

# Análise do ângulo de pronação do calcâneo durante a marcha utilizando diferentes tipos de calçados

Andresa Mara de Castro Santos<sup>1,2</sup>; Aluisio Otavio Vargas Ávila<sup>1,2</sup>; Antonio M. Zaro<sup>1,3</sup>; Eduardo Nabinger<sup>1,3</sup>; Aline Faquin<sup>1,3</sup>

**1 IBTeC** – Instituto Brasileiro de Tecnologia em Couro Calçado e Artefatos, N.Hamburgo/RS;

**2 UDESC** – Univ. do Estado de Santa Catarina/CEFID/Laboratório de Biomecânica - Florianópolis/SC.

**3 UFRGS** – Univ. Federal do Rio Grande do Sul/Escola de Engenharia - Porto Alegre/RS

## Resumo

O presente estudo objetivou analisar o ângulo de pronação do calcâneo durante a marcha utilizando diferentes tipos de calçados. Foram utilizados 160 pares de calçados adultos (78 masculinos e 82 femininos) de diversos modelos, classificados em nove grupos. Os calçados foram testados por indivíduos selecionados mediante as normas brasileiras de conforto do calçado NBR14834. A coleta de dados foi realizada de acordo com a norma brasileira de conforto do calçado 14839 que se refere à determinação dos ângulos de pronação do calcâneo durante a marcha. Foi utilizado o sistema de cinemetria SpicaTek™ Imaging Hardware com uma câmera digital com frequência de aquisição de 120 Hz e software de aquisição Digital Motion Capture/Analysis DMAS®5.0. A marcha foi realizada em uma esteira elétrica com velocidade de 4km/h±10% para as mulheres e 5 Km/h para os homens. Foram digitalizados cinco passos do pé direito, eliminados os valores extremos e calculados

## Abstract

The objective of this study was to analyze the pronation angle of the calcaneus during the gait, using different types of shoes. We used 160 pairs of shoes (78 male and 82 female), classified in 9 groups. The shoes were tested by individuals selected according to the Brazilian norms for shoe comfort measuring- NBR 14834. The data were collected according to the Brazilian norm of shoe comfort (NBR 14839) which refers to the determination of the pronation angle of the calcaneus during the gait. The system used was SpicaTek™ Imaging Hardware with a digital camera, acquisition frequency of 120 Hz, and Digital Acquisition Motion Capture/Analysis DMAS®5.0 software. The gait was accomplished in a treadmill with speed of 4km/h±10% for women and 5 Km/h for men. Five steps of the right foot were digitalized, the extreme values were eliminated and the mean values were calculated. The

os valores médios. O tratamento estatístico foi composto de estatística descritiva exploratória e análise de variância Anova-Oneway, utilizando um teste Post Hoc *Student-Newman-Keuls*. Foram encontradas diferenças significativas entre os valores médios de ângulo de pronação dos grupos. Os grupos de tênis antipronação masculino, tênis de futsal, sapado casual masculino, sandália feminina e calçado de segurança relativamente melhores ao grupo de sapato casual feminino e o tênis casual feminino. Observou-se também que os calçados que menos induziram o movimento de pronação do calcâneo foram os grupos de calçados masculinos, sendo motivo de preocupação o desenvolvimento dos calçados femininos como mocassins, sapatos casuais e tênis casuais.

**Palavras-chaves:** Biomecânica; Análise da Marcha, Calçados; Ângulo de pronação.

statistical treatment was composed by descriptive statistics and variance analysis Anova-Oneway, using a test Post Hoc Student-Newman-Keuls. There were significant differences among the mean values of pronation angle of the groups. The groups of tennis shoes male antipronation, indoor tennis shoes, male casual shoes, female sandals and safety shoes were relatively better than the group of female casual shoes and the female casual tennis shoes. It was also observed that the pronation angle of the calcaneus movement was less induced in the male shoes groups. This represents concern about female shoes development, such as mocassin, casual and casual tennis shoes.

**Keywords:** Gait Analysis, Shoes, Pronation Angle, Biomechanics.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas quatro décadas, o Brasil tem representado um relevante papel na história do calçado, sendo um dos mais destacados fabricantes de manufaturados de couro, detendo o terceiro lugar no *ranking* dos maiores produtores mundiais, e possuindo ainda importante participação no setor calçadista feminino que alia qualidade a preços acessíveis (Abicalçados, 2005).

As indústrias calçadistas nacionais disponibilizam no mercado inúmeras opções de calçados com grandes variedades de modelos, e que geralmente seguem aspectos estéticos e tendências da moda. Segundo Manfio & Ávila (2003), os calçados devem combinar vários atributos como desenho funcional, utilidade, eficiência e facilidade, além de aspectos relacionados com o conforto e segurança, entendidos como a prevenção de lesões. Para atingir tais atributos, os estudos realizados na biomecânica de locomoção e postura incluem o auxílio à determinação de parâmetros para a fabricação de calçados.

São inúmeros aspectos a serem observados nos calçados, como exemplos bom calce, liberdade dos dedos, flexibilidade do cabedal, salto adequado, poder de absorção e desorção dos materiais, estabilidade, manutenção dos índices de temperatura, materiais com boa tolerância pela pele, correta distribuição da pressão plantar, absorção de impacto, pouca massa, entre outros.

A preocupação com esses aspectos e a necessidade de um diferencial que pudesse destacar os calçados brasileiros em âmbito nacional e mundial, resultou em 2002 na criação das Normas Brasileiras de Avaliação do Conforto do Calçado (NBR 14834 a 14840). Estas normas, cujo órgão responsável é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), consistem em um conjunto de ensaios e parâmetros associados à biomecânica que permitem diferenciar o calçado e quantificar seu conforto.

As normas referem-se basicamente

a seis itens: mensuração de temperatura interna (temperatura dos pés com o uso do calçado); distribuição da pressão plantar; massa do calçado; componente vertical da força de reação do solo (primeiro pico de força e taxa de aceitação de peso); e ângulo de pronação. Além disso, parâmetros subjetivos também são considerados em forma de um questionário apresentando questões como sensação de toque, o ajuste às dimensões do pé, segurança durante o andar, sensação de umidade, entre outros.

Alguns calçados que são submetidos a todos os ensaios propostos por essa norma e conseguem atingir um nível de conforto considerado "confortável" -de acordo com as norma 14834 - podem receber um selo de conforto do calçado, emitido por órgãos de certificação.

Como na produção de calçados cada fabricante apresenta uma tecnologia própria em função da especificidade da atividade a ser desempenhada e o nível de *performance* desejado, os ensaios também podem ser realizados separadamente quando a finalidade é de observar algumas variáveis específicas. Cada tipo de calçado exige, permite ou necessita a utilização de determinados tipos de materiais, componentes, formatos e posições do sistema de solado e cabedal. Assim, cada ensaio biomecânico poderá auxiliar no desenvolvimento ou melhoramento dos calçados visando otimizar o desempenho desejado (EL HAYEK e LEITE, 1995).

Nigg (1986) e Manfio (1995) lembram que o calçado deve proporcionar ao usuário conforto e segurança, de modo que seja adequado aos tipos de superfícies e as características das atividades às quais se destinam, propicie condições favoráveis a adequada execução de movimentos e previna acidentes nas suas diversas situações.

Estudos realizados por Cavanagh, Williams e Clarke (1981) também destacam a importância do calçado como proteção das estruturas músculo-esqueléticas dos pés em relação à força de forma significativa, quando compa-

rado à situação descalço.

Com relação a proteção das estruturas músculo-esqueléticas, uma das variáveis ensaiadas que merecem grande atenção é o ângulo de pronação. Isso porque os pés têm a capacidade particular de suportar, amortecer e distribuir a força peso do indivíduo em diversas situações, e a cadeia cinética formada entre pé e tornozelo deve ser protegida, evitando movimentos excessivos (KNACKFUSS, ROSENBAUM & GOMES, 1993).

O excesso de pronação produz uma sobrecarga na cadeia cinética dos membros inferiores aumentando a probabilidade de aparecimento de lesões nas articulações, deformidades estruturais, aparecimentos de tendinites e artroses.

Assim, este estudo teve como objetivo analisar do ângulo de pronação do calcâneo durante a marcha utilizando diferentes tipos de calçados.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no Laboratório de Biomecânica do Instituto Brasileiro de Tecnologia do Couro, Calçado e Artefatos (IBTeC), em Novo Hamburgo/RS, com dados coletados de fevereiro de 2005 à fevereiro de 2006.

### Amostra experimental

Foram utilizados 160 pares de calçados adultos (78 masculinos e 82 femininos) de diversos modelos e marcas, sendo classificados pelos seguintes tipos:

Ordem	Tipo de calçado
1	Calçado de segurança
2	Mocassim feminino
3	Sandália feminina
4	Sapato casual feminino
5	Sapato casual masculino
6	Sapato salto feminino
7	Tênis casual feminino
8	Tênis futsal
9	Tênis masculino antipronação

Tabela 1. Número de calçados ensaiados por tipo de calçados.



Figura 1. Exemplos de calçados femininos. a- Sapato salto alto feminino; b-Mocassin. Fonte:CEBEC-IBTeC



Figura 2. Exemplos de calçados de segurança. Fonte:CEBEC-IBTeC

Em todos os testes foram utilizadas as numerações de calçados de acordo com a NBR 14.834, que prevê para os calçados femininos as numerações brasileiras 35, 36 e 37, e para calçados masculinos as numerações brasileiras 40, 41 e 42. Seguindo tal norma, para cada modelo de calçado, são necessários três pares para que o resultado final seja o valor médio das três numerações.

Todos os calçados utilizados no estudo foram cedidos pelos fabricantes com a finalidade de pesquisa ou em busca de certificação dos produtos testados (recebendo somente mediante aprovação em todos os ensaios das normas de conforto do calçado).

Os pares de calçados foram testados por indivíduos selecionados e treinados para a realização dos ensaios em

conforto do calçado, chamados de modelos. Para a seleção desses modelos, faz-se uma avaliação postural com ênfase nos membros inferiores e exige-se que o indivíduo tenha experiência com caminhada em esteira ergonômica, com resistência física para suportar uma marcha de 30 minutos de duração (velocidade de 5 km/h para homens, 4 km/h para mulheres). Além disso, os modelos devem atender a algumas características cinéticas como Primeiro Pico de Força (PPF) inferior a 1,22 unidade normalizada (incremento máximo de 22% do peso corporal do indivíduo); Taxa de Aceitação do Peso (TAP) inferior a 20 (tangente da curva da componente vertical da força de reação, durante a fase de apoio passivo); e ainda índice de assimetria entre o pé esquerdo e o pé direito, para o PPF e a TAP, não poderá ultrapassar 5%.

#### Instrumentos

Foi utilizado o sistema de cinemetria SpicaTek™ Imaging Hardware composto por uma câmera digital com alta resolução da marca Pulnix com frequência de aquisição de 120 Hz (sendo realizada aquisição em 2D). Software de aquisição *Digital Motion Capture/Analysis* DMAS®5.0. O sistema foi ajustado com um gabarito calibrado por um órgão certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia – Inmetro. Esse gabarito possui dois ângulos conhecidos (um de 5 graus e outro de 12 graus), e mediante isso foi conhecida a precisão que o sistema de filmagem ofereceu.

A marcha foi realizada em uma esteira elétrica da marca *Moviment* modelo RT-250, fabricante Brudden Equipamentos Ltda, com variação de velocidade de 1-18Km/h e inclinação de até 15%. A esteira passou por processo de aferição da velocidade com a utilização de fita métrica e um tacômetro também calibrado por órgão certificado pelo Inmetro.

A câmera é fixada a um tripé voltado para a esteira, distanciando-se em um metro da esteira.

#### Procedimento de Coleta de Dados

O estudo foi realizado segundo o método descrito e exigido pela NBR 14.839-Calçados - Determinação dos ângulos de pronação do calcâneo durante a marcha.

Inicialmente foram realizadas as seleções dos modelos aptos, conforme as exigências das normas gerais de conforto do calçado e formados cadastros dos mesmos.

Para cada ensaio, antecipadamente eram agendados com os modelos dias e horários das coletas de dados, verificando se o modelo estava em condições para a realização do ensaio, não apresentando lesões ou ferimentos nos pés.

Os modelos passaram pela filmagem em duas condições descalço e com o uso de um calçado, sendo a ordem de forma randômica. Esse procedimento se fez necessário para a comparação entre os valores descalços e com o uso dos calçados, a fim de verificar o quanto o calçado induz o movimento de pronação. Supostamente, um calçado de qualidade deve induzir um ângulo de pronação menor do que no caso da pessoa descalça.

Na preparação dos modelos, primeiramente eram colocados os pontos reflexivos sobre a pele do indivíduo (somente do pé direito), sendo um ponto sobre o ponto médio do tendão de Aquiles, na altura do maléolo lateral, e o outro ponto sobre a parte mais saliente do calcâneo. Em seguida, eram marcados dois pontos diretamente na re-

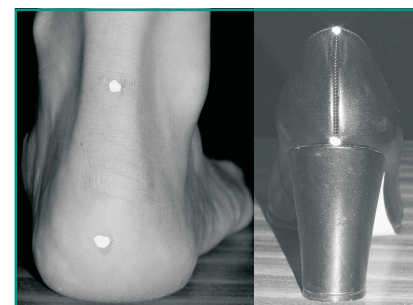


Figura 2.- Colocação dos marcadores reflexivos no pé e no calçado para medida do ângulo de pronação. Fonte:CEBEC-IBTeC

gião traseira do calçado a ser ensaiado (somente pé direito também). No caso dos calçados que não possuíam traseira, como o caso de sandálias femininas, eram utilizados os próprios marcadores colocados no pé dos modelos.

Em seguida, foi verificado se o sistema apresentava normalidade e era feita a calibração. Depois de calibrado o sistema, este não era alterado mantendo a posição das câmeras e a iluminação.

Depois era regulada a esteira a uma velocidade de 4 km/h ( $\pm 10\%$ ) para calçados femininos e 5 km/h ( $\pm 10\%$ ) para calçados masculinos. Assim, o modelo era colocado na esteira por um período de aproximadamente 5 minutos, em cada condição (descalço ou calçado), a fim de adaptação. Após os 5 minutos de adaptação, foram coletados os dados por videografia, durante um período de 10s. O mesmo procedimento era seguido para a outra condição (descalço ou calçado).

O processamento dos dados foi iniciado após das coletas das imagens sendo digitalizadas manualmente cinco passos do pé direito para cada condição.

Para efeitos da NBR 14.839 a pronação do calcâneo é definida como o “ângulo medido, em axial de calcâneo, desde o toque do calcâneo no solo até o momento de total apoio ao solo”. Assim, foram digitalizados dois quadros de cada um dos cinco passos do pé direito, ou seja, o quadro de entrada do pé (no toque do calcâneo); e o quadro de saída (no momento de apoio no solo).

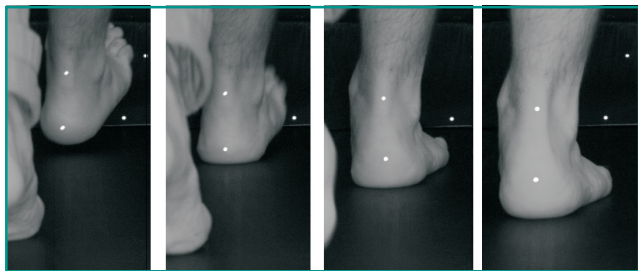


Figura 3. Imagem digitalizada mostrando dois pontos de referência no calcâneo e os momentos de entrada até o momento de apoio total.

Fonte:CEBEC-IBTeC

Dessa forma, foram registrados em tabela os valores dos cinco passos do pé direito nas duas condições (com calçado e descalço). Conforme a NBR14.839, foram descartados os valores mínimos e máximos para cada ensaio (com calçado e descalço), calculando assim a média dos valores dos ângulos de pronação para os ensaios com calçado e descalço.

O resultado foi obtido através da diferença entre os valores médios dos ângulos de pronação com calçado e descalço.

A avaliação do ângulo de pronação do calcâneo durante a marcha foi feita através do resultado, conforme a tabela 2.

Nível de conforto	Ângulo de pronação do calcâneo	Nível de Conforto
5	Valores negativos	Muito confortável
4	0° a 1°	Confortável
3	1,01° a 5°	Normal
2	5,01° a 10°	Desconfortável
1	Mais de 10°	Muito desconfortável

Tabela 2- Nível de conforto, valores de ângulo de pronação do calcâneo e índice de conforto correspondente de acordo com a NBR 14.839: Calçados - Determinação dos ângulos de pronação do calcâneo durante a marcha

### Controle de outras variáveis

- Aclimatização: a temperatura e a umidade do laboratório foram controladas procurando manter as condições climáticas próximo do ideal (entre 20°C $\pm$ 2°C e umidade relativa do ar entre 50 $\pm$  5%) de acordo com as Normas Brasileiras de ISO 17025.

- Instrumentos: foram calibrados segundo as instruções contidas nos seus respectivos manuais de instruções técnicas.

- O laboratório tem acesso extrinamente

restrito sendo vedada a entrada de pessoas não autorizadas durante a realização dos ensaios.

- Todos os modelos participantes dos ensaios, bem como todos os colaboradores do laboratório, assinam um termo de compromisso comprometendo-se a manter sigilo dos resultados apresentados dos ensaios.

### TRATAMENTO ESTATÍSTICO

O tratamento estatístico foi composto de estatística descritiva exploratória e uma análise de variância Anova-Oneway, utilizando um teste Post Hoc *Student-Newman-Keuls*. Foi admitido nível de significância de  $p < 0,05$ .

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram estudados 9 tipos de calçados em um total de 160 pares, sendo 78 pares masculinos e 82 pares femininos.

A tabela seguinte apresenta os valores médios do ângulo de pronação de cada tipo de calçado, o número de calçados ensaiados por grupo de calçado e os valores de desvio padrão.

Observa-se que o menor valor médio é apresentado no tênis antipronação masculino (-1,95 °), seguido do grupo tênis de futsal (-1,39 °); sendo assim considerados os melhores tipos de calçados para inibir a pronação. Já o grupo do sapato casual feminino pode ser considerado o grupo de calçado de menor eficiência para a proteção da pronação devido ao valor médio de 1,5°.

Tipo	Média	N	Desvio Padrão
Calçado de segurança	-0,72 °	49	1,90059
Mocassim feminino	0,42 °	17	1,42751
Sandália feminina	-1,11 °	46	1,41842
Sapato casual feminino	1,50 °	5	1,01735
Sapato casual masculino	-1,22 °	15	2,59630
Sapato salto feminino	-,120 °	5	,62610
Tênis casual feminino	1,61 °	9	1,41195
Tênis de Futsal	-1,39 °	6	2,33907
Tênis antipronação Masc	-1,95 °	8	1,90938
Total	-,62 °	160	1,92132

Tabela 3. Valores médios do ângulo de pronação, amostra e desvio padrão do ângulo de pronação por tipo de calçado.

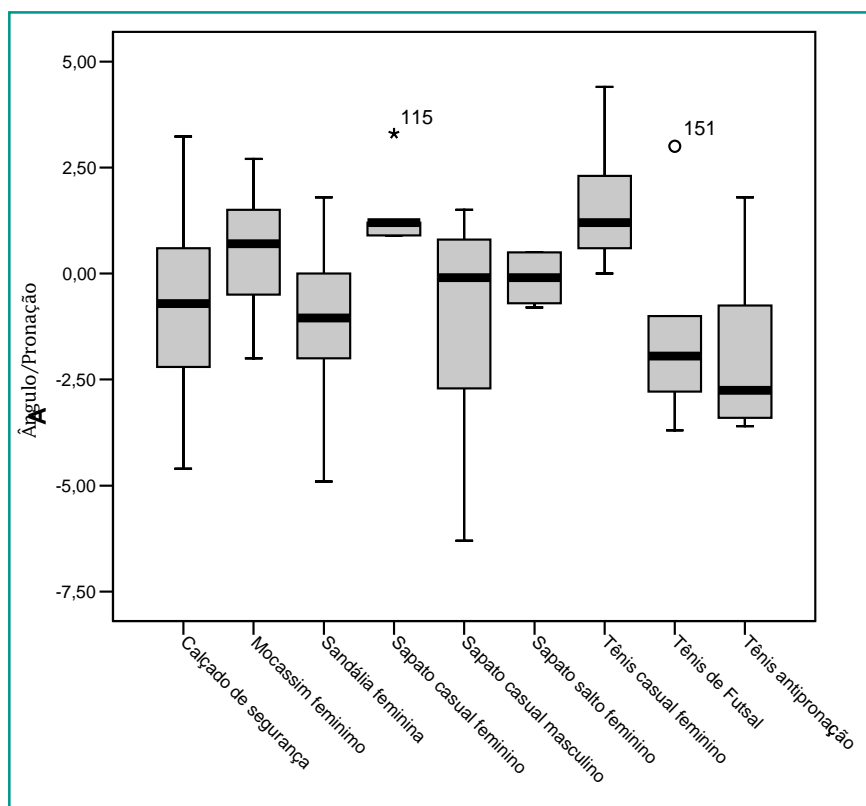


Figura 4. Apresentação gráfica da distribuição dos valores de Ângulo de Pronação em cada grupo de calçado.

Na comparação entre as médias feita pela análise de variância Anova-Oneway, utilizando um teste Post Hoc *Student-Newman-Keuls* pode-se perceber diferenças significativas entre os grupos

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	121,514	8	15,189	4,928	,000
Within Groups	465,432	151	3,082		
Total	586,946	159			

O resultado do teste Post Hoc *Student-Newman-Keuls* indica uma diferença significativa nos valores médios dos grupos, sendo divididos em duas classificações (na tabela, indicadas por 1 e 2).

O tênis antipronação masculino é apresentado com a maior diferença em relação ao grupo 2, ou seja, o tênis antipronação apresenta diferença significativa em relação ao sapato casual feminino e o tênis casual feminino.

Em seguida, os grupos do tênis de futsal, do sapato casual masculino, da sandália feminina e do calçado de segurança também apresentaram diferenças significativas em relação aos grupos do sapato casual feminino e o tênis casual feminino.

O grupo do sapato de salto feminino e o mocassim feminino apresentam no ponto intermediário dos dois grupos.

Com esses valores, pode-se perceber que o tênis antipronação masculino e o tênis de futsal, calçados supostamente preparados para minimizar o movimento de pronação do calcâneo realmente apresentaram os melhores resultados entre os de calçados comparados.

Interessante notar que grupo do sapato de salto feminino apresenta melhor inibição do movimento de pronação do calcâneo em relação ao grupo do mocassim feminino, sapato casual feminino e tênis casula feminino.

Esses resultados estão de acordo com Snow e Williams (1994) que testou o ângulo de pronação em calçados femininos com diferentes alturas de salto e apontou maior pronação nos calçados com baixos saltos comparados com calçados de salto médio e alto.

Outro ponto a ser observado seria que os melhores de valores de pronação do calcâneo encontrados estão nos grupos de calçados mascu-

linos, e os piores valores médios se encontram nos grupos de calçados femininos. Isso aponta o cuidado maior aplicado ao desenvolvimento dos tênis masculinos e demonstra preocupação com relação aos calçados femininos como mocassins, sapatos casuais e tênis casuais.

Observou-se também que os calçados que menos induziram o movimento de pronação do calcâneo foram os grupos de calçados masculinos, sendo motivo de preocupação com o desenvolvimento dos calçados femininos como mocassins, sapatos casuais e tênis casuais.

BRINO, C.; AVILA, A. O.; SOUZA, J. L. Influência da altura do salto sobre os percentuais do peso corporal aplicados na base de sustentação durante a postura ereta. **Braz. J. Biomec.**, Supl. 1, p. 49-54, 2003.

EISENHARDT, Joanne R; COOK, Deneen; PREGLER, Ingrid; FOEHL, Henry C. Changes in temporal gait characteristics and pressure distribution for bare feet versus various heel heights. **Gait & Posture**. Outubro, 1996. v 4. p 280-286.

MANFIO, E. F. AVILA, A O V. Um estudo de Parâmetros Antropométricos do pé feminino brasileiro. **Revista Brasileira de Biomecânica**, ano 4 supl. 1, p 39-48, abril, 2003.

MANFIO, E. F. *et al.* Alterações na marcha descalça e com sapatos de salto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 10, 2003, Ouro Preto. **Anais do X Congresso Brasileiro de Biomecânica**, Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Biomecânica, 2003. p. 87-90.

SNOW, R. E.; WILLIAMS, K. R. High heeled shoes: their effect on center of mass position, posture, three dimensional kinematics rearfoot motion and ground reaction forces. **Arch. Phys. Med. Rehab.**, v.75, p. 568 – 576, 1994.

Tipo	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
Tênis antipronação Masc	8	-1,9500	
Tênis de Futsal	6	-1,3950	
Sapato casual masculino	15	-1,2247	
Sandália feminina	46	-1,1087	
Calçado de segurança	49	-,7176	
Sapato salto feminino	5	-,1200	-,1200
Mocassim feminino	17	,4176	,4176
Sapato casual feminino	5		1,5000
Tênis casual feminino	9		1,6111
Sig.		,063	150

Tabela 5. Resultado do teste Post Hoc Student-Newman-Keuls.

Com relação aos níveis de conforto atingidos nos ensaios de ângulo de pronação, segundo a NBR 14839, o gráfico abaixo apresenta a distribuição dos níveis de conforto por grupo de calçado ensaiado.

Percebe-se que os calçados de segurança, tênis antipronação, sapato casual masculino e sandália feminina tiveram maior parte dos calçados ensaiados classificados como muito confortáveis. Além disso, todos os sapatos de salto femininos ficaram na classificação confortável e nenhum tênis casual feminino apresentou o nível de conforto muito confortável.

### CONCLUSÃO

Conclui-se com este estudo que dos 9 tipos de calçados em um total de 160 pares (78 pares masculinos e 82 pares femininos) houve diferenças significativas entre os valores médios de ângulo de pronação, sendo os grupos de tênis antipronação masculino, tênis de futsal, sapato casual masculino, sandália feminina e calçado de segurança relativamente melhores ao grupo de sapato casual feminino e o tênis casual feminino.

### REFERÊNCIAS

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 14838 a 14840: Normas Brasileiras para avaliação de Conforto do Calçado, 2002.

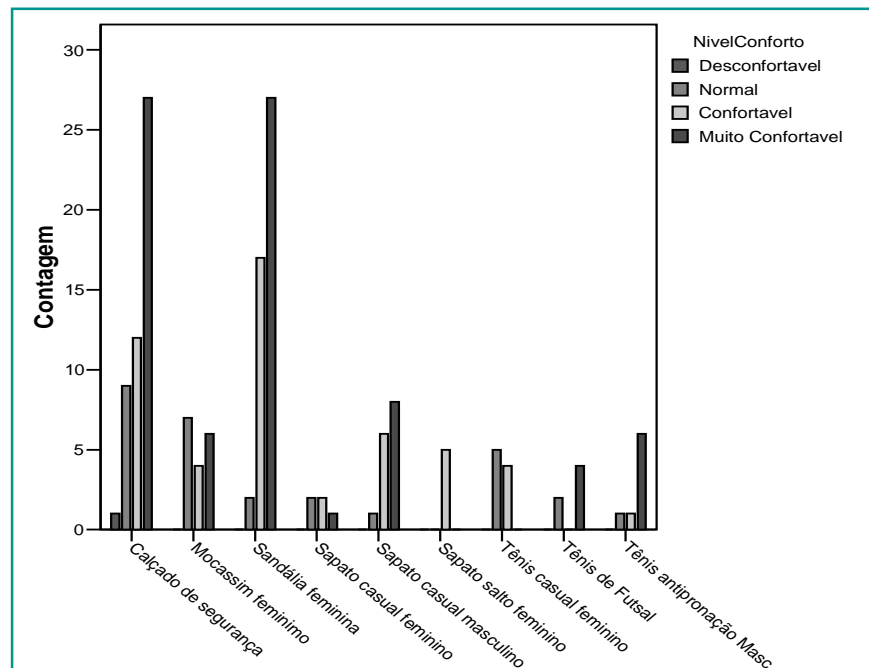


Figura 5. Gráfico de contagem dos calçados em relação ao nível de conforto por grupos