

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
PPGE3M

Análise Mecânica e Biomecânica de solados para calçados

Rudnei Palhano

Tese para obtenção do título de Doutor
em Engenharia

Porto Alegre
2013

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais
PPGE3M

Análise Mecânica e Biomecânica de solados para calçados

RUDNEI PALHANO
Mestre em Biomecânica

Trabalho realizado no Departamento de Metalurgia da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia dos Materiais

Porto Alegre
2013

Esta tese foi julgada adequada para obtenção do título de doutor em Engenharia, área de concentração em Ciência e Tecnologia dos Materiais, e aprovada em sua forma final, pelo orientador e pela Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação.

Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker
Orientador

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Milton Antônio Zaro
PGIE/UFRGS

Prof. Dr. Aluísio Otavio Vargas Avila
CEFID/UDESC

Prof. Dr. Toni Roger Schifelhain de Lima
FAURGS/UFRGS

Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker
Coordenador do PPGE3M

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida.

A minha esposa Carla, meus pais, Ruy e Helena e aos meus irmãos, Ledinel e Letícia pelo incentivo, amor e apoio ao longo destes anos.

Quero agradecer meu Orientador, Prof. Dr. Telmo Strohaecker pela oportunidade, ensinamento e pelas orientações para a realização deste trabalho. Ao Laboratório de Metalurgia Física que me acolheu e proporcionou novos desafios. Meus agradecimentos ao Programa de Pós Graduação - PPGE3M e seus colaboradores.

Aos professores, Dr. Milton Zaro e Dr. Aluisio Avila que depositaram confiança e me acolheram ao longo deste período.

Meus agradecimentos ao Prof. Dr. Mario Andrade pelos ensinamentos e auxílio para desenvolvimento do projeto.

Agradeço ao Instituto Brasileiro de Tecnologia do Couro, Calçados e artefatos - IBTeC e a todos os colaboradores. Em especial a Aline, Eduardo, Emanuele, Gustavo Balbinot, Clarissa, Caroline, Ademir Vargas e ao Rafael Gallas pela constante colaboração, apoio e incentivo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela oportunidade e auxílio financeiro durante a realização deste projeto na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Também, pela oportunidade do Doutorado Sandwich realizado na Universidade de Calgary - Canadá, a qual agradeço em especial o Prof. Dr. Darren Stefanyshyn, Dr. Jay Worobets, Claudiane, Reginaldo, Eveline, Geng Luo, Ryan, Bill Wannop, Andrzej pela amizade e compreensão.

Em especial ao Estevão, Valquiria, Miguel, Giovana, Sara, Treice, Achylles, Álvaro e Dona Catarina pela força e incentivo.

Enfim, a todos os colegas que de forma direta ou indireta colaboraram para a concretização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Calçados	16
1.2 Os Polímeros e suas aplicações.....	17
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Objetivo Geral.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
1.4 Definição de termos	19
1.5 Definição de variáveis	19
1.6 Delimitação do estudo	22
1.7 Limitação do estudo	23
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Marcha humana	23
2.2 Polímeros em calçados	26
2.3 Energia de retorno.....	32
2.4 Impacto em calçados	35
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	42
3.1 Caracterização do estudo	42
3.2 Grupo de estudo.....	42
3.3 Materiais.....	43
3.4 Instrumentos de medida	44
3.5 Caracterização	44
3.5.1 Propriedades Mecânicas e Físicas	44
3.5.2 Ensaio Biomecânicos	46
3.6 Aquisição e tratamento dos dados	49
3.6.1 Procedimentos preliminares	49
3.6.2 Preparação do sujeito e aquisição dos dados	49
3.6.3 Processamento dos dados.....	52
3.7 Tratamento estatístico.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1 Caracterização dos materiais	56
4.1.1 Dureza	56
4.1.2 Densidade.....	57

4.1.3 Ensaio de compressão	58
4.2 Análises da Componente Vertical da Força de Reação do Solo	61
4.2.1 Taxa de Aceitação do Peso	61
4.2.2 Primeiro pico da força vertical	69
4.2.3 Segundo pico da força vertical	73
4.3 Análises da Força ântero-posterior	74
4.3.1 Força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto	75
4.3.2 Força ântero-posterior durante a fase de propulsão	77
4.3 Análises da aceleração	79
4.3.1 Aceleração do calçado	80
4.3.2 Aceleração tibial	83
4.3.3 Transmissibilidade de aceleração	84
4.4 Correlações entre as variáveis.....	86
5. CONCLUSÕES.....	94
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	95
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICOS	96
8. ANEXOS	164

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Variáveis da força vertical .	21
Figura 02. Variáveis da força ântero-posterior.....	21
Figura 03. Variáveis da aceleração do calçado e tibial.....	22
Figura 04. Variáveis do ensaio de compressão.....	22
Figura 05. Comparação entre um passo e passada .	24
Figura 06. Análise da marcha durante a fase de contato e balanço durante o caminhar.....	25
Figura 07. Contato inicial e resposta a carga.	26
Figura 08. Análise microscópica de varredura do EVA na direção vertical na direção longitudinal do calçado: a) próximo à superfície apresenta fadiga do material, e b) centro do solado .	30
Figura 09. Modelo proposto por Nigg .	39
Figura 10. Vista lateral do calçado .	43
Figura 11. Vista inferior – diferentes solados.....	43
Figura 12. Durômetro de bancada - modelo Zwick 7206.....	44
Figura 13. Ensaio de compressão do solado do calçado - MTS.....	45
Figura 14. Ensaio de compressão do solado do calçado - MTS.....	45
Figura 15. Plataformas de Força e fotocélulas.	47
Figura 16. Sistema de acelerometria.....	48
Figura 17. Modelo de aquisição de dados .	48
Figura 18. Marcação da região medial da tibia.....	50
Figura 19. Fixação do acelerômetro com madeira balsa.....	50
Figura 20. Fixação do acelerômetro com velcro.....	51
Figura 21. Fixação do acelerômetro na região lateral do calçado.	51
Figura 22. Sujeito durante a realização do teste.	52
Figura 23. Taxa de aceitação do peso da componente vertical da força de reação do solo.....	53
Figura 24. Organização do tratamento estatístico.	55
Figura 25. Mediana da dureza dos solados.....	56
Figura 26. Média da densidade dos solados.	57
Figura 27. Curvas dos ensaios de compressão.....	59
Figura 28. Média dos valores de Rigidez do solado para o intervalo 2 até 3 mm de deslocamento.	60
Figura 29. Médias da TAP para as faixas entre 10 a 60%.	62

Figura 30. Média da TAP para as faixas entre 10 a 60%.	65
Figura 31. Média da TAP para as faixas entre 10 a 90% e entre 20 a 80%.	68
Figura 32. Valores médios do primeiro pico de força.	70
Figura 33. Valores médios do tempo entre o contato do pé nos solo até o primeiro pico de força.	71
Figura 34. Valores médios de Impulsão entre o contato do pé até o primeiro pico de força vertical.	72
Figura 35. Valores médios do segundo pico de força.	73
Figura 36. Valores médios do Tempo entre o contato do pé até o segundo pico de força.	74
Figura 37. Valores médios do Pico de Força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto.	75
Figura 38. Valores médios do Tempo até o Pico de Força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto.	76
Figura 39. Valores médios de Impulsão da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto.	77
Figura 40. Valores médios do Pico da Força ântero-posterior durante a fase de propulsão.	78
Figura 41. Valores médios do Tempo até o Pico de Força ântero-posterior durante a fase de propulsão.	78
Figura 42. Valores médios da impulsão da força ântero-posterior durante a fase de propulsão.	79
Figura 43. Valores médios da aceleração do calçado durante a marcha.	80
Figura 44. Valores médios do tempo do Pico de aceleração do calçado durante a marcha.	81
Figura 45. Valores médios da Taxa de Aceitação de aceleração do calçado.	82
Figura 46. Valores médios da aceleração tibial.	83
Figura 47. Valores médios da Transmissibilidade de aceleração.	84
Figura 48. Valores médios do Tempo de Transmissibilidade de aceleração.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Variáveis utilizadas no estudo.....	20
Tabela 2. Perfil antropométrico dos sujeitos da pesquisa.....	43
Tabela 3. Valores médios dos materiais para as variáveis: Energia Absorvida, Energia de Retorno e Energia Perdida.....	59
Tabela 4. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 10 a 20% do PPF.....	62
Tabela 5. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 20 a 30% do PPF.....	63
Tabela 6. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 30 a 40% do PPF.....	63
Tabela 7. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 40 a 50% do PPF.....	64
Tabela 8. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 50 a 60% do PPF.....	64
Tabela 9. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 10 a 30% do PPF.....	66
Tabela 10. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 10 a 40% do PPF.....	66
Tabela 11. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 10 a 50% do PPF.....	67
Tabela 12. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 10 a 60% do PPF.....	67
Tabela 13. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da impulsão entre o contato do pé até o primeiro pico de força.....	72
Tabela 14. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios do tempo entre o contato do pé no solo até o segundo pico de força.....	74
Tabela 15. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios do tempo da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto.....	76
Tabela 16. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios do Tempo do Pico de Força Posterior.....	79
Tabela 17. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da aceleração do Calçado.....	80
Tabela 18. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios do Tempo do Pico de aceleração do Calçado.....	81
Tabela 19. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios do Taxa de aceitação de aceleração do calçado.....	82
Tabela 20. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da aceleração tibial.....	84

Tabela 21. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores de transmissibilidade de aceleração.....	85
Tabela 22. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios do tempo de transmissibilidade de aceleração.	86
Tabela 23. Correlação de Pearson entre a Dureza com as demais variáveis	87
Tabela 24. Correlação de Pearson entre a Densidade com as demais variáveis	87
Tabela 25. Correlação de Pearson entre a Rigidez com as demais variáveis	88
Tabela 26. Correlação de Pearson entre a aceleração do calçado com as demais variáveis	88
Tabela 27. Correlação de Pearson entre a Taxa de aceitação da aceleração do calçado com as demais variáveis.....	89
Tabela 28. Correlação de Pearson entre a Transmissibilidade de aceleração do calçado com as demais variáveis.....	89
Tabela 29. Correlação de Pearson entre a TAP de 10 a 20% do PPF e a Transmissibilidade de aceleração do calçado.....	90
Tabela 30. Correlação de Pearson entre a TAP de 20 a 30% do PPF com as demais variáveis do estudo.	90
Tabela 31. Correlação de Pearson entre a TAP de 30 a 40% do PPF com as demais variáveis do estudo.	90
Tabela 32. Correlação de Pearson entre a TAP de 40 a 50% do PPF com as demais variáveis do estudo.	91
Tabela 33. Correlação de Pearson entre a TAP de 50 a 60% do PPF com as demais variáveis do estudo.	92
Tabela 34. Correlação de Pearson entre a TAP de 10 a 30% do PPF com as demais variáveis do estudo.	92
Tabela 35. Correlação de Pearson entre a TAP de 10 a 40% do PPF com as demais variáveis do estudo.	92
Tabela 36. Correlação de Pearson entre a TAP de 10 a 50% do PPF com as demais variáveis do estudo.	93
Tabela 37. Correlação de Pearson entre a TAP de 10 a 90% do PPF com as demais variáveis do estudo.	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
CVFRS	Componente Vertical da força de reação do solo
EA	Energia absorvida
EP	Energia perdida
EVA	Etil-Vinil-Acetato
FRS	Força de reação do solo (N, kgf, %PC)
IBTeC	Instituto Brasileiro de Tecnologia do Couro, Calçados e Artefatos
IFxi	Impulsão da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto
IFxp	Impulsão da força ântero-posterior durante a fase de propulsão
IPPF	Impulsão entre o contato do pé no solo até o Primeiro Pico de Força
N	Newton
NBR	Normas Brasileiras
PC	Peso corporal
PI	Pico de impacto
PFxi	Pico da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto
PFxp	Pico da força ântero-posterior durante a fase de propulsão
PPF	Primeiro Pico de Força
PAT	Pico de aceleração tibial
PAC	Pico de aceleração do calçado
PU	Poliuretano
kgf	Quilograma-força
s	Segundos
SBR	Borracha de Butadieno Estireno
SPF	Segundo Pico de Força (N, %PC)
SMF	Suporte Médio da força (N, %PC)
TAP	Taxa de aceitação do peso (PC/s)
TFxi	Variação do tempo entre o contato do pé no solo até o pico da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto
TFxp	Variação do tempo entre o contato do pé no solo até o pico da força ântero-posterior durante a fase de propulsão
TPPF	Tempo do Primeiro Pico de Força

TPAC	variação do tempo entre o contato do pé no solo até o pico de aceleração do calçado
TPU	Poliuretano termoplástico
TA	Transmissibilidade de aceleração entre o pico de aceleração do calçado até o pico de aceleração tibial
TAAC	Taxa de aceitação de aceleração do calçado
TTA	Variação do tempo entre o pico de aceleração do calçado até o pico de aceleração tibial
TSPF	Tempo do Segundo Pico de Força

RESUMO

A crescente busca por novos materiais, com baixo custo e que auxiliem na performance humana é um incentivo para os pesquisadores e para a indústria calçadista. O calçado deixou de ser acessório e tornou-se uma proteção para o sistema músculo-esquelético, tendo como principal objetivo o conforto. Este trabalho teve como objetivo analisar e correlacionar as propriedades mecânicas e Biomecânicas de calçados com diferentes solados. Neste estudo foram caracterizadas, analisadas e comparadas as propriedades mecânicas, a absorção do impacto em diferentes faixas e a aceleração do calçado e da tíbia durante a marcha com diferentes materiais no solado. Os ensaios foram realizados em um modelo de calçado utilizando diferentes materiais na região do calcâneo. Os materiais utilizados foram EVA, PU, TPU, SBR e madeira. Os materiais foram caracterizados segundo a sua dureza, densidade, energia absorvida, energia retornada, energia perdida e rigidez. Para os ensaios biomecânicos foram utilizados 11 sujeitos do gênero masculino e foram avaliadas a taxa de aceitação do peso em diferentes faixas, o primeiro pico de força, impulsão, segundo pico de força, pico da força ântero-posterior, aceleração do calçado, taxa de aceitação de aceleração, aceleração tibial e transmissibilidade de aceleração. Os sujeitos caminharam em uma passarela na velocidade de 5 km/h e utilizaram os calçados com diferentes solados randomicamente. Os resultados dos ensaios evidenciaram: a) diferenças nas propriedades mecânicas dos materiais; b) a taxa de aceitação do peso é a forma mais adequada de analisar a absorção do impacto durante a marcha; c) a aceleração do calçado e a transmissibilidade de aceleração são possíveis diferenciar as propriedades mecânicas dos materiais utilizados nos solados.

Palavras chaves: Calçados. Solados. Polímeros. Impacto. Absorção de energia.

ABSTRACT

The growing search for new materials, with low cost and to assist in human performance is a pursuit for researchers and for the footwear company. The footwear is no longer an accessory and is a protection for the musculoskeletal system, and the main more important characteristic is the comfort. The aim this study was to analyze and correlate the mechanical properties and biomechanics of shoes with different heel soles. In this study it is characterized, analyzed, and compared the mechanical properties, the vertical-force loading rate in different levels and the shoes vibration and tibia vibration during the gait with different in the heel sole. The tests were performed with a shoe with different materials heel soles. The materials used were EVA, PU, TPU, SBR and wood. The materials were characterized by hardness, density, energy absorbed, energy return, energy lost and stiffness. The biomechanical tests were used 11 subjects (males). Parameter were: vertical-force loading rate, impact peak, impulse, antero-posterior ground reaction force, shoes vibration, vibration loading rate, tibia vibration and transmissibility. The subjects walked at a walk at the speed of 5 km/h and used shoes randomly. The tests results showed differences in mechanical properties of materials and also for the vertical-force loading rate. There is no difference in the antero-posterior ground reaction peak and impulse in the shoes. But, there is statistic difference in the shoes vibration and vibration loading rate. Were found correlate between transmissibility and shoes vibration with mechanical properties.

Key-words: Shoes. Soles. Polymers. Impact. Energy absorbed.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Calçados

Os calçados foram criados a partir da constante busca do ser humano de atender suas necessidades básicas de sobrevivência, sendo um meio de proteger os pés e atuar como elemento de conforto. A busca pelo incremento do conforto, aliado a um design moderno e dentro de padrões que respeitem as características individuais vem sendo um trabalho complexo para pesquisadores e indústrias do setor calçadista. Durante anos o calçado passou por muitas transformações tendo como função principal a proteção dos pés, no que se referem à temperatura e irregularidades da superfície entre outros agentes externos (VILADOT, 1989).

Vários são os fatores que contribuem para uma melhor adaptação dos pés aos diferentes modelos de calçados; um dos principais fatores é a absorção do choque (impacto) durante a marcha (AVILA, 2001). Durante a realização da marcha humana o solado tem fator determinante na absorção de impacto, sendo que uma das principais funções é diminuir a intensidade das forças resultantes provenientes do solo. Segundo Winter (1990) com o auxílio de plataformas de força pode-se determinar três componentes da força de reação do solo (uma vertical e duas horizontais). O desenvolvimento de novos processos, materiais e estilos de calçados foram pontos relevantes para que se fosse deixando de lado a função de proteção do pé, incluindo outros valores e motivos para a aquisição de um calçado. As empresas calçadistas têm empregado conhecimentos oriundos de pesquisas realizadas para a produção de calçados eficientes, confortáveis e específicos para determinada finalidade, agregando qualidades e valor agregado ao produto.

Os calçados além de serem um acessório também têm como função principal proteger o sistema músculo-esquelético. Segundo Melo (2005), dependendo de alguns fatores, o calçado como é concebido ou produzido pelo fabricante afetará de forma positiva ou negativa na saúde e na performance do indivíduo. Para Manfio e Avila (2003), o calçado deve ter um foco principal que é a segurança e o conforto, além da prevenção das lesões. Grande parte das indústrias calçadistas não possuem grupos de pesquisas ou pesquisa e desenvolvimento e muitas vezes por conhecimentos empíricos confeccionam calçados sem funcionalidade ou até mesmo sem o principal fator que é a proteção ao sistema músculo-esquelético. Uma parte

muito importante no calçado é o solado, como exemplo, que tem como principal função absorver (filtrar) as forças provenientes do solo durante a caminhada e a corrida. Este trabalho tem como função caracterizar os solados e comparar com as forças de reação do solo, tendo em vista que as indústrias não possuem instrumentos adequados para a quantificação mecânica e biomecânica dos calçados.

1.2 Os Polímeros e suas aplicações

O polímero é um produto essencial na atualidade e a probabilidade é de se tornar mais e mais utilizado devido as suas propriedades, versatilidade e preço. Além do que, são materiais sintéticos que substituem materiais naturais que estão se tornando escassos e caros. Os polímeros são classes de materiais que, como os metais, a madeira ou o vidro, são imprescindíveis à tecnologia moderna, mas estes só passaram a ter uma utilização ampla depois da descoberta da vulcanização da borracha, por Charles Goodyear em 1839. Com o avanço dos materiais poliméricos no mercado, torna-se difícil a escolha do melhor produto que venha atender as propriedades do projeto. Os materiais poliméricos apresentam um relativo baixo consumo energético que, aliado ao avanço tecnológico de transformação de termoplásticos e termofixos, tem viabilizado a utilização dos polímeros em diferentes segmentos industriais em que destaca-se a construção civil, a indústria automobilística, eletroeletrônica, biomédica e calçadista, dentre outras.

Os poliuretanos foram descobertos em 1937 quando Heinrich Rinke sintetizou o 1,6-hexametileno diisocianato (HDI) e Otto Bayer desenvolveu o método de adição de diisocianatos. Já no final daquela década, iniciou-se na Alemanha a comercialização de poliuretanos para a fabricação de adesivos, tintas, fibras e espumas rígidas (SAUNDERS & FRISCH, 1997). Porém, apenas na década de 1950, ocorreu o desenvolvimento comercial dos PU's na forma de espumas flexíveis. O poliuretano é normalmente produzido pela reação de poliadição de poliisocianatos e um polioli. A flexibilidade de escolha de reagentes permite obter uma infinita variedade de compostos com diferentes propriedades físicas e químicas; estes podem se apresentar tanto na forma de um termoplástico, termofixo, elastômero ou fibra, na forma expandida ou não, o que confere aos poliuretanos uma posição importante no mercado mundial de polímeros sintéticos de alto desempenho. Isso porque os materiais poliméricos exibem uma larga faixa de propriedades mecânicas, tornando-os mais versáteis. Sendo assim, um mercado emergente na utilização de polímeros são as indústrias calçadistas

(solados), petrolíferas (Risers e Bends), automobilística e aeronáutica (substituição de peças metálicas por compósitos poliméricos). A aplicabilidade de um polímero depende das suas propriedades mecânicas, que dependem do nível de homogeneidade, compatibilidade e adesão entre os componentes constituintes (ASHIDA & FRISCH, 1993). Desta forma, é possível salientar que, quanto maior o número de ligações cruzadas na estrutura polimérica, maior será o módulo de elasticidade (Young) do polímero e que, o aumento de isocianato na formulação do material acarreta o aumento do módulo e diminuição do alongamento na ruptura do mesmo (RODRIGUES, 2005).

Assim sendo e levando em conta a linha de investigação, levantou-se o seguinte questionamento. Quais as variações da taxa de aceitação do peso e da aceleração tibial com solados de diferentes materiais?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a performance de algumas propriedades mecânicas e Biomecânicas de calçados com diferentes solados.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar as propriedades mecânicas dos solados;
- Caracterizar e analisar a taxa de aceitação do peso entre a faixa de 10 a 90% do primeiro pico de força vertical;
- Caracterizar, analisar e determinar a impulsão da força ântero-posterior;
- Caracterizar, analisar e determinar a taxa de aceitação da aceleração do calçado durante a fase de absorção do impacto;
- Caracterizar e analisar a aceleração tibial;
- Determinar a transmissibilidade de aceleração;
- Correlacionar os ensaios mecânicos com os biomecânicos;

1.4 Definição de termos

- a) Força de reação do solo (FRS): Para a determinação da força de reação do solo foi determinada pela terceira lei de Newton, que quando uma partícula exerce força sobre a outra, este também irá exercer sobre a primeira uma força na intensidade, porém sentido oposto. Quando uma pessoa se desloca o solo produz forças de mesma magnitude as quais podem ser mensuradas através de plataformas de força (NIGG & HERZOG, 2007).
- b) Primeiro Pico de Força (PPF): É o valor máximo ocorrido durante o Primeiro Pico de Força. É medido pelo valor máximo da componente vertical da força de reação do solo durante a primeira metade do tempo de contato do pé com o solo.
- c) Segundo Pico de Força (SPF): São forças geradas pelo movimento que é inteiramente controlado pela atividade muscular (NIGG & HERZOG, 2007). Na curva da marcha é determinado pelo valor máximo da força vertical de reação do solo, depois da segunda metade do tempo de contato do pé com o solo.
- d) Taxa de Aceitação do Peso (TAP): é a inclinação da curva (Força vs. Tempo) durante a fase de contato do pé da componente vertical da força de reação do solo (CVFRS). Impacto na locomoção humana são forças que resultam da colisão de dois objetos, a qual compreende no máximo 50 milisegundos depois do contato destes objetos (NIGG & HERZOG, 2007, LIEBERMAN et al, 2010).
- e) Taxa de aceitação de aceleração do calçado (TAAC): é a inclinação da curva (aceleração vs. Tempo) de aceleração do calçado durante o primeiro contato do pé com o solo até o pico máximo de aceleração.

1.5 Definição de variáveis

A Tabela 01 apresenta as variáveis mecânicas e biomecânicas empregadas no estudo.

Tabela 1. Variáveis utilizadas no estudo

VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS		
Variável	Símbolo	Forma que foi calculada
Força Vertical		
Primeiro Pico de Força	PPF	Valor máximo da componente vertical ocorrido no Primeiro Pico após o contato do pé no solo
Segundo Pico de Força	SPF	Valor máximo da Força Vertical durante a fase de propulsão
Tempo para o Primeiro Pico de Força	TPPF	Variação do tempo entre o contato do pé até o valor do Primeiro Pico de Força
Tempo para o Segundo Pico de Força	TSPF	Variação do tempo entre o contato do pé até o valor do Segundo Pico de Força
Impulsão do contato até PPF	IPPF	Integral da força Vertical do contato do pé até o PPF
Taxa de Aceitação do Peso	TAP	Derivada da Força em função do tempo na faixa de percentagem min. até max. do PPF
Força Ântero-Posterior		
Pico da Força ântero-Posterior durante a fase de absorção do impacto	PFxi	Valor mínimo da Força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto
Pico da Força ântero-Posterior durante a fase de propulsão	PFxp	Valor máximo da Força ântero-posterior durante a fase de propulsão
Impulsão da Força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto	IFxi	Integral da força ântero-posterior do contato do pé até o PFxi
Impulsão da Força ântero-posterior durante a fase de propulsão	IFxp	Integral da força ântero-posterior do momento de propulsão até o PFxp
Tempo do Pico da Força Ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto	TFxi	Variação do tempo entre o contato do pé até o PFxi
Tempo do Pico da Força Ântero-posterior durante a fase de propulsão	TFxp	Variação do tempo entre o contato do pé até o PFxp
Acelerometria		
Pico de aceleração Tibial	PAT	Valor máximo de aceleração da tíbia
Pico de aceleração do calçado	PAC	Valor máximo de aceleração do calçado
Tempo do Pico de aceleração do calçado	TPAC	Variação do tempo entre o contato do pé até o valor máximo de aceleração do calçado
Transmissibilidade de aceleração	TA	Variação entre o Pico de aceleração do Calçado em relação ao Pico de aceleração da Tíbia.
Tempo de Transmissibilidade de Aceleração	TTA	Variação do tempo entre o Pico de aceleração do Calçado em relação ao Pico de aceleração da Tíbia.
Taxa de aceitação da aceleração do calçado	TAAC	Derivada entre o toque do pé no solo até o pico máximo de aceleração do calçado
Variáveis Mecânicas		
Densidade	-	Razão entre a massa e o volume
Dureza	-	Resistência à penetração de uma agulha
Energia absorvida	EA	Integral da curva Força vs. deslocamento
Energia perdida	EP	Histerese da curva Força vs. deslocamento
Rigidez	-	Derivada da força em função do deslocamento.

As Figuras 01, 02, 03 e 04 ilustram a determinação de algumas variáveis utilizadas no estudo.

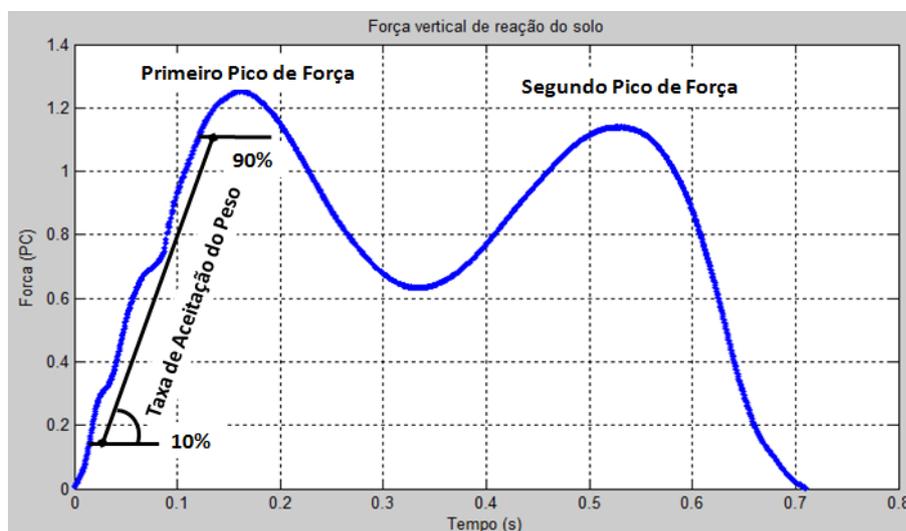


Figura 01. Variáveis da força vertical (fonte: dados do autor).

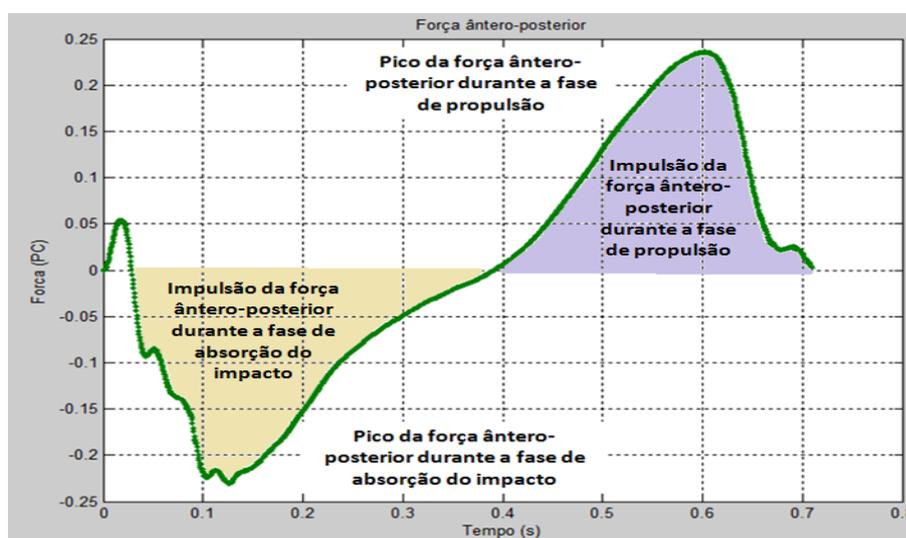


Figura 02. Variáveis da força ântero-posterior (fonte: dados do autor).

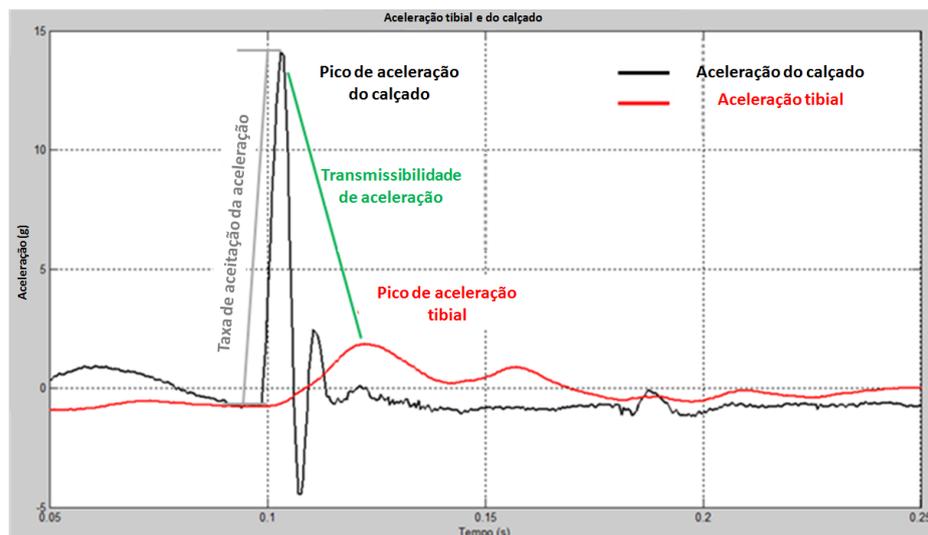


Figura 03. Variáveis da aceleração do calçado e tibial (fonte: dados do autor).

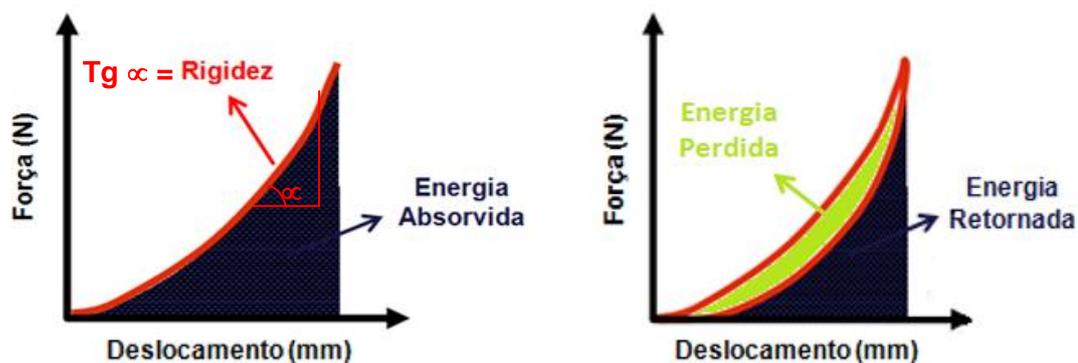


Figura 04. Variáveis do ensaio de compressão.

1.6 Delimitação do estudo

Este estudo se propôs analisar o comportamento do impacto em calçados com diferentes solados através das propriedades mecânicas e da análise Biomecânica. Participaram do estudo 11 sujeitos do gênero masculino residentes na região da grande Porto Alegre. As aquisições dos dados foram: a) no Laboratório de Metalurgia Física – UFRGS e b) no Instituto Brasileiro de Tecnologia do Couro, Calçados e Artefatos.

1.7 Limitação do estudo

Uma limitação Biomecânica deste estudo foi analisar as variáveis somente do pé direito do sujeito. Como limitação das propriedades mecânicas foi caracterizar o solado de madeira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para melhor fundamentação do problema, procurou-se neste capítulo aprofundar tópicos considerados relevantes ao tema da pesquisa, no intuito de fundamentar teoricamente os questionamentos do estudo e auxiliar a discussão dos resultados, tais como Marcha Humana, polímeros, energia de retorno e absorção do impacto.

2.1 Marcha humana

Nas atividades humanas, o pé interage diretamente com a superfície, transmitindo ao corpo as forças geradas pelo solo. Os autores, Winter *et al.*, (1991); Bruneira e Amadio (1993) relatam que a marcha é um movimento extremamente complexo. Apesar da complexidade dos eventos, a marcha pode ser caracterizada por movimentos uniformes, regulares e repetitivos (VAUGHAN, 2003). A marcha humana descreve uma série de eventos complexos em todos os segmentos corporais e para analisar os diferentes aspectos é essencial identificar e descrever os eventos relacionados a cada etapa. A marcha é uma combinação de força muscular, movimento das articulações entre outros. Para Perry (2005), o objetivo básico do sistema locomotor é o deslocamento do corpo para frente com o mínimo de energia possível.

Enoka (2000) define a marcha como uma forma de progressão bípede a qual envolve uma sequência alternada dos membros apoiados ao solo. Para Rasch e Burke (1986), a locomoção de cada pessoa tende a assumir um tipo de marcha e de velocidade na sua estrutura particular. Kapandji (2000) relacionou que durante a marcha o pé irá submeter à deformação demonstrando seu papel de amortecedor elástico.

As informações sensoriais originadas a partir dos receptores cutâneos na superfície plantar tem um papel importante na regulação dos padrões normais da marcha (NURSE & NIGG, 2001), pois a superfície plantar é a primeira região do corpo humano a receber as forças externas durante a fase de apoio no ciclo da marcha.

2.1.1 Ciclo da marcha

Uma das capacidades do ser humano é o deslocamento, sendo que cada pessoa se habitua a desenvolver de acordo com as necessidades. Perry (2005) destaca que para ocorrer o deslocamento é necessário uma sequência repetitiva de movimento dos membros; sendo um dos requisitos importantes no andar bípede. A marcha humana é determinada por ciclos repetitivos de passos e passadas, sendo o ciclo da marcha também denominado de passada. De acordo com Soderberg (1990), o ciclo da marcha é determinado pelo início de um evento, por exemplo, no toque do calcanhar até que o mesmo calcanhar volte a tocar na superfície do solo novamente. Já para Nordin e Frankel (2001), um ciclo completo da marcha é composto por uma fase de apoio e uma fase de oscilação do membro. A passada é subdividida em passos, um passo consiste na sequência de eventos entre o primeiro contato de um pé e o primeiro contato do pé contralateral com o solo (Figura 05).

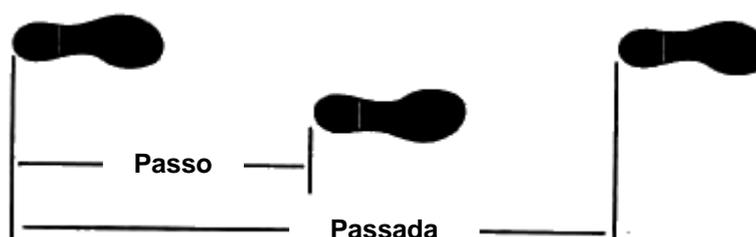


Figura 05. Comparação entre um passo e passada (PERRY, 2005).

Os membros inferiores têm movimentos oscilatórios periódicos e a força do solo aplicada às pernas projeta o corpo para frente. Perry (2005) afirma que na transferência da massa, ambos os pés encontram-se em contato com o solo, com isto se definem no ciclo da marcha dois períodos. Segundo a autora, uma fase de apoio que consiste na qual o pé se encontra em contato com a superfície e fase de balanço, termo designado no momento em que o pé está no ar para avanço do membro (Figura 06). Durante a fase de apoio, o pé toca a superfície de contato e para a fase de balanço o pé está suspenso no ar sem nenhum contato com a superfície. Neste instante o pé está em oscilação preparando para o próximo contato com a superfície.



Figura 06. Análise da marcha durante a fase de contato e balanço durante o caminhar (PERRY, 2005).

Sammarco e Hockenbury (2003) dividem a fase de apoio ou fase de suporte como sendo toque do calcâneo, pé planado, elevação do calcâneo e inversão. Nesta fase exigem-se algumas funções nas quais Perry (2005) destaca a absorção do choque, estabilidade inicial do membro e preservação da progressão. Na fase de suporte durante a marcha, o instante em que o pé toca o solo determina o padrão de resposta à carga do membro, também na fase de apoio é determinado o duplo apoio terminal, momento em que o pé oposto eleva-se para a fase de balanço. Durante a marcha humana, no final da fase de balanço e início da fase de apoio, Nordin e Frankel (2003) determinaram que o contato inicial da fase de apoio é o instante que o calcâneo entra em contato com o solo. Durante o contato inicial do calcâneo, se determina a quantidade da força peso no decorrer do tempo. Perry (2005) conceitua a taxa de aceitação do peso, sendo uma norma específica para análise de absorção de impacto da massa corporal.

A resposta à carga é determinada pelo instante que a planta do pé entra em contato com o solo e o peso corporal é aceito pelo membro. Durante a resposta a carga, o calcâneo é utilizado como rolamento enquanto o peso é transferido para o pé contra lateral no instante em que o pé oposto está na fase de pré-balanço (Figura 07). Sammarco e Hockenbury (2003), afirmam que no toque do calcâneo até a resposta à carga ocorre uma eversão da articulação subtalar, ou seja, ocorre a pronação. A articulação everte em parte, sendo que o ponto de contato do calcâneo é lateral ao centro da articulação do tornozelo, fazendo um valgo forçado na articulação subtalar.

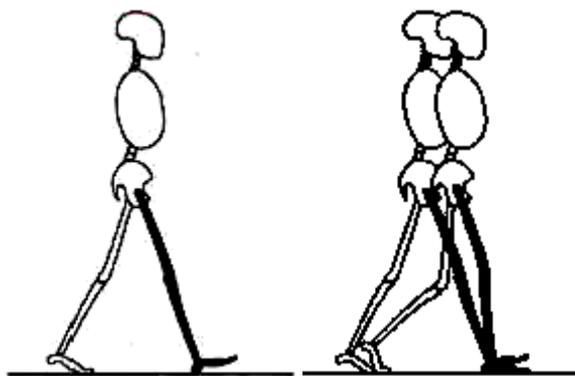


Figura 07. Contato inicial e resposta a carga (Perry, 2005).

No decorrer da marcha, os membros inferiores têm outra fase designada de apoio médio, determinado quando o pé oposto se encontra elevado e até que o peso do corpo seja alinhado sobre o antepé. O apoio médio é o período que a tíbia sofre uma rotação sobre o pé estacionário no sentido da marcha (NORDIN e FRANKEL, 2003). A última tarefa durante a fase de apoio simples é o apoio terminal, caracterizado no momento que o calcâneo eleva-se até o instante que o pé contralateral toque no solo, sendo que o peso é transferido para o antepé (NORDIN e FRANKEL, 2003; PERRY, 2005). Kapandji (2000) relata que no primeiro impulso motor há uma contração dos extensores do tornozelo e, principalmente, a do tríceps sural para levantar o calcâneo. A tendência na fase de impulsão seria aplainar o pé devido ao peso concentrar-se na região do retropé, isto não ocorre devido os tensores plantares se oporem, realizando outro amortecimento permitindo reservar uma parcela de força do tríceps sural para o final do impulso. Durante o impulso o pé encontra-se em contato com o solo enquanto o pé contralateral está fazendo o contato inicial. Logo após o impulso o pé é projetado à fase de balanço retornando a posição normal.

2.2 Polímeros em calçados

Nos últimos 20 anos os calçados apresentaram mudanças significativas (SHORTEN, 2000). A possibilidade que o calçado aumente a eficiência de energia ou a economia durante atividades físicas tem sido uma busca para pesquisadores, atletas e a indústria de calçados (SHORTEN, 1993). Para o autor, há ainda evidências que a característica viscoelástica do solado no calçado pode influenciar o consumo de energia. Em geral, os consumidores buscam

calçados que tenham bom ajuste aos pés, que sejam confortáveis e apresentem um bom amortecimento, ou seja, o calçado não deve ser duro e nem tão macio. Segundo Verdejo (2003), o design/confecção do calçado é influenciado por pesquisas biomecânicas e de materiais. O autor ainda corrobora que o design do calçado é classificado como fator funcional e não-funcional. O fator funcional é aquele calçado que previne lesões, visam performance e conforto. Já os calçados não-funcionais visam preço, durabilidade e estética.

Durante a marcha humana, o solado do calçado é a única parte que está em contato direto com o solo. Segundo Cheskin e colaboradores (1997), o solado tem a função de determinar o coeficiente de atrito entre o calçado e o solo, proporcionar flexibilidade, durabilidade e absorver o impacto. Para Verdejo (2003), as matrizes sólidas poliméricas são classificadas em três tipos: elastômeros, termofixos e termoplásticos. Essas três bases poliméricas apresentam diferentes propriedades, como por exemplo, os elastômeros são elásticos que podem sofrer largas deformações e recuperarem sua forma original depois que a carga for retirada, já os termofixos são rígidos e não apresentam as mesmas propriedades de restituição que os elastômeros. O solado é o principal sistema de absorção do choque/impacto durante o movimento (CHESKIN *et al.*, 1997). O solado pode ser fabricado por diferentes componentes, como por exemplo, de polímeros que apresentem duas espumas com densidades diferentes, ou a combinação de espuma e gel ou ainda de espuma e bolhas de ar. Para Verdejo & Mills (2004), os principais objetivos do solado é de reduzir a onda de choque provinda entre a colisão do pé e o solo, proporcionar estabilidade e conforto durante o movimento.

Os modelos de amortecimento dos calçados esportivos são confeccionados por diferentes materiais, mas os que se destacam são os confeccionados por Poliuretano (PU) e o Etil-Vinil-Acetato (EVA). Também podem ser encontrados componentes de amortecimento como, por exemplo, cápsulas de ar, gel, fluídos, plásticos com alta densidade e compósitos. Todos esses dispositivos para absorver a onda de choque tem propriedades viscoelásticas para dissipar energia durante a absorção do impacto. Essa transformação de energia em amortecimento é característica do material viscoelástico (SHORTEN, 1993).

Para Shariatmadari e colaboradores (2003), as espumas de elastômeros são utilizadas em calçados e tem como função absorver o choque, apresentam pouca massa e tem capacidade de se conformar as irregularidades do solo e possuem boa resiliência. Na comparação entre o EVA e o PU, o EVA apresenta menor massa. Os calçados confeccionados com o solado de EVA apresentam densidade na faixa de 150 até 250 kg/m³. Segundo Sawai e

colaboradores (2000), o EVA possui como desvantagem a tendência de perder a habilidade de amortecer e tem deformação rápida quando aplicada uma carga. O Acetato de vinil (VA) são unidades monômeras misturadas randomizadas com monômeros de etileno (E) na sequência copolímero, reduzindo a cristalinidade. Ainda, segundo Mills (2007), cerca de 18% de VA reduzem a cristalinidade do Copolímero EVA em aproximadamente 20%. Para Shorten (2000), o consumo de VO₂ durante a atividade física está relacionado com a massa do calçado, ou seja, se a massa do calçado aumentar 100 gramas o consumo de oxigênio pode aumentar 1% para velocidade moderada. Na comparação entre os solados, Shorten (2000) relata que na transição de um solado macio para duro ocorre uma redução no consumo de oxigênio entre 1% a 2%. O copolímero EVA é parte da família poliolefina que é composta de polímeros termoplásticos, com baixa, média e alta densidade (polietileno e polipropileno) (VERDEJO, 2003). O EVA é um copolímero randômico, é formado pelo encadeamento de sequências aleatórias de polietileno e poli (acetato de vinila) (PVAc). O Polietileno tem boas propriedades mecânicas, incluindo flexibilidade e resistência ao impacto em baixas temperaturas.

Existem diferentes tipos de EVA comercializados, isto porque as propriedades do EVA são modificadas pelo conteúdo de VA (Acetato de vinil) que é o principal parâmetro para uma correta escolha do copolímero para uma aplicação particular. A adição de Acetato de vinil reduz a cristalinidade do etileno, porque as unidades de acetato de vinil quebram o segmento de etileno. Essa redução de cristalinidade leva a uma melhoria na flexibilidade, no impacto e a uma redução na dureza. Segundo Samsung (1999) o copolímero de EVA nas entressolas dos calçados de corrida contém entre 18% a 22% de acetato Vinil.

Muitos materiais foram sugeridos como alternativas para a substituição do EVA, sendo um deles o Poliuretano. O PU apresenta um bom amortecimento e durabilidade quando comparado com o EVA. Visto que a espuma de PU é utilizada em calçados esportivos com altos níveis de absorção de impacto em que a massa do calçado não é o objetivo principal. Um exemplo é o calçado para a prática de basquete (VERDEJO, 2003). Diegritz (1998) sugeriu também um novo material para a substituição do EVA nos solados. O autor analisou Dupont Dow Engage Ethylene Octene como uma nova proposta para a substituição do EVA, sendo que também pode ser injetado e demonstra ser mais econômico durante o processamento. Outros autores (Indesteege *et. al.*, 1997) sugerem o PU como uma opção para substituir o EVA, a densidade é alta, mas a compressão é baixa. O autor ainda comparou algumas propriedades dos materiais: Densidade (kg/m³) – EVA 200 e PU 320; Resistência ao

rasgamento (kN/m) – 4,5 e PU 3,5; Compressão (60°C/6h) – EVA 58 e PU 5; Dureza Asker C – EVA 62 e PU 60.

Outra comparação entre materiais foi o trabalho de Brückner e colaboradores (2010). Os autores compararam o PU com o EVA com o objetivo de analisar o amortecimento e as propriedades do material. Os resultados foram: densidade dos solados de 0,25 até 0,30 g/cm³ e a energia perdida foi de 3 a 4 J para os calçados EVA e PU para uma energia aplicada de 7 a 11 J, respectivamente. Ainda, neste estudo, foram realizados os ensaios de durabilidade e resistência, onde observou-se que o PU apresenta melhor desempenho em comparação ao EVA. Segundo os autores se a energia perdida do solado for muito baixa, existe uma alta probabilidade do usuário desenvolver uma lesão e que as propriedades mecânicas do solado dependem somente da estrutura celular e das propriedades do polímero. Para Verdejo & Mills (2004), o módulo de elasticidade do EVA aumenta com a densidade do material. Ainda, segundo os autores, existem diferenças nas densidades entre os calçados, isto é, um calçado com maior numeração possui maior densidade no solado, visto que precisa capacidade de sustentar uma maior massa.

Conforme Verdejo (2003), a estrutura celular polimérica pode ser classificada em dois grupos, célula aberta e célula fechada. Uma estrutura de célula fechada contém gás na célula e as células abertas são interconectadas entre si. Um exemplo de espuma macia com células fechada é o EVA, neste caso o polímero apresenta baixa cristalinidade e ainda baixo módulo de Young, e que o ar entre as células do EVA podem representar até 80% do volume (MILLS, 1997). Para Verdejo (2003) e Gibson & Asbhy (1997), em uma estrutura que apresenta células abertas, o gás entre as células contribuem para a absorção do impacto, sendo que o fluido adquire uma viscosidade causando dissipação de energia (ocorre em altas deformações). Já em estruturas de células fechadas, o gás é comprimido com a espuma e logo após a carga ser retirada, o polímero retorna a forma original. Uma análise no Eva, verificou-se que o ar existente entre as células decresce, reduzindo a habilidade de absorver o amortecimento (MILLS & RODRIGUEZ-PEREZ, 2001).

A mesma base polimérica com diferente estrutura celular pode apresentar diferentes propriedades mecânicas, como exemplo, se a estrutura for anisotrópica com diferentes tamanhos de células e direções em um ensaio de compressão pode-se verificar que os resultados podem apresentar divergências, porque depende se a direção está paralela ou perpendicular da orientação celular. Adicionalmente, a base polimérica pode determinar as propriedades como densidade, modo de Young, resistência ao escoamento, fratura entre

outros (VERDEJO, 2003). As propriedades mecânicas da espuma no solado do calçado são influenciadas pela temperatura, isto é, a capacidade do amortecimento no calçado pode apresentar diferentes características com a variação de temperatura (SHARIATMADARI *et al.*, 2012).

Nigg e colaboradores (2003) compararam 2 calçados de mesmo modelo, mas divergindo somente a dureza do solado na região do calcâneo. Neste trabalho os autores utilizaram um durômetro e uma máquina universal de ensaios. As durezas dos solados foram de 45 Shore C e 26 Shore C. Os autores realizaram, ainda, um ensaio de compressão com velocidade de 300 mm/s e deslocamento de aplicação da carga de 14 mm para simular o impacto. Em outro estudo (Nigg & Liu, 1999), os autores concluem que através da mudança na dureza e na energia de dissipação do solado é possível contribuir para uma redução nos picos de impacto. Para os autores, há outras estratégias que influenciam no impacto durante a corrida, por exemplo, o ângulo do joelho no momento do impacto. Os impactos repetitivos no solado durante uma atividade física pode causar falha por fadiga no material e, conseqüentemente, uma lesão; estes impactos repetitivos ocorrem aproximadamente a 1.5 Hz (VERDEJO & MILLS, 2004).

A força aplicada no solado pode gerar fadiga ao material comprometendo a função do solado. A Figura 08 apresenta uma espuma fadigada sendo possível verificar que nas extremidades há células alongadas. Isso evidencia a fadiga do material o que acarreta aumento dos picos de pressão plantar e um aumento no impacto durante o movimento.

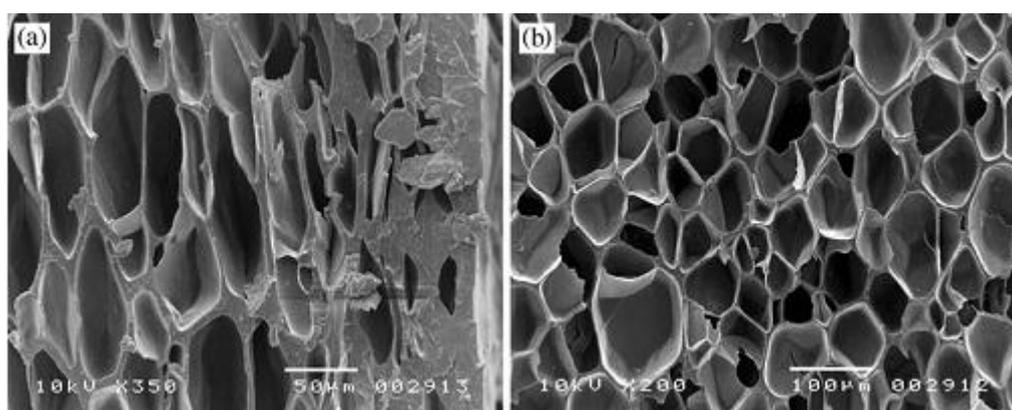


Figura 08. Análise microscópica de varredura do EVA na direção vertical na direção longitudinal do calçado: a) próximo à superfície apresenta fadiga do material, e b) centro do solado - Mills, 2007.

Durante a corrida o calcâneo realiza uma força de aproximadamente 500 N e faz uma compressão no solado de 0,7 MPa (VERDEJO & MILLS, 2004). Para Shorten (1993), a

distribuição de pressão que atua na entressola do calçado varia com a massa e a anatomia do pé e ainda das diferentes velocidades e estilos de corridas.

Fica destacado na literatura que as propriedades do calçado e, principalmente, do amortecimento são um fator determinante para a prevenção de lesões no sistema músculo-esquelético. O objetivo do sistema de amortecimento é a proteção do pé no contato com o solo. Assim o propósito é que este venha atenuar o choque do impacto e a redução das magnitudes dos picos de pressão da força na superfície do pé (SHORTEN, 1993). Geralmente os solados são compostos de dois ou mais componentes de diferentes tipos e densidades combinados na entressola.

Pode ser destacado o trabalho de Nigg e Liu (1999), em que os autores compararam dois tipos de solados concluindo que as propriedades mecânicas do solado são fatores predominantes na taxa de aceitação do peso (impacto) durante a marcha. As características do material do solado do calçado determinam a taxa de carregamento da força vertical, a atividade muscular e aceleração do sistema músculo esquelético (BOYER E NIGG, 2004). Para Mills (2007) os calçados com solados macios na região do calcâneo podem permitir excessiva rotação na região subtalar, contribuindo para a pronação e lesões no sistema músculo-esquelético. Segundo Nigg (1986), para diminuir a rotação do retropé é necessário incrementar a dureza do solado na região do calcâneo, usando a bi-densidade na propriedade dos solados. Verdejo & Mills (2004) verificaram a interação mecânica do coxim adiposo do calcâneo com o solado, tendo sido verificado se ocorrem alterações nos pico de pressão com a deformação do solado durante o movimento. Neste sentido, Nigg e colaboradores (2003) verificaram a pré-ativação da musculatura e consumo de VO₂ com diferentes solados. Uma hipótese era que, se ocorresse alteração na ativação muscular, poderia ocorrer alteração na performance humana do sistema locomotor durante a atividade física. Os resultados foram: não ocorreu diferença significativa entre os dois calçados para o consumo de oxigênio, mas os sujeitos apresentaram menor consumo de oxigênio com materiais do solado viscoelásticos; sendo que ocorreu diferença na pré-ativação entre as médias do solado elástico e viscoelástico de 3,2% para o tibial anterior, 0,9% para o gastrocnêmio, -7,2% para o vasto medial e 13,2% para o isquiotibiais (NIGG *et al.*, 2003).

A propriedade mecânica da espuma depende de muitos fatores do material, tais como a composição química da base polimérica e da morfologia, estrutura celular e densidade, sendo que as propriedades físicas da espuma pode ser influenciada pela variação de temperatura. Desta forma durante a marcha ocorre atrito entre o solado e o solo e entre o pé e o calçado

gerando aumento da temperatura do pé. Este calor é transferido para os componentes do calçado, isto é, solado e palmilha.

2.3 Energia de retorno

O custo da colisão entre o pé e o solo tem sido assumido como o custo metabólico proporcional muscular do trabalho envolvido no impulso. Desta forma, durante o contato do pé no solo na análise de energia pode-se incluir: a energia inicial e o impulso do sistema locomotor durante o impacto com o solo; a transição temporal da energia e do impulso e como essa transição é controlada pelos músculos; a energia temporal do retorno no sistema locomotor e a troca de direção do impulso durante a fase de contato (NIGG, 2010). O autor ainda conclui, por exemplo, um atleta pode ter 3 estratégias disponíveis para equilibrar o trabalho/energia durante a locomoção: a) armazenar e energia de retorno; b) minimizar a energia perdida e c) otimizar as funções musculares.

Durante a primeira parte de uma caminhada/corrida, o solado é comprimido pela pressão do pé e as forças atuando geram um trabalho no material elástico/viscoelástico do solado. Dependendo do material essa energia é armazenada ou dissipada em forma de calor e depois que a carga é reduzida existe a tendência que o material venha retornar a forma original. O termo energia de retorno tem sido descrito como o armazenamento e o retorno da deformação dos materiais viscoelásticos utilizados no amortecimento dos calçados esportivos, essa característica do calçado pode reduzir o consumo de oxigênio e, conseqüentemente, retardar a fadiga (SHORTEN, 1993). Segundo Nigg (2010) a energia armazenada na compressão do solado é retornada durante a segunda metade do movimento, isto é, durante a fase de propulsão.

Segundo Nigg (2010), a energia armazenada e retornada depende da força aplicada, da dureza e da deformação do sistema. Para o autor deste trabalho, a energia armazenada depende das características do material. Em aplicações práticas a energia retornada é alta quando a deformação também é alta. Para o autor, dois métodos são entendidos para energia armazenada e retornada nos calçados: a) consiste em usar a rigidez do solado como uma mola; b) a outra possibilidade é deformar o material ou a estrutura do solado e retornar esta energia de armazenamento quando o material/estrutura expande.

A energia de retorno é utilizada para descrever a memória ou a restituição de energia nos materiais viscoelásticos utilizados para o amortecimento nos solados dos calçados, esta

energia de retorno tende diminuir o consumo de oxigênio de atletas durante a atividade física (SHORTEN, 1993). O trabalho realizado no solado pode ser descrito com energia de entrada e o trabalho feito pelo solado como energia de saída, isto é, energia de retorno. Segundo Shorten (1993), o amortecimento do calçado esportivo tem característica viscoelástico não linear, e o solado sofre grandes deformações e apresenta alta histerese, dificultando a análise por elementos finitos e deixando inconfiável. Para o autor, existem limitações para determinar a energia armazenada e recuperada nos calçados, que não é controlada; a energia recuperada no solado do calçado depende da aplicação da carga e da composição do material. Segundo Verdejo (2003), a seleção do material para uma aplicação particular é baseada na energia que ele é capaz de absorver e a deformação que o material pode suportar.

Misevich & Cavanagh (1984), realizaram ensaios repetitivos de compressão em material de EVA para verificar o comportamento da curva tensão vs. deformação com vários ciclos. Os autores realizaram um teste uniaxial com uma máquina de ensaios Instron na frequência de 1 Hz e com pico de compressão constante de 1,15 MPa. Os resultados mostraram que a curva tensão vs. deformação da espuma aumenta logaritmicamente com o número de ciclos. A área entre o carregamento e o descarregamento representa a energia perdida, ou seja, a energia de entrada é a energia a qual induz o material a deformar e é representada pela área abaixo da curva tensão vs. deformação durante o carregamento (MILLS, 2007; BRÜCKNER *et al.*, 2010). O trabalho realizado no solado durante a recuperação elástica representa a diferença entre a energia armazenada e a energia dissipada (i. e. na forma de calor) durante a recuperação, ou seja, a energia perdida é a energia a qual é absorvida pelo material e dissipada em energia térmica, representada pelo carregamento e o descarregamento (histerese) (SHORTEN (1993); BRÜCKNER *et al.* (2010)). Em aplicações práticas, a energia perdida (%) é determinada pela razão de energia retornada sobre a energia absorvida e, pode ser descrito como uma habilidade do calçado reduzir o impacto das forças (BRÜCKNER *et al.*, 2010).

Alguns estudos relacionaram a energia nos calçados: a) Chiu (2005) em seu trabalho quantificou a energia absorvida na palmilha durante a fase de impacto utilizando uma máquina de impacto. No ensaio foram utilizados 3 calçados, sendo 2 calçados de corrida e 1 calçado para tênis de mesa. A palmilha 1 era composta por Poliuretano com espessura de 4,6 mm, a palmilha 2 confeccionada de látex e espessura de 3,4 mm e a palmilha 3 feita de EVA com espessura de 4,2 mm, todas as espessuras determinadas na região do calcâneo. Também foi realizado um ensaio de impacto nos calçados sem as palmilhas, e foi observado que os

calçados apresentaram maior pico de aceleração e impacto. E, na comparação entre as palmilhas, observaram que a palmilha de EVA apresentou maior absorção do impacto, reduzindo entre 20 a 30% a mais que as demais palmilhas. Também existe uma relação linear forte entre a redução do pico de aceleração com a absorção do impacto para o calçado com e sem palmilha. Ainda os resultados do estudo confirmaram que a palmilha de poliuretano e EVA apresentaram melhores desempenhos quando comparado com a de látex.

b) Já Verdejo & Mills (2002), removeram aproximadamente 20,1 mm do solado do calçado e fixaram na máquina de ensaio. Através da máquina de ensaio foi simulado o impacto e verificaram que ocorre uma diminuição na energia absorvida de 3,28 J para 1,93 J comparando entre o primeiro e o centésimo ciclo, respectivamente. Na comparação do deslocamento máximo foi de 7,31 mm para 7,79 mm, a pressão máxima de 764 kPa para 872 kPa, força máxima de 1,21 kN para 1,39 kN comparando o primeiro ciclo e o centésimo ciclo, respectivamente.

c) No trabalho de Shorten (1993), foram encontrados picos de deslocamento de 10 mm na região do calcâneo do calçado. Quando analisada a região do antepé, o modelo de amortecimento era menos espesso e apresentava maior rigidez a qual resultou em pouco deslocamento, de aproximadamente 6 mm. Também foi verificado que no modelo viscoelástico uma parte da energia aplicada é dissipada em calor. Verificou-se, ainda, que o trabalho realizado no solado é de 11,5 J, sendo 7,9J armazenados e 3,6 J foram dissipados na forma de calor. A energia armazenada durante a deformação do solado apresentou maior influência no amortecimento do que a rigidez do solado. Verificou-se, também, que a rigidez apresentou 63% na variação da energia armazenada e o amortecimento apresentou somente 7%. Na comparação entre a energia dissipada, o solado com maior amortecimento apresentou 10,32 J e o solado mais rígido apresentou 6 vezes menor dissipação de energia (1,72 J). O autor considera que de 10 a 16 J da energia dissipada durante o impacto inicial, 10 a 12 J podem ser recuperados, ou seja, como energia de retorno. Para o autor, a energia trocada e dissipada no solado depende das propriedades viscoelásticas do material de amortecimento e da carga aplicada.

d) No estudo de Nigg e colaboradores (2003), foi analisada a pré-ativação da musculatura com diferentes solados. Para os autores, se ocorresse a pré ativação da musculatura, isto poderia afetar a performance humana do sistema locomotor durante a atividade física. Para isto foram utilizados dois calçados de mesmo modelo, mas somente divergindo a durezas na região do calcâneo. Um solado considerado elástico com dureza

intermediária (45 Shore C) e o outro solado viscoelástico considerado macio (26 Shore C). Através da máquina universal de ensaios foi realizado o ensaio de compressão na velocidade de 300 mm/s e deslocamento de 14 mm. Os autores encontraram os seguintes resultados: não ocorreu diferença significativa entre os dois calçados para o consumo de oxigênio; verificou-se que ocorreu diferença na pré-ativação entre as médias do solado elástico e viscoelástico de 3,2% para o tibial anterior, 0,9% para o gastrocnêmio, -7,2% para o vasto medial e 13,2% para o isquiotibiais; ainda foi verificado que o consumo de oxigênio nos atletas é menor para aqueles que utilizaram calçados com solados viscoelásticos.

Verificou-se, ainda, que a correlação entre a energia aplicada e a deformação de um calçado de corrida é alta ($R=0,980$) e que durante uma atividade física, por exemplo, caminhada ou corrida, um atleta tem uma energia de impacto entre 3 J até 7 J, respectivamente (CHIU, 2000; BRÜCKNER *et al.*, 2010).

2.4 Impacto em calçados

Em 1970, quando ocorreram às primeiras publicações referentes às forças de reação do solo, a força vertical foi dividida em baixa frequência para a força ativa (momento da impulsão) e alta frequência para a força passiva (momento do impacto) (NIGG, 2010). A expressão ativa foi utilizada para designar a ativação muscular, entretanto a passiva foi utilizada para indicar que o controle muscular do movimento de aterrissagem apresentava limitações.

Nos anos 70, segundo Shorten (2000), os corredores tinham frequentes lesões no sistema músculo-esquelético, porém, não tinham conhecimento da origem de tais lesões. Desta forma foi solicitada uma pesquisa ao Prof. Cavanagh pela Runner's World Magazine; e neste trabalho foram encontrados 20% dos corredores com dores no joelho, 18% dores parte medial da tibia e 7% lesão no arco plantar. A partir dos anos 80 estas lesões foram esclarecidas como sendo derivadas do impacto e isto foi um fator importante no início dos estudos. Ainda, nesta época, surgiu o termo pronação excessiva nos corredores, mas nenhum resultado clínico/biomecânico foi bem sucedido. Os corredores utilizavam calçados de corrida com a entressola de EVA e solado de borracha moldado e o cabedal tecido de nylon. Em alguns casos, a palmilha apresentava diferença na angulação da região posterior, isto é, eram incrementados 4° na palmilha de acabamento do calçado como conceito de anti-pronador,

visto que o termo pronação era precoce no meio científico. O autor relata que na década de 80, cerca de 60 a 75% dos corredores tinham fratura por stress na tíbia por treinamento errado e que a entressola macia incrementava a atenuação do impacto e reduzia a velocidade angular no movimento do retropé. O conceito nesta época era que os atletas com pés planos eram considerados pés com hipermobilidade e era necessário um calçado estável. Em contra partida, um atleta com pés cavo era considerado um pé rígido, que apresentava pouca pronação e era necessário um calçado com maior amortecimento. Durante o movimento, o impacto entre o pé e o solo gera uma onda de choque que é transmitido para o sistema músculo esquelético. E essa onda de choque tem magnitude entre 5 e 15 vezes a aceleração da gravidade, e é atenuada para 1 e 3 na região da cabeça (SHORTEN, 2000). Forças de impacto e ondas de choque são influenciadas pela massa do sujeito, velocidade, cinemática da chegada do pé ao solo, propriedades do calçado e propriedades da superfície.

A grande variedade de materiais para amortecimento tem sido incorporada para o sistema de amortecimento nos calçados de corrida, estes incluem espumas poliméricas-elásticos e viscoelásticos, ar, gases, gel, fluídos, compósitos e molas moldadas (SHORTEN, 1993). Esses materiais tem como base atenuar o choque do impacto, absorção de energia, peso e durabilidade (SHORTEN, 2000). Segundo Nigg e colaboradores (2003), durante a corrida a frequência natural do impacto é muito próxima da frequência natural de alguns grupos musculares do corpo humano, desta forma o solado dos calçados e as superfícies do solo (por exemplo, os pisos) servem para filtrar essas frequências. As forças de impacto são uma função não linear dependente do coxim adiposo do calcâneo, do solado do calçado e da superfície de contato (COLE, 1995). No ponto de vista de Ly et al. (2010), os efeitos da absorção da onda de choque é limitado por restrições biomecânicas ou morfológicas, sendo difícil de modificá-los para aumentar o amortecimento durante o movimento. Sendo assim, a única interação entre o ser humano e o solo é por meio do calçado (solado) e acredita-se que as alterações das propriedades mecânicas do solado venham atenuar do impacto durante o movimento.

O sistema de amortecimento está compreendido entre o pé e o solo, na qual tende filtrar de reação do solo, tais como impacto e reduzir os picos de pressão distribuindo em toda a superfície plantar (SHORTEN, 1993). Já para Nigg (2010) e Nigg e Liu (1999), o impacto é uma colisão entre dois objetos e esta colisão resulta em um impacto de forças, ou seja, o impacto é a ocorrência da colisão entre o pé e o solo e a magnitude é dependente da velocidade. Durante atividades como caminhada/corrída, o corpo humano está exposto a receber repetitivos impactos. Os impactos podem desenvolver lesões ou até mesmo dor no

sistema músculo-esquelético. Alguns trabalhos (Milani et al. 1997; Goodnetilleke, 1999; Frederick, 1985; Cavanagh & Kram, 1990) relatam que há uma relação entre o conforto do calçado com a absorção do impacto e entre o peso do calçado com a performance.

Alguns autores (Lafortune et al. 1996; Aerts & De Clercq, 1993), citam que o solado tem influência na absorção do impacto, em contra-partida, outros pesquisadores (Nigg, 1983; Snel et al. 1985; DeVita & Bates, 1987) mostram que a dureza do solado não tem ou apresenta pouca influência nos picos de impacto. Assim como o calçado macio tem característica de estender o tempo do impacto, o calçado duro tem de apresentar maior pico de impacto (CLARKE *et al.*, 1983a). O autor deste trabalho acredita que a absorção do impacto apresenta correlação com as propriedades do material.

Segundo Shorten (1993), na simulação do trabalho realizado pelo solado durante a corrida foi verificado que ocorria pico de trabalho (tensão de energia armazenada) durante os primeiros 20 ms na região do calcâneo. Já alguns autores (Nigg e Herzog, 2007; Lieberman e colaboradores, 2010) citam que o impacto ocorre nos primeiros 50 ms após o contato do calcâneo com o solo. Mas segundo Ly et al. (2010) é possível observar que os atletas ajustam sua cinemática e a cinética rapidamente ao mudar as condições de impacto (por exemplo, piso, concreto e grama). Pressupõe que estes ajustes são neurológico/muscular para receber o impacto durante o movimento e, que a onda de choque produzida na colisão entre o pé e o solo não venha ser prejudicial ao sistema músculo-esquelético. O impacto tem sido pesquisado porque existem argumentações de que é através do impacto que ocorrem diversos tipos de lesões (VERDEJO, 2003). Alguns estudos (Nigg & Liu, 1999; Nigg *et al.* 2003) relacionam que o impacto durante a corrida ou outras atividades esportivas são os responsáveis pelo desenvolvimento de lesões e ainda produzem aceleração (vibração) dos tecidos moles das baixas extremidades, como por exemplo, no quadríceps, tríceps sural e isquiotibiais.

O calçado é uma malha dissipadora de energia e esta alta taxa de energia dissipada (150 W) dos componentes de amortecimentos é coincidente com o impacto do calcâneo (SHORTEN, 1993).

As espumas poliméricas têm inúmeras aplicações como absorção de choque, entre elas a função de minimizar a energia cinética produzida pelo impacto. Uma das funções do solado é a absorção de energia e de limitar o pico de impacto no toque do calcâneo. Em alguns casos o material falha, por exemplo, em uma corrida de longo percurso ocorre redução do amortecimento em função de ocorrer redução do ar entre as células, característica do polímero

de estrutura de células abertas (VERDEJO & MILLS, 2002; VERDEJO, 2003). Em um estudo similar, Mills e Rodriguez-Perez (2001) estudaram a difusão do EVA e concluíram que o ar que contém entre as células decresce, reduzindo o amortecimento.

Segundo Bates (1989), existem limitações entre as variáveis como, por exemplo, a velocidade e a dureza da entressola, isto é, existe uma relação entre impacto e velocidade, também há um aumento do pico de impacto com o aumento da velocidade da corrida (NIGG, 2007). Em uma corrida ocorrem impactos repetitivos no intervalo de 0,3 segundo a qual pode causar danos por fadiga no material (VERDEJO & MILLS, 2002; MILLS, 2007). Durante a caminhada e corrida o sujeito está submetido à energia de impacto entre 3 até 7 Joule, respectivamente (CHIU, 2000).

Abaixo serão apresentados alguns trabalhos: a) Schwanitz e colaboradores (2010), compararam três diferentes métodos para quantificar o amortecimento de 29 calçados de corrida, sendo o procedimento A e B conforme a Norma ASTM F 1614. Já o procedimento C foi proposto pelos autores, mas muito similar ao procedimento B da ASTM F 1614. Segundo a norma ASTM F 1614, existem 3 formas de analisar a taxa de força aplicada quando o pé está chegando ao solo. O primeiro método é um dispositivo na qual um peso cai sobre o material e o equipamento mensura o impacto; o segundo método é através de uma compressão controlada pela força e o terceiro método também pela compressão, mas controlado pelo deslocamento. Os procedimentos são: para a primeira metodologia foi utilizado um corpo com massa de 400 kg que caia em queda livre de 50mm, logo após os sensores mensuram a força máxima, deslocamento máximo; para o segundo e a terceiro método a energia máxima aplicada é de 5 Joule e um cilindro de 45 mm de diâmetro no tempo de 20 ms. Através dos resultados obtidos da metodologia descrita foram calculadas a energia absorvida absoluta e relativa, tempo de deformação e velocidade de deformação, conforme equações 1, 2 e 3.

$$E_{Abs} = E_{Aplic} - E_{retorno} \quad (1)$$

$$E_{rel} = \frac{E_{Abs}}{E_{Aplic}} \times 100 \quad (2)$$

$$V_{def} = \frac{def_{max}}{t_{def_{max}}} \quad (3)$$

A energia absorvida é a somatório da energia de impacto e a energia de recuperação, que são determinado pela integral da força pela deformação, equações 4 e 5 (VERDEJO, 2003).

$$E_i = \int_0^{X_m} F d_x \quad (4)$$

$$E_r = \int_{X_m}^{X_f} F d_x \quad (5)$$

Onde: X_m é o deslocamento máximo;
 X_f é o deslocamento restante da espuma sendo que a força retorna a zero.

b) Outra forma de entendimento do impacto e das variáveis que influenciam a mesma foi apresentado no trabalho de Zadpoor & Nikooyan (2010). Os autores modelaram o corpo humano tentando estudar os efeitos da dureza do calçado e as vibrações do corpo humano. Já outro modelo massa mola foi proposto por Nigg (2010) – Figura 09, na qual utiliza os modelos para estudar a influência da massa, proporção da massa, durezas e energia de dissipação na simulação do impacto.

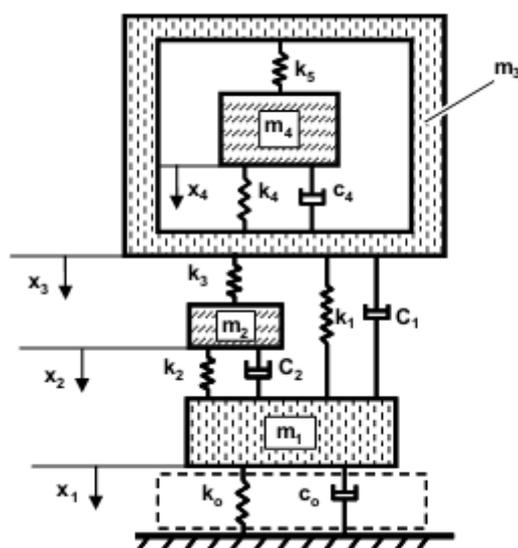


Figura 09. Modelo proposto por Nigg 2010.

Onde:

K_0, c_0 = características viscoelásticas da superfície e do calçado;

K_1, c_1 = rigidez da perna;

K_2, K_3, c_2 = elemento de armazenamento de energia e dissipador de energia para a vibração dos tecidos moles da perna;

K_4 , K_5 , c_4 = elemento de armazenamento de energia e dissipador de energia para a vibração dos tecidos moles do tronco;
 m_1 = massa do pé e parte da perna;
 m_2 = massa da perna;
 m_3 = massa rígida do tronco
 m_4 = massa do tronco.

c) Em outro estudo (Verdejo & Mills, 2004), foi testado o EVA da Nike Company com densidade de 151 kg/m^3 . Neste trabalho, foi comparada a energia do impacto para diferentes tempos durante a corrida. Os autores observaram que entre a comparação do primeiro até o quinto dia a curva tensão vs. deformação foi mais acentuada para o quinto dia, aumentando o deslocamento aproximadamente 6 mm para 8 mm e a força de 160 N para 220 N, respectivamente. Observou-se, ainda, que a absorção de energia diminuiu a cada dia de corrida, essa variação entre o início do ensaio e o final (270 km de corrida) do ensaio foi de 20% menor e um aumento na densidade de 12%.

d) Chiu *et al.* (2001), utilizaram uma máquina de ensaios e simularam o impacto entre o pé e o solo. Neste ensaio foi utilizada uma massa de 4500 g, os autores ainda fixaram um acelerômetro para mensurar a aceleração durante o impacto. Foram testados dois calçados, sendo um comercialmente definido como bom amortecimento (calçado 1) e o outro como normal (densidade simples)(calçado 2). Os resultados mostraram que em todas as condições o calçado 1 apresentou melhores resultados (pico de força) em comparação ao calçado 2 (densidade simples), isto para uma superfície de poliuretano e asfalto.

e) Ly *et al.* (2010) compararam 4 pares de calçados com objetivo de analisar o impacto e diferentes durezas de pisos. Antes de iniciar os ensaios os autores mensuraram as durezas (40 Asker C, 50 Asker C, 60 Asker C e 65 Asker C) e para o ensaio da absorção do impacto foi analisado somente a região do retopé do calçado. A carga máxima no ensaio mecânico foi de 1400 N e os resultados foram: para o calçado 40 Asker C a rigidez foi de $2,22 \times 10^5 \text{ N/m}$ e a energia de dissipação do material de $9,14 \times 10^2 \text{ Ns/m}$; já o calçado 50 Asker C a rigidez foi de $2,18 \times 10^5 \text{ N/m}$ e a energia de dissipação do material de $1,37 \times 10^3 \text{ Ns/m}$; o calçado 60 Asker C a rigidez foi de $3,62 \times 10^5 \text{ N/m}$ e a energia de dissipação do material de $1,87 \times 10^3 \text{ Ns/m}$ e o calçado 65 Asker C foi de $4,03 \times 10^5 \text{ N/m}$ e a energia de dissipação do material de $2,17 \times 10^3 \text{ Ns/m}$. Para determinar a Taxa de aceitação do peso os autores utilizaram entre 10% e 90% do Primeiro Pico de Força. Os autores ainda relataram que: menores valores de rigidez podem cancelar o pico de impacto (entre o contato e o primeiro pico de força); somente é possível diferenciar o amortecimento do solado dos calçados em superfícies rígidas a qual apresentaram diferenças aproximadamente de 10%. Este modelo vai

ao encontro da literatura, mas a dificuldade é que a força de reação do solo não é uma função linear e depende das propriedades mecânicas da superfície do solo e do material do solado.

f) No estudo de Heidenfelder e colaboradores (2010) para analisar se ocorre redução do impacto foram utilizados 3 calçados com diferentes durezas e espessuras na região do retropé. A mensuração da dureza dos solados foi através da ASTM D 2240 e as variáveis analisadas foram pico de impacto; tempo do pico de impacto; taxa de crescimento da força e aceleração tibial. Para mensuração da aceleração tibial foram utilizados acelerômetros fixados na região medial da tibia, compreendido na região intermediária do maléolo e o protuberância da tibia. Para a fixação do acelerômetro os autores utilizaram fita dupla face e elástico. Os resultados foram: decréscimo significativo na taxa de aceitação da força com o incremento de material macio no calcâneo de 6%; incremento significativo de 17% na pronação máxima com a diminuição da dureza; alto impacto para o calçado com solado normal e baixo para o calçado com a menor da dureza. Os calçados apresentaram alteração de aproximadamente 29,4% no tempo de impacto, 24,8% na taxa de aceitação do peso e de 17,4% no pico de aceleração tibial. Verificou-se também que: existe relação entre taxa de aceitação do peso e ascensão da curva de $R= 0,88$; entre a taxa de aceitação do peso com o pico de impacto de $R=0,84$ e baixa correlação entre taxa de aceitação do peso com aceleração tibial $R=0,56$. Nos resultados foi verificada redução significava no ângulo de pronação entre o calçado com solado duro e o macio. Os autores corroboram que para reduzir o impacto pode ser utilizado um material macio na região lateral do calcâneo, que neste estudo ocorreu um aumento de 29% no tempo de impacto com um aumento de 17mm na espessura do material macio.

De acordo com os estudos pode-se afirmar que o impacto repetitivo no corpo humano durante uma corrida é um fator que pode desenvolver lesões, fratura por stress nos membros inferiores e dores nas costas, ou essas lesões podem ocorrer por fatores circulares como, por exemplo, rápidos momentos nas articulações, stress dos tecidos moles e forças musculares (por exemplo, dores no joelho, tendinite de Aquiles e fascite plantar) induzidos pelo impacto entre o pé e o solo (SHORTEN, 2000).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo foram apresentados os procedimentos metodológicos que orientam o presente estudo. Foram descritos: as características do estudo, sujeitos de pesquisa, instrumentos, procedimentos para a coleta de dados, processamento dos dados e tratamento estatístico.

3.1 Caracterização do estudo

Este estudo foi caracterizado como descritivo exploratório. Descritivo com objetivo de analisar os solados utilizados e os resultados biomecânicos durante o movimento. E ainda, explorar os valores obtidos por se tratar de uma questão pouco analisada.

O estudo foi realizado em duas etapas, sendo a primeira no Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a segunda etapa os ensaios Biomecânicos no Laboratório de Biomecânica do Instituto Brasileiro Tecnológico do Couro, Calçados e Artefatos – IBTeC.

3.2 Grupo de estudo

O presente estudo foi composto por 11 indivíduos do gênero masculino com idade superior a 18 anos residentes da região da grande Porto Alegre – RS em novembro de 2012. A escolha dos participantes foi pelo processo não-probabilístico do tipo intencional, sendo que os sujeitos foram selecionados através de abordagem direta e foram excluídos os indivíduos que apresentaram histórico de lesões ou alterações neuro-músculo-esquelético e/ou submetidos a cirurgias ortopédicas/neurológicas nos últimos dois anos.

Tabela 2. Perfil antropométrico dos sujeitos da pesquisa.

Variáveis (n=11)	Média	Desvio Padrão
Idade (anos)	27	3
Massa Corporal (kg)	72	4
Estatura (cm)	169	8

3.3 Materiais

Neste trabalho foram utilizados cinco calçados (Figuras 10 e 11) com solados de diferentes propriedades mecânicas, sendo eles: solado de EVA, solado de PU, solado de TPU, solado de borracha (SBR) e solado de madeira. Os materiais foram fixados nos solados (termoplásticos) dos calçados e a espessura dos materiais adicionados nos solados foram de 6 mm. Para a caracterização dos materiais foram realizadas duas etapas, sendo uma a caracterização no Laboratório de Metalurgia Física e a segunda etapa foi realizada no Instituto Brasileiro do Couro, Calçados e Artefatos.

**Figura 10.** Vista lateral do calçado**Figura 11.** Vista inferior – diferentes solados.

3.4 Instrumentos de medida

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes instrumentos: durômetro de bancada, máquina universal de ensaios, plataformas de força e acelerômetro, todos descritos no item 3.5.

3.5 Caracterização

3.5.1 Propriedades Mecânicas e Físicas

3.5.1.1 Dureza

É a resistência à penetração através de um corpo de formato definido e sob uma carga específica (Figura 12). O ensaio de dureza foi realizado conforme DIN53505 - 2000. Este teste de dureza utiliza o endentador através da carga aplicada pela mola e de acordo com o formato do endentador define-se a dureza Shore A e Shore D. O resultado é visualizado no display analógico que indica o valor de dureza. A dureza Shore A é usado para polímero não-rígido e semi-rígidos e para borrachas e elastômeros de espessura de 6 mm. Para mensurar a dureza foram utilizadas três medidas para cada material de polímero.



Figura 12. Durômetro de bancada - modelo Zwick 7206.

3.5.1.2 Compressão

Para a determinação da rigidez mecânica, energia perdida e absorção de energia foram realizados ensaio de compressão dos calçados, conforme Figuras 13 e 14. A máquina de

ensaios foi usada no modo compressão, com velocidade de 100 mm/s e deslocamento de 50% da espessura do solado do calçado.

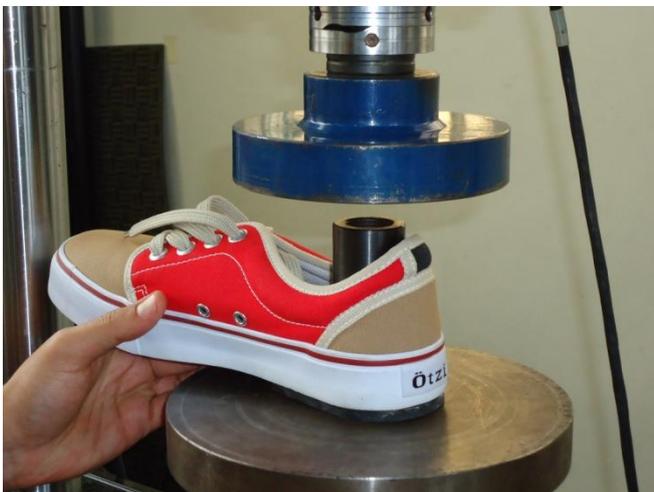


Figura 13. Ensaio de compressão do solado do calçado - MTS.

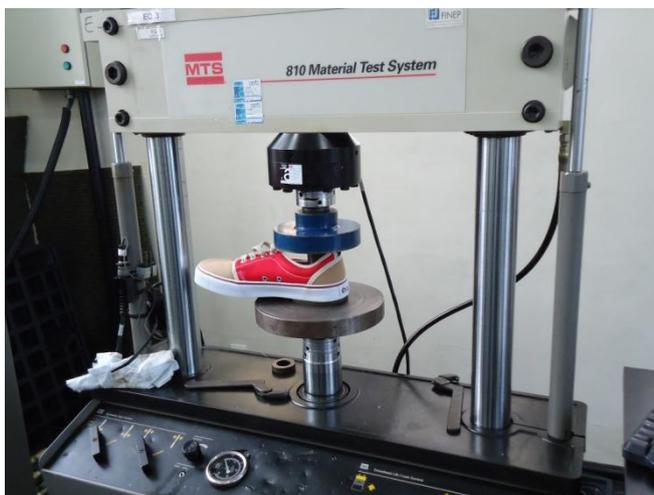


Figura 14. Ensaio de compressão do solado do calçado - MTS.

O cálculo da energia absorvida (E_{abs}) pelo corpo de prova em função do deslocamento é determinado pela integração da curva força vs. deslocamento, conforme equação 6.

$$E_{abs}(s) = \int_0^s F(s)ds \quad (6)$$

Onde:
E_{abs} = Energia absorvida;
F = Força;
s = deslocamento

3.5.1.3 Densidade

A densidade dos solados foi determinada através do método dimensional, segundo a Norma NBR 14453:2005. A densidade é utilizada para materiais celulares pelo fato da densidade ser calculada com o volume do material expandido, na qual é medida pela dimensão da amostra de espuma e sua massa. A densidade é calculada pela razão entre a massa e o volume da amostra, com incerteza de 0,08 g/cm³.

3.5.2 Ensaios Biomecânicos

As variáveis Biomecânicas foram determinadas por intermédio de sujeitos que irão caminhar em uma passarela e os equipamentos utilizados foram descritos abaixo.

3.5.2.1 Plataforma de Força

Para a determinação da força de reação do solo foi utilizada 1 plataforma de forças da AMTI (Advanced Mechanical Technology), modelo OR67-2000, 6725 (Figura 15). A plataforma é elemento que medem a F_z, F_x e F_y (Força Vertical, Força ântero-posterior e Força médio-lateral) e com dimensões de 508x464x83 mm, com massa de 28,18 kg, células de carga tipo strain gauge; frequência natural de 500 Hz para a componente F_z e de 360 Hz para as componentes F_x e F_y; Histerese de ±0,2% e sensibilidade de 0,08U_v/V*N. As plataformas foram conectadas aos condicionadores e amplificadores, Figura 15. Para analisar as variáveis da força de reação do solo foram utilizadas as componentes vertical e ântero-posterior da plataforma de força, com taxa de amostragem de 2kHz.

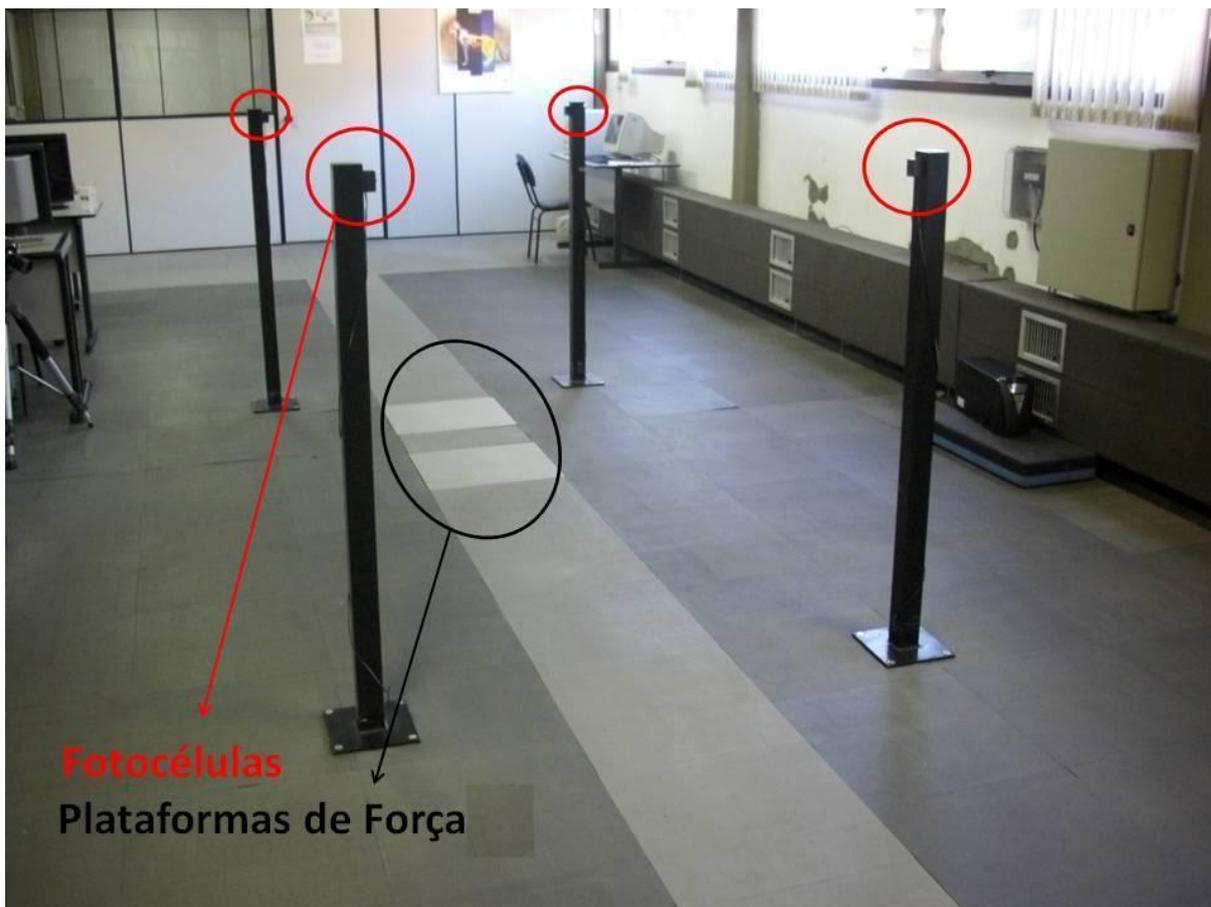


Figura 15. Plataformas de Força e fotocélulas.

3.5.2.2 Acelerômetro

A acelerometria foi avaliada através de acelerômetros B&K, com fundo de escala de $\pm 24g$ ($1 g = 9,8m.s^{-2}$), sensibilidade de $952,1 mV/g$, sensibilidade transversal $<5\%$, faixa de frequência de $0,4 Hz$ a $6kHz$. Condicionador de sinal Endevco, modelo 4416B, placa conversora A/D Lynx CAD12/32, 12 bits, com taxa de aquisição de $2kHz$, conforme Figura 16.



Figura 16. Sistema de acelerometria.

3.5.2.3 Sistema de controle de velocidade

Para controle da velocidade durante a marcha foi utilizado um conjunto de quatro fotocélulas (transmissor e receptor) e um cronômetro (Figuras 15 e 17). Cada par de fotocélulas foram dispostas a distância de 3 metros e no centro estavam posicionadas as plataformas de força. O sistema de fotocélulas é acionada no momento que sujeito passa no primeiro par de sensores, considerando o tempo inicial e, no momento que o sujeito passa no segundo par de sensores, é marcado o segundo tempo. Através do tempo é determinada a velocidade média do sujeito ao longo dos 3 metros. Foram consideradas válidas todas as velocidades que estivessem entre $5 \text{ km/h} \pm 5\%$ - NBR14840.

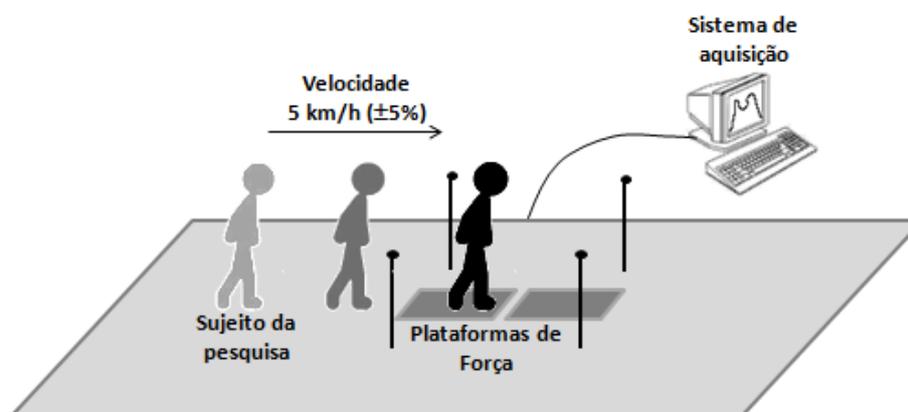


Figura 17. Modelo de aquisição de dados (Fonte: Elaborado pelo autor)

3.6 Aquisição e tratamento dos dados

3.6.1 Procedimentos preliminares

Com a aprovação do Comitê de ética em humanos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul foram realizados os seguintes procedimentos:

- a) Contato com os sujeitos da pesquisa;
- b) Esclarecimento do estudo e autorização dos sujeitos através do termo de consentimento livre e esclarecido (anexo);
- c) Agendamento do dia da aquisição dos dados.

3.6.2 Preparação do sujeito e aquisição dos dados

Para a aquisição dos dados Biomecânicos foram efetuados os seguintes procedimentos:

- 1) O sujeito da amostra foi conduzido até o Laboratório de Biomecânica do Instituto Brasileiro Tecnológico do Couro, Calçados e Artefatos – IBTeC por um dos pesquisadores participantes do projeto. No laboratório foi solicitado que o sujeito viesse a experimentar os calçados nos pés;
- 2) Logo após foi localizado o ponto medial da tíbia entre a linha articular do joelho e o maléolo lateral (Figura 18). Sequencialmente foi fixado um acelerômetro na região medial da tíbia juntamente com uma madeira balsa por intermédio de uma cinta com velcro (Figuras 19 e 20);

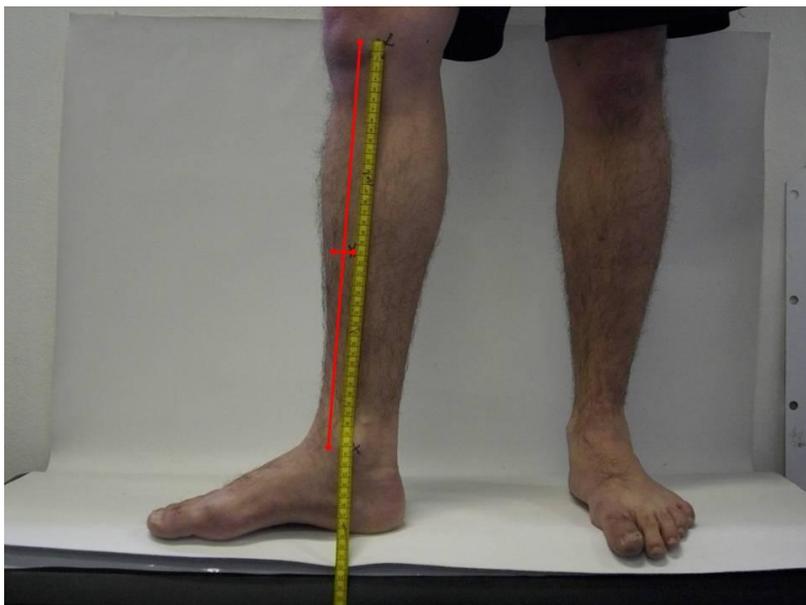


Figura 18. Marcação da região medial da tíbia.



Figura 19. Fixação do acelerômetro com madeira balsa.

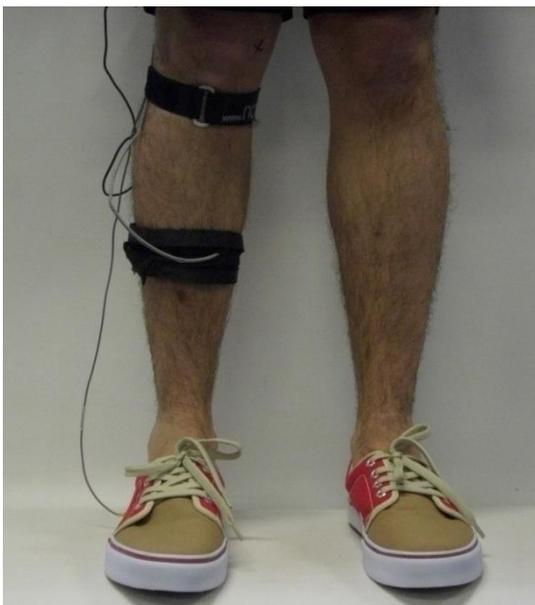


Figura 20. Fixação do acelerômetro com velcro.

- 3) O segundo acelerômetro foi fixado na região lateral do calçado (pé direito), aproximadamente na mesma linha do maléolo lateral (Figura 21);



Figura 21. Fixação do acelerômetro na região lateral do calçado.

- 4) Na sequência o sujeito caminhou em uma passarela de aproximadamente 10 metros, sendo que após 8 metros do início havia duas plataformas de força (Figura 15). Os sujeitos foram instruídos a caminhar com velocidade de 5 km/h (com variação de $\pm 5\%$) e foram válidas 10 tentativas as qual o sujeito viesse acertar a primeira plataforma com o pé direito e estivesse dentro da velocidade pré determinada – Figura 22. O sujeito repetiu o ensaio com todos os calçados de forma randômica.



Figura 22. Sujeito durante a realização do teste.

3.6.3 Processamento dos dados

O processamento dos dados foram através do software MATLAB e logo após foram exportados para análises estatísticas no software SPSS.

Os resultados das propriedades foram:

- a) Dureza: mediana de três medidas – DIN53505-2000;
- b) Compressão: Rigidez, Energia perdida e Energia de retorno;
- c) Densidade: média de três medidas – NBR 14452:2005.

Para a determinação dos resultados biomecânicos:

- a) Os dados da força de reação do solo foram importados para o MATLAB e, posteriormente foram filtrados. Foi utilizado o filtro passa baixa (filtro Butterworth 4° ordem – Frequência de corte de 70 Hz). Em seguida, com as força de reação do solo foram processados os dados de: Primeiro Pico de Força (PPF), Segundo Pico de Força (SPF), Taxa de Aceitação do Peso (TAP) de 10 a 20% do PPF, TAP de 20 a 30% do PPF, TAP de 30 a 40% do PPF, TAP de 40 a 50% do PPF, TAP de 50 a 60% do PPF, TAP de 10 a 30% do PPF, TAP de 10 a 40% do PPF, TAP de 10 a 50% do PPF, TAP de 10 a 60% do PPF, TAP de 10 a 90% do PPF TAP de 20 a 80% do PPF; impulsão do contato do pé ate o PPF, Impulsão da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto e na fase de propulsão, pico da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto e da fase de propulsão – conforme Figuras 1, 2, 23. A TAP é a inclinação da curva (Força vs. Tempo) durante a fase de contato do pé da componente vertical da força de reação do solo (CVFRS).

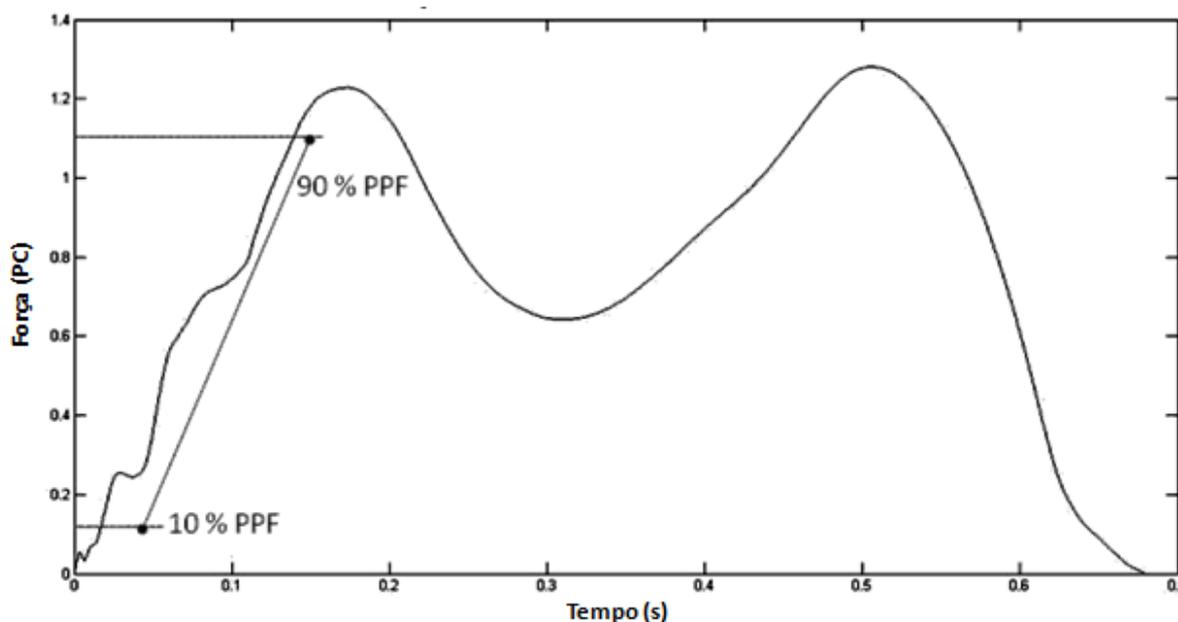


Figura 23. Taxa de aceitação do peso da componente vertical da força de reação do solo.

- A TAP foi calculada através da seguinte equação (7):

$$TAP = \frac{\Delta FRS_v}{\Delta t} \quad (7)$$

em que:

FRS_v: força de reação do solo, componente vertical em peso corporal (PC);

t: tempo em s;

TAP: taxa de aceitação de peso em PC.s⁻¹.

- A impulsão foi determinada pela equação 8:

$$\text{Impulso} = \int_{t_1}^{t_2} F \cdot dt \quad (8)$$

em que:

F: força de reação do solo - peso corporal (PC);

t: tempo em s;

- b) Acelerometria: Os dados dos acelerômetros foram importados para o MATLAB e, posteriormente foram filtrados. Foi utilizado o filtro passa baixa (filtro Butterworth 2º ordem – Frequência de corte de 100 Hz). As variáveis calculadas foram: Pico de aceleração tibial, Pico de aceleração do calçado, transmissibilidade de aceleração, conforme Figura 3.

3.7 Tratamento estatístico

Os resultados foram inicialmente processados pela estatística descritiva. Também foi determinada a normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, sendo que, as variáveis apresentaram um padrão de distribuição normal. Já para verificar diferenças significativas entre as médias foi aplicada uma análise de variância através do teste *One-Way ANOVA* e, posteriormente apresentando diferença foi aplicado o teste de *Scheffe*, onde foram determinadas em quais grupos ocorreram as diferenças significativas, conforme apresentado na Figura 24. Na análise estatística foi utilizada nível de confiança de 95%.

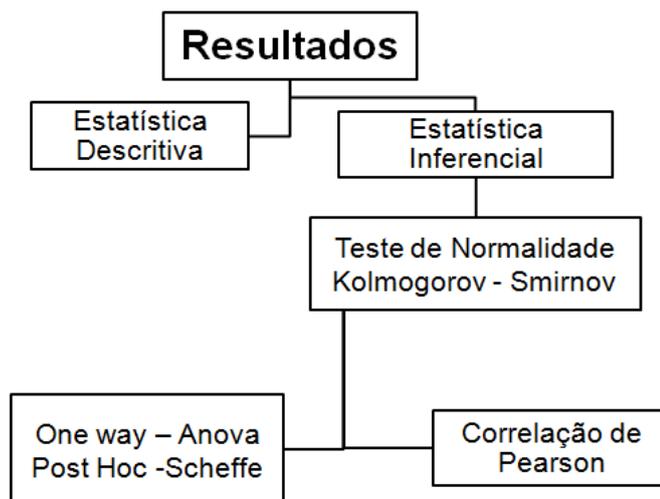


Figura 24. Organização do tratamento estatístico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo foram apresentados e discutidos os resultados do estudo. Este capítulo teve como objetivo apresentar os resultados previstos no tópico dos objetivos específicos – Caracterização dos materiais; Força de Reação do Solo e aceleração.

4.1 Caracterização dos materiais

A caracterização dos materiais foi efetuada com os ensaios de dureza, densidade e compressão. Acredita-se que a dureza, a densidade, a rigidez, a energia perdida, a energia de retorno são as variáveis mais relevantes durante a análise da absorção do impacto. Inicialmente, tentou-se adicionar o ensaio de Charpy na caracterização dos corpos de prova (solados). Devido a sensibilidade do instrumento de medida (Charpy) e/ou da espessura dos corpos de prova (6mm) não foi possível realizar este ensaio. Outra limitação do estudo foi caracterizar a madeira (dureza), como descrito na limitação deste estudo.

4.1.1 Dureza

Com o ensaio de dureza foi possível diferenciar os materiais segundo a dureza. Na Figura 25 foram apresentadas as durezas dos solados utilizados neste estudo, estes são representados pela mediana de três medidas.

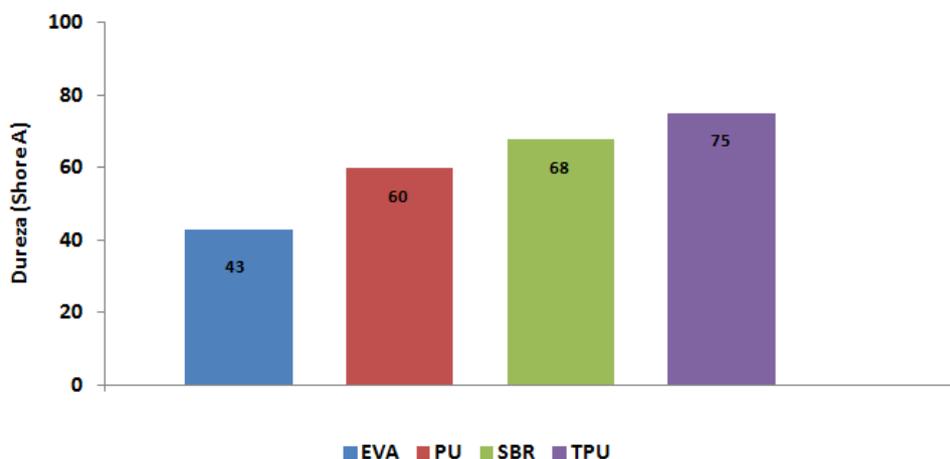


Figura 25. Mediana da dureza dos solados.

Conforme a Figura 25, observaram-se diferenças entre os materiais de acordo com a dureza. Dos materiais analisados (EVA, PU, SBR e TPU), o TPU apresentou maior dureza (75 shore A) e o com menor dureza foi o EVA (43 Shore A), aproximadamente 43% a menos. Os valores intermediários da dureza foi 60 Shore A para o PU e 68 Shore A para o SBR. Nas comparações entre as durezas dos materiais, verificou-se em relação ao TPU, que o solado com SBR foi aproximadamente 9% menor, o solado de PU foi aproximadamente 20% menor e o solado com EVA foi 43% menor, respectivamente.

Segundo a Patente da Nike n. 4535553 de 1983, a dureza da entressola do EVA deve ser superior a 25 Shore A. Já no estudo realizado por Faquin (2012), foram encontrados valores de dureza para solados de 66 Shore A, 77 Shore A e 78 Shore A para os calçados de futsal com solado de SBR, resultados estes que vão de encontro aos resultados deste estudo.

Nigg e colaboradores (2003) analisaram dois tipos de solados e encontraram durezas de 45 Shore C (elástico) e 26 Shore C (viscoelástico).

Nigg (2010) realizou um ensaio de absorção de impacto comparando o primeiro pico de força entre três tipos de solados, com durezas de 25 Shore A, 35 Shore A e 45 Shore A e os resultados encontrados foram similares. O autor sugere análises de modelos (conforme exemplo da Figura 09) para o melhor entendimento da absorção do impacto.

4.1.2 Densidade

Na Figura 26, foram apresentadas as médias das densidades do EVA, PU, SBR, TPU e Madeira. Sendo que, a densidade da madeira foi obtida da literatura.

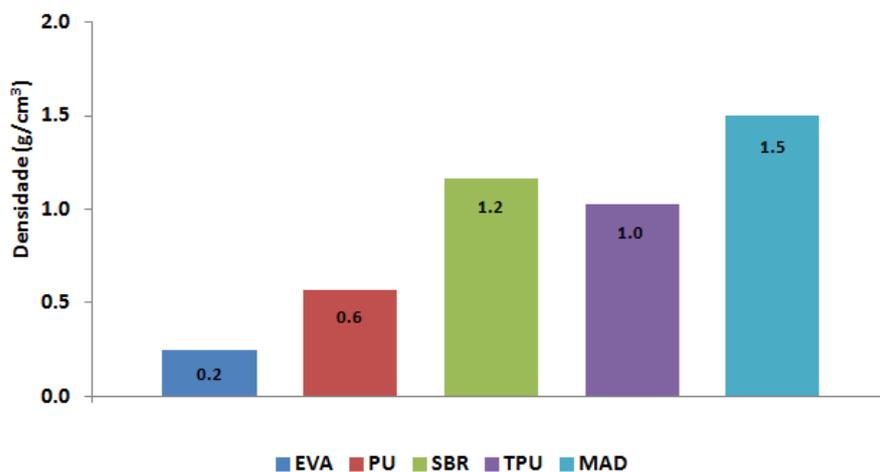


Figura 26. Média da densidade dos solados.

Conforme exposto na Figura 26, o EVA apresentou menor densidade ($0,2 \text{ g/cm}^3$) e as maiores densidades foram encontradas para o SBR ($1,2 \text{ g/cm}^3$) e para a madeira ($1,5 \text{ g/cm}^3$). Na comparação entre os materiais, observou-se que o SBR, TPU e Madeira foram aproximadamente cinco vezes superiores à densidade do EVA.

A vantagem das espumas termoplásticas (por exemplo, o EVA) é apresentar baixa densidade, leveza, flexibilidade, resistência a baixas temperaturas (CTCCA, 2002).

O termofixo (por exemplo, o PU) tem a vantagem de ser injetado diretamente no cabedal, geralmente são utilizados na área de equipamentos de proteção individual. Os PUs apresentam baixas densidades/durezas devido aos agentes de expansão e aos extensores de cadeias. Os PUs possuem ainda, alta resistência ao desgaste por abrasão e resistência a fadiga por flexão (CTCCA, 2002).

Os elastômeros (SBR) possuem altas densidades e durezas, possuem ainda, boa capacidade de resistência à abrasão (CTCCA, 2002).

O solado poliuretano termoplástico (TPU), apresenta alta densidade/dureza e tem como característica alta resistência ao rasgo, a fadiga por flexão e a perda por abrasão (CTCCA, 2002).

Para Verdejo & Mills (2004) o módulo de elasticidade do EVA aumenta com a densidade do material e ainda, existem diferenças nas densidades entre os calçados, isto é, um calçado com maior numeração possui maior densidade no solado, visto que necessita sustentar maior massa do sujeito.

4.1.3 Ensaio de compressão

Na Figura 27 encontram-se o comportamento das curvas do ensaio de compressão para todos os calçados na região do calcâneo. Neste ensaio foram quantificados: a energia absorvida, energia de retorno, energia perdida e a rigidez dos solados para os deslocamentos entre 2 a 3 mm.

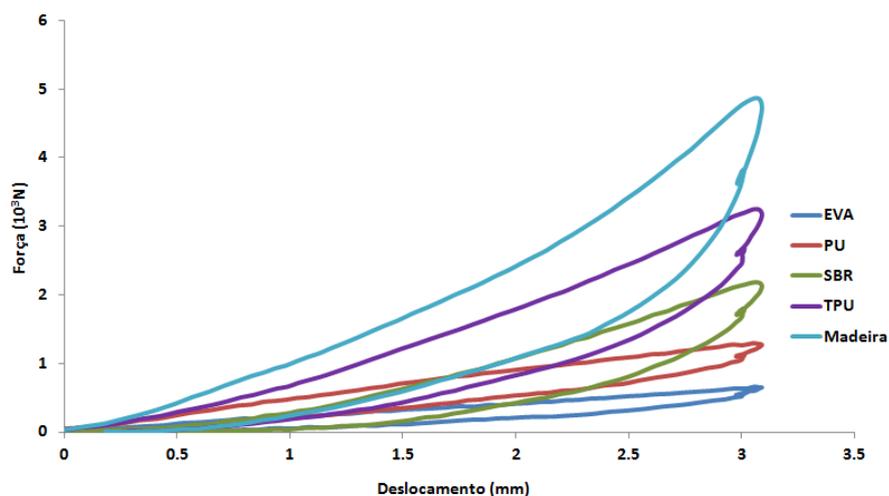


Figura 27. Curvas dos ensaios de compressão.

Conforme observado no ensaio de compressão (Figura 27), o calçado com solado de madeira necessitou maior quantidade de força para o mesmo deslocamento, quando comparado com os outros materiais. Nigg e Liu (1999) também utilizaram o ensaio de compressão para classificar a rigidez dos solados entre os calçados.

Através da Figura 27, foram verificadas diferentes características entre o carregamento e descarregamento do solado entre os calçados. Através do cálculo da integral da força em função do tempo foram determinados a energia aplicada, energia de retorno, e pela razão entre a energia aplicada e a energia de retorno foi determinada a energia perdida. Estes resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios dos materiais para as variáveis: Energia Absorvida, Energia de Retorno e Energia Perdida.

Variáveis	EVA	PU	SBR	TPU	MAD
Energia Absorvida (J)	1,0	2,1	2,5	4,2	5,9
Energia de Retorno (J)	0,5	1,3	1,3	2,2	3,0
Energia Perdida (%)	53	61	51	53	50

Com base na Tabela 3, observa-se que o calçado com solado de madeira apresentou energia absorvida aproximadamente cinco vezes superior à energia do calçado com solado de EVA. A menor diferença da energia absorvida entre os calçados ocorreu entre o solado de PU e SBR (16%).

Pela comparação os resultados da energia de retorno, observou-se que a maioria dos materiais retornaram aproximadamente 50% da energia absorvida. Verificou-se uma similaridade entre os resultados da energia de retorno entre o calçado com solado de PU e SBR (1,3 J). Estes resultados vão de encontro com Brückner e colaboradores (2010), neste estudo foram analisados os calçados com o solado de PU e outro com o solado de EVA. As densidades foram de $0,25 \text{ g/cm}^3$ no solado de PU e $0,30 \text{ g/cm}^3$ no solado de EVA. Os resultados da energia perdida foram de 57% para o calçado com solado de PU e 67% para o solado de EVA. Ainda segundo os autores, se a energia perdida do solado for muito baixa, poderia ocorrer alta probabilidade do usuário desenvolver lesão no sistema músculo-esquelético durante a atividade física.

Uma característica do elastômero (SBR) é a baixa histerese (energia perdida), conforme constatado neste estudo.

Acredita-se que, o material utilizado na entressola (Termoplástico) apresentou influência nos resultados do ensaio de compressão no calçado com solado de madeira. Supõem ainda, que o material da entressola possa ter influenciado as variáveis Biomecânicas também.

Na Figura 28, observam-se a rigidez dos solados, os resultados são decorrentes da análise do ensaio de compressão.

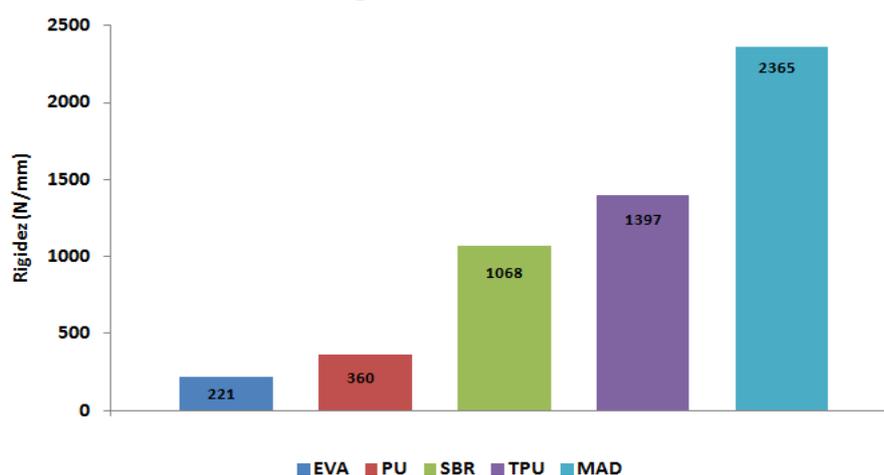


Figura 28. Média dos valores de Rigidez do solado para o intervalo 2 até 3 mm de deslocamento.

Observa-se na Figura 28 diferentes rigidez dos solados utilizados neste estudo. Verificou-se menor rigidez para o EVA (221 N/mm) enquanto o solado com maior rigidez foi a madeira (2365 N/mm). Na comparação dos resultados de rigidez é possível determinar que:

o EVA é aproximadamente 90% menor em relação à madeira; o PU é 85% menor que a madeira; o SBR é 55% menor que a madeira e o TPU é 41% menor que a madeira.

Acredita-se que, em trabalhos futuros a avaliação na estrutura molecular dos materiais poderá contribuir em um melhor entendimento da absorção do impacto. Segundo Canevarolo Jr. (2004) o comportamento deformacional dos polímeros é regido pela sua estrutura molecular.

Pressupõem-se ainda que a rigidez do material utilizado no solado possa ser um dos fatores que determinam as cargas (momentos) das articulações do tornozelo, joelho e quadril. Supõem-se ainda, em algumas patologias/lesões as propriedades mecânicas do solado possam contribuir/auxiliar na reabilitação dos sujeitos.

4.2 Análises da Componente Vertical da Força de Reação do Solo

Os calçados também foram avaliados quanto à capacidade de absorver o impacto durante a caminhada. Na componente vertical da força de reação do solo foram analisadas a: Taxa de aceitação do Peso (TAP) em diferentes faixas, Primeiro Pico de Força (PPF), Segundo Pico de Força (SPF).

4.2.1 Taxa de Aceitação do Peso (TAP)

A Taxa de aceitação do peso, que representa a inclinação da curva de Força Vertical após o toque do calcâneo foi analisada em diferentes faixas. Para análise da TAP neste estudo, determinou-se dois intervalos de tempo para verificar a inclinação da curva pela derivada. Na Figura 29, foram apresentadas as médias da TAP para o EVA, PU, SBR, TPU e Madeira entre 10% até 60% do PPF, com intervalos de 10% para cada faixa.

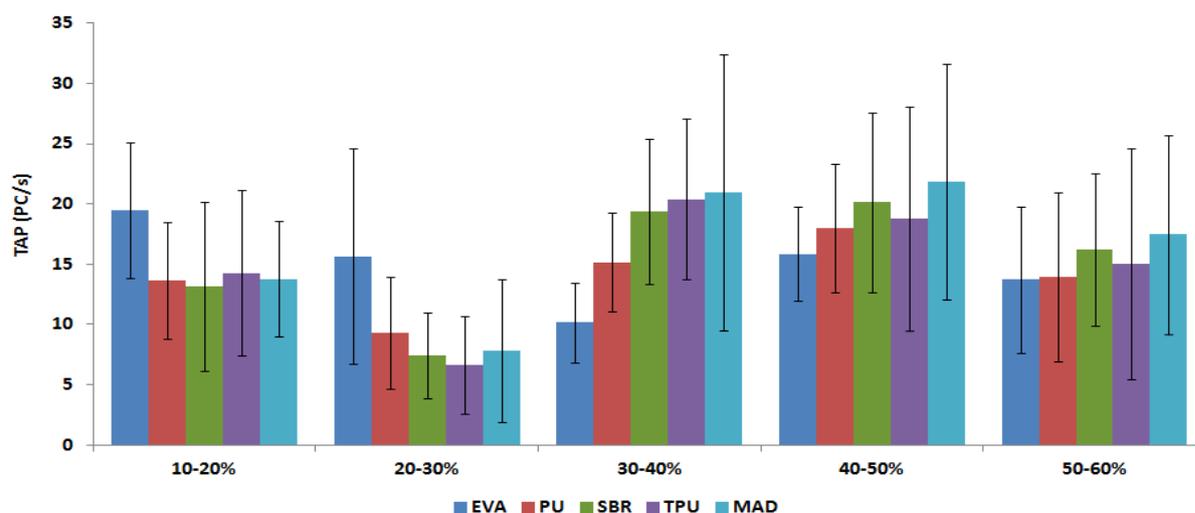


Figura 29. Médias da TAP para as faixas entre 10 a 60%.

Através dos resultados da Figura 29, encontraram-se valores médios de TAP entre 10 até 20% do PPF de: 19,46 PC/s ($\pm 5,61$ PC/s) para o EVA; 14,29 PC/s ($\pm 4,81$ PC/s) para o TPU, 13,79 PC/s ($\pm 4,81$ PC/s) para a madeira, 13,64 PC/s ($\pm 4,81$ PC/s) para o PU e 13,16 PC/s ($\pm 6,84$ PC/s) para o SBR.

Tabela 4. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 10 a 20% do PPF.

Material	EVA x PU	EVA x SBR	EVA x TPU	EVA x MAD
p	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

$p < 0,05$

Na tabela 4 foi apresentado o teste estatístico de post hoc – Scheffe para as médias da TAP entre as faixas de 10 e 20% do PPF. Constatou-se através dos teste estatístico diferenças significativas entre: o EVA e o PU ($p < 0,01$), o EVA e o TPU ($p < 0,01$), o EVA e o SBR ($p < 0,01$) e entre o EVA e a Madeira ($p < 0,01$). Para está faixa, o EVA apresentou diferenças estatísticas com todos os materiais analisados neste estudo. Na comparação, observou-se uma diminuição aproximadamente de 29% da TAP entre 10 a 20% do PPF do calçado com solado de EVA em relação aos demais.

Para os valores de TAP entre 20 a 30% do PPF, verificou-se que todas as médias apresentaram valores inferiores ao da faixa de TAP entre 10 a 20% do PPF. Através da Figura 29, verificou-se maior média de TAP para o calçado com solado de EVA (15,66 PC/s $\pm 8,94$ PC/s) em comparação aos demais, que apresentaram TAPs inferiores. A TAP do calçado com solado de PU foi 9,30 PC/s ($\pm 4,63$ PC/s), com solado de madeira foi 7,86 PC/s ($\pm 5,94$ PC/s),

para o solado de SBR foi 7,43 PC/s ($\pm 4,03$ PC/s) e para o calçado com solado de TPU foi 6,63 PC/s ($\pm 3,59$ PC/s). A Tabela 5 apresentou as diferenças estatísticas entre os materiais.

Tabela 5. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 20 a 30% do PPF.

Materiais	EVA x PU	EVA x TPU	EVA x SBR	EVA x MAD	PU x TPU
p	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05

$p < 0,05$

Na comparação estatística (Tabela 4), encontrou-se redução significativa entre a média da TAP do calçado com solado de EVA e o PU (41%). Ocorreu redução significativa entre a média da TAP de 20 a 30% do PPF do calçado com solado de EVA com o solado SBR de 52%, e entre o EVA e o TPU foi 58%. Para a TAP de 20 a 30% do PPF do calçado com solado de EVA foi 50% menor em relação ao calçado de solado de madeira. Ocorreu também redução significativa entre o calçado com solado de PU e TPU (29%).

Para a faixa de TAP entre 30 a 40% do PPF (Figura 29), observou-se correlação entre o aumento da TAP com o aumento da dureza/rigidez. Os valores médios encontrados de TAP para a faixa entre 30 a 40% do PPF foram: para o calçado com solado de EVA - 10,16 PC/s $\pm 3,32$ PC/s, para o calçado com solado de PU - 15,16 PC/s $\pm 4,11$ PC/s. Os maiores valores médios encontrados desta faixa foram para o calçado com solado SBR - 19,39 PC/s $\pm 6,67$ PC/s, TPU - 20,38 PC/s $\pm 6,00$ PC/s e para o calçado com solado de madeira - 20,91 PC/s $\pm 6,67$ PC/s.

Tabela 6. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 30 a 40% do PPF

Materiais	EVA x PU	EVA x SBR	EVA x TPU	EVA x MAD	PU x TPU	PU x SBR	PU x MAD
p	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

$p < 0,05$

Foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,01$) entre o calçado com solado EVA com os demais calçados – Tabela 6. Estas diferenças foram: 49% maior para o calçado com solado PU; 91% maior para o calçado com solado SBR; 100% maior para o calçado com solado TPU e 105% para o calçado com solado madeira. Também foram verificadas diferenças significativas entre a TAP de 30 a 40% do PPF ($p < 0,01$) entre o calçado com solado PU e TPU (26%), entre o calçado de solado PU e SBR (22%) e entre o calçado com solado PU e a madeira (27%), conforme Tabela 6.

Os valores médios da TAP na faixa entre 40 e 50% do PPF foram apresentados na Figura 29. Foi encontrado para esta faixa o menor valor de média no calçado com solado EVA (15,86 PC/s \pm 3,89 PC/s) e o maior valor foi encontrado no calçado com solado de madeira (22,50 PC/s \pm 10,59 PC/s). Os valores intermediários da TAP entre 40 e 50% foram para os calçados de PU (17,99 PC/s \pm 5,36 PC/s), TPU (18,96 PC/s \pm 7,54 PC/s) e o SBR (20,16 PC/s \pm 3,32 PC/s). As diferenças significativas ($p < 0,01$) encontradas foram entre o calçado com solado EVA e SBR (21%), o calçado com solado EVA e madeira (30%) e entre o solado PU e Madeira (20%), conforme Tabela 7.

Tabela 7. Valores do teste Post Hoc – Scheffé para valores médios da TAP entre 40 a 50% do PPF

Materiais	EVA x SBR	EVA x MAD	PU x MAD
<i>p</i>	<0,01	<0,01	<0,01
<i>p</i> <0,05			

Conforme exposto na Figura 29, a TAP na Faixa entre 50 a 60% do PPF apresentou variações nos resultados, encontrou-se o valor médio do tempo entre o contato do pé até 60% do PPF de 66,1 ms (\pm 2,9ms). Segundo Lieberman e colaboradores (2010); Barela e Duarte (2006) o impacto durante o movimento ocorre até os 50 ms após o contato do pé com o solo. Os 50 ms é o tempo de latência do músculo entre a percepção do estímulo para receber o impacto durante o movimento. Pressuponha que neste intervalo de tempo o material utilizado no solado deverá exercer a função de absorver o impacto.

Para a faixa da TAP entre 50 a 60% do PPF encontraram-se valores próximos nos calçados com solados de EVA e PU, as médias foram 13,88 PC/s (\pm 5,92 PC/s) para o Eva e 14,14 PC/s (\pm 7,34 PC/s) para o PU. Foram encontrados valores superiores de TAP para os materiais com maiores durezas, os resultados médios foram 15,34 PC/s (\pm 3,32 PC/s) para o TPU, 16,51 PC/s (\pm 9,56 PC/s) para o SBR e de 17,63 PC/s (\pm 9,07 PC/s) para a madeira.

Tabela 8. Valores do teste Post Hoc – Scheffé para valores médios da TAP entre 50 a 60% do PPF

Materiais	EVA x MAD	PU x MAD
<i>p</i>	<0,01	<0,05
<i>p</i> <0,05		

De acordo com a Tabela 8, a TAP entre 50 e 60% do PPF do calçado com solado de EVA foi significativamente ($p < 0,01$) menor em relação ao calçado com solado de madeira

(21%). Também foi encontrada diferença significativa ($p < 0,05$) entre o solado de PU e Madeira (20%).

De acordo com Nigg (2010), o impacto é uma variável importante para a etiologia das lesões em corredores. Segundo o autor, a velocidade da corrida e a dureza do solado são dois fatores que podem influenciar o impacto e a taxa de aceitação do peso. Repetitivos impactos podem provocar inúmeras lesões principalmente em corredores, incluindo fratura por stress (metatarsal e na tíbia), desgaste na cartilagem e osteoartrite (SHORTEN, 2000).

A inclinação da curva da força vertical também foi analisada fixando o ponto de início e alternando o segundo ponto. A Figura 30 mostrou os valores médios da TAP entre 10 a 60% do PPF, considerando a faixa inicial os 10% do PPF e alternando a segunda faixa até 60% do PPF. As variações da TAP foram analisadas entre 10 a 20%; 10 a 30%; 10 a 40%; 10 a 50% e entre 10 a 60% do PPF.

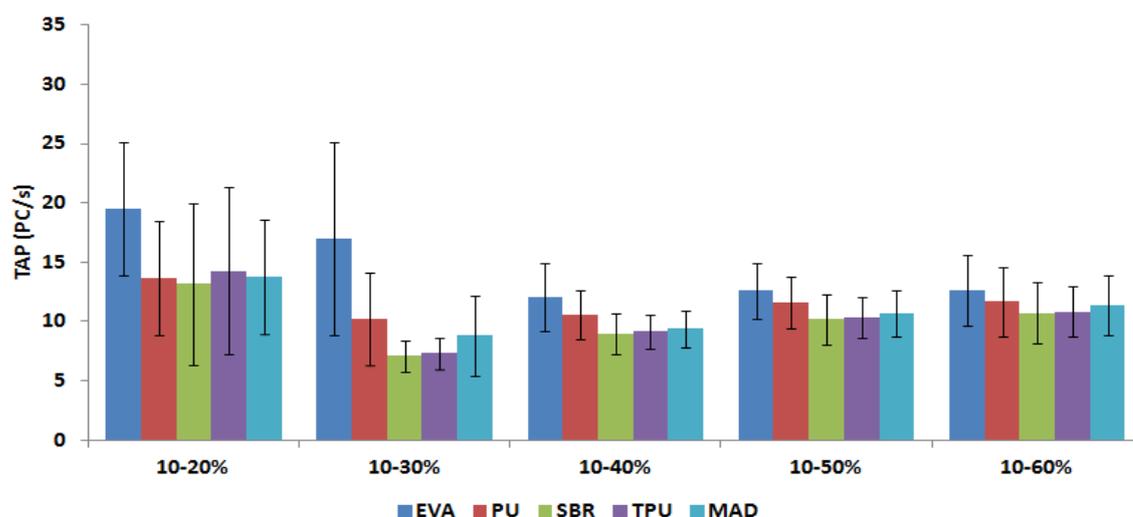


Figura 30. Média da TAP para as faixas entre 10 a 60%.

Na Figura 30, observaram-se em todas as faixas que o solado de EVA apresentou valores superiores aos demais solados. A faixa de TAP entre 10 a 20% do PPF foi comentada anteriormente.

Conforme exposto na Figura 30, foram apresentados valores médios de TAP entre 10 a 30% do PPF. Verificou-se maior valor médio de TAP para o EVA (17,01 PC/s ($\pm 8,11$ PC/s)). Ocorreram diferenças significativas ($p < 0,01$) entre as médias da TAP do calçado EVA em relação ao PU (39%) (TAP do PU - 10,25 PC/s $\pm 3,90$ PC/s), entre a TAP do calçado com solado EVA e a madeira (48%) (TAP da madeira - 8,82 PC/s $\pm 3,36$ PC/s), entre a TAP do

calçado com solado EVA e TPU (57%) (TAP do TPU - 7,34 PC/s \pm 1,32 PC/s) e entre a TAP do calçado com solado EVA e SBR (58%) (TAP do SBR - 7,10 PC/s \pm 1,29 PC/s). Também encontraram-se diferenças significativas ($p < 0,01$) entre as médias da TAP do calçado com solado PU em relação ao TPU (28%) e entre o calçado PU em relação SBR (31%), conforme Tabela 9.

Tabela 9. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 10 a 30% do PPF

Materiais	EVA x PU	EVA x SBR	EVA x TPU	EVA x MAD	PU x TPU	PU x SBR
<i>p</i>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

$p < 0,05$

Para a TAP na faixa entre 10 a 40% do PPF foram apresentadas as médias na Figura 30. Encontraram-se maiores valores médios de TAP para os calçados com solado EVA (12,06 PC/s \pm 2,82 PC/s) e PU (10,58 PC/s \pm 2,01 PC/s). Os demais calçados apresentaram médias muito próximas (madeira - 9,39 PC/s (\pm 1,59 PC/s); TPU - 9,15 PC/s (\pm 1,42 PC/s) e SBR (8,96 PC/s \pm 1,71 PC/s)). Na comparação entre as médias, verificaram-se diferenças significativas ($p < 0,01$) entre o calçado com solado EVA em relação PU (12%); entre o solado EVA em relação ao TPU (24%); entre o solado EVA em relação SBR (26%) e a madeira (22%). Diferenças significativas ($p < 0,01$) também foram encontradas entre o calçado com solado PU com em relação ao solado: TPU (14%); SBR (15%) e madeira (11%), conforme Tabela 10.

Tabela 10. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 10 a 40% do PPF

Materiais	EVA x PU	EVA x TPU	EVA x SBR	EVA x MAD	PU x TPU	PU x SBR	PU x MAD
<i>p</i>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

$p < 0,05$

Na Figura 30, foram mostradas as médias de TAP na faixa entre 10 a 50% do PPF. Através dos resultados foram encontrados maiores valores da TAP para os materiais com menores durezas/densidades (EVA - 12,61 PC/s \pm 2,35 PC/s, PU - 11,64 PC/s \pm 2,19 PC/s). Entretanto, foram encontrados menores valores para o calçado com solado madeira (10,70 PC/s \pm 1,97 PC/s), TPU (10,36 PC/s \pm 1,73 PC/s) e o SBR (10,21 \pm 2,13 PC/s). Conforme exposto na Figura 30, observaram-se diferenças significativas entre os calçados com solados EVA em relação ao PU (7%, $p < 0,05$); EVA em relação ao TPU (18%, $p < 0,01$); EVA em relação ao SBR (19%, $p < 0,01$) e entre o EVA e a madeira (15%, $p < 0,01$). Na comparação

entre os calçados, verificaram-se diferenças significativas entre os calçados com solados PU e TPU (11%, $p < 0,01$); PU em relação ao SBR (12%, $p < 0,01$) e entre o solado PU e a madeira (8%, $p < 0,05$), conforme Tabela 11. As mesmas diferenças estatísticas encontradas na TAP de 10 a 40% do PPF foram encontradas na TAP entre 10 a 50% do PPF.

Tabela 11. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 10 a 50% do PPF

Materiais	EVA x PU	EVA x TPU	EVA x SBR	EVA x MAD	PU x TPU	PU x SBR	PU x MAD
<i>p</i>	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05

$p < 0,05$

Outra faixa de TAP analisada entre os calçados foi entre 10 a 60% do PPF, conforme Figura 30. Para esta faixa de análise, observou-se estar fora da variação temporal de ocorrência do impacto, que é até os 50 ms após o contado do pé no solo (Barela e Duarte, 2006; Lieberman et al, 2010). Na TAP entre 10 a 60% do PPF o calçado com solado EVA apresentou maior média (12,60 PC/s \pm 2,96 PC/s). Os demais calçados apresentaram médias inferiores ao EVA (TAP do solado de PU - 11,70 PC/s \pm 2,91 PC/s; TAP do solado madeira - 11,37 PC/s \pm 2,50 PC/s; TAP do solado de TPU - 10,86 PC/s \pm 2,11 PC/s e TAP do calçado de SBR - 10,74 PC/s \pm 2,61 PC/s). Também, foram encontradas diferenças significativas entre o solado EVA em relação TPU (14%, $p < 0,01$), EVA em relação ao SBR (15%, $p < 0,01$) e entre o EVA em relação ao calçado com solado madeira (10%, $p < 0,05$), conforme Tabela 12.

Tabela 12. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da TAP entre 10 a 60% do PPF

Materiais	EVA x TPU	EVA x SBR	EVA x MAD
<i>p</i>	<0,01	<0,01	<0,05

$p < 0,05$

Os resultados de TAP para as faixas entre 10 a 90% e entre 20 a 80% do PPF foram apresentadas na Figura 31. Os resultados encontrados para a TAP entre 10 a 90% foram para o calçado com solado EVA de 9,13 PC/s (\pm 1,99 PC/s); PU de 9,04 PC/s (\pm 2,65 PC/s); SBR de 8,60 PC/s (\pm 1,92 PC/s); TPU de 8,58 PC/s (\pm 1,69 PC/s) e a madeira de 8,80 PC/s (\pm 1,50 PC/s). Através de análise estatística não foram encontradas diferenças significativas entre as médias, para o nível de confiança de 95%.

Para a TAP na faixa entre 20 a 80% do PPF foram encontradas médias de: 9,26 PC/s (\pm 3,01 PC/s) para o solado EVA; 9,42 PC/s (\pm 3,22 PC/s) para o solado PU; 9,13 PC/s (\pm 2,11 PC/s) para o solado SBR; 9,28 PC/s (\pm 2,08 PC/s) para o solado TPU e 9,20 PC/s (\pm 2,12 PC/s)

para o solado madeira, conforme Figura 31. Assim como ocorreu na TAP entre 10 a 90%, a TAP na faixa entre 20 a 80% do PPF não foram encontradas diferenças significativas entre as médias ($p < 0,05$).

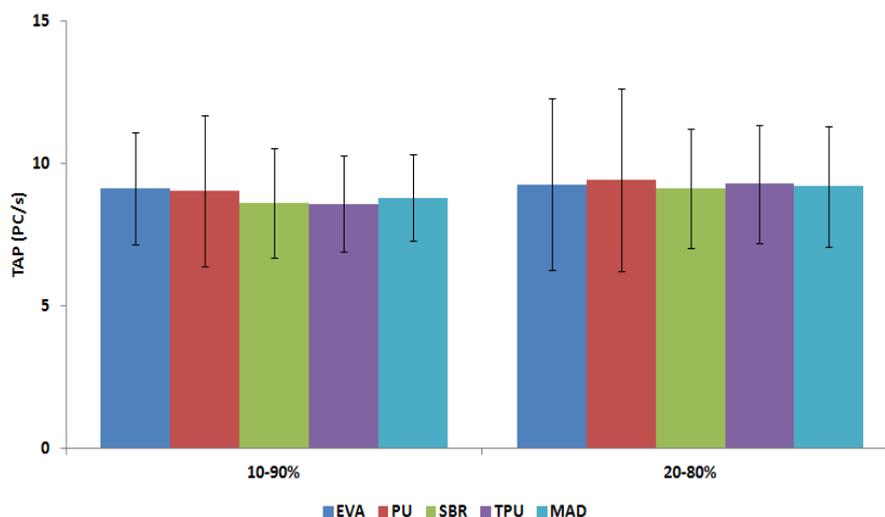


Figura 31. Média da TAP para as faixas entre 10 a 90% e entre 20 a 80%.

Na literatura é possível encontrar vários trabalhos (Hamill et al, 1983; Munro et al, 1987, Nigg et al, 1987) que relatam o aumento do impacto com o aumento da velocidade. Mas poucos trabalhos comparam as propriedades do material correlacionando com o impacto.

Crowell e colaboradores (2010) através de *feedback* visual induziu os participantes do estudo durante a corrida reduzir o impacto. Neste estudo foram encontradas reduções significativas nos picos de aceleração tibial e na TAP entre 20 a 80% do pico de impacto durante a corrida com o auxílio visual (*feedback* visual).

Segundo Shorten (2000), o amortecimento do calçado contribui na distribuição das forças externas sobre o pé durante o movimento, reduzindo os picos de pressão e atenuando a onda de choque sobre o sistema músculo-esquelético. Para o autor, o impacto e a magnitude da onda de choque estão relacionadas com a massa do indivíduo, velocidade do movimento, propriedades do solado e as propriedades da superfície.

Seguindo o conceito de Shorten, pressupõe-se que a absorção do impacto é resultado da troca de momento que o membro inferior realiza com o solo durante o movimento. Durante a absorção do impacto ocorrem trocas na taxa do momento que é dependente da velocidade do movimento, da massa efetiva atuando no pé, da rigidez do membro inferior e da capacidade de amortecimento do pé/perna. Desta forma, para minimizar o impacto durante o movimento

é necessário alterar a cinemática do movimento ou adicionar materiais que tenham capacidade de absorver a energia durante o impacto. No caso deste trabalho, utilizaram-se diferentes materiais de solados com o objetivo de verificar se ocorrem diferentes comportamentos durante o movimento.

Presume-se, que as diferenças em algumas faixas da TAP (por exemplo, entre 10 e 20% e entre 20 e 30% do PPF) entre os materiais não foram evidentes devido a espessura do material utilizado, e/ou, por o calçado apresentar entressola de TR, e/ou, adaptações neurológicas/muscular durante o movimento.

Para Ker (1996), o pé possui um dispositivo natural de amortecimento, por exemplo, o coxim adiposo. Este dispositivo tem capacidade de absorver até 33% da energia durante a absorção do impacto. Segundo Shorten (1993), Wang e colaboradores (1994), a utilização de material viscoelástico na região do calcâneo tem função de incrementar a dissipação de energia.

Acredita-se ainda, que as faixas da TAP entre 10 a 90% e 20 a 80% são bons indicadores para a reabilitação de pacientes ou para análise do impacto durante a marcha/corrída. Estas faixas não apresentam parâmetros suficientes para avaliar materiais utilizados em solados ou níveis de conforto.

4.2.2 Primeiro pico da força vertical

O primeiro pico de força é uma variável importante e é muito utilizada por muitos pesquisadores. Segundo Hamill e Knutzen (1999), a componente vertical da força de reação do solo apresenta maior magnitude em relação às forças horizontais (ântero-posterior e a médio-lateral). Segundo Sammarco e Hockenbury (2003), durante a absorção do impacto na marcha ocorrem simultaneamente o movimento eversão da articulação subtalar (pronação) e a adaptação do pé a irregularidade do solo. Para Nigg (2010), na fase de impacto estão concentradas as maiores frequências durante o movimento e esta fase é classificada como fase passiva do movimento. Segundo Bartlett (1999), a magnitude do impacto, a taxa de aceitação do peso e a variação do tempo em que ocorrem são fatores relevantes para gerar uma lesão. Neste período de absorção do impacto estão concentradas as altas frequências, estas frequências são superiores a 30 Hz.

Os resultados encontrados do primeiro pico de força para os calçados foram apresentados na Figura 32. Foram encontradas médias iguais para alguns calçados, por exemplo, nos solados EVA e SBR foram encontradas médias de 1,16 PC ($\pm 0,07$ PC). Os calçados com solados PU e TPU apresentaram médias de 1,15 PC ($\pm 0,07$ PC) e a madeira também apresentou o mesmo valor, somente divergindo o desvio padrão (1,15 PC $\pm 0,06$ PC). Na comparação entre as médias não foram encontradas diferenças significativas entre os materiais, para um nível de confiança de 95%.

Nigg (2010) analisou o primeiro pico de força comparando três diferentes durezas (25 shore A, 35 Shore A e 45 Shore A) e correlacionou com o aumento da velocidade. O autor encontrou menores médias do PPF nos calçados com maiores durezas.

Acredita-se que, o método utilizado por muitos pesquisadores em analisar o primeiro pico de força venha ser a forma incorreta. Neste estudo, o objetivo foi verificar se ocorrem diferenças nas variáveis que caracterizam o impacto com diferentes materiais na região do calcâneo.

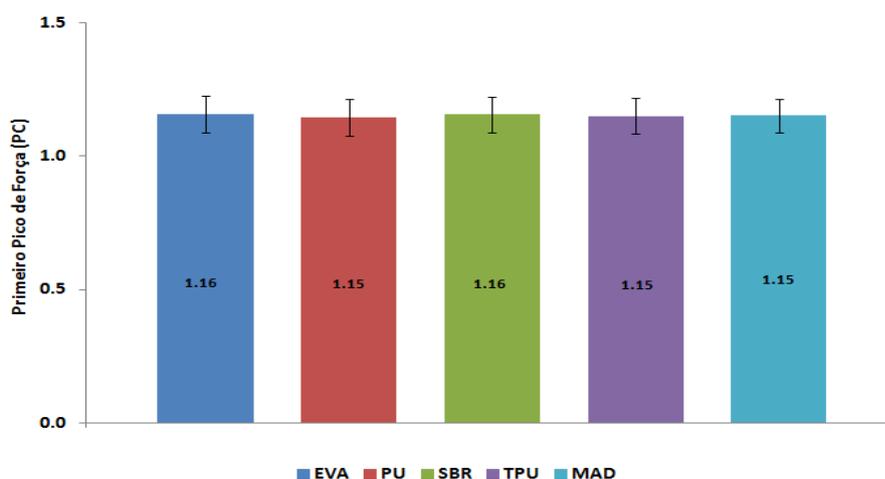


Figura 32. Valores médios do primeiro pico de força.

Verificou-se, ainda, a variação do tempo entre o toque do calcâneo até o primeiro pico de força para todos os calçados na Figura 33. Observaram-se maiores variações do tempo entre o toque do calcâneo até o PPF para os calçados com solados SBR (164 ms ± 18 ms), TPU (164 ms ± 14 ms) e PU (163 ms ± 22 ms). Entretanto, as menores variações do tempo entre o contato do pé até o PPF foram encontradas no calçado com solados de EVA (161 ms ± 22 ms) e madeira (158 ms ± 14 ms). Já a maior variação ocorreu entre os solados SBR e TPU em

relação ao solado de madeira (4%). Nas comparações entre as médias, não foram encontradas diferenças significativas entre os calçados na variação do tempo entre o contato do pé até o PPF, para um nível de confiança de 95%.

Um resultado surpreendente na variação do tempo entre o contato do pé no solo até o primeiro pico de força foi os solados SBR e TPU apresentarem maiores médias. Acredita-se que, a função do material macio é prolongar o tempo na absorção do impacto. Entretanto isto não foi constatado nos resultados apresentados na figura 33. De acordo com Whittle (1999), durante o movimento ocorre um incremento no tempo quando há materiais mais espesso e com capacidade de amortecimento na região da absorção do impacto.

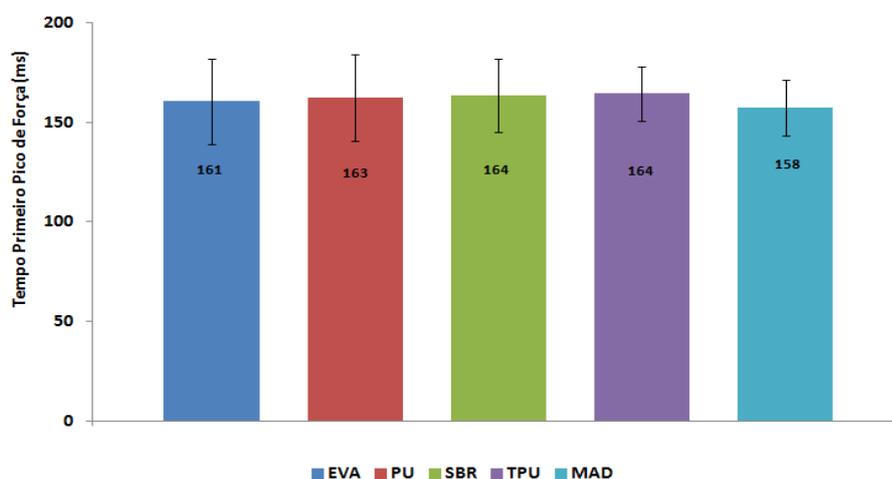


Figura 33. Valores médios do tempo entre o contato do pé nos solo até o primeiro pico de força.

Nas variáveis analisadas anteriormente (PPF e o tempo do PPF), não foram encontradas diferenças significativas. Entretanto, podem-se encontrar comportamentos diferentes entre o contato do pé até o primeiro pico de força. Para determinar se ocorrem comportamentos diferentes, foi calculada a integral da força em função do tempo (impulsão). Os resultados encontrados da impulsão entre o contato do pé no solo até o PPF foram apresentados na Figura 34.

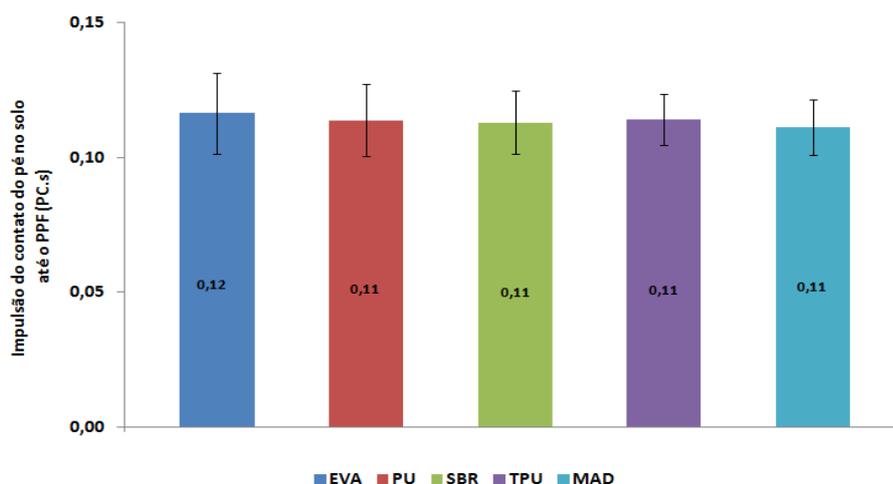


Figura 34. Valores médios de Impulsão entre o contato do pé até o primeiro pico de força vertical.

Através da Figura 34, foi possível verificar maior valor de impulsão do contato do pé no solo até o PPF no calçado com solado EVA (0,12 PC.s \pm 0,02PC.s), entretanto, nos demais solados (PU, SBR, TPU e madeira) foram encontradas impulsões menores (0,11 PC.s \pm 0,01PC.s). Na comparação estatística das médias através do ensaio de Post-Hoc – teste de Scheffe, foram encontradas diferenças entre os calçados com solado EVA e madeira ($p < 0,01$) e entre o solado PU e a Madeira ($p < 0,05$), conforme Tabela 13.

Tabela 13. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da impulsão entre o contato do pé até o primeiro pico de força.

Materiais	EVA x MAD	PU x MAD
<i>p</i>	<0,01	<0,05

$p < 0,05$

De acordo com os resultados encontrados, não foram encontradas diferenças entre os materiais para o primeiro pico de força e para a variação do tempo entre o contato do pé no solo até o primeiro pico de força. Presumia-se que, solados com diferentes propriedades mecânicas poderiam apresentar comportamentos diferentes. Sendo assim, foram encontradas diferenças significativas na impulsão entre o contato do pé até o primeiro pico de força entre os calçados com propriedades mecânicas extremas. Presume-se ainda, que o primeiro pico de força não é variável a ser analisada para determinar a absorção do impacto, no entanto, a impulsão entre o contato do pé até o primeiro pico de força pode ser uma variável contribuinte na análise da absorção do impacto.

4.2.3 Segundo pico da força vertical

Outra variável analisada neste estudo foi o segundo pico de força durante a marcha. Pressupõe que, durante o impacto quando utilizam-se materiais de diferentes absorção de energia poderão ocorrer variações significativas nas variáveis durante a fase de propulsão. A Figura 35 apresentou os valores médios da magnitude do segundo pico de força dos solados durante a marcha. Através da Figura 35, foram encontradas médias similares entre os calçados com solados de EVA e madeira (1,15 PC \pm 0,06 PC). Também foram encontrados valores similares entre os calçado com solado de PU, SBR e TPU (1,16 PC \pm 0,06 PC). Nas comparações entre as médias, não foram encontradas diferenças significativas entre os calçados para o segundo pico de força, para o nível de confiança de 95%.

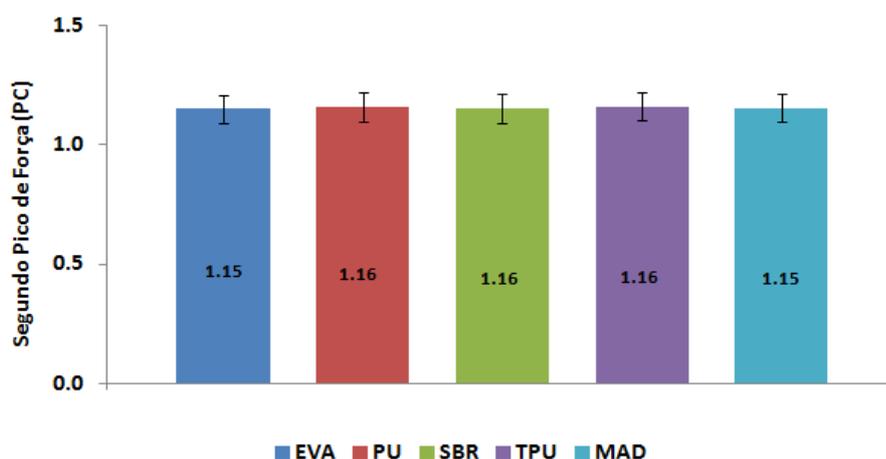


Figura 35. Valores médios do segundo pico de força.

Verificou-se, ainda, a variação do tempo entre o contato do pé até o segundo pico de força durante a marcha, cujos resultados foram apresentados na Figura 36. Os maiores valores foram encontrados no calçado com solado SBR (535 ms \pm 22ms), TPU (532 ms \pm 17 ms), PU (531 ms \pm 17 ms), entretanto, as menores variações ocorreram no calçado com solado EVA (527 ms \pm 21ms) e madeira (524 ms \pm 19ms). Na comparação das médias, foi encontrada diferença significativa ($p < 0,01$) entre os calçados com solados SBR e madeira (2%), conforme a Tabela 14.

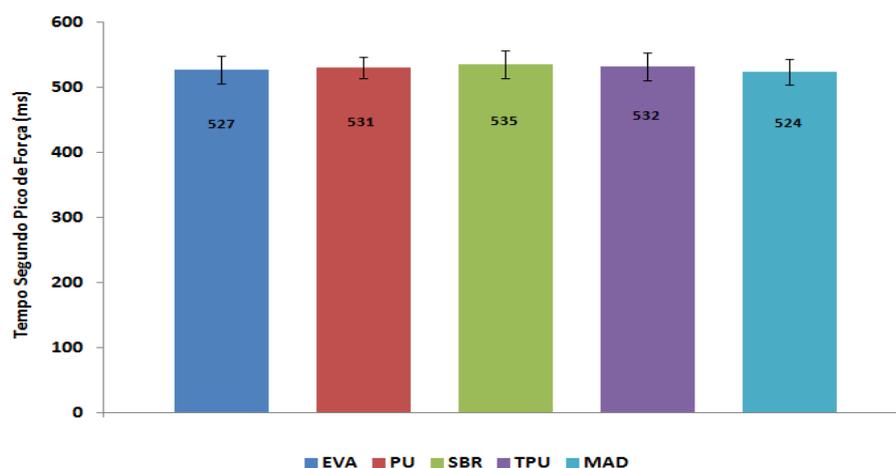


Figura 36. Valores médios do Tempo entre o contato do pé até o segundo pico de força.

Tabela 14. Valores do teste Post Hoc – Scheffé para valores médios do tempo entre o contato do pé no solo até o segundo pico de força.

Materiais	SBR x MAD
<i>p</i>	<0,01
<i>p</i> <0,05	

Com as diferentes propriedades mecânicas nos solados, acreditava-se que durante a fase de propulsão poderiam ocorrer diferenças estatísticas entre os calçados, por exemplo, na magnitude do pico de propulsão e a variação do tempo para ocorrer o pico. Conforme apresentado nas Figuras 35 e 36 não foram encontradas diferenças entre os calçados com propriedades mecânicas extremas, entretanto, encontraram-se diferenças entre os solados com propriedades mecânicas similares (SBR e madeira).

4.3 Análises da Força ântero-posterior

A força ântero-posterior apresenta intensidades inferiores quando comparada com a força vertical. Estes valores são apresentados no itens 4.3.1 e 4.3.2. Para as variáveis da força ântero-posterior foram analisadas: pico de força ântero-posterior e tempo de ocorrência da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto e durante a fase de propulsão. Será analisada, ainda, a impulsão durante a fase de absorção do impacto e durante a fase de propulsão.

4.3.1 Força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto

Na Figura 37 foram apresentadas as médias dos picos da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto para os calçados com solados de EVA, PU, SBR, TPU e madeira. Observaram-se valores similares nos calçados com solados EVA, TPU, SBR e madeira ($0,21 \text{ PC} \pm 0,04 \text{ PC}$). O calçado com solado PU apresentou pico da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto de $0,20 \text{ PC} (\pm 0,05 \text{ PC})$. Na comparação das médias, não foram observadas diferenças significativas para os picos da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto, com um nível de confiança de 95%.

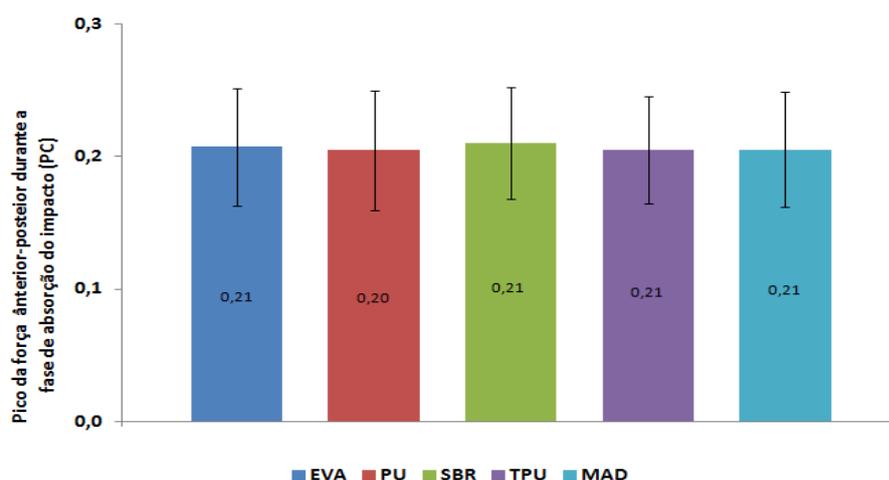


Figura 37. Valores médios do Pico de Força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto.

Foi verificada, ainda, a variação do tempo entre o contato do pé até o pico da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto. Na Figura 38, encontraram-se valores médios da variação do tempo do pico da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto. Observaram-se maiores variações do tempo para os calçados com solado: SBR ($127 \text{ ms} \pm 15 \text{ ms}$); TPU ($124 \text{ ms} \pm 13 \text{ ms}$) e PU ($120 \text{ ms} \pm 15 \text{ ms}$). Entretanto, observaram-se menores variações para o solado Madeira ($118 \text{ ms} \pm 11 \text{ ms}$) e EVA ($117 \text{ ms} \pm 14 \text{ ms}$).

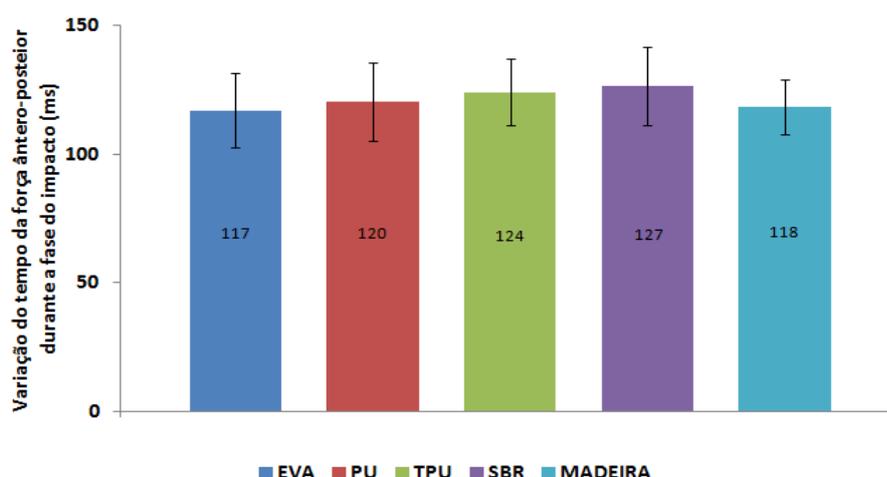


Figura 38. Valores médios do Tempo até o Pico de Força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto.

Foram encontradas diferenças significativas na variação do tempo entre o contato do pé até o pico da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto entre os calçados com solados: EVA em relação ao TPU (6%, $p < 0,01$); EVA em relação ao SBR (9%, $p < 0,01$); PU em relação ao SBR (6%, $p < 0,05$); TPU em relação à madeira (5%, $p < 0,05$) e entre o SBR em relação à madeira (8%, $p < 0,01$), conforme Tabela 15.

Tabela 15. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios do tempo da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto.

Materiais	EVA x TPU	EVA x SBR	PU x SBR	TPU x MAD	SBR x MAD
<i>p</i>	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	<0,01
<i>p</i> <0,05					

Com o objetivo de analisar as possíveis diferenças entre os calçados, foi analisada a área entre o contato do pé até o pico máximo da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto. Os resultados da impulsão entre o contato do pé até o pico da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto foram apresentados na Figura 39.

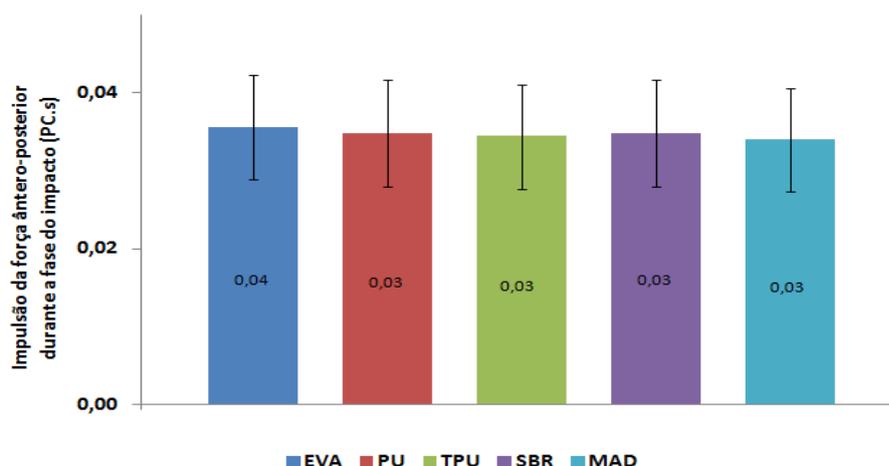


Figura 39. Valores médios de Impulsão da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto.

Através dos resultados apresentados na Figura 39, verificaram-se valores similares de impulsão entre o contato do pé até o pico da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto para os calçados PU, SBR, TPU e madeira ($0,03 \text{ PC.s} \pm 0,01 \text{ PC.s}$). O calçado EVA foi encontrado valor médio superior de impulsão dos demais no calçado ($0,04 \text{ PC.s} \pm 0,01 \text{ PC.s}$). Na comparação entre as médias não foram encontradas diferenças significativas entre os calçados, para nível de confiança de 95%.

Pressuponha que materiais com menores propriedades mecânicas apresentem menores picos da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto e maiores variações do tempo para ocorrer o pico. Entretanto, foi encontrada a média da variação do tempo do solado de madeira muito próxima dos calçados com baixas propriedades mecânicas (EVA e PU).

4.3.2 Força ântero-posterior durante a fase de propulsão

Da mesma forma, como foram analisados os resultados da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto, também foram analisados os resultados durante a fase de propulsão. Na Figura 40, foi possível verificar os valores médios do pico da força ântero-posterior durante a fase de propulsão. Verificaram-se valores similares do pico da força ântero-posterior durante a fase de propulsão para os calçados com solado EVA, PU, TPU ($0,22 \text{ PC} \pm 0,02 \text{ PC}$). Entretanto, encontraram-se menores médias nos calçados com solados SBR e madeira ($0,21 \text{ PC} \pm 0,02 \text{ PC}$). Na comparação entre as médias não foram encontradas diferenças significativas entre os calçados, para nível de confiança de 95%.

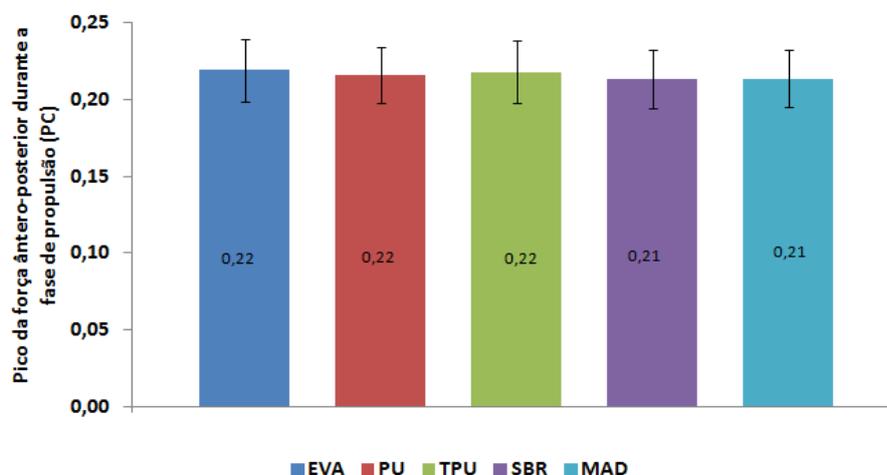


Figura 40. Valores médios do Pico da Força ântero-posterior durante a fase de propulsão.

As variações do tempo entre o contato do pé até o pico da força ântero-posterior durante a fase de propulsão foram apresentadas na Figura 41. Observaram-se maiores variações nos calçados com solados: SBR (600 ms \pm 25ms); TPU (597 ms \pm 21ms) e PU (595 ms \pm 20ms). Entretanto, verificaram-se menores médias nos calçados EVA (592 ms \pm 21ms) e madeira (500 ms \pm 23ms).

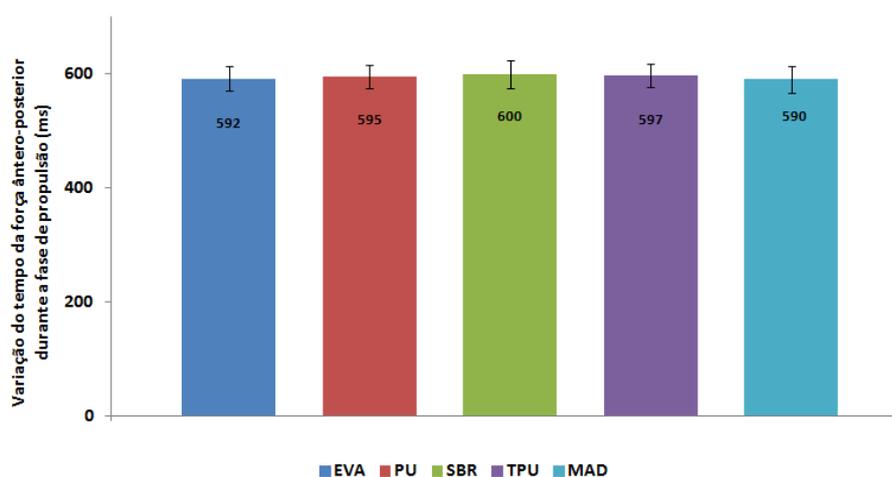


Figura 41. Valores médios do Tempo até o Pico de Força ântero-posterior durante a fase de propulsão.

Através da comparação das médias, foi encontrada diferença significativa ($p < 0,05$) entre o calçado com solado SBR em relação à madeira (2%) – Tabela 16.

Tabela 16. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios do Tempo do Pico de Força Posterior.

Materiais	SBR x MAD
<i>p</i>	<0,05
p<0,05	

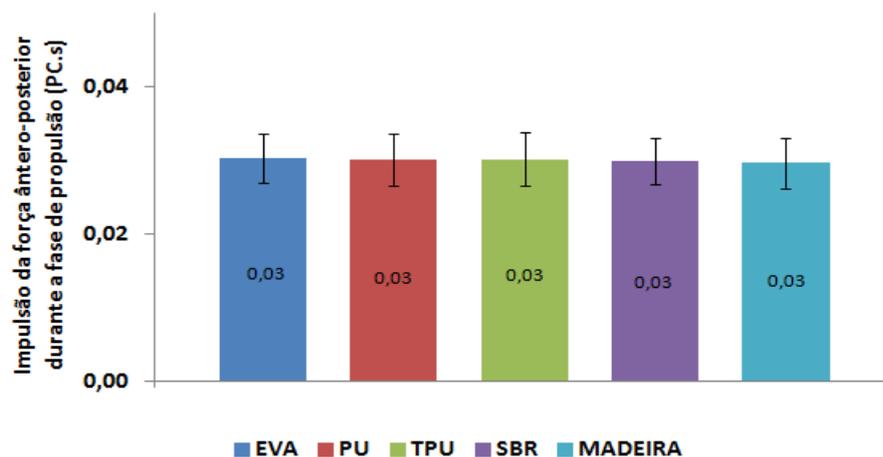


Figura 42. Valores médios da impulsão da força ântero-posterior durante a fase de propulsão.

Também foi analisada a impulsão durante a fase de propulsão da força ântero-posterior, conforme exposto na Figura 42. Verificaram-se valores médios de impulsão durante a fase de propulsão para os calçados de 0,03 PC.s. Na comparação entre as médias, não foram encontradas diferenças significativas para o nível de significância de 95%.

4.3 Análises da aceleração

De acordo com Whittle (1999), o transiente de aceleração nos membros inferiores tem sido referenciado como a onda de choque. Para mensurar a onda de choque é utilizado acelerômetros, isto é, pode ser fixado sobre as saliências dos ossos ou nos tecidos moles.

Com os acelerômetros fixados na região lateral do calçado e na região medial da tibia foram mensurados a aceleração entre o calçado e a tibia após o contato do pé com o solo. Através da aceleração foram analisadas as variáveis: aceleração do calçado, tempo de aceleração do calçado, taxa de aceitação de aceleração do calçado, aceleração tibial e transmissibilidade de aceleração.

4.3.1 Aceleração do calçado

Através dos acelerômetros fixados na região lateral do calçado foi possível mensurar a onda de choque gerada no toque do calçado no solo durante a marcha. A Figura 43 apresenta a média dos resultados da aceleração do calçado.

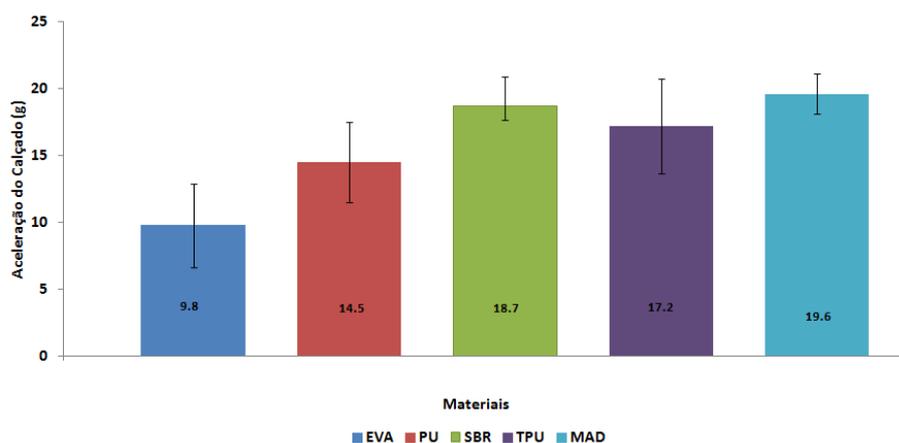


Figura 43. Valores médios da aceleração do calçado durante a marcha.

Encontraram-se médias superiores para os calçados com solados madeira (19,6 g \pm 1,5 g), SBR (18,7 g \pm 2,2 g) e TPU (17,2 g \pm 3,5 g). Foram encontradas menores médias nos calçados com solados PU (14,5 g \pm 3,0 g) e EVA (9,8 g \pm 3,1 g). Na comparação entre as médias, verificaram-se diferenças significativas em todos os calçados, exceto entre os calçados com solados SBR e madeira. As diferenças encontradas entre os calçados foram: EVA e PU (48%, $p < 0,01$); EVA e TPU (76%, $p < 0,01$); EVA e SBR (91%, $p < 0,01$); EVA e madeira (100%, $p < 0,01$); PU e TPU (19%, $p < 0,01$); PU e SBR (29%, $p < 0,01$); PU e madeira (35%, $p < 0,01$); TPU e SBR (9%, $p < 0,01$) e TPU e madeira (14%, $p < 0,01$), conforme Tabela 17.

Tabela 17. Valores do teste Post Hoc – Scheffé para valores médios da aceleração do Calçado.

	EVA	EVA	EVA	EVA	PU	PU	PU	TPU	TPU
Materiais	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	PU	TPU	SBR	MAD	TPU	SBR	MAD	SBR	MAD
P	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

$p < 0,05$

Também foi analisada a variação do tempo entre o contato do pé no solo até o pico máximo de aceleração do calçado. A Figura 44 apresentou os valores médios para todos os

calçados. Foram encontradas maiores variações no tempo nos calçados com menores durezas, isto é, o calçado com solado EVA (5.2 ms \pm 0,7 ms) e o calçado com solado PU (4,1ms \pm 0,6ms), entretanto, foram encontradas menores médias nos calçados com maiores durezas/densidades/rigidez (TPU - 3,6 ms \pm 0,6ms ; SBR - 2,7ms \pm 0,6ms; madeira - 1,3ms \pm 0,06ms), conforme Figura 44.

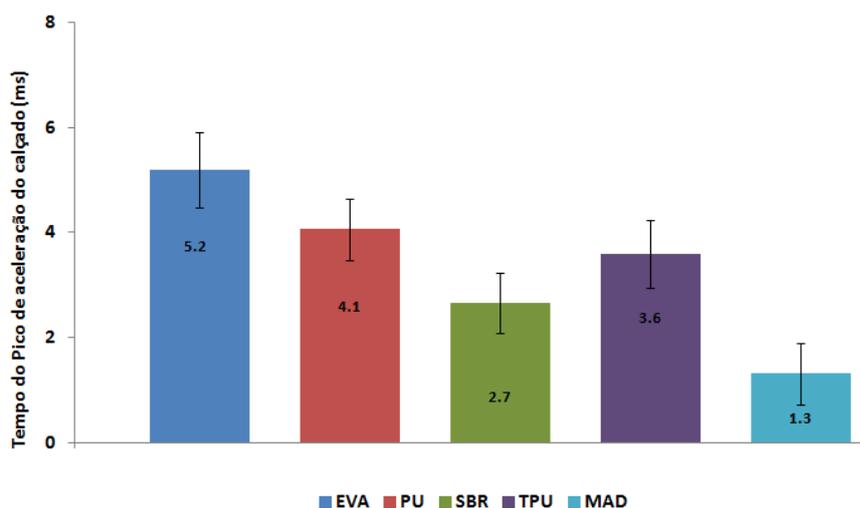


Figura 44. Valores médios do tempo do Pico de aceleração do calçado durante a marcha.

Nas comparações estatísticas das médias, foram encontradas diferenças significativas entre todos os calçados para a variação entre o contato do pé no solo até o pico máximo de aceleração do calçado. Estas diferenças foram entre os calçados com solados: EVA e PU (22%); EVA e TPU (31%); EVA e SBR (49%); EVA e madeira (75%); PU e TPU (11%); PU e SBR (35%); PU e madeira (68%); TPU e SBR (26%); TPU e madeira (64%); SBR e madeira (51%), conforme apresentando na Tabela 18.

Tabela 18. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios do Tempo do Pico de aceleração do Calçado.

Materiais	EVA X PU	EVA x TPU	EVA x SBR	EVA X MAD	PU x TPU	PU x SBR	PU x MAD	TPU x SBR	TPU x MAD	SBR x MAD
p	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

$p < 0,05$.

De acordo com os resultados da Figura 43 e Tabela 17, pressupõe tais diferenças possam estar relacionadas com propriedades mecânicas dos materiais. Como já era esperado,

os materiais com menores propriedades mecânicas apresentam menores acelerações e maiores variações no tempo de aceleração do calçados.

Assim como foi analisada a taxa de aceitação do peso através da força vertical, também foi calculada a derivada da aceleração do calçado em função do tempo, esta variável foi determinada como sendo a taxa de aceitação da aceleração do calçado. Os valores médios da taxa de aceitação de aceleração do calçado (TAAC) são apresentados na Figura 45.

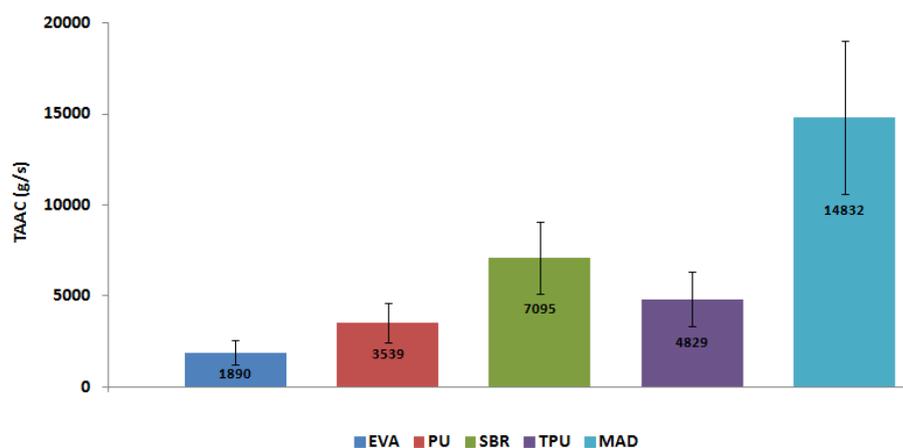


Figura 45. Valores médios da Taxa de Aceitação de aceleração do calçado.

Através da Figura 45, foram encontradas maiores taxa de aceitação de aceleração nos calçados com solados SBR (7095 g/s \pm 1999 g/s) e madeira (14834 g/s \pm 4224 g/s), entretanto, foram encontradas menores médias da taxa de aceitação de aceleração os calçados TPU (4829 g/s \pm 1487g/s), PU (3539 g/s \pm 1077g/s) e EVA (1890 g/s \pm 676g/s). Observam-se diferenças significativas entre todos os calçados, para o nível de significância de 95%, conforme Tabela 19.

Tabela 19. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios do Taxa de aceitação de aceleração do calçado.

Materiais	EVA	EVA	EVA	EVA	PU	PU	PU	TPU	TPU	SBR
	X	x	x	X	x	x	x	x	x	x
	PU	TPU	SBR	MAD	TPU	SBR	MAD	SBR	MAD	MAD
p	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

$p < 0,05$.

Observou-se que, apesar dos dados da aceleração do calçado entre os solados SBR e madeira serem próximos, os solados apresentaram variações na variação do tempo do pico de

aceleração do calçado, entretanto, apresentaram taxas de aceitação de aceleração diferentes. O fato interessante foi que a TAV do calçado com solado SBR foi a metade da aceleração do calçado com solado de madeira. Acredita-se que a TAV apresenta parâmetros para avaliação de conforto em calçados.

4.3.2 Aceleração tibial

Com o objetivo de investigar as vibrações provenientes do choque no solo durante a marcha, foi fixado o acelerômetro na região medial da tíbia. Os resultados foram apresentados na Figura 46.

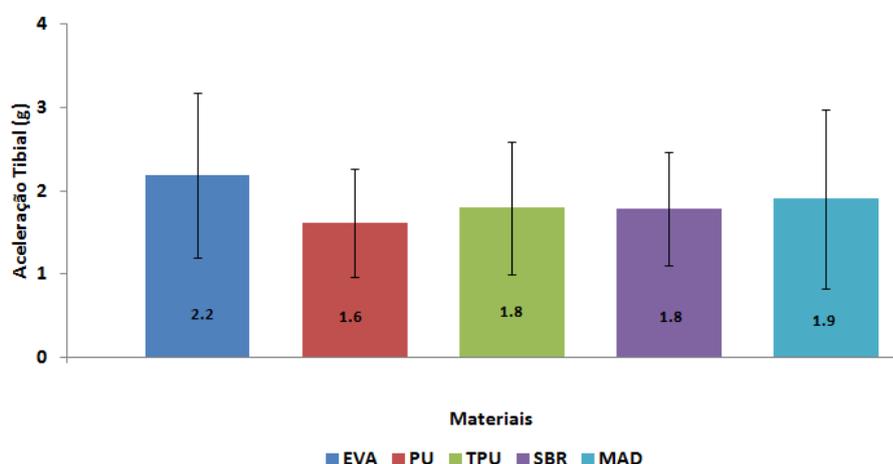


Figura 46. Valores médios da aceleração tibial.

Através dos resultados apresentados na Figura 46, observou-se maior média na aceleração tibial no calçado com solados EVA (2,2 g \pm 1g), entretanto, foi verificado menor média no calçado com solado PU (1,6 g \pm 0,6g). Também, foram encontrados valores similares entre os calçados SBR (1,8 g \pm 0,7g) e TPU (1,8 g \pm 0,8g). Na comparação entre as médias, foram encontradas diferenças significativas no calçado com solado EVA em relação aos demais calçados (PU, SBR, TPU e madeira). Estas diferenças foram: EVA em relação ao PU (26%, $p < 0,01$); EVA em relação ao TPU (18%, $p < 0,05$); EVA em relação ao SBR (18%, $p < 0,05$); EVA em relação à madeira (13%, $p < 0,05$), conforme Tabela 20.

Crowell e colaboradores (2010) encontraram diferenças significativas nos pico de aceleração tibial com o uso de feedback visual durante a marcha. Neste estudo, o objetivo foi

reeducar a marcha e, com feedback visual reduzir os valores da TAP e os picos da aceleração tibial.

Tabela 20. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios da aceleração tibial.

Materiais	EVA x PU	EVA x TPU	EVA x SBR	EVA x MAD
p	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05

$p < 0,05$

De acordo com os resultados da Figura 46, pressupõe que a aceleração tibial não apresente informações suficientes para a determinação do conforto durante o caminhar e/ou até mesmo diferencias propriedades mecânicas dos solados. Através dos resultados encontrados, verificou-se que o solado EVA apresentou maior aceleração. Acredita-se que tal resultado possa estar relacionado com a baixa dureza do material ou a capacidade de absorver a energia.

4.3.3 Transmissibilidade de aceleração

Através da relação entre a aceleração do calçado e a aceleração da tíbia, foi realizada a comparação para verificar a transmissibilidade de aceleração dissipada no sistema músculo-esquelético. Os resultados foram apresentados na Figura 47.

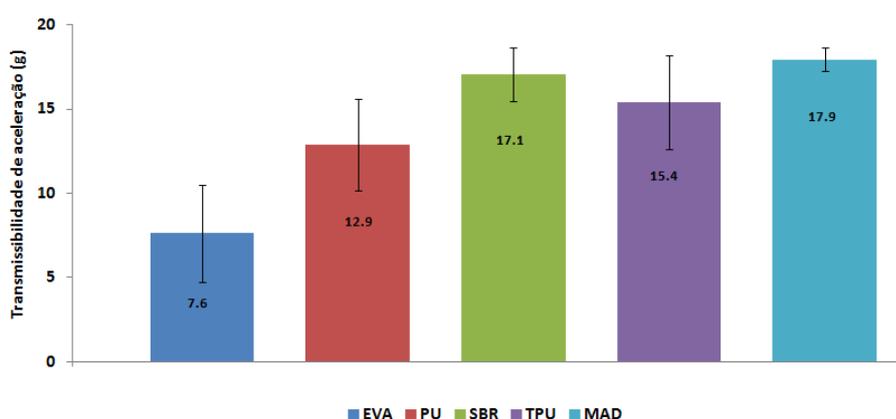


Figura 47. Valores médios da Transmissibilidade de aceleração.

Observaram-se maiores médias da transmissibilidade de aceleração nos calçados com maiores rigidez (madeira, SBR e TPU). As maiores médias foram: 17,9 g ($\pm 0,7$ g) para o

calçado de madeira; 17,1 g ($\pm 1,6$ g) para o calçado SBR; 15,4 g ($\pm 2,8$ g) para o calçado TPU. As menores médias de transmissibilidade de aceleração foram encontradas nos calçados com solados EVA (7,6g $\pm 2,9$ g) e PU (12,9 g $\pm 2,7$ g). Na comparação das médias foram encontradas diferenças significativas no calçado com solado EVA com os demais solados (PU, TPU, SBR e madeira). Estas diferenças foram nos calçados com solados: EVA em relação ao PU (69%, $p < 0,01$); EVA em relação ao TPU (102%, $p < 0,01$); EVA em relação ao SBR (124%, $p < 0,01$); EVA em relação à madeira (135%, $p < 0,01$); PU em relação ao TPU (20%, $p < 0,01$); PU em relação ao SBR (32%, $p < 0,01$); PU em relação à madeira (39%, $p < 0,01$); TPU em relação ao SBR (11%, $p < 0,01$); TPU em relação à madeira (17%, $p < 0,01$), conforme Tabela 21. Não foi encontrada diferença significativa entre os calçados com solados SBR e madeira, para o nível de significância de 95%.

Tabela 21. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores de transmissibilidade de aceleração.

Materiais	EVA	EVA	EVA	EVA	PU	PU	PU	TPU	TPU
	X	x	x	x	x	x	X	x	x
	PU	TPU	SBR	MAD	TPU	SBR	MAD	SBR	MAD
<i>p</i>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

$p < 0,05$

Também foi verificado o tempo que ocorreu a transmissibilidade de aceleração entre os calçados, ou seja, o tempo entre o pico de aceleração do calçado em relação ao pico de aceleração tibial, conforme Figura 48.

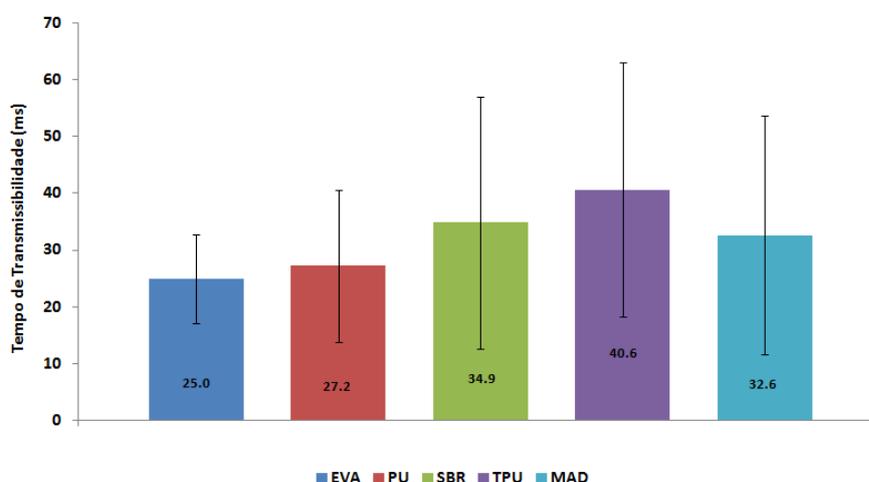


Figura 48. Valores médios do Tempo de Transmissibilidade de aceleração.

Conforme a Figura 48, foi encontrada maior média na variação do tempo de transmissibilidade de aceleração no calçado com solado TPU ($40,6 \pm 22,4$ ms). Entretanto, verificaram-se menores variações nos calçados com solados: SBR ($34,9 \pm 22,2$ ms); madeira ($32,6 \pm 21,1$ ms); PU ($27,2 \text{ ms} \pm 13,4$ ms) e EVA ($25 \text{ ms} \pm 7,8$ ms). Foram encontradas diferenças significativas entre os calçados com solados: EVA em relação ao TPU (63%, $p < 0,01$); EVA em relação ao SBR (40%, $p < 0,01$); EVA em relação à madeira (31%, $p < 0,01$) e entre o PU em relação ao TPU (49%, $p < 0,01$), conforme Tabela 22.

Tabela 22. Valores do teste Post Hoc – Scheffe para valores médios do tempo de transmissibilidade de aceleração.

Materiais	EVA x TPU	EVA x SBR	EVA x MAD	PU x TPU
<i>p</i>	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01

$p < 0,05$

Como era esperado, os materiais com maiores propriedades mecânicas apresentarem maiores transmissibilidade de aceleração, conforme constatado nos calçados com solados SBR, TPU e madeira (Figura 47).

Supõem que a alta transmissibilidade de aceleração e a taxa de aceitação de aceleração nos calçados com solados com maiores durezas, esteja relacionada com o que Nigg (2004) correlacionou o alto índice de lesões decorrente do impacto durante o movimento.

Pela comparação entre a transmissibilidade de aceleração e a variação da transmissibilidade, pressupõe-se que a velocidade da transmissibilidade de aceleração possa ser superior no calçado de madeira, tendo em vista a alta transmissibilidade em baixa variação de tempo (Figuras 47 e 48)

Acredita-se ainda, que a transmissibilidade de aceleração, isto é, a relação entre aceleração do calçado e a aceleração tibial poderia ser uma variável importante para a determinação da quantidade de aceleração dissipada no sistema músculo-esquelético.

4.4 Correlações entre as variáveis

Neste estudo, foram verificadas as possíveis correlações significativas entre as variáveis para o nível de confiança de 95%. Na Tabela 23, foram apresentadas as correlações significativas entre a dureza com as demais variáveis do estudo.

Tabela 23. Correlação de Pearson entre a Dureza com as demais variáveis com nível de significância de 5%.

Correlações	Correlação de	
	Pearson	<i>p</i>
Dureza vs. TAP 10 a 30% do PPF	-0,970	0,030
Dureza vs. TAP 10 a 40% do PPF	-0,960	0,040
Dureza vs. TAP 20 a 30% do PPF	-0,981	0,019
Dureza vs. TAP 30 a 40% do PPF	0,989	0,011
Dureza vs. Impulsão da força ântero-posterior durante o impacto	-0,951	0,049
Dureza vs. Tempo do Primeiro Pico de Força	1,000	<0,001

p<0,05

Através da Tabela 23, constatou-se que a dureza apresenta correlação inversamente proporcional em algumas faixas da TAP. Entretanto, verificou-se correlação forte entre a dureza e a TAP entre 30 a 40% do PPF. Como era esperado, ocorreu correlação significativa entre a dureza com o tempo entre o contato do pé até o pico primeiro pico de força e entre a impulsão da força ântero-posterior durante o impacto, conforme Tabela 23.

Na Tabela 24, foram apresentadas as correlações significativas (*p*<0,05) entre a densidade e as demais variáveis do estudo. Pressupõe-se que a densidade poderia apresentar outras correlações com a inclinação da curva da força durante a absorção do impacto. Entretanto, foi verificada correlação forte (inversamente) entre a densidade e a impulsão entre o contato do pé até o primeiro pico de força. Acreditava-se ainda, que a densidade poderia apresentar correlação forte com a aceleração do calçado e a aceleração tibial durante o movimento, no entanto, mas foram encontradas correlações significativas entre as variáveis, isto poderia estar relacionado a adaptações neurológicas/muscular durante o movimento.

Tabela 24. Correlação de Pearson entre a Densidade com as demais variáveis com nível de significância de 5%.

Correlações	Correlação de	
	Pearson	<i>p</i>
Densidade vs. Energia Absorvida	0,884	0,047
Densidade vs. Energia de Retorno	0,939	0,022
Densidade vs. TAP 40 a 50% do PPF	0,948	0,014
Densidade vs. Impulsão até o PPF	-0,978	0,004
Densidade vs. Impulsão da Força ântero-posterior durante a fase do Impacto	-0,975	0,005
Densidade vs. Impulsão da Força ântero-posterior durante fase de Propulsão	-0,944	0,016
Densidade vs. Taxa de aceitação da aceleração do calçado	0,904	0,035
Densidade vs. Tempo do contato até o Pico máximo de aceleração do calçado	0,936	0,019
Densidade vs. Transmissibilidade de aceleração	0,881	0,049

p<0,05

Na Tabela 25, foram verificadas correlações significativas entre a rigidez e as demais variáveis. De acordo com a Tabela 25, observam-se correlação forte com a TAP entre 40 e 50% do PPF e entre 50 e 60% do PPF. Pressupõem-se que a espessura do material analisado (espessura do solado neste estudo foi de 6 mm) poderia estar influenciando na correlação entre a rigidez com a TAP na faixa entre 10 até 40% do PPF. Estimava-se ainda, que a rigidez poderia apresentar correlação significativa com a aceleração do calçado e a transmissibilidade de aceleração, isto é, calçados com maiores propriedades mecânicas no solado poderiam apresentar maiores transmissibilidade de aceleração e aceleração do calçado durante o movimento. Isto não foi constatado nos resultados apresentados na Tabela 25 nas correlações para o nível de confiança de 95%.

Tabela 25. Correlação de Pearson entre a Rigidez com as demais variáveis com nível de significância de 5%.

Correlações		Correlação de Pearson	<i>p</i>
Rigidez vs.	TAP 40 a 50% do PPF	0,921	0,026
Rigidez vs.	TAP 50 a 60% do PPF	0,914	0,030
Rigidez vs.	Impulsão da Força ântero-posterior durante a fase do Impacto	-0,896	0,040
Rigidez vs.	Taxa de aceitação da aceleração do calçado	0,926	0,024
Rigidez vs.	Tempo do contato até o Pico máximo de aceleração do calçado	-0,910	0,032

$p < 0,05$

A correlação entre a aceleração do calçado e as demais variáveis foi apresentada na Tabela 26. Verificou-se que ocorrem correlações significativas entre a aceleração do solado do calçado em relação à TAP para diferentes faixas, em alguns casos as correlação são inversamente proporcionais. Observou-se que não ocorreram correlações significativas entre a aceleração do calçado com as propriedades mecânicas.

Tabela 26. Correlação de Pearson entre a aceleração do calçado com as demais variáveis com nível de significância de 5%.

Correlações	Correlação de Pearson	<i>p</i>
Aceleração do Calçado vs. TAP 10 a 30% do PPF	-0,922	0,026
Aceleração do Calçado vs. TAP 20 a 30% do PPF	-0,916	0,029
Aceleração do Calçado vs. TAP 30 a 40% do PPF	0,973	0,005
Aceleração do Calçado vs. TAP 40 a 50% do PPF	0,941	0,017
Aceleração do Calçado vs. TAP 50 a 60% do PPF	0,884	0,047
Aceleração do Calçado vs. TAP 10 a 40% do PPF	-0,961	0,009
Aceleração do Calçado vs. TAP 10 a 50% do PPF	-0,939	0,018
Aceleração do Calçado vs. Impulsão até o PPF	-0,925	0,024
Aceleração do Calçado vs. Tempo aceleração do Calçado	-0,924	0,025
Aceleração do Calçado vs. Transmissibilidade de aceleração	0,999	<0,001

$p < 0,05$

Também foram realizadas correlações entre a taxa de aceitação da aceleração com as demais variáveis do estudo, com um nível de confiança de 95%. Os resultados da correlação da taxa de aceitação da aceleração com as demais variáveis estão apresentadas na Tabela 27. Observaram-se correlações significativas da taxa de aceitação da aceleração com a densidade e a rigidez. Entretanto, pressupunha-se ocorrer correlações significativas entre a taxa de aceitação da aceleração do calçado com a dureza, tendo em vista que ocorreram correlações significativas entre a TAV com a densidade e a rigidez.

Tabela 27. Correlação de Pearson entre a Taxa de aceitação da aceleração do calçado com as demais variáveis com nível de significância de 5%.

Correlações	Correlação de Pearson	<i>p</i>
TAAC vs. Densidade	0,904	0,035
TAAC vs. Rigidez	0,926	0,024
TAAC vs. Impulsão da Força ântero-posterior durante fase de Propulsão	-0,960	0,009
TAAC vs. Impulsão até o PPF	-0,912	0,031
TAAC vs. TAP 40 a 50% do PPF	0,946	0,015
TAAC vs. TAP 50 a 60% do PPF	0,936	0,019
TAAC vs. Tempo aceleração do Calçado	-0,956	0,011

$p < 0,05$

Através da correlação de Pearson, na Tabela 28, observaram-se correlações significativas da transmissibilidade de aceleração com as demais variáveis do estudo.

Tabela 28. Correlação de Pearson entre a Transmissibilidade de aceleração do calçado com as demais variáveis com nível de significância de 5%.

Correlações	Correlação de Pearson	<i>p</i>
Transmissibilidade vs. Densidade	0,881	0,049
Transmissibilidade vs. Impulsão até o PPF	-0,928	0,002
Transmissibilidade vs. Aceleração do Calçado	0,999	<0,001
Transmissibilidade vs. TAP 10 a 20% do PPF	-0,883	0,047
Transmissibilidade vs. TAP 10 a 30% do PPF	-0,927	0,024
Transmissibilidade vs. TAP 10 a 40% do PPF	-0,960	0,010
Transmissibilidade vs. TAP 10 a 50% do PPF	-0,936	0,019
Transmissibilidade vs. TAP 20 a 30% do PPF	-0,922	0,026
Transmissibilidade vs. TAP 30 a 40% do PPF	0,970	0,006
Transmissibilidade vs. TAP 40 a 50% do PPF	0,938	0,018
Transmissibilidade vs. Tempo aceleração do Calçado	-0,921	0,026

$p < 0,05$

A partir da correlação de Pearson, a Tabela 29, observou-se correlação significativa entre a TAP de 10 a 20% do PPF em relação à transmissibilidade de aceleração ($r=-0,883$; $p=0,047$).

Tabela 29. Correlação de Pearson entre a TAP de 10 a 20% do PPF e a Transmissibilidade de aceleração do calçado.

Correlações	Correlação de Pearson	p
TAP 10 a 20% do PPF vs. Transmissibilidade de aceleração	-0,883	0,047

$p<0,05$

Na Tabela 30, foram encontradas as correlações significativas ($p<0,05$) entre a TAP de 20 a 30% do PPF em relação: a TAP de 20 a 30% do primeiro pico de força; a dureza ($r=-0,981$; $p=0,019$); a aceleração do calçado ($r=-0,916$; $p=0,029$); a Transmissibilidade de aceleração ($r=-0,922$; $p=0,026$).

Tabela 30. Correlação de Pearson entre a TAP de 20 a 30% do PPF com as demais variáveis do estudo.

Correlações	Correlação de Pearson	p
TAP 20 a 30% do PPF vs. Dureza	-0,981	0,019
TAP 20 a 30% do PPF vs. Aceleração do Calçado	-0,916	0,029
TAP 20 a 30% do PPF vs. Transmissibilidade de aceleração	-0,922	0,026

$p<0,05$

As correlações significativas para a TAP entre 30 a 40% do primeiro pico de força e as demais variáveis do estudo, foram apresentadas na Tabela 31. Foram encontradas correlações significativas entre a TAP de 30 a 40% do PPF em relação: a dureza ($r=0,989$; $p=0,011$); aceleração do calçado ($r=0,973$; $p=0,005$); a impulsão da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto ($r=-0,879$; $p=0,049$) e a transmissibilidade de aceleração ($r=0,970$; $p=0,006$).

Tabela 31. Correlação de Pearson entre a TAP de 30 a 40% do PPF com as demais variáveis do estudo.

Correlações	Correlação de Pearson	p
TAP 30 a 40% do PPF vs. Dureza	0,989	0,011
TAP 30 a 40% do PPF vs. Aceleração do Calçado	0,973	0,005
TAP 30 a 40% do PPF vs. Impulsão da Força ântero-posterior durante a fase do Impacto	-0,879	0,049
TAP 30 a 40% do PPF vs. Transmissibilidade de aceleração	0,970	0,006

$p<0,05$

Na Tabela 32, observaram-se correlações significativas entre a TAP de 40 a 50% do primeiro pico de força com: a densidade ($r=0,948$; $p=0,014$); rigidez ($r=0,921$; $p=0,026$); a aceleração do calçado ($r=0,941$; $p=0,017$); a taxa de aceitação da aceleração ($r=0,946$; $p=0,015$); a transmissibilidade de aceleração ($r=0,938$; $p=0,018$). Também, encontraram-se correlações significativas, porém inversamente proporcional entre a TAP de 40 a 50% do PPF e: a impulsão do contato do pé no solo até o primeiro pico de força ($r=-0,979$; $p=0,004$); a impulsão da força ântero-posterior durante a fase de absorção do impacto ($r=-0,905$; $p=0,011$); a impulsão da força ântero-posterior durante a fase de propulsão ($r=-0,956$; $p=0,011$) e o tempo do contato ate o pico de aceleração do calçado ($r=-0,998$; $p<0,001$), conforme Tabela 32.

Tabela 32. Correlação de Pearson entre a TAP de 40 a 50% do PPF com as demais variáveis do estudo.

Correlações	Correlação de Pearson	<i>p</i>
TAP 40 a 50% do PPF vs. Densidade	0,948	0,014
TAP 40 a 50% do PPF vs. Rigidez	0,921	0,026
TAP 40 a 50% do PPF vs. Aceleração do Calçado	0,941	0,017
TAP 40 a 50% do PPF vs. Taxa de aceitação de aceleração do calçado	0,946	0,015
TAP 40 a 50% do PPF vs. Transmissibilidade de aceleração	0,938	0,018
TAP 40 a 50% do PPF vs. Impulsão do contato do pé no solo até o primeiro pico de força	-0,979	0,004
TAP 40 a 50% do PPF vs. Impulsão da Força ântero-posterior durante a fase do impacto	-0,905	0,035
TAP 40 a 50% do PPF vs. Impulsão da Força ântero-posterior durante a fase de propulsão	-0,956	0,011
TAP 40 a 50% do PPF vs. Tempo do Pico de aceleração do Calçado	-0,998	<0,001

$p<0,05$

Observaram-se ainda, correlações significativas entre a TAP entre 50 a 60% do primeiro pico de força com as demais variáveis na Tabela 33. Foram encontradas correlações significativas entre a TAP entre 50 a 60% PPF com: a rigidez ($r=0,914$; $p=0,030$); a aceleração do calçado ($r=0,884$; $p=0,047$); a taxa de aceitação da aceleração ($r=0,936$; $p=0,019$). As correlações inversas encontradas entre a TAP de 50 a 60% do PPF e: a impulsão do contato do pé no solo até o primeiro pico de força ($r=-0,889$; $p=0,043$); a impulsão da força ântero-posterior durante a fase de propulsão ($r=0,898$; $p=0,039$) e o tempo do pico de aceleração do calçado ($r=-0,968$; $p=0,007$), conforme Tabela 33.

Tabela 33. Correlação de Pearson entre a TAP de 50 a 60% do PPF com as demais variáveis do estudo.

Correlações	Correlação de Pearson	<i>p</i>
TAP 50 a 60% do PPF vs. Rigidez	0,914	0,030
TAP 50 a 60% do PPF vs. Aceleração do Calçado	0,884	0,047
TAP 50 a 60% do PPF vs. Taxa de aceitação de aceleração do calçado	0,936	0,019
TAP 50 a 60% do PPF vs. Impulsão do contato até o primeiro pico de força	-0,889	0,043
TAP 50 a 60% do PPF vs. Impulsão da força ântero-posterior durante a fase de propulsão	-0,898	0,039
TAP 50 a 60% do PPF vs. Tempo do Pico de aceleração do calçado	-0,968	0,007

$p < 0,05$

Também foram correlacionados a TAP entre 10 a 30% do Primeiro Pico de Força com as demais variáveis. Foram encontradas correlações significativas (inversamente proporcional) entre a TAP de 10 a 30% do PPF com: a dureza ($r = -0,970$; $p = 0,030$); a aceleração do calçado ($r = -0,922$; $p = 0,026$); a transmissibilidade de aceleração ($r = -0,927$; $p = 0,024$), conforme Tabela 34.

Tabela 34. Correlação de Pearson entre a TAP de 10 a 30% do PPF com as demais variáveis do estudo.

Correlações	Correlação de Pearson	<i>p</i>
TAP 10 a 30% do PPF vs. Dureza	-0,970	0,030
TAP 10 a 30% do PPF vs. Aceleração do calçado	-0,922	0,026
TAP 10 a 30% do PPF vs. Transmissibilidade de aceleração	-0,927	0,024

$p < 0,05$

Na Tabela 35, são apresentadas as correlações significativas da TAP entre 10 a 40% do primeiro pico de força e entre os materiais do estudo. Encontraram-se correlações inversamente proporcionais da TAP entre 10 a 40% do PPF com: a dureza ($r = -0,960$; $p = 0,040$); a aceleração do calçado ($r = -0,961$ $p = 0,009$) e com a transmissibilidade de aceleração ($r = -0,960$; $p = 0,010$), conforme Tabela 35.

Tabela 35. Correlação de Pearson entre a TAP de 10 a 40% do PPF com as demais variáveis do estudo.

Correlações	Correlação de Pearson	<i>p</i>
TAP 10 a 40% do PPF vs. Dureza	-0,960	0,040
TAP 10 a 40% do PPF vs. Aceleração do calçado	-0,961	0,009
TAP 10 a 40% do PPF vs. Transmissibilidade de aceleração	-0,960	0,010

$p < 0,05$

Também, foram verificadas possíveis correlações entre a TAP de 10 a 50% do PPF. A Tabela 36, apresentou as correlações significativas entre a TAP de 10 a 50% do PPF com: a aceleração do calçado ($r=-0,939$; $p=0,018$); a transmissibilidade de aceleração ($r=-0,936$; $p=0,019$) e o tempo da transmissibilidade de aceleração ($r=-0,879$; $p=0,049$).

Tabela 36. Correlação de Pearson entre a TAP de 10 a 50% do PPF com as demais variáveis do estudo.

Correlações	Correlação de Pearson	<i>p</i>
TAP 10 a 50% do PPF vs. Aceleração do calçado	-0,939	0,018
TAP 10 a 50% do PPF vs. Transmissibilidade de aceleração	-0,936	0,019
TAP 10 a 50% do PPF vs. Tempo de transmissibilidade	-0,879	0,049

$p < 0,05$

E por fim, verificaram-se as possíveis correlações significativas entre a TAP 10 a 90% do primeiro pico de força com as variáveis do estudo. Encontrou-se somente uma correlação significativa, porém inversamente proporcional entre a TAP de 10 a 90% do PPF e o tempo da transmissibilidade de aceleração ($r=-0,945$; $p=0,015$), conforme Tabela 37.

Tabela 37. Correlação de Pearson entre a TAP de 10 a 90% do PPF com as demais variáveis do estudo.

Correlações	Correlação de Pearson	<i>p</i>
TAP 10 a 90% do PPF vs. Tempo de transmissibilidade	-0,945	0,015

$p < 0,05$

Corroborando com os resultados da TAP, Hennig e Lafoturne (1991) e Hennig e colaboradores (1993) encontraram correlações similares entre a TAP e a aceleração. Os autores encontraram forte correlação entre a TAP com a aceleração nos membros inferiores durante a corrida.

Através das correlações, verificou-se que não ocorreu correlação significativa entre a aceleração tibial, o primeiro pico de força; a TAP entre 20 a 80% do PPF e a energia perdida (%) com nenhuma variável do estudo, para o nível de confiança de 95%.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo, analisou-se e comparou-se as propriedades mecânicas e Biomecânicas do solado. Através dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- As propriedades mecânicas relacionadas ao impacto evidenciam diferenças entre os solados para os calçados deste estudo. Observou-se que diferentes densidades/durezas/rigidez podem apresentar valores similares de energia de retorno e energia perdida.
- A Taxa de Aceitação do Peso apresentou resultados significativos para quantificar a absorção do impacto durante o movimento. No entanto, o primeiro pico e o segundo pico da força vertical não evidenciam ser uma variável adequada para caracterizar solados com diferentes propriedades mecânicas.
- Os picos da força ântero-posterior não apresentam diferenças significativas entre os solados, porém, pode-se concluir que as propriedades mecânicas dos solados alteram o tempo dos picos da força ântero-posterior durante o movimento.
- Os calçados apresentam diferenças na absorção de energia no ensaio mecânico, no entanto, não foram encontradas diferenças nas impulsões durante a fase de absorção do impacto e propulsão da força ântero-posterior.
- Os resultados da aceleração evidenciam diferenças nos picos de aceleração, na variação do tempo de aceleração e na taxa de aceitação de aceleração do calçado durante a marcha. No entanto, a aceleração tibial não caracteriza as diferenças mecânicas dos solados.
- Os resultados apontaram correlações significativas entre as variáveis das propriedades mecânicas com as da Biomecânica. Os valores da dureza/densidade/rigidez influenciam as variáveis da força de reação do solo e as variáveis de aceleração.

Com base nos resultados obtidos, acredita-se que este estudo venha fornecer parâmetros que possam contribuir com as empresas calçadistas e de fornecedores de componentes para calçados. Tendo em vista que, para avaliar a absorção do impacto do calçado é necessária uma análise das propriedades mecânicas e Biomecânica. Pressupõem-se ainda, que tais resultados obtidos neste estudo venham contribuir para o desenvolvimento de calçados funcionais.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Alguns estudos adicionais poderiam complementar ou ampliar este trabalho, como segue:

- Adicionar o ensaio de Charpy ou outro método de análise de absorção do impacto.
- Utilizar o mesmo material do solado com espessuras diferentes.
- Adicionar variáveis cinemáticas durante avaliação Biomecânica.
- Utilizar outro modelo de calçado e outros materiais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICOS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 14840: Normas para avaliação de calçados, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 14459: Construção inferior do calçado — Solas, solados e materiais afins — Determinação da resistência à tração e alongamento na ruptura, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 14454: Construção inferior do calçado - Solas, solados e materiais afins - Determinação da dureza Shore A e D, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 14453: Construção inferior do calçado - Solas, solados e materiais afins – Determinação da densidade - método dimensional, 2005.

AERTS, P.; DE CLERCQ, D. **Deformation characteristics of the heel region of the shod foot during a simulated heel strike: the effect of varying midsole hardness.** Journal Sports Science. v.11, p.449-461, 1993.

AVILA, A. O. V. **Conforto em calçados.** Revista Tecnicouro, 2001.

BARELA, A. M. F.; DUARTE, M. **Utilização da plataforma de força para aquisição de dados cinéticos durante a marcha humana.** Laboratório de Biofísica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BARTLETT, R. **Sports Biomechanics – Reducing injury and Improving performance.** British Library Cataloguing in Publication Data. New York, 1999.

BATES, B. T. **Comment on “The influence of running velocity and midsole hardness on external impact forces in heel toe running”.** Journal biomechanics. v.22, p.963-65, 1989.

BERGMANN, G.; KNIGGENDORF, H.; GRAICHEN, F.; ROHLMANN, A. **Influence of shoes and heel strike on the loading of the hip joint.** Journal of Biomechanics. v.28: 817-27, 1995.

BOYER, K. A.; NIGG, B. M. **Muscle activity in the leg is tuned in response to impact force characteristics.** Journal of Biomechanics. v.37, p.1583-88, 2004.

BRUNEIRA, C. V.; AMADIO, A. **Análise da força de reação do solo para o andar e correr com adultos normais do sexo masculino durante a fase de apoio.** **Anais do V Congresso Brasileiro de Biomecânica.** p.19-24, 1993.

BRÜCKNER, K.; ODENWALD, S.; SCHWANITZ, S.; HEIDENFELDER, J.; MILANI, T. **Polyurethane-foam midsoles in Running Shoes – Impact Energy and Damping.** 8Th Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA). v.2, p.2789-93, 2010.

- CANEVAROLO JR, S. V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, 2003.
- CLARKE, T. E.; FREDERICK, E. C.; COOPER, L. B. **Effects of Shoe cushioning Upon Ground Reaction Forces in Running**. Journal of Sports Medicine. v. 04, p. 247-51, 1983a.
- CAVANAGH, P. R.; KRAM, R. **Biomechanics of distance running**. Human Kinetics Publishers. 1990.
- CHESKIN, M. P.; SHERKIN, K. J.; BATES, B. T. **The complete handbook of athletic footwear**. Fairchild Publications. 1987.
- CHIU, H. T. **Using ground reaction force to evaluate cushioning property of running shoe the establishment of standard for material test**. Tese de doutorado, 2000.
- CHIU, H. T. **Using impact testing method to estimate the energy absorbed by insoles in sports shoes**. Beijing – China, ISBS, p.787-90, 2005.
- CHIU, H.; SHIANG, T.; LIN, D. **Cushioning properties of Shoe-surface interfaces in different impact energies**. Biomechanics Symposis. University of San Francisco, 2001.
- COLE, G. K. **Loading of the joints of the extremities during the impact phase in running**. Tese de doutorado do departamento de Engenharia mecânica. Universidade de Calgary, Calgary, 1995.
- CROWELL, H. P.; MILNER, C. E.; HAMILL, J.; DAVIS, I. S. **Reducing impact loading during running with the use of real-time visual feedback**. Journal of orthopaedic & sports physical therapy. v.40, 2010.
- CTCCA - Centro Tecnológico do couro, Calçados e Afins. **Materiais para calçados: solados e palmilhas de montagem**. 2002
- DeVITA, P.; BATES, B.T. **The Effects of Time on Selected Ground Reaction Force Parameters**. In: Jonsson, B. Human Kinetics Publisher, Champaign, IL, p 909-12, 1987.
- DIEGRITZ, W. **Well padded**, Kunststoffe German Plast. v.88,1494-96,1998.
- ENOKA, R. **Bases Neuromecânicas da Cinesiologia**. São Paulo: Manole, 2000.
- FAQUIN, A. **O calçado esportivo destinado a pratica de futsal: avaliações mecânicas, biomecânicas e de percepção**. Tese de doutorado do departamento de Educação Física. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- FREDERICK, E. C. **Biomechanical consequences of Sport shoe design**. Exercise Sport Science Review, Baltimore. v.14, p.375-400, 1986.
- GIBSON, M. F.; ASHBY, L. J. **Cellular Solids**, 2ºed.,Cambridge University Press, Cambridge, UK., 1997.
- GOONETILLEKE, R. **Footwear cushioning: relating objective and subjective measurements**. Human Factors. v.2, p.241-56, 1999.

HAMILL, J.; BATES, B. T.; KNUTZEN, K. M. SAWHILL, J. A. **Variations in ground reaction force parameters at different running speeds.** Human movement science. v.2, p.47-56, 1983.

HAMILL, J.; KNUTZEN, K. **Base biomecânicas do movimento humano.** São Paulo:Manole, 1999.

HEIDENDELDER, J.; STERZING, T.; MILANI, T. L. **Systematically modified crash-pad reduces impact shock in running shoes.** Footwear science. v.2, n^o2, p.85-91, 2010.

HENNIG, E. M.; LAFORTUNE, M. A. **Relationships between ground reaction force and tibial bone acceleration parameters.** International Journal of Sport Biomechanics, v.7, p.303-9, 1991.

HENNIG, E. M.; MILANI, T. L.; LAFORTUNE, M. A. **Use of ground reaction force parameters in predicting peak tibial accelerations in running.** Journal of Applied Biomechanics, v. 9, p.306-14, 1993.

INDESTEEGE J.; et al. **Considerations on the selection of PU systems for midsole wedges in athletic footwear applications.** Polyurethanes World Congress. Amsterdam, 1997.

LAFORTUNE, M. A.; LAKE, M. J.; HENNING, E. M. **Differential shock transmission response of the human body to impact severity and lower limb posture,** Journal of Biomechanics. v.29, p.1531-37, 1996.

LIEBERMAN, D. E.; et al. **Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners.** Nature, p. 531-35, 2010.

LY, Q. H.; ALAOUI, A.; ERLICHER, S.; BALY, L. **Towards a footwear design tool: Influence of shoe midsole properties and ground stiffness on the impact force during running.** Journal of biomechanics. v.43, p.310-317, 2010.

KAPANDJI, A. I. **Fisiologia Articular.** v. 2. São Paulo: Panamericana, 2000.

KER, R. F. **The time-dependent mechanical properties of the human heel pad in the context of locomotion.** The journal of experimental Biology, v.199, p.1501-08, 1996.

MANFIO, E. F.; AVILA, A. O. V. **Um estudo parâmetros antropométricos do pé feminino brasileiro.** Revista Brasileira de Biomecânica. São Paulo, ano 4, n 1, p.39-48, 2003.

MELO, M. F.; CAMPOS, G. T.; BONFIM, T. R. **Influência do uso do calçado de salto alto no arco plantar e na extensibilidade do músculo tríceps sural.** XI Congresso Brasileiro de Biomecânica. ANAIS... João Pessoa, 2005.

MILANI, T. L.; HENNIG, E. M.; LAFORTUNE, M. A. **Perceptual and biomechanical variables for running in identical shoe constructions with varying midsole hardness.** Clinical Biomechanics. v.12, p.294-300, 1997.

MILLS, N. J. **Time dependence of compressive response of polypropylene bead foam.** Cellular Polymers. v.16, p.194-215, 1997.

MILLS, N. **Polymer Foams Handbook.** Butterworht-Heinamann, 2007.

MILLS, N. **Polymer Foams Handbook – Engineering and Biomechanics applications and design guide**. Oxford:Butterorth-Heinemann. 2007.

MILLS, N. J.; RODRÍGUEZ-PEREZ, M. A. **Modelling the gas loss creep mechanism in eva foam from running shoes**. Cellular Polymers. v. 20, p.79–100, 2001.

MISEVICH, K. W.; CAVANAGH, P. R. **Material aspects of modeling shoe/foot interaction**. In: Frederick, E. C. Sports shoes and playing surfaces. Human Kinetics. p.47-75, 1984.

MUNRO, C. F.; MILLER, D. I.; FUGLEVAND, A. J. **Ground reaction forces in running**. Journal of Biomechanics. v.20, p.147-55, 1987.

NIGG, B. M. Biomechanical aspects of running. In: Nigg, B. M. (Ed.), **Biomechanics of Running Shoes**. Human Kinetics Publishers, Champaign, IL, p.15 -19, 1986.

NIGG, B. M. **Impact forces and movement control – two new paradigms**. International Society of Biomechanics in Sports Annual Symposium, 2004.

NIGG, B. M., **Biomechanics of Sport Shoes**. University of Calgary, 2010.

NIGG, B. M. BAHLESEN, H. A.; LUETHI, S. M. STOKES, S. **The influence of running velocity and midsole hardness on external impact forces in heel-toe running**. Journal of Biomechanics, v.20, p.951-59, 1987.

NIGG, B. M.; LIU, W. **The effect of muscle stiffness and damping on simulated impact force peaks during running**. Journal of Biomechanics. v.32, p.849–56, 1999.

NIGG, B. M.; HERZOG, W. **Biomechanics of the muscle-skeletal system**. John Wiley & Sons, 2007.

NIGG, B. M.; SEGESSER, B. **Biomechanical and orthopedic concepts in Sport shoe construction**. Medicine and Science in Sports and exercise. Madison, v.24, p.595-602, 1992.

NIGG, B. M.; STEFANYSHYN, D.; COLE, G.; STERGIOU, P.; MILLER, J. **The effect of material characteristics of shoes soles on muscle activation and energy aspects during running**. Journal of Biomechanics. v.36, p.569-75, 2003.

NORDIN, M.; FRANKEL, V. **Biomecânica básica do sistema musculoesquelético**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

NURSE, M. A.; NIGG, B. M. **The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity**. Clinical biomechanics. p.719-727, 2001

PERRY, J. **Análise de Marcha**. Barueri, SP: Manole, v.1, 2005.

RASCH, P. J.; BURKE, R. K. **Cinesiologia e anatomia Aplicada**. 5ª. ed. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan, 1986.

RODRIGUES, J. M. E. **Preparação de poliuretano a base de mamona**. 2005. Tese de Doutorado da Universidade do Rio Grande do Norte.

- SAMSUNG. **Technical literature for EVA foams**. Tech. rep., Samsung, 1999.
- SAUNDERS, J. H.; FRISCH, K. C. **Polyurethane Chemistry and Technology**. Interscience Publishers, New York, 1987.
- SAMMARCO, G. J.; HOCKENBURY, R. T. **Biomecânica básica do sistema músculo-esquelético**. Guanabara Koogan S. A., 2003.
- SAWAI, M.; MIYAMOTO, K.; TAKEMURA, K.; MORI, M.; KIUCHI, K. **Super low density polyurethane systems for sports shoes**. Journal Cellular Plastics. v.36, p.286-91, 2000.
- SCHWANITZ, S.; MÖSER, S.; ODENWALD, S. Comparison of Test Methods to Quantify Shock Attenuating Properties of Athletic Footwear. **8Th Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA)**. v.2, p.2805-10, 2010.
- SHARIATMADARI, M. R.; ENGLISH, R.; ROTHWELL, G. **Effects of temperature on the material characteristics of midsole and insole footwear foams subject to quasi-static compressive and shear force loading**. Materials and Design. v.37, p.543-59, 2012.
- SHORTEN, M. R. **The Energetics of Running and Running Shoes**. Journal Biomechanics. v. 26. p.41-51, 1993.
- SHORTEN, M. R. **Running Shoe Design: Protection and Performance**. In: Maratathon Medicine (Ed. D. Tunstall Pedoe). London, Royal Society of Medicine. p.159-69, 2000.
- SNEL, J. G.; DELLEMAN, N. J.; HEERKENS, Y. F.; INGEN SCHENAU, G. J. **Shock Absorbing Characteristics of Running Shoes during Actual Running**. Human Kinetics Publisher, Champaign, IL, p.133-38, 1985.
- TSAI, Y.; POWERS, C. M. The influence of footwear sole hardness on slip initiation in young adults. **Journal of Forensic sciences**. v.53, p.884-8, 2008.
- VAUGHAN, C. L. **Theories of bipedal Walking**. Journal of Biomechanics. v.36, p.513-23, 2003.
- VERDEJO, R.; MILLS, N. **Performance of EVA foam in running shoes**. The Engineering of Sport. 4 ed. p.580-7, 2002.
- VERDEJO, R.; MILLS, N. J. **Simulating the effects of long distance running on shoe midsole foam**. Polymer Testing. v.23, p.567-75, 2004.
- VILADOT, A. P. **Dez lições de patologia do pé**. Livraria Roca LTDA. São Paulo, SP, 1986.
- VERDEJO, R. **Gas loss and durability of EVA Foams used in running shoes**. Tese da universidade de Birmingham. Engenharia metalurgia e materiais, 2003.
- VERDEJO, R.; MILLS, N. J. **Heel-shoe interactions and the durability of EVA foam running-shoe midsoles**. Journal of Biomechanics. v.37, p.1379-86, 2004.
- WANG, C. L.; CHENG, C. K. TSUANG, Y. H. **Cushioning effect of heel cups**. Clinical biomechanics, v.9, p.297-301, 1994.

WINTER, D. A. **Biomechanics and Motor Control of Human Movement**. 2 ed. Ontario, Canada: University of Waterloo Press, 1990.

WINTER, D.A. **The biomechanics and motor control of human gait: normal, elderly and pathological**. 2. ed., Canada: Waterloo Cover, 1991.

WHITTLE, M. W. **Generation and attenuation of transient impulse forces beneath the foot: a review**. *Gait and posture*, v.10, p.264-75, 1999.

ZADPOOR, A. A.; NIKOOYAN, A. A. **Modeling muscle activity to study the effects of footwear on forces and vibrations of the human body during running**. *Journal of Biomechanics*. v.43, p.186-93, 2010.

8. ANEXOS

I Comitê de ética

PROJETO DE PESQUISA

Título: ANÁLISE DO IMPACTO EM CALÇADOS COM SOLADOS POLIMÉRICOS.

Área Temática:

Pesquisador: Telmo Roberto Strohaecker

Versão: 2

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

CAAE: 03199012.2.0000.5347

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

Número do Parecer: 36762

Data da Relatoria: 31/05/2012

Apresentação do Projeto:

Os calçados foram criados a partir da constante busca do ser humano de atender suas necessidades básicas de sobrevivência, sendo um meio de proteger os pés da umidade, do frio, do calor e de superfícies desconfortáveis. Pretende-se neste trabalho descrever o comportamento da força de reação do solo (impacto) de solados poliméricos durante a marcha. Com objetivos específicos: Descrever e analisar os solados poliméricos durante o impacto; Determinar e analisar a energia de restituição do material através de ensaios mecânicos e durante a fase de apoio na marcha; identificar a absorção do impacto segundo a NBR 14838; descrever e analisar a força anteroposterior; Determinar as propriedades mecânicas dos solados. Através dos resultados biomecânicos e mecânicos será possível determinar as faixas de conforto durante a marcha para que o impacto não venha ser prejudicial a saúde.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Geral:

Analisar a absorção do impacto durante a marcha em calçados poliméricos com diferentes propriedades mecânicas.

Objetivos específicos:

- Identificar a energia de retorno dos solados;
- Identificar a absorção do impacto segundo a NBR14838;
- Determinar a absorção do impacto entre 10% e 30% do primeiro pico de força vertical;
- Determinar o impulso das forças Antero-posterior da força de reação do solo;
- Determinar as propriedades mecânicas dos solados e comparar com os ensaios biomecânicos;
- Comparar a acelerometria tibial com a absorção do impacto;
- Analisar a vibração do calçado durante o impacto;
- Correlacionar a aceleração tibial com a absorção de impacto;
- Determinar as faixas de absorção de impacto para a norma NBR 14838.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os procedimentos aplicados aos indivíduos selecionados pelos procedimentos de amostragem são não invasivos, consistindo em uma caminhada sobre uma plataforma preparada para colher dados a serem utilizados no estudo. O TCLE adverte que os riscos, apesar de existentes, são mínimos.

O projeto aponta como benefícios e vantagens na participação do estudo 'contribuir para o desenvolvimento de uma norma de absorção de impacto e ao desenvolvimento de produtos que não prejudiquem a saúde do usuário.'

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O projeto apresenta de modo claro os passos da pesquisa, incluindo a forma de coleta dos dados, o cálculo amostral, os testes a serem realizados pelos indivíduos que aceitarem participar da pesquisa e o tratamento estatístico a ser utilizado nos dados obtidos.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos obrigatórios estão incluídos e apresentados de forma adequada.

Recomendações:

Não há recomendações adicionais ao projeto.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Tendo em vista que o TCLE foi adequado para atender recomendação do parecer anterior, o parecerista indica a aprovação do referido projeto.

Situação do Parecer:

Aprovado

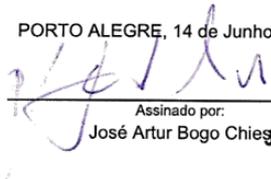
Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Encaminhe-se.

PORTO ALEGRE, 14 de Junho de 2012



Assinado por:

José Artur Bogo Chies

João Edgar Schmidt
Pró-Reitor de Pesquisa
PROPESQUIFRGS