos de madeira de 20mm distribuídos aleatoriamente (camada média) e uma fina e macia camada de espuma emborrachada de 20mm (camada profunda). Foram utilizados acelerômetros triaxiais colocados sobre a cabeça e na região pélvica próximo ao sacro para a mensuração da velocidade da marcha, cadência, comprimento do passo, variabilidade no tempo do passo e acelerações da cabeça e do tronco. Foi verificado que os sujeitos mais velhos apresentaram velocidade reduzida, diminuição do comprimento do passo e aumento na variabilidade no tempo do passo. Tais fatos, segundo os autores, evidenciam um aumento do medo de cair da população idosa.

Schrodt e colaboradores (2004) procuraram observar a existência de alguma alteração na marcha de idosos com obstáculo pela aplicação de uma outra tarefa envolvendo o aspecto cognitivo. Para isso, tiveram a participação de 21 idosos de ambos os sexos. A primeira tarefa era caminhar e ultrapassar o obstáculo (peça de madeira de 91 cm de largura, 15 cm de profundidade e 2 cm de altura) na velocidade mais rápida possível. A segunda tarefa era recitar números gravados em uma fita. Assim, os voluntários realizaram cada tarefa individual e concomitantemente. Os instrumentos para aquisição dos dados foram: uma câmera de vídeo e uma plataforma de força. Elas permitiram a análise da velocidade da marcha, do comprimento do passo, da distância horizontal pé-obstáculo, da distância vertical pé-obstáculo durante sua ultrapassagem, do centro de pressão médio-lateral e duração da fase de balanço na negociação do obstáculo. Como resultado, somente foi observado um aumento da distância hálux-obstáculo e uma diminuição na distância calcânhar-obstáculo durante a realização das duas tarefas simultaneamente. Para os outros parâmetros não se observou grandes alterações; ocorreu somente uma pequena diminuição na tarefa cognitiva exigida em benefício da manutenção do desempenho da marcha. Portanto, para os

autores, a tarefa física apresentou maior relevância para os participantes avaliados do que a verbalização dos números escutados (quando realizados simultaneamente), apresentado pela escolha de uma estratégia mais segura na tarefa física.

Christofolletti e colaboradores (2006) analisaram através de um estudo estatístico a correlação do aspecto cognitivo com o risco de quedas em idosos não por meio de uma nova tarefa durante a marcha, e sim através da análise comparativa deste movimento realizado por sujeitos saudáveis, portadores da doença de Parkinson e demência de Alzheimer. Os instrumentos utilizados para tanto foram a Escala de Equilíbrio Funcional de Berg, o teste *Timed Up and Go*, o mini-exame do estado mental e o questionário Baecke Modificado para idosos. Os autores observaram que os sujeitos portadores de Alzheimer apresentaram um maior risco de queda que os indivíduos com Parkinson, fato interessante na medida em que a primeira é um distúrbio cognitivo e a segunda, uma patologia com sintomatologia primordialmente motora.

Niang e McFadyen (2005) observaram o efeito da atividade física em uma população jovem por meio da negociação de obstáculos em três diferentes condições: marcha livre (sem perturbação), marcha com obstáculos com altura de 10 e 30% do comprimento do membro inferior. Para tanto, utilizaram um sistema optoeletrônico e duas plataformas de força. Não foram observadas diferenças relevantes entre os grupos ativo e inativo que indicasse o benefício da atividade física para essa tarefa. Com isso, os autores sugerem que o padrão usado pelo sistema nervoso central é unicamente dependente do membro inferior e do contexto do obstáculo, e não da capacidade física.

Apesar do estudo descrito anteriormente não obter resultados que demonstrem as vantagens da prática regular de exercícios para uma população jovem, outras pesquisas demonstram que ela auxilia na promoção de saúde em diferentes sistemas do organismo (POWERS & HOWLEY, 2001; WILMORE & COSTILL, 2001) incluindo o sistema-músculo-esquelético. Sabe-se que com o envelhecimento há um processo de grande perda da força muscular decorrente da combinação de alterações neurais, musculares e tendíneas. Contudo, Narici e colaboradores (2005) verificaram que através do treinamento muscular adequado a maioria dos efeitos indesejados da idade são suavizados, ou mesmo, revertidos.

A lentificação das reações e dos movimentos é também uma característica observada com o avançar da idade (PATTEN & CRAIK, 2002). Essa diminuição na velocidade de iniciar e executar movimentos gera grandes dificuldades na medida em que alguns acontecimentos imprevisíveis, como tropeços, necessitam de ações rápidas

para a retomada do equilíbrio. Com medo de enfrentar situações como essa, os idosos, aos poucos, restringem o convívio social às suas residências, acelerando ainda mais os processos deletérios provenientes do sedentarismo.

Weineck (2005) relata que esse quadro de lentificação pode ser atenuado com treinamento específico, com exceção quando houver também um fator de escolha. Comenta ainda que as capacidades de coordenação e precisão podem ser aperfeiçoadas mesmo em uma população mais idosa. Assim, a realização de atividade física apresenta-se como um tópico fundamental para a garantia de uma melhor qualidade de vida desses indivíduos.

### 3 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi comparar as formas de negociação de obstáculos de mulheres idosas fisicamente ativas e fisicamente independentes por meio da avaliação de variáveis biomecânicas.

Assim, esse estudo procurou verificar:

- se a prática regular de atividade física em mulheres idosas modifica a execução da tarefa em questão;
- se diferentes alturas do obstáculo promovem alterações das formas de negociação para ambos os grupos de modo similar ou diferenciado;
- se as diferentes fases do membro inferior durante a ultrapassagem exercem riscos de quedas semelhantes ou distintos.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 DELINEAMENTO

O delineamento do presente projeto foi estipulado como estudo analítico transversal, onde não houve o risco de perda amostral durante a realização das coletas de dado.

A realização da investigação foi baseada na hipótese de pesquisa levantada em que a atividade física proporcionaria uma maior facilidade de negociação de obstáculos pelas voluntárias idosas (hipótese 1), sendo observada pelas variáveis biomecânicas em estudo, e esta suposta diferença entre indivíduos ativos e independentes seria maior com o aumento da altura do obstáculo a ser negociado (hipótese 2).

Portanto, os dois fatores (variáveis independentes) “atividade física” e “sedentarismo” (classificado, neste estudo, como indivíduos “independentes”) apresentam 7 níveis (alturas e posicionamento do obstáculo, descritos mais a seguir na seção Protocolo Experimental), e estes foram relacionados com diversas variáveis dependentes em cada tipo de avaliação (dinamométrica e cinemática), proporcionando as seguintes hipóteses estatísticas a serem testadas:

$$H_o : \tau_1 = \tau_2 \text{ e}$$

$$H_1 : \tau_1 \neq \tau_2 ,$$

onde  $\tau_1$  representando os efeitos fixos dos tratamentos observados para as voluntárias idosas fisicamente ativas e  $\tau_2$  representando os efeitos fixos dos tratamentos observados para as voluntárias idosas fisicamente independentes.

### 4.2 CASUÍSTICA

Oitenta e quatro idosas foram contatadas e esclarecidas sobre o trabalho; destas, 28 se apresentaram como voluntárias para o estudo. Uma fisioterapeuta, independente à pesquisa, avaliou-as e, após sua avaliação, os registros eram analisados para verificar se as voluntárias se enquadravam nos critérios de inclusão e exclusão, descritos mais adiante.

Por conseguinte, a amostra final foi composta de vinte idosas saudáveis do gênero feminino (Tabela 1). Dessa amostra, dez eram mulheres fisicamente independentes (FI), que segundo a classificação de Spirduso (1995) representam indivíduos que não realizam exercícios físicos e não tiveram nenhuma doença que os debilitassem de forma a perderem sua independência. As outras dez eram fisicamente ativas (FA) há mais de um ano, realizando atividade física duas ou três vezes por semana pelo “Programa de Revitalização Geriátrica”.

**Tabela 1:** Dados individuais dos grupos FI (n = 10) e FA (n = 10).

	<b>Participante</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Massa (Kg)</b>	<b>Estatutura (cm)</b>	<b>TUG (seg)</b>	<b>Mini Exame do Estado Mental</b>
<b>Grupo FI</b>	01	63	68,6	169,5	8,1	30
	02	68	57,7	156,5	10,65	27
	03	62	45,2	151	8,5	28
	04	60	67	161	9,59	27
	05	70	63,15	157	7,84	28
	06	82	55,4	157	9,84	28
	07	61	68,9	157,5	7,7	26
	08	64	65,4	151	8,72	30
	09	60	66,4	155	6,59	26
	10	71	67	160	10	29
	Média	66,10	61,97	157,28	8,75	27,90
	Desvio-Padrão	6,89	7,85	5,57	1,25	1,45
<b>Grupo FA</b>	11	64	68	165	8,13	24
	12	61	66,75	165	8,56	29
	13	71	70,1	159,5	8,68	24
	14	63	66,7	158	5,92	27
	15	60	70,8	159	9,07	27
	16	63	57,9	149	6,84	28
	17	63	43,8	141,5	7,15	26
	18	62	62,8	158,5	6,84	29
	19	67	57,6	157	9,75	25
	20	66	55,3	153	8,25	27
	Média	64,00	61,98	156,55	7,92	26,60
	Desvio-Padrão	3,23	8,41	7,15	1,19	1,84

O “Programa de Revitalização Geriátrica” é promovido pela Universidade Federal de São Carlos em parceria com a Universidade Aberta da Terceira Idade e teve início em abril de 2005. As aulas são efetuadas três vezes na semana, em dias intercalados, com duração de uma hora. As atividades desse programa são orientadas por professores de educação física independentes deste projeto. Elas consistem

basicamente na realização de um pré-aquecimento, alongamento inicial, ganho de resistência aeróbia, trabalhos que envolvam capacidades coordenativas, treinamento de resistência de força, ganho de flexibilidade e por fim, relaxamento. A escolha dessa população ativa ocorreu devido à regularidade das atividades e a longa duração do programa que gerou, dessa forma, um grupo homogêneo.

O recrutamento do grupo FA foi realizado pessoalmente durante as avaliações trimestrais do programa de revitalização ou por telefone adquirido através dos registros dos indivíduos que integram tal atividade. Para o grupo FI as voluntárias foram encontradas através de grupos de terceira idade existentes na cidade de São Carlos ou por indicação de pessoas solidárias ao trabalho em questão.

#### **4.2.1 Critérios de Inclusão e Exclusão**

Os seguintes critérios foram estipulados para a formação da amostra:

- Capacidade de caminhar independentemente;
- não etilistas;
- não usuárias de drogas ou substâncias que causam dependência química;
- índice de massa corporal inferior a  $30\text{kg/m}^2$ ;
- ausência de distúrbios neurológicos e neuropatias periféricas;
- ausência de anormalidades, disfunções ou processos músculo-esqueléticos degenerativos graves;
- não usuárias de próteses e órteses de membros inferiores e cintura pélvica;
- ausência de história de fraturas ósseas ou lesões articulares que interfiram na mobilidade;
- ausência de distúrbios visuais não corrigidos pelo uso de óculos.

O questionário utilizado (apêndice A) verificou o nível de atividade física, índice de massa corporal, presença de distúrbios neurológicos e neuropatias periféricas, a utilização de drogas ou substâncias que causassem dependência química, a existência de dificuldades para deambulação, o grau de força muscular de tronco e membros inferiores, o teste *Timed Up & Go* (PODSIADLO e RICHARDSON, 1991) e o Mini-Exame do Estado Mental (FOLSTEIN *et al.*, 1975).

O grau de força muscular é uma medida subjetiva, porém muito utilizada na área de Fisioterapia para avaliação clínica. A escala de graduação varia de zero (sem

nenhuma evidência de contração muscular) a cinco (movimento realizado em amplitude completa, contra a gravidade e contra uma resistência) (REESE, 2000). Para esse estudo foi determinada uma pontuação acima de três, ou seja, aquelas que eram capazes de realizar movimento numa amplitude completa contra a gravidade. A fisioterapeuta não foi informada sobre o valor necessário para a seleção ou não da voluntária. Todas as voluntárias avaliadas, inclusive as que não participaram do estudo, obtiveram valores maiores que o estipulado.

O teste *Timed Up & Go* consiste na tarefa de levantar-se de uma poltrona, andar 3 metros, girar e voltar andando no mesmo percurso, sentando-se novamente. Foi estabelecido para a participação nesse estudo a sua efetuação em menos de 14 segundos que prediz a menor probabilidade de queda (SHUMWAY-COOK *et al.*, 2000). Todas as idosas avaliadas foram capazes de executar essa atividade no tempo definido. Os valores obtidos por cada participante encontram-se na Tabela 1. Para o Mini-Exame do Estado Mental a pontuação escolhida foi baseada no escore proposto por Brucki e colaboradores (2003), 21 pontos ou mais, o qual leva em consideração a influência da escolaridade, sendo, portanto, mais adequado para os padrões brasileiros.

As voluntárias foram previamente informadas e esclarecidas a respeito do objetivo desta pesquisa e sobre os protocolos experimentais a que foram submetidas, explicitando o caráter não-invasivo dos mesmos. Foram também informadas que poderiam desistir a qualquer momento de participar do projeto, independentemente do motivo, e que os dados obtidos durante este trabalho seriam mantidos em sigilo e não poderiam ser consultados por outras pessoas sem sua autorização prévia por escrito, resguardando sua privacidade. Todas assinaram um termo de consentimento formal (apêndice B) para a participação nesta pesquisa, autorizando a aplicação dos protocolos experimentais propostos para este estudo. Este trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos parecer número 245/2006 (anexo A).

### **4.3 CINEMETRIA**

As características cinemáticas do andar em idosos têm sido extensamente estudadas através de procedimentos da cinemetria (MURRAY *et al.*, 1969; KANEKO *et al.*, 1991; OLIVEIRA, 1996). Os ângulos dos segmentos corporais e as distâncias dos mesmos relativamente ao obstáculo durante a marcha são dados necessários para este

estudo. Portanto, foi utilizado o método da cinemetria, a partir do qual, variáveis descritivas das técnicas de movimento são avaliadas indiretamente, ou seja, por meio da análise de imagens registradas em um sistema óptico. Este método permite que os sujeitos movimentem-se livremente, sem nenhuma interferência de equipamento ou qualquer outro objeto, como cabos e eletrodos, que pudessem eventualmente limitar suas liberdades de movimento interferindo, conseqüentemente, nas variáveis analisadas e mesmo nas condições de segurança no ambiente de laboratório.

Para este estudo foi utilizada uma abordagem tridimensional, com avaliação das amplitudes de movimento do membro inferior direito, nas funções de suporte e de abordagem, e do grau de oscilação do tronco durante a negociação do obstáculo. Além disso, a relação espacial entre o obstáculo e o sujeito também foi estudada, pois esta pode revelar como se dá a interação do sujeito com a tarefa de negociar um obstáculo durante a realização da marcha.

A calibração do espaço tridimensional foi realizada através de um volume de calibração (200cm X 180cm X 80cm) confeccionado com barras de ferro onde foram fixados 32 marcadores refletivos (Figura 1). Esse calibrador era posicionado na região central da pista, onde a plataforma de força estava localizada. Após a captura da sua imagem, as câmeras não eram mais movidas de lugar e nem mesmo ajustes mínimos eram realizados durante a coleta, a fim de se obter melhor acurácia do sistema.



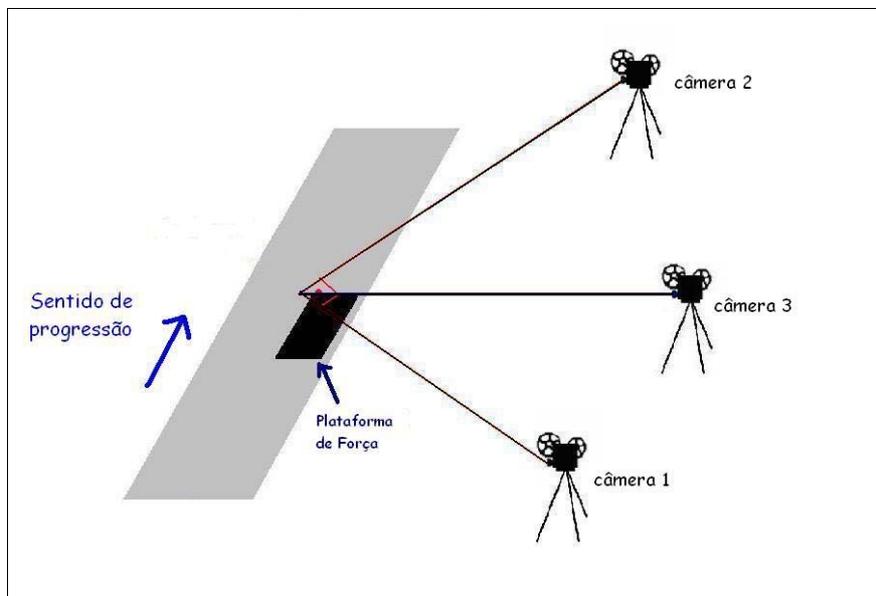
**Figura 1:** Volume de calibração.

Para as aquisições dos dados, foram fixados marcadores refletivos de 1,4cm de diâmetro (joelho, tornozelo e pé) e 2,3cm de diâmetro (ombro e quadril) em pontos anatômicos estratégicos que determinam os eixos articulares aproximados em torno dos quais os movimentos entre os segmentos foram avaliados. Esses marcadores se

tornaram pontos refletores de luz e foram captados pelas câmeras. Pontos anatômicos do hemicorpo direito foram demarcados da seguinte maneira, a fim de que correspondessem aproximadamente aos eixos articulares (CAPPOZZO *et al.*, 1995):

- ombro: acrômio;
- quadril: proeminência da superfície externa do trocânter maior do fêmur;
- joelho: região mais lateral do côndilo tibial;
- tornozelo: ápice do maléolo lateral;
- pé: aspecto pósterolateral do calcâneo, extremidade do hálux e cabeça do V metatarso.

Três câmeras de vídeo da marca Panasonic, modelo NV-GS180PL, foram dispostas sobre tripés fixos para registro da marcha com e sem obstáculos. Duas delas foram posicionadas obliquamente ao movimento (câmeras 1 e 2); a terceira foi disposta de modo a registrar o plano sagital da marcha (câmera 3)(Figura 2). Durante todo o experimento o ambiente foi preparado com boa iluminação (holofotes) em todo o percurso das tarefas para melhor captação da imagem e para uma boa visualização do trajeto pelas voluntárias.



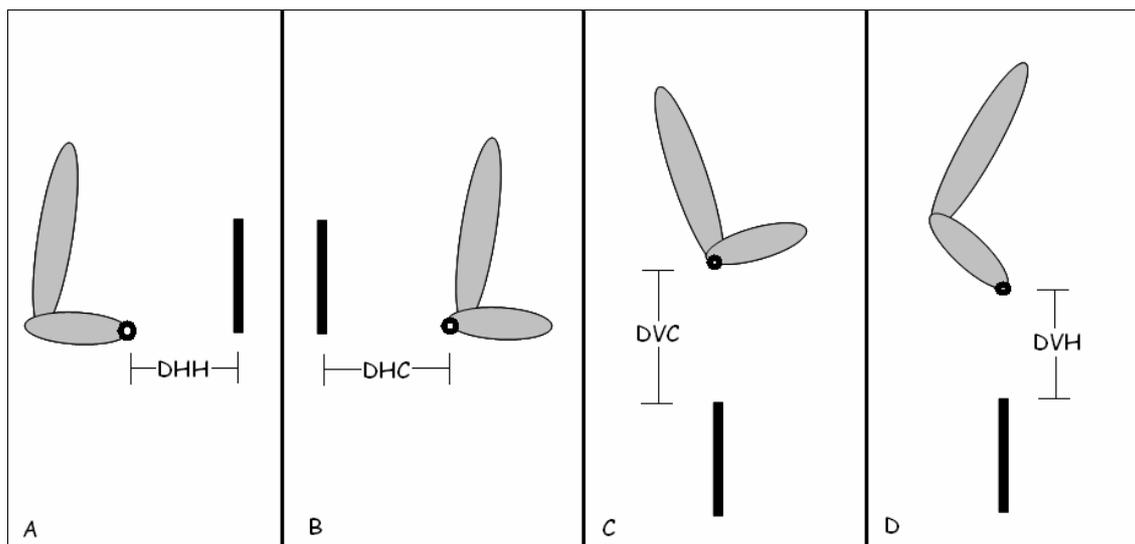
**Figura 2:** Disposição das câmeras e da plataforma de força para a coleta.

A cinemetria foi sincronizada através de dois procedimentos: um sinal luminoso visível pelas três câmeras e um sinal sonoro também registrado pelas três câmeras. O primeiro sistema de sincronização (fabricado pela EMG Systems do Brasil) emite um impulso elétrico, simultaneamente ao sinal luminoso, observado em um dos canais de

aquisição de dados do conversor A/D (EMG Systems do Brasil), sincronizando a cinemetria com a dinamometria.

As câmeras operaram a uma frequência de 60 quadros por segundo que, segundo Johanson (1998), representa adequadamente a marcha humana normal. As variáveis mensuradas foram:

- amplitude da passada: distância entre dois toques consecutivos do calcâneo do pé direito durante um ciclo da marcha, sendo o primeiro toque antes da ultrapassagem da perna direita, e o segundo toque após a ultrapassagem do obstáculo.
- distância horizontal do hálux (DHH): distância do hálux do pé direito ao obstáculo antes de ultrapassá-lo durante a fase de apoio do membro inferior direito no momento em que este exerce a função de suporte para o esquerdo ultrapassar o obstáculo (Figura 3A).
- distância horizontal do calcâneo (DHC): distância do calcâneo do pé direito ao obstáculo após ultrapassá-lo durante a fase de apoio do membro inferior direito (Figura 3B).
- distância vertical do calcâneo (DVC): menor distância vertical do calcâneo ao obstáculo durante a abordagem do mesmo (Figura 3C).
- distância vertical do hálux (DVH): menor distância vertical do hálux ao obstáculo durante a abordagem do mesmo (Figura 3D).
- ângulo absoluto de quadril (WINTER, 1991): ângulo formado entre o segmento tronco (marcadores: acrômio e trocânter maior do fêmur) e o segmento horizontal paralelo ao plano do solo no instante em que ocorre a ultrapassagem do pé direito (DVH).
- Ângulo relativo do joelho: formado entre os segmentos coxa (marcadores: trocânter maior do fêmur e côndilo tibial) e perna (marcadores: côndilo tibial e maléolo lateral) no instante em que ocorre a ultrapassagem do pé direito (DVH).
- ângulo relativo do tornozelo: formado entre o segmento perna e o pé (marcadores: maléolo lateral e cabeça do V metatarso) no instante em que ocorre a ultrapassagem do pé direito (DVH).



**Figura 3:** Representação das distâncias mensuradas através da cinemetria. O desenho representa os segmentos perna e pé; a linha preta representa o obstáculo. A) representa a distância do pé antes de ultrapassar o obstáculo (distância horizontal do hálux). B) representa a distância do pé depois de ultrapassar o obstáculo (distância horizontal do calcâneo). C) representa a distância do pé no momento de ultrapassagem do obstáculo com o calcâneo (distância vertical do calcâneo). D) representa a distância do pé no momento de ultrapassagem do obstáculo com o hálux (distância vertical do hálux).

Os ângulos formados na posição anatômica foram calculados. Para tanto, foi efetuada uma tomada da postura estática de cada voluntária pelas três câmeras de vídeo no ambiente calibrado. Esses ângulos calculados foram subtraídos dos ângulos analisados das respectivas articulações a fim de retirar a influência da postura já adotada pelas participantes, criando-se, portanto, uma linha de base para o cálculo das amplitudes de movimento.

#### 4.3.1 Acurácia da Cinemetria

Para a verificação da acurácia neste estudo, utilizou-se uma haste de metal de cor preta, contendo dois marcadores reflexivos de 1,4cm de diâmetro, fixados um em cada extremidade desta haste. A menor distância centro a centro entre estes marcadores foi previamente mensurada através de uma trena com escalas em milímetros. Esta medida foi adotada como o valor verdadeiro ( $v = 17,5$  cm) da distância entre os dois marcadores.

Esta haste foi filmada no ambiente de coleta, onde uma pessoa a movimentou de forma aleatória, na região onde as voluntárias realizaram a negociação de obstáculo. Nas imagens desta haste realizaram-se os mesmos processamentos efetuados para o movimento estudado, a fim de se obter as variáveis cinemáticas de seus dois

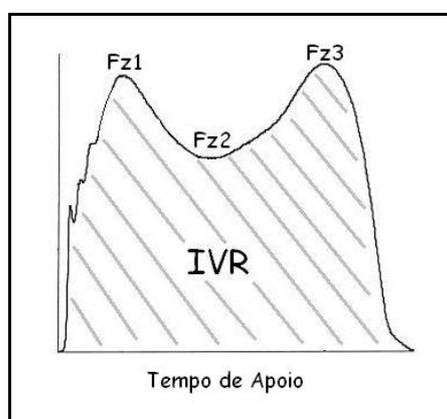
marcadores. Logo após, realizou-se o cálculo da distância entre os dois marcadores, durante sua movimentação, sendo estes valores adotados como os valores mensurados (ou valor medido). Assim, o valor da acurácia do sistema foi de 0,28cm.

#### 4.4 DINAMOMETRIA

As forças de reação do solo e seus respectivos cursos temporais têm sido mensurados durante o andar de idosos (PRINCE *et al.*, 1997; KERRIGAN *et al.*, 2000; LAMOUREUX *et al.*, 2003) a fim de se avaliar as forças que variam com o tempo, as quais surgem nas fases de apoio do andar. Estas representam a soma vetorial da aceleração da massa de todos os segmentos corporais, ou seja, a resultante de todas as forças musculares e gravitacionais atuando em cada instante durante a fase de apoio (WINTER, 1991). No presente estudo, elas foram medidas por uma plataforma de força (40cm X 60cm) fixa ao piso (Figura 2), da marca BERTEC (BERTEC Corporation), modelo 4060-08. As características da plataforma são:

- capacidade de carga vertical de 5 mil Newtons;
- calibração embutida e corrigida para *cross talk*;
- linearidade e histerese: erro máximo de 0,2%;
- resolução para saída: 0,02% para toda a escala de medição.

A plataforma de força e todo o percurso foram cobertos com um tapete preto (900cm X 101,5cm X 0,1cm) antiderrapante. Os dados para esse estudo foram amostrados a uma frequência de 1000Hz. Foi analisada a componente ortogonal vertical por meio das variáveis forças de reação máximas (Fz1 e Fz3) e mínima (Fz2), impulso vertical relativo (IVR) e tempo de apoio (Figura 4).

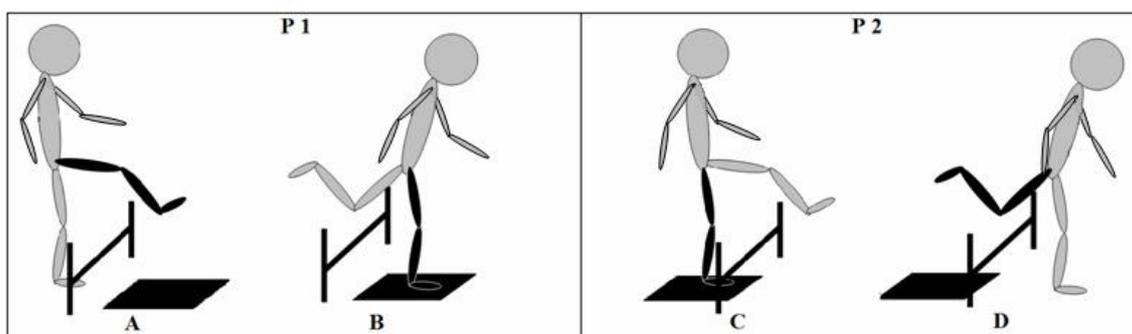


**Figura 4:** Componente Vertical da força de reação do solo e as variáveis analisadas.

## 4.5 PROTOCOLO EXPERIMENTAL

As voluntárias efetuaram dois tipos de protocolo:

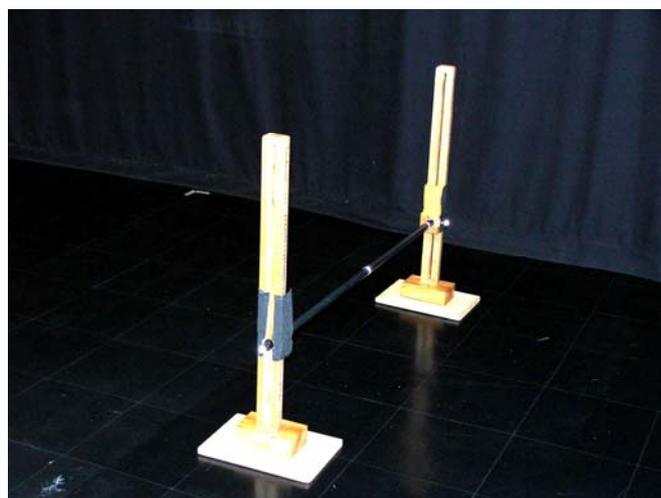
- Marcha livre: as mulheres caminharam 9 metros de pista sem nenhum obstáculo numa velocidade auto selecionada (Figura 2);
- Marcha com obstáculo: foi considerado o mesmo percurso do protocolo acima citado, porém com a presença de um obstáculo, descrito a seguir. Este foi disposto de duas formas diferentes, uma imediatamente antes da plataforma de força (P1) (Figura 5 A e B) e outra após a plataforma de força (P2) (Figura 5 C e D). Na P1 o membro inferior direito realiza a abordagem (primária) do obstáculo (Figura 5A), com subsequente suporte considerado secundário (Figura 5B), enquanto o membro inferior contralateral (não analisado) realiza o suporte primário, seguido da abordagem secundária do obstáculo (Figura 5B). Para a P2, foi avaliada a fase de suporte considerado primário (Figura 5C), pois o membro contralateral (não analisado) realiza a abordagem primária do obstáculo (Figura 5C), e o membro inferior direito realiza a abordagem do obstáculo secundariamente (Figura 5D).



**Figura 5:** Posicionamento do obstáculo durante as fases distintas do membro inferior avaliado (membro inferior direito destacado pela cor preta). Posicionamento 1 (P1) do obstáculo: A - membro inferior avaliado realiza a abordagem primária ao obstáculo; B - membro inferior avaliado realiza a fase de suporte secundário. Posicionamento 2 (P2) do obstáculo: C - membro inferior avaliado realiza a fase de suporte primário; D - membro inferior avaliado realiza a abordagem (secundária) ao obstáculo.

O obstáculo (Figura 6) consiste em um tubo plástico preto de um centímetro de diâmetro, medindo 100 cm de comprimento, com dois suportes de madeira com 70cm com regulagem de altura variando a cada 1cm. A altura do obstáculo foi personalizada, isto é, definida de acordo com o comprimento do membro inferior da respectiva voluntária variando em 10, 20 e 30% da medida verificada. O comprimento do membro inferior foi obtido por meio da distância do trocânter maior do fêmur ao solo. A medida

média do membro inferior foi de  $82,3 \pm 4,9$  cm (de 70 a 87 cm); a média das alturas do obstáculo foi de aproximadamente 8,23 cm, 16,47 cm e 24,70 cm para 10%, 20% e 30% respectivamente. Para a segurança das participantes desse projeto sempre houve uma pessoa para ampará-las, caso ocorresse um possível tropeço e desequilíbrio durante a tarefa de ultrapassagem. Além disso, o obstáculo foi confeccionado de forma que qualquer contato levasse a barra a cair. As extremidades e o centro do tubo plástico receberam marcadores refletivos a fim de permitir sua visualização no plano da imagem.



**Figura 6:** Obstáculo.

Foi solicitado às voluntárias caminharem quantas vezes desejassem em cada tarefa até se ambientarem, numa velocidade confortável, não recebendo feedback de seus desempenhos durante o experimento. Elas eram orientadas a utilizar calçados fechados confortáveis e habituais, além de roupas de ginástica do tipo maiôs.

A ordem para a realização das tarefas foi aleatória, por meio de sorteio realizado no momento do experimento. Esse procedimento foi tomado, a fim de se excluir a influência do aprendizado das tarefas e da adaptação às mesmas nos resultados. Cada participante executou três tentativas válidas para cada condição experimental, totalizando 21 tentativas randomizadas. As condições foram:

- Marcha no plano;
- P1-obst 10%: negociar obstáculo com 10% do comprimento do membro inferior da respectiva voluntária, com este localizado antes da plataforma de força;

- P1-obst 20%: negociar obstáculo com 20% do comprimento do membro inferior da respectiva voluntária, com este localizado antes da plataforma de força;
- P1-obst 30%: negociar obstáculo com 30% do comprimento do membro inferior da respectiva voluntária, com este localizado antes da plataforma de força;
- P2-obst 10%: negociar obstáculo com 10% do comprimento do membro inferior da respectiva voluntária, com este localizado depois da plataforma de força;
- P2-obst 20%: negociar obstáculo com 20% do comprimento do membro inferior da respectiva voluntária, com este localizado depois da plataforma de força;
- P2-obst 30%: negociar obstáculo com 30% do comprimento do membro inferior da respectiva voluntária, com este localizado depois da plataforma de força.

## **4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Devido ao fato dos dados não apresentarem uma constante distribuição normal (segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov) entre as variáveis estudadas e as condições em que as voluntárias realizaram as tarefas, foram utilizados testes não paramétricos para identificar diferenças entre os grupos e entre as tarefas. Esta decisão foi tomada para manter um padrão invariável de análise estatística para todos os dados avaliados, sem a necessidade de transformações numéricas distintas para cada situação. O teste ANOVA de Friedman foi utilizado para detectar diferenças entre as tarefas, enquanto o teste de Mann-Whitney foi utilizado para apontar diferenças entre os dois grupos. O Erro Tipo-I foi controlado com nível de significância  $p$  menor que 0,05 para ambos os testes.

Os dados foram analisados estatisticamente de duas formas: análise intergrupos e análise intragrupo. A primeira serviu para verificar a existência ou não de diferenças significativas entre as duas amostras. A segunda comparou o grupo em si a fim de analisar as diferentes condições (marcha livre ou marcha com obstáculo a 10, 20 e 30%) e posições do obstáculo (P1 e P2) tanto no grupo FI quanto no grupo FA.

### **4.6.1 Análise Intergrupos**

Foram comparados os dois grupos na cinemetria dentro das seis condições estipuladas para marcha com obstáculo (dois grupos X oito variáveis X seis condições).

Para a dinamometria, além dessas seis condições, foi incluída a marcha livre (dois grupos X cinco variáveis X sete condições). O esquema a seguir é um exemplo que demonstra as comparações efetuadas para uma variável dinamométrica.

Grupo FI – P1-10%	X	Grupo FA – P1-10%
Grupo FI – P1-20%	X	Grupo FA – P1-20%
Grupo FI – P1-30%	X	Grupo FA – P1-30%
Grupo FI – P2-10%	X	Grupo FA – P2-10%
Grupo FI – P2-20%	X	Grupo FA – P2-20%
Grupo FI – P2-30%	X	Grupo FA – P2-30%
Grupo FI – LIVRE	X	Grupo FA – LIVRE

#### **4.6.2 Análise Intragrupo**

Foram realizadas comparações entre as condições para o grupo FI e, separadamente, para o grupo FA. Dessas análises pode-se extrair informações relevantes quanto a altura do obstáculo e as funções do membro inferior (Cinemetria: oito variáveis X seis condições) (Dinamometria: cinco variáveis X sete condições).

##### **4.6.2.1 Altura dos Obstáculos**

As comparações entre a mesma posição do obstáculo (P1 X P1, P2 X P2) fornecem informações interessantes quanto ao efeito da altura do obstáculo. A seguir estão exemplarmente esquematizadas as comparações analisadas para uma variável dinamométrica.

Grupo FI – P1-10%	X	Grupo FI – P1-20%
Grupo FI – P1-10%	X	Grupo FI – P1-30%
Grupo FI – P1-10%	X	Grupo FI – LIVRE
Grupo FI – P1-20%	X	Grupo FI – P1-30%
Grupo FI – P1-20%	X	Grupo FI – LIVRE
Grupo FI – P1-30%	X	Grupo FI – LIVRE
<hr/>		
Grupo FI – P2-10%	X	Grupo FI – P2-20%
Grupo FI – P2-10%	X	Grupo FI – P2-30%
Grupo FI – P2-10%	X	Grupo FI – LIVRE
Grupo FI – P2-20%	X	Grupo FI – P2-30%
Grupo FI – P2-20%	X	Grupo FI – LIVRE
Grupo FI – P2-30%	X	Grupo FI – LIVRE
<hr/>		
Grupo FA – P1-10%	X	Grupo FA – P1-20%
Grupo FA – P1-10%	X	Grupo FA – P1-30%
Grupo FA – P1-10%	X	Grupo FA – LIVRE
Grupo FA – P1-20%	X	Grupo FA – P1-30%
Grupo FA – P1-20%	X	Grupo FA – LIVRE
Grupo FA – P1-30%	X	Grupo FA – LIVRE
<hr/>		
Grupo FA – P2-10%	X	Grupo FA – P2-20%
Grupo FA – P2-10%	X	Grupo FA – P2-30%
Grupo FA – P2-10%	X	Grupo FA – LIVRE
Grupo FA – P2-20%	X	Grupo FA – P2-30%
Grupo FA – P2-20%	X	Grupo FA – LIVRE
Grupo FA – P2-30%	X	Grupo FA – LIVRE

#### 4.6.2.2 Fases do Membro Inferior

As comparações entre as duas diferentes posições do obstáculo (P1 X P2), revelam as diferenças entre as fases do membro inferior, isto é, compara o membro nas fases de abordagem primária e secundária, e o mesmo membro para as fases suporte

primário e secundário. A seguir estão exemplarmente esquematizadas as comparações analisadas para uma variável dinamométrica ou cinemática.

Grupo FI – P1-10%	X	Grupo FI – P2-10%
Grupo FI – P1-20%	X	Grupo FI – P2-20%
Grupo FI – P1-30%	X	Grupo FI – P2-30%
<hr/>		
Grupo FA – P1-10%	X	Grupo FA – P2-10%
Grupo FA – P1-20%	X	Grupo FA – P2-20%
Grupo FA – P1-30%	X	Grupo FA – P2-30%

## 4.7 PROCESSAMENTO DOS DADOS

### 4.7.1 Cinemetria

O programa VirtualDub 1.7.3 capturou as imagens no mesmo instante (captura *online*) em que a coleta se realizou. Elas foram digitalizadas automaticamente pelo *software* DVIDEOW (BARROS *et al.*, 1999; FIGUEROA *et al.*, 2003) onde passaram pelos procedimentos de:

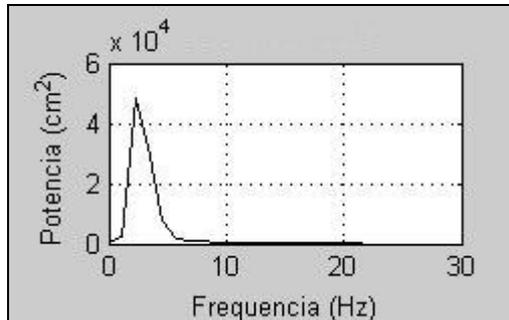
- Sincronização: foram utilizados dois eventos para sincronizar as imagens das três câmeras, o sinal luminoso já descrito no capítulo 4.2. e um sinal sonoro (apito) apresentados no início e fim de cada tentativa. A utilização de dois sinais serviu para garantir a menor defasagem temporal existente entre os registros.
- Desentrelaçamento: as câmeras de vídeo usam um sistema de reprodução em um formato entrelaçado (justaposição dos campos ímpares e pares que formam a imagem). Assim, é necessário desentrelaçar os campos para a obtenção dos quadros numa frequência de amostragem de 60Hz.
- Compactação: foi utilizado o compactador *Ligos Indeo® Vídeo 5.11* com qualidade de 100%.
- Medição: o processo de digitalização das imagens deu-se de forma semi-automática. Isso devido ao posicionamento dos marcadores, principalmente os localizados no pé, os quais se encontravam muito próximos uns dos outros no plano da imagem e precisavam de digitalização manual.

- Calibração e Reconstrução tridimensional: o método utilizado foi o sistema DLT (*Direct Linear Transformation*) (ABDEL-AZIZ e KARARA, 1971).

Uma rotina Matlab foi criada para realizar o processamento automático dos dados. Um filtro digital passa-baixa Butterworth de quarta ordem com frequência de corte de 6Hz foi utilizado para o processamento dos dados das imagens (WINTER, 1990).

#### 4.7.2 Dinamometria

Como executado para a cinemetria, uma outra rotina Matlab foi criada para processar automaticamente os dados gerados pela plataforma de força. Foi analisada a componente ortogonal vertical, que foi filtrada pelo filtro digital Butterworth passa-baixa de segunda ordem com uma frequência de corte entre 1-8 Hz. Essa frequência foi escolhida de acordo com a análise espectral (Figura 7) realizada para cada tentativa de cada voluntária.



**Figura 7:** Análise espectral da componente vertical da força de reação do solo da plataforma de força.

Os dados foram normalizados pelo tempo de apoio (0 a 100%) e pelo peso corporal para tornar possível a comparação das magnitudes da força entre as voluntárias e os grupos que elas constituem independentemente do peso corporal.

## 5 RESULTADOS

A forma de apresentação gráfica dos resultados foi diversificada, a fim de representar melhor os dados. Assim, as distâncias foram expressas em boxplots (Gráficos 1, 2, 3 e 4) e as variáveis dinamométricas foram representadas por gráficos de colunas (Gráfico 8). Os ângulos foram apresentados de acordo com sua variação no tempo de um segundo (Gráficos 5, 6 e 7) apenas com caráter ilustrativo do comportamento do movimento analisado no instante crítico do mesmo, ou seja, durante a ultrapassagem do pé do membro inferior direito pelo obstáculo. Para tanto, foram selecionadas duas tentativas de duas voluntárias de cada grupo.

### 5.1 RESULTADOS DA ANÁLISE INTERGRUPOS

#### 5.1.1 Variáveis Obtidas Pela Cinemetria

O grupo FA apresentou maior amplitude da passada ( $p = 0,034$ ) (Tabelas 2 e 3) e maior ângulo absoluto de quadril ( $p = 0,012$ ) (Gráfico 5, Tabelas 4 e 5) na tarefa em que o obstáculo, com altura de 30%, encontra-se na posição P1 e o membro inferior executa a função de abordagem primária.

A variável distância horizontal do hálux (DHH) apresentou diferença significativa, sendo a menor distância para o grupo FI, na tarefa em que o obstáculo, com altura de 20%, encontra-se na posição P2 ( $p = 0,028$ ) e o membro inferior direito executa a função de suporte primário (Gráfico 1, Tabelas 2 e 3).

O grupo FI teve menores valores que o grupo FA para a variável distância vertical do calcâneo (DVC) na tarefa em que o obstáculo, à altura de 20 ( $p = 0,028$ ) e 30% ( $p = 0,041$ ), encontra-se na posição P2 e o membro inferior direito executa a função de suporte primário (Gráfico 3, Tabelas 2 e 3).

Com relação às variáveis distância horizontal do calcâneo (DHC) (Gráfico 2, Tabelas 2 e 3), distância vertical do hálux (DVH) (Gráfico 4, Tabelas 2 e 3), ângulo relativo do joelho (Gráfico 6, Tabelas 4 e 5) e do tornozelo (Gráfico 7, Tabelas 4 e 5) não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos FA e FI.

### 5.1.2 Variáveis Obtidas Pela Dinamometria

O grupo FI apresentou menor magnitude para a variável Fz1 que o grupo FA, na tarefa em que o obstáculo, com altura de 10%, encontra-se na posição P1 ( $p = 0,028$ ) e o membro inferior direito executa a função de suporte secundário (Gráfico 8, Tabelas 6, 7 e 8).

Para a variável Fz2 o grupo FI apresentou maior magnitude que o grupo FA na tarefa em que o obstáculo, com altura de 10%, encontra-se na posição P2 ( $p = 0,034$ ) e o membro inferior direito executa a função de suporte primário (Gráfico 8, Tabelas 6, 7 e 8).

As demais variáveis (Fz3, IVR e tempo de apoio) não apresentaram diferenças significativas entre os grupos FA e FI (Gráfico 8, Tabelas 6, 7 e 8).

## 5.2 RESULTADOS DA ANÁLISE INTRAGRUPPO

### 5.2.1 Altura do Obstáculo

#### 5.2.1.1 Variáveis Obtidas pela Cinemetria

Não houve diferenças significativas para as variáveis amplitude da passada, DHH, DHC, DVC, DVH (Tabelas 2 e 3) e ângulo absoluto de quadril para ambos os grupos (Tabelas 4 e 5).

Para a variável ângulo relativo do joelho foram encontradas diferenças significativas quando se comparou a altura do obstáculo entre 10 e 30% nas duas posições P1 e P2 ( $p < 0,05$ ), para o grupo FI sendo que a maior flexão do joelho ocorreu na altura mais elevada. Da mesma forma, o grupo FA apresentou diferença entre as alturas 10 e 30%, todavia apenas para a posição do obstáculo P1 ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 4 e 5).

Para a variável ângulo relativo do tornozelo foram encontradas diferenças estatisticamente significativas quando se comparou a altura do obstáculo entre 10 e 30% e entre 20 e 30% na posição P2 ( $p < 0,05$ ) para o grupo FI. Para o grupo FA a diferença também ocorreu entre as alturas 10 e 30%, todavia apenas para a posição do obstáculo P1 ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 4 e 5). Para os dois grupos, as alturas mais elevadas promoveram maiores flexões de tornozelo que as alturas mais baixas.

### 5.2.1.2 Variáveis Obtidas pela Dinamometria

Para o tempo de apoio foram encontradas diferenças significativas quando se comparou as alturas do obstáculo em 20 e 30% com a marcha livre nas duas posições P1 e P2 ( $p < 0,05$ ), para ambos os grupos. Além disso, houve diferenças significativas entre as alturas 10 e 30% com o obstáculo na posição P1 ( $p < 0,05$ ) tanto para o grupo FI quanto para o grupo FA (Tabelas 6, 7 e 8). Dessa forma, os maiores tempos de apoio corresponderam as alturas mais elevadas.

Com relação à variável Fz1 o grupo FI apresentou maiores magnitudes quando comparadas as alturas 20 e 30% com a marcha livre com o obstáculo na posição P2 ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 6, 7 e 8).

Não foi observada, para a variável Fz2, diferenças significativas para os dois grupos (Tabelas 6, 7 e 8).

Maiores valores de Fz3 foram encontradas na marcha com obstáculo quando se comparou as alturas 10 e 20% com a marcha livre com o obstáculo em P2 para o grupo FI ( $p < 0,05$ ). O mesmo foi observado para o grupo FA ( $p < 0,05$ ), com exceção da altura 10% (Tabelas 6, 7 e 8).

Com relação à variável IVR diferenças significativas foram observadas apenas para o grupo FI quando se comparou as alturas 10, 20 e 30% com a marcha livre com o obstáculo na posição P2 ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 6, 7 e 8), encontrando-se maiores valores de IVR para a marcha obstruída.

## 5.2.2 Fases do Membro Inferior

### 5.4.2.1 Variáveis Obtidas pela Cinemetria

Não houve diferença significativa para as variáveis amplitude da passada, DVH (Tabelas 2 e 3), ângulos relativo do joelho e tornozelo (Tabelas 4 e 5) para ambos os grupos.

Para a variável DHH houve diferença significativa para as alturas 10 e 20% para o grupo FI ( $p < 0,05$ ). Já para o grupo FA houve diferenças significativas para as alturas 10 e 30% ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 2 e 3). Para todos os casos os maiores valores de DHH foram obtidos na posição P1 do obstáculo.

Com relação à variável DHC houve diferença significativa para as alturas 10, 20 e 30% para o grupo FI ( $p < 0,05$ ). Já para o grupo FA houve diferenças significativas

para as alturas 10 e 30% ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 2 e 3). Para todos os casos os maiores valores de DHC foram obtidos na posição P2 do obstáculo.

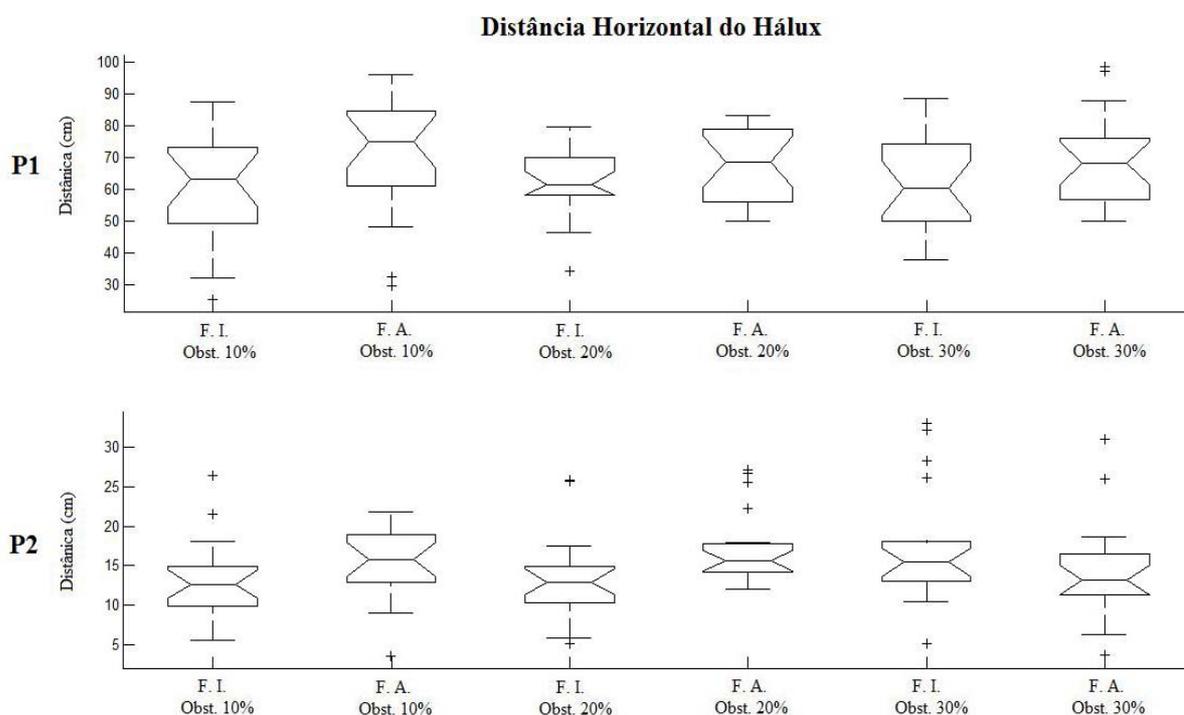
Para a variável DVC houve diferença significativa para as alturas 10, 20 e 30% para o grupo FI e FA ( $p < 0,05$ ) (Tabelas 2 e 3). Para todos os casos os maiores valores de DVC foram obtidos na posição P2 do obstáculo.

Para a variável ângulo absoluto do quadril houve diferença significativa para as alturas 20 e 30% ( $p < 0,05$ ), sendo os maiores valores encontrados na fase de abordagem primária (P1), tanto para o grupo FI quanto para o grupo FA (Tabelas 4 e 5).

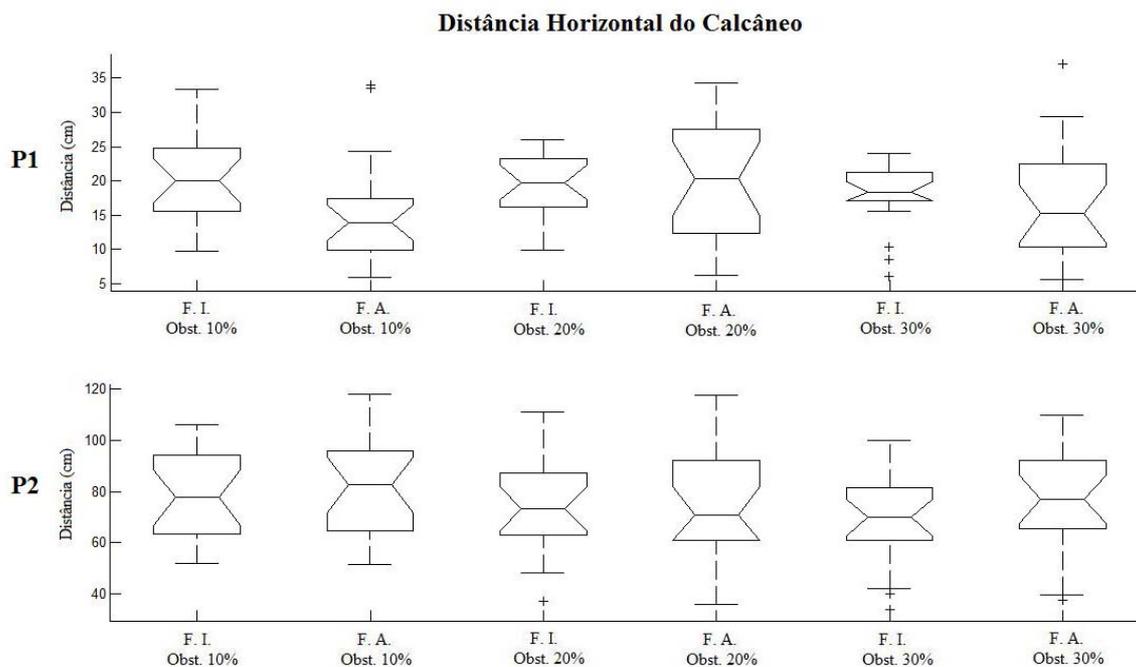
Na comparação das variáveis DVC, na fase de abordagem primária (P1), e DVH na fase de abordagem secundária (P2), foram observadas diferenças significativas em todas as alturas 10 ( $p = 0,028$ ), 20 ( $p = 0,012$ ) e 30% ( $p = 0,023$ ) de obstáculo somente para o grupo FA, sendo que a variável DVH apresentou maiores valores que DVC.

#### 5.2.2.2 Variáveis Obtidas pela Dinamometria

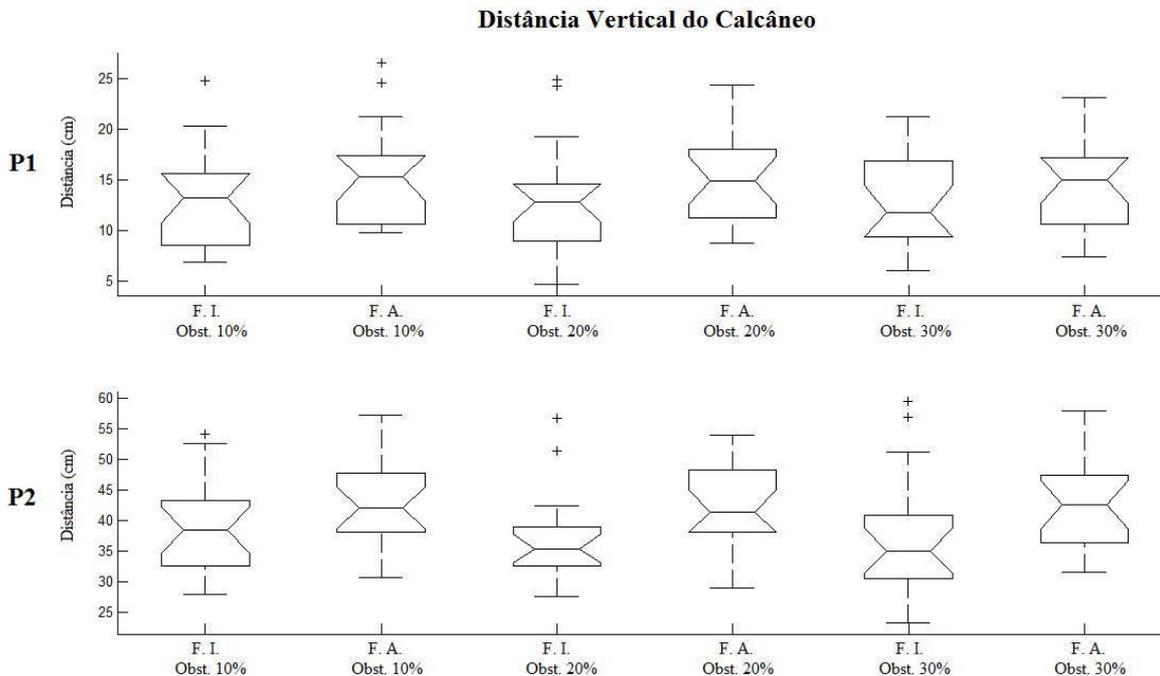
Não houve diferenças significativas para os dois grupos para todas as variáveis obtidas através da dinamometria (Tabelas 6, 7 e 8).



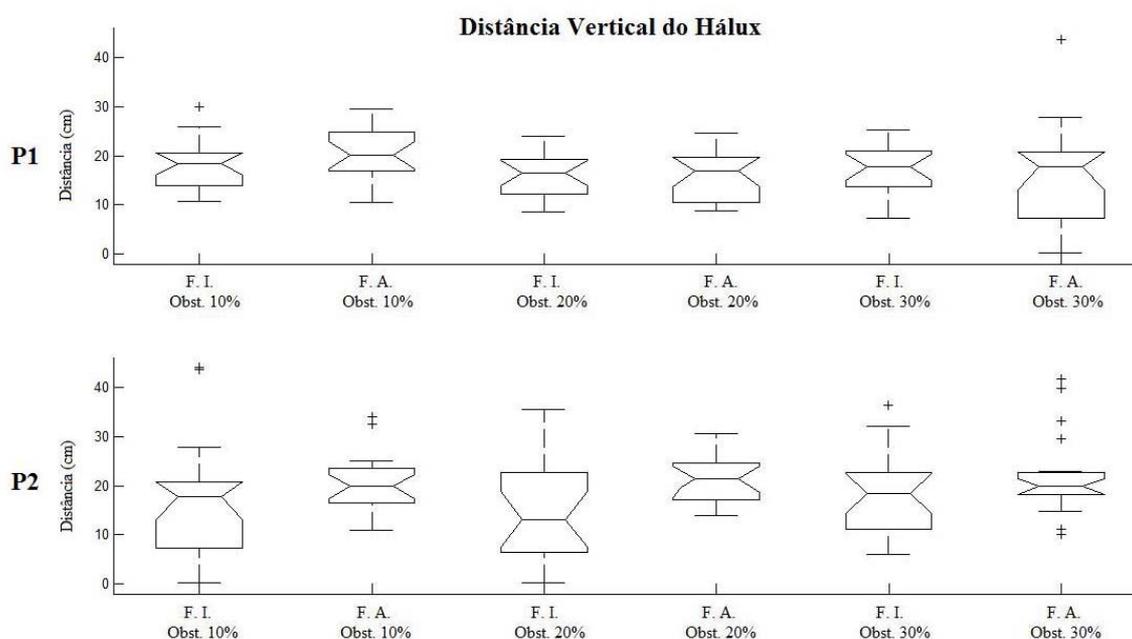
**Gráfico 1:** Distância horizontal do hálux (DHH) do membro inferior direito antes da ultrapassagem do obstáculo. O símbolo + representa pontos *outliers*. Para essa variável é mais importante observar a posição do obstáculo P2, pois corresponde a perna na fase de suporte primário, representando uma distância segura de ultrapassagem. Análise intergrupos: diferença significativa entre FI e FA em P2-20%. Análise intragrupo-altura do obstáculo: não houve diferenças significativas para ambos os grupos.



**Gráfico 2:** Distância horizontal do calcâneo (DHC) do membro inferior direito após a ultrapassagem do obstáculo. O símbolo + representa pontos *outliers*. Para essa variável é mais importante observar a posição do obstáculo P1, pois corresponde a perna na fase de suporte secundário, representando uma distância segura de abordagem. Análise intergrupos: não houve diferenças significativas entre os grupos. Análise intragrupo-altura do obstáculo: não houve diferenças significativas para ambos os grupos.



**Gráfico 3:** Distância vertical do calcâneo (DVC) do membro inferior direito durante a ultrapassagem do obstáculo. O símbolo + representa pontos *outliers*. Para essa variável é mais importante observar a posição do obstáculo P1, pois corresponde a perna na fase de abordagem primária, sendo o marcador do calcâneo o que mais se aproxima do obstáculo. Análise intergrupos: não houve diferenças significativas entre os grupos. Análise intragrupo-altura do obstáculo: não houve diferenças significativas para ambos os grupos.



**Gráfico 4:** Distância vertical do hálux (DVH) do membro inferior direito durante a ultrapassagem do obstáculo. O símbolo + representa pontos *outliers*. Para essa variável é mais importante observar a posição do obstáculo P2, pois corresponde a perna na fase de abordagem secundária, sendo o marcador do hálux o que mais se aproxima do obstáculo. Análise intergrupos: não houve diferenças significativas entre os grupos. Análise intragrupo-altura do obstáculo: não houve diferenças significativas para ambos os grupos.

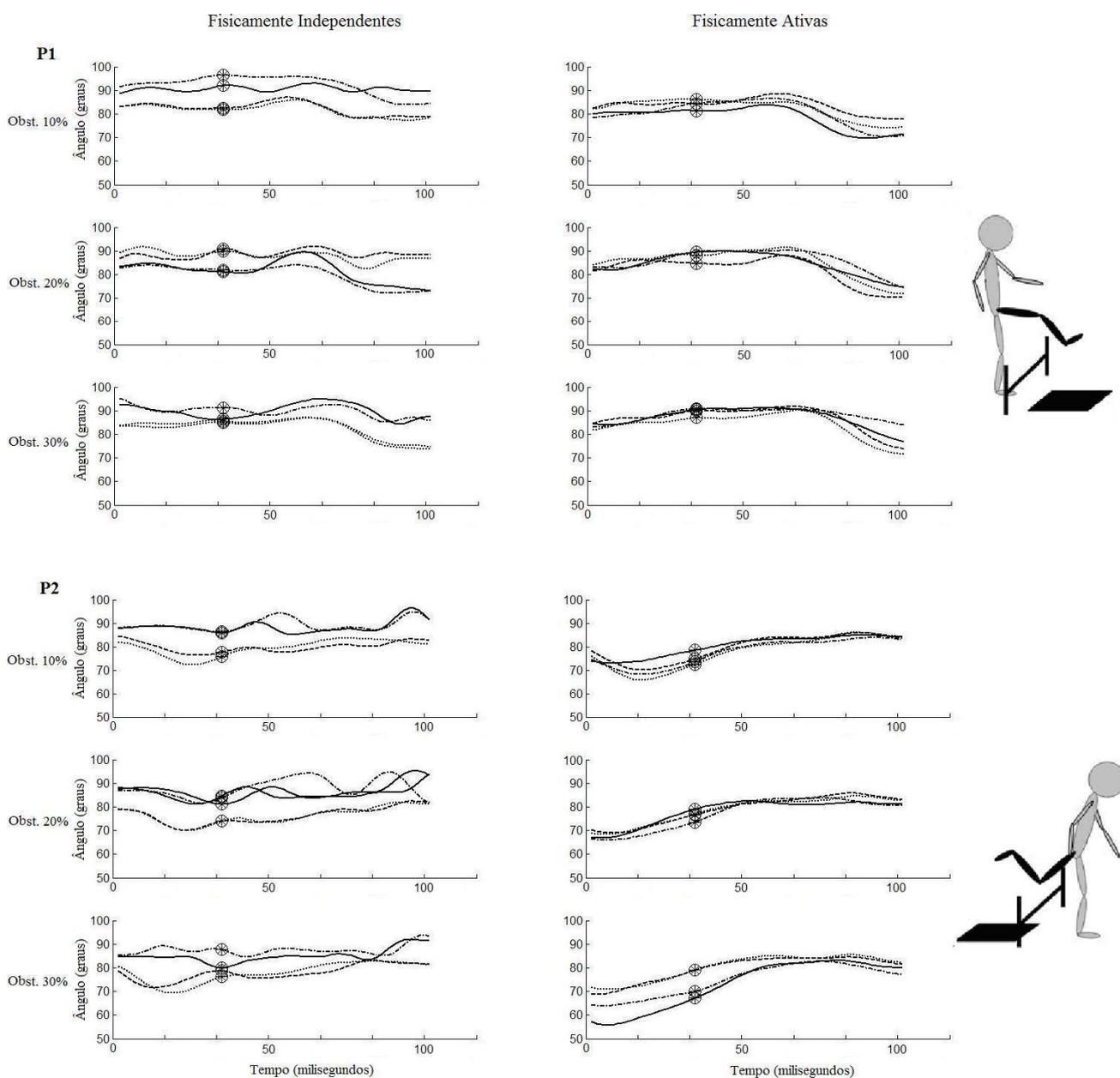
**Tabela 2:** Variáveis cinemáticas demonstrando as distâncias avaliadas durante a negociação do obstáculo posicionado antes da plataforma de força. Valores estão apresentados como média (desvio padrão). O símbolo \* representa diferença significativa entre os grupos.

P 1	Distâncias (cm)	Grupo I Independentes	Grupo II Ativas
<b>Obstáculo 10%</b>	Dist. Horizontal Hálux	60,5 (17,2)	71,3 (18,7)
	Dist. Horizontal Calcâneo	20,3 (6,7)	15,0 (8,0)
	Dist. Vertical Hálux	18,2 (5,4)	20,2 (5,2)
	Dist. Vertical Calcâneo	13,1 (4,7)	15,2 (4,9)
	Passada	110,7 (19,1)	116,9 (23,4)
<b>Obstáculo 20%</b>	Dist. Horizontal Hálux	62,2 (9,8)	68,2 (11,4)
	Dist. Horizontal Calcâneo	19,6 (4,3)	19,9 (8,8)
	Dist. Vertical Hálux	16,5 (4,7)	18,8 (4,9)
	Dist. Vertical Calcâneo	12,7 (5,8)	15,2 (4,3)
	Passada	110,8 (13,2)	117,8 (11,8)
<b>Obstáculo 30%</b>	Dist. Horizontal Hálux	62,1 (15,8)	68,7 (14,3)
	Dist. Horizontal Calcâneo	18,0 (4,7)	17,1 (8,8)
	Dist. Vertical Hálux	16,1 (5,1)	17,4 (5,0)
	Dist. Vertical Calcâneo	12,9 (4,5)	14,7 (4,6)
	Passada	107,3 (16,4)*	114,7 (12,2)*

**Tabela 3:** Variáveis cinemáticas demonstrando as distâncias avaliadas durante a negociação do obstáculo posicionado após a plataforma de força. Valores estão apresentados como média (desvio padrão). O símbolo \* representa diferença significativa entre os grupos.

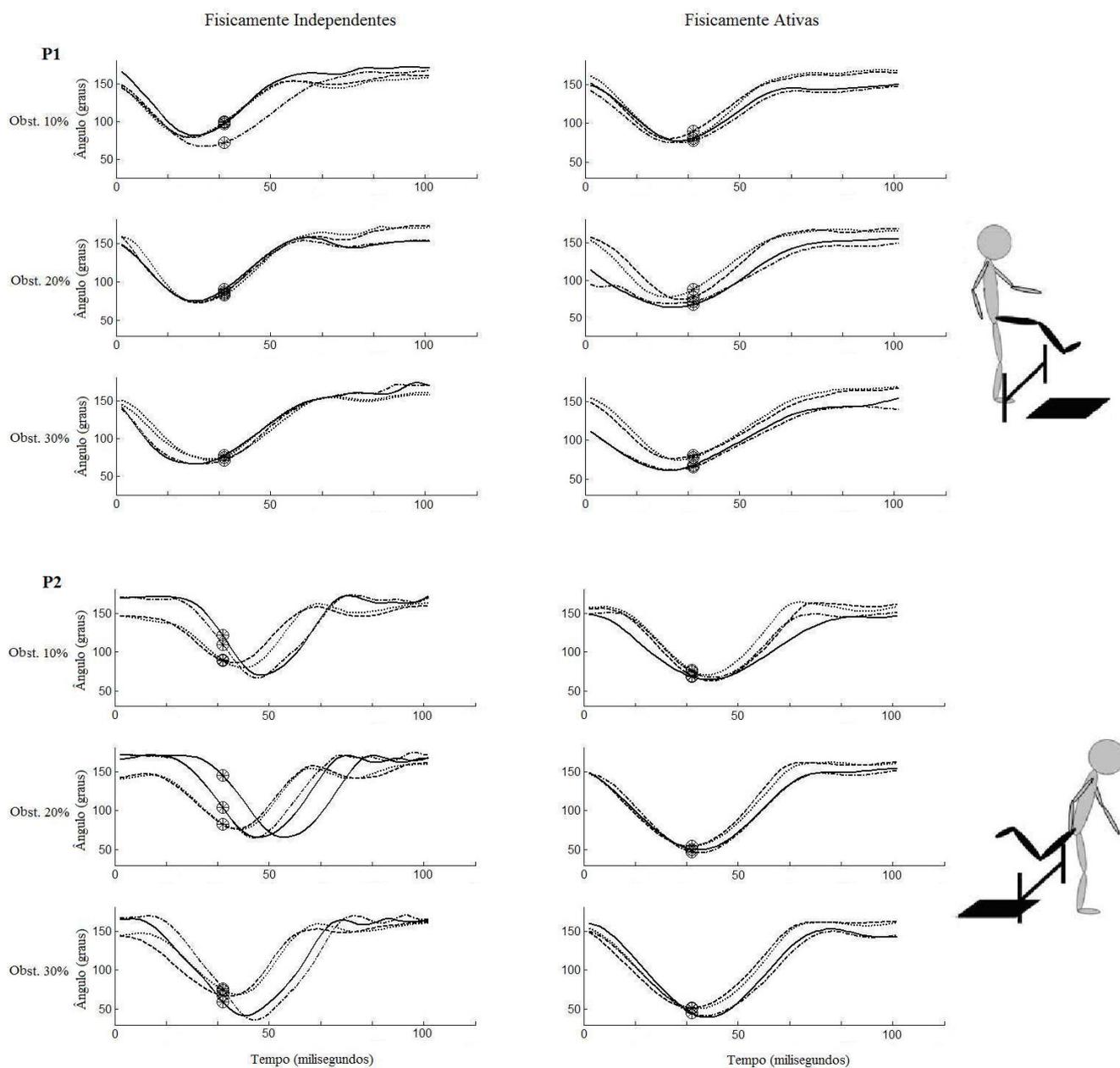
<b>P 2</b>	<b>Distâncias (cm)</b>	<b>Grupo I Independentes</b>	<b>Grupo II Ativas</b>
<b>Obstáculo 10%</b>	Dist. Horizontal Hálux	13,1 (4,7)	15,3 (4,2)
	Dist. Horizontal Calcâneo	77,7 (17,6)	82,6 (20,1)
	Dist. Vertical Hálux	17,0 (12,0)	20,3 (5,7)
	Dist. Vertical Calcâneo	36,7 (7,4)	43,2 (7,2)
	Passada	116,5 (15,9)	124,6 (18,6)
<b>Obstáculo 20%</b>	Dist. Horizontal Hálux	13,4 (5,4)*	17,2 (4,5)*
	Dist. Horizontal Calcâneo	75,3 (19,8)	75,4 (21,6)
	Dist. Vertical Hálux	14,9 (10,1)	21,3 (4,6)
	Dist. Vertical Calcâneo	36,9 (6,7)*	42,6 (6,8)*
	Passada	113,1 (17,2)	116,8 (20,8)
<b>Obstáculo 30%</b>	Dist. Horizontal Hálux	17,4 (7,1)	14,3 (6,1)
	Dist. Horizontal Calcâneo	69,9 (18,9)	77,0 (19,4)
	Dist. Vertical Hálux	17,9 (8,2)	21,9 (8,5)
	Dist. Vertical Calcâneo	37,1 (9,6)*	42,9 (7,0)*
	Passada	107,8 (17,7)	114,1 (16,6)

## Ângulo Absoluto do Quadril



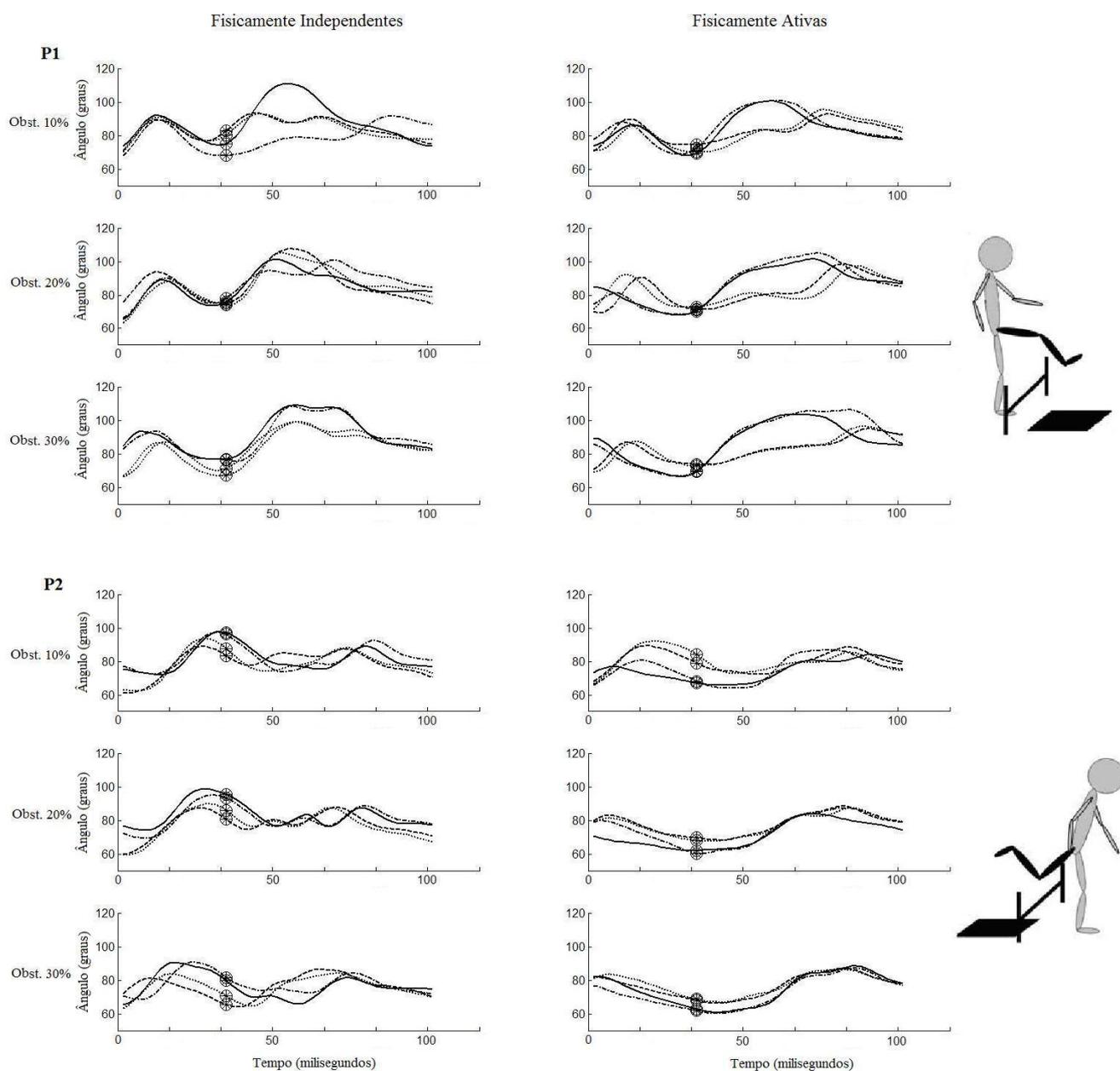
**Gráfico 5:** Ângulo do quadril durante a ultrapassagem do obstáculo. Este ângulo é chamado de absoluto, pois considera a angulação do quadril em relação ao solo (WINTER, 1991). A inflexão para baixo da curva (sentido negativo) indica flexão, enquanto que a inflexão para cima (sentido positivo) indica a extensão da articulação. O momento da ultrapassagem do obstáculo (DVH) está representado pelo círculo no gráfico, e o membro inferior direito está destacado pela cor preta no desenho representativo do movimento. Estão representadas duas tentativas de duas voluntárias.

## Ângulo Relativo do Joelho



**Gráfico 6:** Ângulo relativo do joelho durante a ultrapassagem do obstáculo. A inflexão para baixo da curva (sentido negativo) indica flexão, enquanto que a inflexão para cima (sentido positivo) indica a extensão da articulação. O momento da ultrapassagem do obstáculo (DVH) está representado pelo círculo no gráfico, e o membro inferior direito está destacado pela cor preta no desenho representativo do movimento. Estão representadas duas tentativas de duas voluntárias.

## Ângulo Relativo do Tornozelo



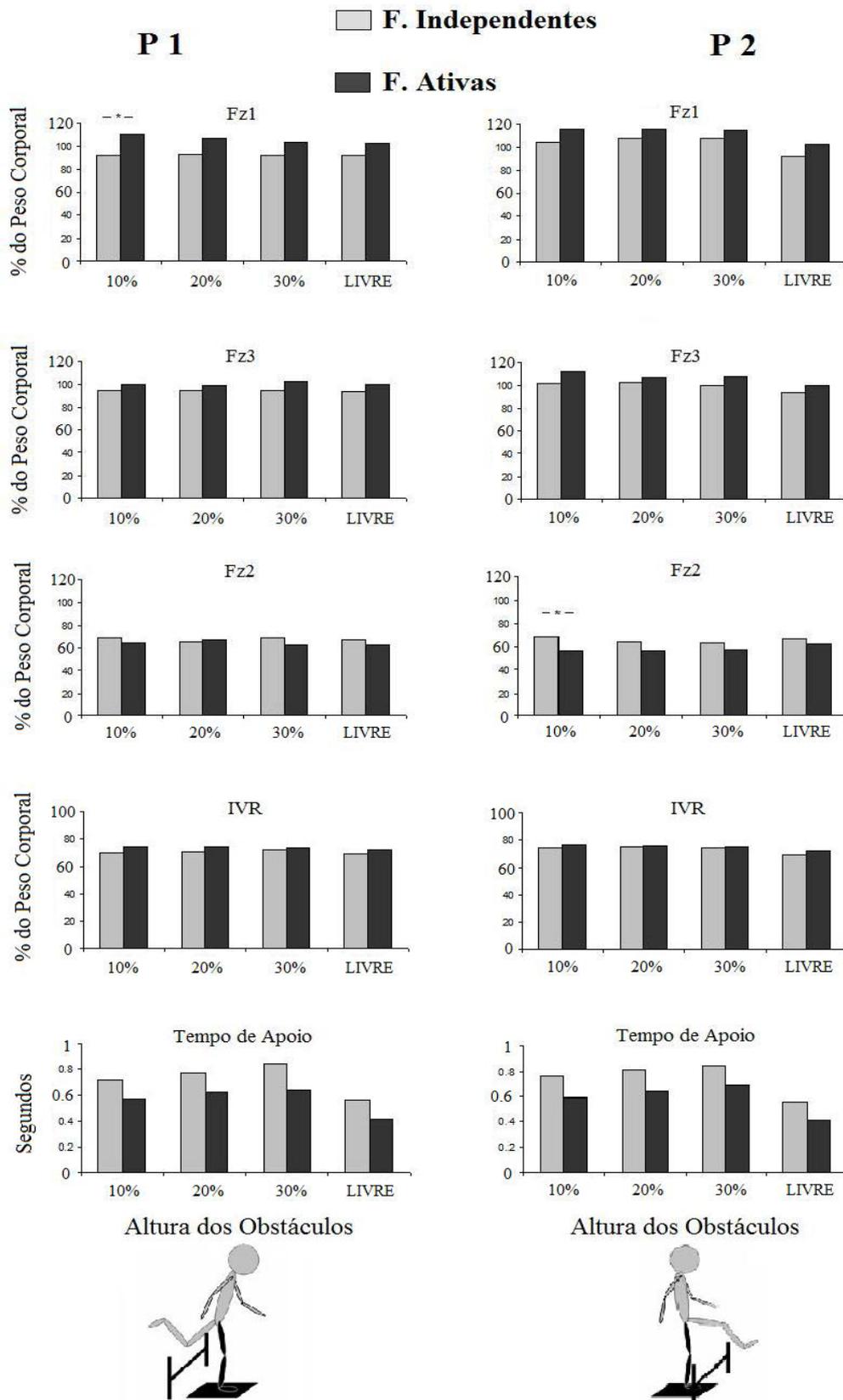
**Gráfico 7:** Ângulo relativo do tornozelo durante a ultrapassagem do obstáculo. A inflexão para baixo da curva (sentido negativo) indica flexão, enquanto que a inflexão para cima (sentido positivo) indica a extensão da articulação. O momento da ultrapassagem do obstáculo (DVH) está representado pelo círculo no gráfico, e o membro inferior direito está destacado pela cor preta no desenho representativo do movimento. Estão representadas duas tentativas de duas voluntárias.

**Tabela 4:** Variáveis cinemáticas demonstrando os ângulos avaliados durante a negociação do obstáculo posicionado antes da plataforma de força. Valores estão apresentados como média (desvio padrão). O símbolo \* representa diferença significativa entre os grupos. O símbolo + representa diferença significativa intragrupo entre as alturas 10 e 30%.

P 1	Ângulos (graus)	Grupo I Independentes	Grupo II Ativas
<b>Obstáculo 10%</b>	Quadril	85,7 (5,1)	87,2 (3,31)
	Joelho	90,5 (10,4) +	94,6 (17,1) +
	Tornozelo	75,1 (6,8) +	78,6 (8,5) +
<b>Obstáculo 20%</b>	Quadril	86,5 (5,0)	88,6 (1,6)
	Joelho	81,8 (8,7)	82,1 (14,1)
	Tornozelo	73,2 (7,3)	73,4 (6,0)
<b>Obstáculo 30%</b>	Quadril	86,1 (4,7)*	89,7 (1,5)*
	Joelho	71,4 (13,2) +	77,9 (16,3) +
	Tornozelo	71,9 (8,9) +	72,9 (6,1) +

**Tabela 5:** Variáveis cinemáticas demonstrando os ângulos avaliados durante a negociação do obstáculo posicionado após a plataforma de força. Valores estão apresentados como média (desvio padrão). O símbolo + representa diferença significativa intragrupo entre as alturas 10 e 30%. O símbolo ‡ representa diferença significativa intragrupo entre as alturas 20 e 30%.

P 2	Ângulos (graus)	Grupo I Independentes	Grupo II Ativas
<b>Obstáculo 10%</b>	Quadril	80,3 (4,6)	80,5 (3,8)
	Joelho	80,0 (19,6) +	76,2 (13,4)
	Tornozelo	87,8 (16,9) +	81,4 (10,6)
<b>Obstáculo 20%</b>	Quadril	77,8 (5,7)	79,6 (3,0)
	Joelho	71,3 (18,3)	63,4 (13,2)
	Tornozelo	80,1 (11,6) ‡	75,9 (9,3)
<b>Obstáculo 30%</b>	Quadril	75,8 (6,4)	77,9 (4,1)
	Joelho	56,8 (13,6) +	54,9 (13,1)
	Tornozelo	68,9 (9,1) +‡	74,7 (8,3)



**Gráfico 8:** Variáveis dinamométricas e tempo de apoio comparadas entre os grupos, nas três diferentes alturas e na marcha livre, para os dois posicionamentos do obstáculo. O membro inferior direito está destacado pela cor preta no desenho representativo do movimento. O símbolo “\* \*” representa diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 6:** Variáveis obtidas pela plataforma de força durante a realização da marcha sem obstáculo. O tempo de apoio está apresentado em segundos, e as demais variáveis em porcentagem do peso corporal (100%).

<b>Livre</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Grupo I Independentes</b>	<b>Grupo II Ativas</b>
	Tempo de Apoio	558,50 (254,18)	414,18 (281,43)
<b>Sem</b>	Fz1 (Pico 1)	92,45 % (11,84)	101,34 % (18,80)
<b>Obstáculo</b>	Fz3 (Pico 2)	93,66 % (11,69)	99,05 % (16,21)
	Fz2 (Vale)	67,30 % (9,28)	61,95 % (12,37)
	Impulso Vertical Relativo	69,16 % (6,15)	71,74 % (10,36)

**Tabela 7:** Variáveis obtidas durante a realização da marcha com o obstáculo posicionado antes da plataforma de força (P1, suporte secundário). O tempo de apoio está apresentado em segundos, e as demais variáveis em porcentagem do peso corporal (100%). O símbolo \* representa diferença significativa entre os grupos. ). O símbolo + representa diferença significativa intragrupo entre as alturas 10 e 30%.

<b>P 1</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Grupo I Independentes</b>	<b>Grupo II Ativas</b>
	Tempo de Apoio	722,92 (334,55) +	570,73 (414,35) +
<b>Obstáculo</b>	Fz1 (Pico 1)	92,52 % (12,11)*	110,89 % (23,63)*
<b>10%</b>	Fz3 (Pico 2)	94,13 % (12,33)	100,71 % (16,21)
	Fz2 (Vale)	68,34 % (6,68)	65,03 % (11,11)
	Impulso Vertical Relativo	70,11 % (5,67)	74,69 % (8,95)
	Tempo de Apoio	767,23 (377,44)	620,88 (450,11)
<b>Obstáculo</b>	Fz1 (Pico 1)	93,33 % (14,96)	106,92 % (30,73)
<b>20%</b>	Fz3 (Pico 2)	94,03 % (12,98)	99,17 % (15,23)
	Fz2 (Vale)	65,59 % (8,90)	67,13 % (9,40)
	Impulso Vertical Relativo	70,76 % (6,23)	74,10 % (10,47)
	Tempo de Apoio	842,13 (405,37) +	633,44 (444,14) +
<b>Obstáculo</b>	Fz1 (Pico 1)	92,03 % (11,45)	103,69 % (24,50)
<b>30%</b>	Fz3 (Pico 2)	95,25 % (12,70)	102,60 % (17,14)
	Fz2 (Vale)	69,07 % (7,77)	62,68 % (10,46)
	Impulso Vertical Relativo	71,94 % (5,99)	73,51 % (9,75)

**Tabela 8:** Variáveis obtidas durante a realização da marcha com o obstáculo posicionado depois da plataforma de força (P2, suporte primário). O tempo de apoio está apresentado em segundos, e as demais variáveis em porcentagem do peso corporal (100%). O símbolo \* representa diferença significativa entre os grupos. ).

<b>P 2</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Grupo I Independentes</b>	<b>Grupo II Ativas</b>
<b>Obstáculo 10%</b>	Tempo de Apoio	761,57 (363,25)	591,16 (436,82)
	Fz1 (Pico 1)	104,55 % (11,78)	115,85 % (18,38)
	Fz3 (Pico 2)	101,42 % (14,81)	111,27 % (15,13)
	Fz2 (Vale)	68,38 % (8,06)*	57,05 % (13,09)*
	Impulso Vertical Relativo	74,45 % (7,20)	76,45 % (9,73)
<b>Obstáculo 20%</b>	Tempo de Apoio	811,42 (387,20)	641,14 (477,13)
	Fz1 (Pico 1)	107,82 % (11,68)	115,64 % (26,52)
	Fz3 (Pico 2)	102,14 % (12,94)	106,77 % (20,88)
	Fz2 (Vale)	64,46 % (12,56)	55,61 % (14,96)
	Impulso Vertical Relativo	75,15 % (5,40)	75,63 % (13,42)
<b>Obstáculo 30%</b>	Tempo de Apoio	847,27 (392,86)	689,37 (519,89)
	Fz1 (Pico 1)	107,53 % (14,97)	115,51 % (25,81)
	Fz3 (Pico 2)	99,45 % (11,15)	107,22 % (22,80)
	Fz2 (Vale)	63,00 % (11,13)	58,18 % (15,01)
	Impulso Vertical Relativo	74,72 % (5,74)	75,33 % (15,27)

## 6 DISCUSSÃO

É amplamente divulgado na literatura o aumento de quedas na população idosa (KANNUS *et al.*, 1999; ROGERS & MILLE, 2003) e em maior frequência nos indivíduos do gênero feminino (DIEËN *et al.*, 2005). A investigação de uma marcha mais complexa foi aqui explorada para entender os possíveis mecanismos que proporcionam tais acidentes e para, mais especificamente, identificar se a atividade física gera alguma influência no controle de situações de maior demanda durante a marcha do idoso.

### 6.1 ANÁLISE INTERGRUPOS

#### 6.1.1 Variáveis Obtidas da Cinemetria

A variável amplitude da passada apresentou diferenças apenas na altura mais elevada do obstáculo quando o membro inferior direito efetuou a abordagem primária. Assim, o grupo FI realizou uma passada menor que o grupo FA. Esse fato sugere que a disparidade entre as duas amostras manifesta-se com o aumento da altura do obstáculo, ou seja, tarefas mais complexas exacerbam as discrepâncias existentes para populações idosas. Esse comportamento já não pôde ser observado em indivíduos jovens saudáveis ativos e inativos em um estudo realizado por Niang e McFadyen (2005) muito similar ao nosso.

A DHH é uma medida importante quando se analisa a perna na função de suporte primária, pois informa a distância que cada grupo considera segura para a ultrapassagem do membro contralateral. Lamoureux e colaboradores (2003) consideram uma menor distância como uma estratégia mais segura, pois possibilita que o membro que faz a abordagem primária possa aterrissar mais longe do obstáculo. Todavia, uma aproximação muito grande pode dificultar a abordagem secundária, na medida em que o membro inferior que realiza essa função não se encontra no campo visual da pessoa que negocia o obstáculo (MOHAGHEGHI *et al.*, 2004). Dessa forma, o pé pode esbarrar no anteparo no momento de elevação, gerando um possível desequilíbrio e queda. Chou e Draganich (1998) apresentam uma análise similar, sugerindo que quanto menor a DHH, maior é o aumento do risco de um tropeço. Assim, esperava-se que o grupo FI

apresentasse uma menor DHH comparado ao grupo FA para todas as alturas. Contudo, apenas para a altura de 20% essa diferença foi estatisticamente significativa.

Outra distância muito estudada é a DHC. Chen e colaboradores (1991) relacionam uma menor DHC com uma maior propensão a quedas. Porém, a aproximação do pé que realizou a abordagem primária ao obstáculo pode promover um menor deslocamento do centro de gravidade no sentido de progressão durante a abordagem secundária. Esse menor deslocamento do centro de gravidade gera uma maior estabilidade à pessoa, na medida em que ele não se distancia muito da base de suporte. Para esse estudo, não foram observadas diferenças entre os grupos FI e FA para a DHC, isto é, as participantes desse estudo apresentaram um comportamento semelhante para o posicionamento do pé após a abordagem do obstáculo.

O momento crítico da ultrapassagem é o instante em que o pé encontra-se acima do obstáculo (distância vertical). Maiores distâncias são relacionadas com uma negociação mais segura (DI FABIO *et al.*, 2004), ou seja, o sistema sensório-motor consegue “perceber” a perturbação ambiental e adaptar-se a ela de forma eficaz. Já as menores distâncias são interpretadas como fatores de risco, decorrentes de alguma deficiência sensorial (como problema visual e labiríntico) ou motora (como fraqueza muscular).

Um aspecto interessante a ser discutido é o marcador utilizado para se determinar essa distância vertical. Chou e Draganich (1998) e Di Fabio e colaboradores (2004) usam o hálux como referência, por considerar este, o marcador do pé que se aproximaria mais do obstáculo durante sua ultrapassagem; já outros autores (LAMOUREUX *et al.*, 2003; SCHRODT *et al.*, 2004) optaram por analisar o calcâneo com a mesma justificativa. Contudo é importante verificar qual a fase do membro inferior que se deseja estudar e, só então, efetuar-se as comparações. Neste trabalho foi observado que para a função de abordagem primária é importante utilizar o calcâneo para o cálculo da distância vertical, pois este se aproxima muito mais do obstáculo que o hálux. Para a abordagem secundária, ao contrário, é necessária a utilização do hálux ao invés do calcâneo. Portanto, a comparação entre os dois tipos de abordagem fica restrita quando se utiliza o mesmo marcador como referência.

Assim, foi utilizada a DVC para analisar a abordagem primária e a DVH para analisar a abordagem secundária. Os resultados encontrados demonstraram não haver diferença entre os grupos FI e FA para essas duas variáveis nas funções de abordagem

correspondentes. Esse é um indício de que ambos os grupos utilizam estratégias similares para negociação do obstáculo.

Os ângulos relativos medidos no “momento crítico” da ultrapassagem não apresentaram diferenças entre os grupos para todas as tarefas analisadas. Apenas para o ângulo absoluto de quadril é que houve uma diferença, na qual o grupo FI obteve maiores graus de flexão na tarefa em que o membro inferior direito executa a função de abordagem primária. É provável que obstáculos mais elevados gerem maior instabilidade. Conseqüentemente, maior controle para a manutenção do equilíbrio dinâmico é requerido a qual é compensada, no grupo FI, com um aumento na flexão de quadril para anteriorização do tronco. Essa seria uma estratégia, para procurar sempre manter o centro de gravidade dentro da base de apoio do corpo.

### **6.1.2 Variáveis Obtidas da Dinamometria**

Os resultados estatisticamente significativos não forneceram conclusões categóricas a respeito do efeito da atividade física na marcha durante a negociação de obstáculos de mulheres idosas. O Fz1 apresentou diferenças na fase de suporte secundária na altura baixa do obstáculo, indicando uma menor absorção das forças durante o contato inicial após a ultrapassagem do obstáculo para as voluntárias fisicamente independentes. Aparentemente, esse grupo de idosas realiza a negociação dos obstáculos com maior cautela mesmo em alturas mais baixas.

A variável Fz2, a qual representa o médio apoio da marcha, apresenta maiores magnitudes para o grupo fisicamente independente. Este comportamento foi observado na altura baixa do obstáculo na fase de suporte primária, possivelmente indicando uma necessidade de transferência de peso maior para o membro inferior contralateral poder negociar com a perturbação imposta.

As idosas ativas apresentaram um tempo de apoio reduzido para todas as tarefas avaliadas. Esse fato está atrelado a uma maior velocidade (observada qualitativamente durante as coletas). Para se atingir velocidades mais altas são necessárias respostas de magnitudes maiores do solo contra o pé, tanto na fase de absorção quanto na fase de geração de forças (NIGG, 1986). As variáveis Fz1 e Fz3 reforçam o indício da velocidade ser maior para o grupo das ativas, visto que suas magnitudes são maiores que as verificadas no outro grupo.

## 6.2 ANÁLISE INTRAGRUPPO

### 6.2.1 Efeito da Altura do Obstáculo

#### 6.2.1.1 Variáveis Obtidas da Cinemetria

Os resultados obtidos sugerem que o posicionamento do pé em relação ao obstáculo é pouco influenciado pelas alturas testadas no presente estudo. Esse é um fato relevante na medida em que, aparentemente, o sistema sensório-motor procura sempre garantir a mesma margem de segurança na ultrapassagem de obstáculos. A manutenção das distâncias verticais do pé ao obstáculo foi obtida graças ao aumento da flexão do joelho e do tornozelo, mas não da maior inclinação do tronco. Uma possível razão para explicar esse evento é a intenção em não deslocar o centro de massa lateralmente para fora da base de apoio do membro de suporte. A invariância encontrada com relação ao posicionamento do pé ao obstáculo para os dois grupos é um indício de que possa existir um programa motor específico para a ultrapassagem de obstáculos.

#### 6.2.1.2 Variáveis Obtidas da Dinamometria

Com o aumento da altura do obstáculo foi observado um aumento no tempo de apoio tanto na fase de suporte primária quanto secundária para as alturas de 20 e 30% em ambos os grupos. Esse comportamento é esperado na medida em que alturas mais elevadas aumentam o percurso a ser efetuado pelos pés que realizam a ultrapassagem do obstáculo. Consequentemente, o membro de suporte necessita fornecer a devida sustentação até o membro de abordagem atingir o solo novamente. Esses resultados concordam com os encontrados por Begg e colaboradores (1998), os quais também relacionam os aumentos do tempo de apoio e da altura com a diminuição da velocidade de deslocamento. Eles sugerem que mais tempo é requerido para gerar e absorver as grandes forças associadas com a ultrapassagem de obstáculos mais altos.

Ainda com relação ao tempo de apoio, a altura correspondente a 10% do comprimento do membro inferior não se apresentou como perturbação ambiental suficiente para diferir da marcha livre nos grupos de idosos estudados. Esse fato é também observado para as outras variáveis oriundas da força de reação do solo para o grupo ativo. Porém, para o grupo fisicamente independente, na fase de suporte primária, houve diferenças com a marcha livre para o Fz3 e o IVR. A partir desses resultados

pode-se sugerir que as pessoas que realizam atividade física não consideram os obstáculos baixos como uma tarefa de marcha mais complexa.

Não foi observado para os três níveis de altura estipulados diferenças estatisticamente significativas nas variáveis obtidas através da dinamometria. Este fato nos leva para duas hipóteses: ou as idosas negociam obstáculos de diferentes alturas de forma semelhante, ou as alturas do obstáculo selecionadas para este estudo não diferiram realmente umas das outras, a ponto de gerarem diferentes adaptações no movimento de ultrapassagem de obstáculos para as idosas desse estudo.

## **6.2.2 Fases do Membro Inferior**

### *6.2.2.1 Variáveis Obtidas da Cinemetria*

Dentre as variáveis analisadas, as mais relevantes para se comparar as diferentes funções do membro inferior são: DVH, DVC e os ângulos relativos e absoluto. As distâncias verticais, durante o momento de ultrapassagem do pé, são variáveis muito estudadas, pois informam, como já descrito anteriormente, o limite de segurança da função de abordagem do membro inferior. Novamente, cabe aqui a discussão do marcador utilizado para realizar as comparações entre as funções de abordagem primária e secundária.

Os estudos que utilizam o mesmo marcador para a comparação entre as abordagens podem cometer erros, pois o momento de maior aproximação do pé ao obstáculo varia de acordo com o tipo de abordagem como já discutido anteriormente. Assim, Lu e colaboradores (2006) utilizaram tanto o calcâneo quanto o hálux para os cálculos das distâncias verticais.

A flexão do joelho e do tornozelo aumenta proporcionalmente de acordo com a altura dos obstáculos, mas não sofre influência da função. A flexão do quadril, ao contrário, sofre influências apenas das alturas maiores (20 e 30%), sendo a função de abordagem secundária a demandar maior flexão tanto para o grupo FI quanto para o grupo FA. Essa maior flexão do quadril pode ter sido uma estratégia utilizada com o intuito de aumentar o distanciamento do pé ao obstáculo durante a ultrapassagem deste.

### *6.2.2.2 Variáveis Obtidas da Dinamometria*

Begg e colaboradores (1998) observaram que com o aumento da altura do obstáculo o comprimento da passada aumenta e a velocidade de ultrapassagem diminui.

Além disso, constataram que existem diferenças entre o tempo de apoio das fases de suporte, em que a fase de suporte primária apresenta um aumento do tempo com alturas mais elevadas quando comparada com a fase de suporte secundária. Eles justificam, através da maior magnitude do Fz3 apresentada pela perna na fase de suporte secundário, que esse aumento é necessário para que haja tempo para gerar impulso vertical suficiente para a ultrapassagem da perna contralateral. Para este estudo não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as fases de suporte. Todavia, através de uma análise qualitativa é possível verificar que para as variáveis Fz1 e Fz3, a fase de abordagem primária gerou maiores magnitudes que a fase de abordagem secundária, fatos que corroboram com os dados encontrados por Begg e colaboradores (1998). Entretanto, comparando-se a magnitude do Fz3 dos dois grupos presentes nesse estudo com os dos participantes (adultos) do estudo de Begg é notável a discrepância entre eles. Enquanto neste último os valores do Fz3 aumentam de acordo com o aumento da altura do obstáculo, as idosas praticamente mantêm inalterado o valor alcançado para a altura baixa de obstáculo. Esse é um fato extremamente relevante na medida em que o Fz3 representa a fase de propulsão do pé e este impulso vertical precisa ser suficiente para assegurar que a elevação e o momento de progressão do centro de massa seja adequado. Se a elevação do membro for ineficiente, somado com a progressiva deterioração da massa muscular com o envelhecimento, o risco de tropeço e posterior queda é elevado.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alguns resultados da análise intergrupos sustentaram as hipóteses de que a atividade física facilitaria a negociação da perturbação imposta (hipótese 1) e que o aumento da altura do obstáculo evidenciaria as diferenças entre os grupos (hipótese 2). Porém, de um modo geral, foram observadas poucas diferenças entre eles. Este fato pode ser advindo de três motivos: I) as variáveis selecionadas não foram sensíveis para detectar diferenças; II) as alturas do obstáculo não foram suficientes para gerar diferenças; III) os grupos selecionados realmente não diferiram um do outro.

A análise das alturas do obstáculo realizada intragrupo demonstrou haver poucas diferenças entre elas tanto para as idosas independentes quanto para as idosas ativas. Esses resultados corroboram com o segundo motivo supracitado de que as alturas foram insuficientes para evidenciar particularidades de cada grupo. Contudo, quando se observa os resultados das variáveis dinamométricas, foi possível constatar que as idosas independentes apresentaram mais diferenças entre a marcha obstruída com a marcha livre que as idosas ativas, o que sustenta a primeira hipótese.

Quando as diferentes fases do membro inferior foram analisadas através dos dois posicionamentos do obstáculo (P1 e P2), pode-se observar um maior distanciamento do pé durante a abordagem secundária apenas no grupo ativo. Fato que também apóia a primeira hipótese. Dessa forma, apesar das poucas diferenças entre os grupos, pode-se verificar alguns indícios de que a atividade física promoveu uma facilitação na ultrapassagem das perturbações impostas em mulheres idosas. Talvez, com a seleção de outras variáveis, como, por exemplo, a análise das outras componentes da força de reação do solo, e com a utilização de alturas mais elevadas de obstáculo, as diferenças entre os grupos tornem-se mais evidentes.

## REFERÊNCIAS

ABDEL-AZIZ, Y.I.; KARARA, H.M. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In: **ASP Symposium on Close Range Photogrammetry**, American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA, p.1-18, 1971.

BARROS RML, BRENZIKOFER R, LEITE N J, FIGUEROA P. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**. v.15, n.1-2, p.79-86, 1999.

BEGG, R.K.; SPARROW, W.A.; LYTHGO, N.D. Time-domain analysis of foot-ground reaction forces in negotiating obstacles. **Gait and Posture**. v.7, p.99-109, 1998.

BENDALL, M. J.; BASSEY, E. J.; PEARSON, M. B. Factors affecting walking speed of elderly people. **Age Aging**, v.18, p.327-332, 1989.

BRUCKI, S.M.D.; NITRINI, R.; CARAMELLI, P.; BERTOLUCCI, P.H.F.; OKAMOTO, I.H. Sugestões para o uso do mini-exame do estado mental no Brasil. **Arquivos de Neuropsiquiatria**. v.61, n.3B, p.777-781, 2003.

CAPPOZZO, A.; CATANI, F.; CROCE, U.D.; LEARDINI, A. Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination. **Clinical Biomechanics**. v.10, n.4, p.171-178, 1995.

CATAI, A.M. Estudo da capacidade aeróbia e da variabilidade da frequência cardíaca em homens jovens e de meia idade submetidos a treinamento físico aeróbio. 1999. 301p. Tese (**Doutorado em Ciências**), Universidade Estadual de Campinas - Instituto de Biologia, Campinas – SP.

CHAIMOWICZ, F. Epidemiologia e o Envelhecimento no Brasil. In: FREITAS, E.V.; PY, L.; CANÇADO, F.A.X.; DOLL, J.; GORZONI, M.L. **Tratado de Geriatria e Gerontologia**. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. p.106-130.

CHANDLER, J.M. Equilíbrio e Quedas no Idoso: Questões sobre a Avaliação e o Tratamento. In: GUCCIONE, A.A. (ed.). **Fisioterapia Geriátrica**. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. p.264-277.

CHEN, H.C.; ASHTON-MILLER, J.A.; ALEXANDER, N.B.; SCHULTZ, A.B. Effects of age and available time on ability to step over an obstacle. **Journal of Gerontology**. v.49, p.227-233, 1994.

CHEN, H.C.; ASHTON-MILLER, J.A.; ALEXANDER, N.B.; SCHULTZ, A.B. Stepping over obstacles: Gait patterns of healthy young and old adults. **Journal of Gerontology**. v.46, n.6, p.196-203, 1991.

CHOU, L.S.; DRAGANICH, L.F. Placing the trailing foot closer to an obstacle reduces flexion of the hip, knee, and ankle to increase the risk of tripping. **Journal of Biomechanics**. v.31, p.685-691, 1998.

CHRISTOFOLETTI, G.; OLIANI, M.M.; GOBBI, L.T.B.; GOBBI, S.; STELLA, F. Risco de quedas em idosos com doença de Parkinson e Demência de Alzheimer: um estudo transversal. **Revista Brasileira de Fisioterapia**. v.10, p.429-433, 2006.

DALEY, M.J.; SPINKS, W.L. Exercise, Mobility and Aging. **Sports Medicine**. v.29, n.1, p.1-12, 2000.

DI FABIO, R.P.; KURSZEWSKI, W.M.; JORGENSON, E.E.; KUNZ, R.C. Footlift asymmetry during obstacle avoidance in high-risk elderly. **Journal of the American Geriatric Society**. v.52, n.12, p.2088-2093, 2004.

DIEËN, J.H.; PIJNAPPELS, M.; BOBBERT, M.F. Age-related intrinsic limitations in preventing a trip and regaining balance after a trip. **Safety Science**. v.43, p.437-453, 2005.

ELBLE, R. J.; THOMAS, S. S.; HIGGINS, C.; COLLIVER, J. Stride-dependent changes in gait of older people. **Journal of Neurophysiology**, v.238, p.1-5, 1991.

FIGUEROA, P.J.; LEITE, N.J.; BARROS, R.M. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v.72, n.2, p.155-65, 2003.

FLECK, S.J.; KRAEMER, W.J. **Fundamentos do Treinamento de Força Muscular**. 3ed. São Paulo: Artmed. 2006. 375p.

FOLSTEIN, M.F.; FOLSTEIN, S.E.; MCHUGH, P.R. Mini-Mental State: a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. **Journal of Psychiatric Research**. v.12, n.3, p.189-198, 1975.

HAHN, M.E.; CHOU, L.S. Age-related reduction in sagittal plane center of mass motion during obstacle crossing. **Journal of Biomechanics**. v.37, p.837-844, 2004.

HALE, W.A.; DELANEY, M.J.; McGAGHIE, W.C. Characteristics and predictors of falls in the elderly patients. **Journal of Family Practice**. v.34, p.577, 1992.

KANEKO, M.; MORIMOTO, Y.; KIMURA, M.; FUCHIMOTO, K.; FUCHIMOTO, T. A kinematic analysis of walking and physical fitness testing in elderly women. **Canadian Journal Sport Science**, v.16, n.3, p.223-228, 1991.

KANNUS, P.; SIEVÄNEN, H.; PALVANEN, M.; JÄRVINEN, T.; PARKKARI, J. Prevention of falls and consequent injuries in elderly people. **Lancet**. v.366, p.1885-1893, 2005.

KERRIGAN, D.C.; LEE, L.W.; NIETO, T.J.; MARKMAN, J.D.; COLLINS, J.J.; RILEY, P.O. Kinetic alterations independent of walking speed in elderly fallers. **Archives of Physical Medical Rehabilitation**. v.81, p.730-735, 2000.

JOHANSON, M.E. Laboratório da Marcha: Estrutura e Coleta de Dados. In: ROSE, J.; GAMBLE, J.G. **Marcha Humana**. 2.ed. São Paulo: Editorial Premier, 1998, p.213-239.

LAMOUREUX, E.; SPARROW, W.A.; MURPHY, A.; NEWTON, R.U. The effects of improved strength on obstacle negotiation in community-living older adults. **Gait and Posture**. v.17, p.273-283, 2003.

LI, F.; HARMER, P.; FISHER, K.J.; MCAULEY, E. Tai Chi: Improving Functional Balance and Predicting Subsequent Falls in Older Persons. **Medicine & Science in Sports & Exercise**. v.36, n.12, p.2046-2052, 2004.

LU, T.W.; CHEN, H.L.; CHEN, S.C. Comparisons of the lower limb kinematics between young and older adults when crossing obstacles of different heights. **Gait and Posture**. v.23, p.471-479, 2006.

MASUD, T.; MORRIS, R.O. Epidemiology of falls. **Age and Ageing**. v.30, p.3-7, 2001.

MENZ, H.B.; LORD, S.R.; FITZPATRICK, R.C. Age-related differences in walking stability. **Age and Ageing**. v.32, p. 137-142, 2003.

MOHAGHEGHI, A.A.; MORAES, R.; PATLA, A.E. The effects of distant and on-line visual information on the control of approach phase and step over an obstacle during locomotion. **Experimental Brain Research**. v.155, p.459-468, 2004.

MURRAY, M. P.; KORY, R.C.; CLARKSON, B.H. Walking patterns in healthy old men. **Journal of Gerontology**, v.24, n.2, p.169-178, 1969.

NARICI, M.V.; MAGANARIS, C.N.; REEVES, N.D. Myotendinous alterations and effects of resistive loading in old age. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**. v.15, p.392-401, 2005.

NIANG, A.E.S.; MCFADYEN, B.J Effects of physical activity level on unobstructed and obstructed walking in young male adults. **Gait and Posture**. v.22, p.75-81, 2005.

NIGG, B.M. **Biomechanics of Running Shoes**. Champaign: Human Kinetics, 1986.

OLIVEIRA, P.J.R. Biomecânica da Marcha do idoso: estudo cinemático do ciclo de marcha do idoso. **Dissertação de Mestrado** em Ciências do Desporto, Universidade do Porto, Porto - Portugal, p. 116, 1996.

PATTEN, C.; CRAIK, R.L. Alterações Sensoriomotoras e Adaptação no Idoso. In: GUCCIONE, A.A. (ed.). **Fisioterapia Geriátrica**. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. p.73-102.

PODSIADLO, D.; RICHARDSON, S. The timed “ Up and Go”: A test of basic functional mobility for frail elderly persons. **Journal of American Geriatrics Society**. v. 39, p. 142-148, 1991.

POWERS, S.K.; HOWLEY, E.T. **Fisiologia do Exercício. Teoria e Aplicação ao Condicionamento e ao Desempenho**. 3ed. São Paulo: Manole. 2001. 527p.

PRINCE, F.; CORRIVEAU, H.; HÉBERT, R.; WINTER, D. Gait in the elderly. **Gait and Posture**. v. 5, p.128-135, 1997.

REKERS, H.; DROGENDIJK, A.C.; VALKENBURG, H.A. The menopause, urinary incontinence and other symptoms of the genitor-urinary tract. **Maturitas**. v.15, p.101, 1992.

RIBEIRO, T.F. Avaliação da modulação autonômica da atividade eferente do coração pela variabilidade da frequência cardíaca em mulheres sedentárias. Tese (**Mestrado em Fisioterapia**), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2001.

SERRÃO, J. C.; AMADIO, A. C. Análise de características dinâmicas do andar em idosos e sua influência na seleção de atividades físicas. In (ed.) **Proceedings: I Conference of EGREPA**, Oeiras, Portugal; p.438-445, 1993.

SCHILLINGS, A.M.; MULDER, TH.; DUYSSENS, J. Stumbling over obstacles in older adults compared to young adults. **Journal of Neurophysiology**. v.94, p.1158-1168, 2005.

SCHRODT, L.A.; MERCER, V.S.; GIULIANI, C.A.; HARTMAN, M. Characteristics of stepping over an obstacle in community dwelling older adults under dual-task conditions. **Gait and Posture**. v.19, p.279-287, 2004.

SPIRDUSO, W.W. **Physical Dimension of Aging**. 1.ed. Champaign: Human Kinetics, 1995. 432p.

SHUMWAY-COOK, A.; BRAUER, S.; WOOLLACOTT, M. Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. **Physical Therapy**. v.80, n.9, p.896-903, 2000.

REESE, N.B. **Testes de Função Muscular e Sensorial**. 1.ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 2000. 505p.

VELOSO, G.A.; XIMENES, A.C. Ossos: Noções de Anatomia e Fisiologia. In: PORTO, C.C. **Semiologia Médica**. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. p.1061-1065.

WEINECK, J. **Biologia do Esporte**. 7ed. São Paulo: Manole. 2001. 758p.

WILMORE, J.H.; COSTILL, D.L. **Fisiologia do Esporte e do Exercício**. 2ed. São Paulo: Manole. 2001. 709p.

WINTER, D.A. Kinematics. In: \_\_\_\_\_ **Biomechanics And Motor Control Of Human Movement**. 2.ed. United States of America: WILEY INTER-SCIENCE, 1990. p.11-50.

WINTER, D.A. **The Biomechanics and motor control of human gait: Normal, Elderly and Pathological.** Waterloo, University of Waterloo Press, 1991.

**APÊNDICE A**  
**Questionário**

# UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

## Centro de Ciências Biológicas e Saúde

### Departamento de Educação Física e Motricidade Humana

Nome: \_\_\_\_\_ Data \_\_\_\_\_

Telefone: \_\_\_\_\_ Data de nascimento: \_\_\_\_\_

idade: \_\_\_\_\_ peso: \_\_\_\_\_ altura: \_\_\_\_\_

- 1) quanto tempo você faz atividade física?  
 há 3 meses     6 meses     + de 1 ano     não faz
- 2) Você consome bebida alcoólica?  
 não consumo     consumo socialmente     consumo todos os dias
- 3) Você é usuária de drogas ou substâncias que causam dependência química?  
 não     sim
- 4) Têm alguma parte do seu corpo que você não sente?  
 não  
 sim. Qual? \_\_\_\_\_
- 5) Têm alguma dificuldade de movimentar alguma parte do corpo?  
 não  
 sim . Qual?  cabeça     tronco     pé  
 braço     perna
- 6) Já passou por algum procedimento cirúrgico na região da cintura ou das pernas?  
 não  
 sim. Qual? \_\_\_\_\_
- 7) Usa algum aparelho para ajudar a andar?  
 não     sim

**ANAMNESE****História Progressiva:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**História Atual:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Antecedentes Familiares:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**EXAME FÍSICO****TESTE DE FORÇA MUSCULAR****• TRONCO**

○ Extensão \_\_\_\_\_

○ Flexão \_\_\_\_\_

○ Rotação \_\_\_\_\_

**• MMII**

○ Quadril

▪ Flexão \_\_\_\_\_

▪ Extensão \_\_\_\_\_

▪ Abdução \_\_\_\_\_

▪ Adução \_\_\_\_\_

▪ Rotação: - interna \_\_\_\_\_

- externa \_\_\_\_\_

○ Joelho

▪ Flexão \_\_\_\_\_

▪ Extensão \_\_\_\_\_

○ Tornozelo

▪ Flexão plantar \_\_\_\_\_

▪ Dorsiflexão \_\_\_\_\_

▪ Eversão \_\_\_\_\_

▪ Inversão \_\_\_\_\_

**TUG:** \_\_\_\_\_ segundos

## MINI EXAME DO ESTADO MENTAL

Agora faremos algumas perguntas para saber como está sua memória. Sabemos que, com o tempo, as pessoas vão tendo mais dificuldades para se lembrarem das coisas. Não se preocupe com o resultado das perguntas.

1. Qual o dia que nós estamos?

Dia da semana ( ) dia( ) mês( ) ano( ) hora aproximada( )

\_\_\_\_\_/5

2. Onde nós estamos?

Local específico( ) local( ) endereço( ) cidade( ) estado( )

\_\_\_\_\_/5

3. Repita as palavras (um segundo para dizer cada uma, depois perguntar ao idoso todas as três):

vaso( ) carro( ) tijolo( )

Se ele não conseguir repetir três, repita até que ele aprenda todas as três. Conte as tentativas e registre: (até 5 vezes)

\_\_\_\_\_/3

Tentativas:\_\_\_\_\_

4. Se de 100 forem tirados 7, quanto resta? E se tirarmos mais 7, quanto resta? (total de 5 subtrações)

a) 93 ( ) d) 72 ( )

b) 86 ( ) e) 65 ( )

c) 79 ( )

\_\_\_\_\_/5

5. Repita as palavras que eu disse há pouco:

\_\_\_\_\_( )

\_\_\_\_\_( )

\_\_\_\_\_( )

\_\_\_\_\_/3

6. Mostre um relógio de pulso e pergunte-lhe: O que é isto? Repita com uma caneta.

relógio ( ) caneta ( )

\_\_\_\_\_/2

7. Repita o seguinte: “NEM AQUI, NEM ALI, NEM LÁ” ( ) \_\_\_\_\_/1

8. Siga uma ordem de três estágios:

Pegue o papel com sua mão direita ( )

Dobre- o ao meio ( ) \_\_\_\_\_/3

Ponha-o no chão ( )

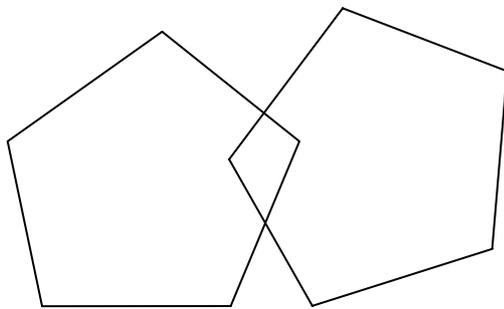
9. Leia e execute o seguinte (cartão):

**“FECHE OS OLHOS”** ( ) \_\_\_\_\_/1

10. Escreva uma frase: (pontua se for sensata e tiver um sujeito e um verbo)

\_\_\_\_\_ ( ) \_\_\_\_\_/1

11. Copie este desenho (cartão): ( )



\_\_\_\_\_/1

Pontos: \_\_\_\_\_

**Pontuação do Mini Exame do Estado Mental**

Pontuação máxima:

11 questões = 30 pontos

Pontuação máxima:

- Analfabetos: 18 pontos (se souber escrever o nome, mas não frequentaram a escola)
- 1 a 3 anos de escolaridade: 21 pontos ou mais
- 4 a 7 anos de escolaridade: 24 pontos ou mais
- 8 anos ou mais: 26 pontos ou mais

Caso a pontuação resulte em menos de 18 pontos é indicativo de que ele apresenta perdas cognitivas

## **APÊNDICE B**

### **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SAÚDE**

DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E MOTRICIDADE HUMANA

**CONSENTIMENTO FORMAL DE PARTICIPAÇÃO NO PROJETO DE PESQUISA: ESTUDO DA NEGOCIAÇÃO DE OBSTÁCULOS DURANTE A MARCHA DE MULHERES IDOSAS**

Você está sendo convidada para participar da pesquisa “Estudo da Negociação de Obstáculos Durante a Marcha de Mulheres Idosas”, proposto pela Profa. Dra. Paula Hentschel Lobo da Costa e Lígia Yumi Mochida, a ser realizado no Núcleo de Análise do Movimento do Laboratório de Avaliação Biomecânica, Aprendizagem e Treinamento (LABAT) da Universidade Federal de São Carlos. Sua seleção se deu através da sua participação no “Programa de Revitalização Geriátrica” realizado na Universidade Aberta da Terceira Idade (UATI) ou através da sua residência em casas de abrigo para idosos. Sua participação não é obrigatória.

Este trabalho tem como principal objetivo avaliar o andar com e sem obstáculo de mulheres idosas.

Em um momento, você caminhará 6 metros numa velocidade confortável. Em outra situação, percorrerá o mesmo trajeto, porém, com a presença de um obstáculo no meio do caminho que deverá ser ultrapassado. Para tanto, haverá uma pessoa para ampará-la caso ocorra um possível tropeço ou desequilíbrio. Além disso, o obstáculo será confeccionado para ser bem visível e montado de forma que qualquer pequeno contato irá derrubá-lo, sem interromper seu movimento.

Sua participação nessa pesquisa é importante, pois permitirá a melhor compreensão dos mecanismos utilizados para o cruzamento de obstáculo durante o caminhar, fato presente no dia-a-dia capaz de gerar quedas deixando seqüelas mais graves numa população mais idosa.

Ao aceitar ser voluntária, saiba que os dados obtidos durante este trabalho serão mantidos em sigilo e não poderão ser consultados por outras pessoas sem sua autorização por escrito. Por outro lado, poderão ser utilizados para fins científicos, resguardando, no entanto, sua privacidade.

Vale ressaltar que a senhora poderá interromper o tratamento quando julgar necessário, sem que essa atitude acarrete nenhum prejuízo em sua relação com os pesquisadores ou com esta instituição, e que a participação neste estudo não acarretará as voluntárias quaisquer despesas. Informo ainda que todos os procedimentos de avaliação e tratamento serão conduzidos por um profissional experiente, de forma a garantir sua integridade física e moral.

Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e o endereço do pesquisador principal, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento.

---

Profª. Dra. Paula Hentschel Lobo da Costa

Docente do Departamento de Educação Física e Motricidade Humana

---

Lígia Yumi Mochida

Aluna do Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia

Rua Jacinto Favoretto, 1093

Jd. Macarengo – São Carlos – SP

Celular: (16) 9774-4382

Laboratório: (16) 3351-8768

## **CONSENTIMENTO FORMAL PARA A PARTICIPAÇÃO EM PROJETO DE PESQUISA**

Eu, \_\_\_\_\_,  
RG \_\_\_\_\_, residente à \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_, bairro \_\_\_\_\_, na cidade de \_\_\_\_\_,  
estado \_\_\_\_\_, concordo em participar como voluntária do projeto de pesquisa supracitado.

Declaro que li e entendi todas as informações contidas neste documento.

---

Assinatura da voluntária

**ANEXO A**

Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da  
Universidade Federal de São Carlos