UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE AMORTECIMENTO
DO CALÇADO ESPORTIVO NA ECONOMIA DE CORRIDA E NO
DESEMPENHO

ROBERTO CASANOVA DINATO

São Paulo

2018

ROBERTO CASANOVA DINATO

Versão Corrigida

A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE AMORTECIMENTO
DO CALÇADO ESPORTIVO NA ECONOMIA DE CORRIDA E NO
DESEMPENHO

Tese apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do grau de doutor em Educação Física.

Área de Concentração: Estudos Biodinâmicos da Educação Física e Esporte.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi.

São Paulo

2018

Catálogo da Publicação

Serviço de Biblioteca

Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo

Dinato, Roberto Casanova

A influência de diferentes sistemas de amortecimento do calçado esportivo na economia de corrida e no desempenho / Roberto Casanova Dinato. -- São Paulo : [s.n.], 2018. 106p.

Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi

1. Biomecânica 2. Calçado esportivo 3. Desempenho esportivo 4. Corridas I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

AUTOR: DINATO, ROBERTO CASANOVA

TÍTULO: A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE AMORTECIMENTO DO CALÇADO ESPORTIVO NA ECONOMIA DE CORRIDA E NO DESEMPENHO

Tese apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do grau de doutor em Educação Física.

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Dedico este trabalho a minha amada família:

Luana, Lucas e Larissa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador Prof. Dr. Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi pela orientação competente e pela paciência ao longo destes 4 anos.

À todos os companheiros do grupo de estudos em desempenho aeróbio da USP (GEDAE), Renata, Leonardo, Mayara e Marcos, que contribuíram no meu aprendizado dentro do laboratório, em especial ao Rafael e Ramon pela ajuda nas coletas de dados. Sinto-me honrado em ter participado de um grupo tão talentoso e competente.

À amiga Ana Paula pela ajuda na coleta de dados e valiosas contribuições nas revisões do artigo e da tese, além do incentivo durante todo tempo.

Aos professores doutores Marcos Duarte, Gustavo Gomes e Hamilton Roschel pelas relevantes contribuições realizadas no exame de qualificação.

A todos os corredores que participaram voluntariamente das coletas e principalmente à CORPORE - Corredores Paulistas Reunidos, através de seu representante Sr. Edgar, pelo auxílio na divulgação deste projeto junto aos corredores. Assim como, às assessorias esportivas que encaminharam seus corredores para realização do estudo.

A RUNBASE Adidas pela doação dos calçados utilizados neste estudo.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro para aquisição dos calçados e equipamentos necessários para o desenvolvimento do estudo.

Enfim, exalto o apoio sempre incondicional da minha esposa Luana pela compreensão, paciência e suporte emocional durante todo esse tempo, transmitindo confiança para seguir em frente. Também de forma especial, a minha mãe, meu pai e minhas irmãs.

A todos muito obrigado.

*Quando você quer muito alguma coisa,
todo o universo conspira para que você realize seu desejo.*

Paulo Coelho

RESUMO

DINATO R.C. A influência de diferentes sistemas de amortecimento do calçado esportivo na economia de corrida e no desempenho. Tese (doutorado) – Escola de Educação Física e Esportes da Universidade de São Paulo – São Paulo 2018.

O objetivo geral do estudo foi investigar o impacto do calçado minimalista e dos calçados esportivos com entressola de termoplástico Poliuretano expandido (TPE) sobre os parâmetros fisiológicos e o desempenho durante a corrida. O estudo 1 comparou o calçado minimalista e o calçado com TPE na economia de corrida (EC) e o desempenho. Doze corredores homens foram submetidos aos seguintes testes: a) teste progressivo até a exaustão para caracterização da amostra; b) duas corridas contrarrelógio de 3 km em uma pista de atletismo de 400 m e ao final dos testes responderam uma avaliação de conforto. c) quatro testes de corrida submáxima de 6 minutos em uma esteira para determinar a EC, o custo de oxigênio (CTO₂) e a componente vertical da força reação do solo. Houve uma maior EC (~2,4%) (P = 0,01), aumento do primeiro pico (~15,8%) (P = 0,01) e diminuição da taxa de propulsão (~15,9%) (P = 0,01) no TPE em comparação ao calçado minimalista. No entanto, não houve diferenças significativas entre TPE e minimalistas para CTO₂ (P = 0,61) e desempenho total de corrida (P = 0,61). Essas descobertas revelaram que o calçado TPE produz uma EC maior e uma taxa de propulsão mais baixa em comparação com calçados minimalistas, mas essas melhorias não foram acompanhadas por mudanças no CTO₂ e, conseqüentemente, no desempenho na corrida.

O estudo 2 comparou 3 calçados com diferenças percentuais de TPE inserido na entressola. As principais diferenças metodológicas foram a análise da EMG e o teste de corrida de 10 km. Não houve diferença estatística entre os calçados para as variáveis EC, componente vertical da força reação do solo (FRS), EMG e desempenho. A análise de regressão revelou que 96% do desempenho em uma prova de 10 km podem ser explicados pelas variáveis altura do arco e controle médio-lateral para o modelo de calçado TPE 55%. Nenhuma variável biomecânica analisada neste estudo foi capaz de identificar alguma diferença que pudesse estabelecer uma diferença entre os calçados que repercutisse em desempenho ou EC. Os resultados práticos dos estudos revelaram que correr com calçado TPE melhora a EC em comparação ao calçado minimalista. No entanto, a melhora na EC não se refletiu em desempenho no teste de corrida de 3 km. Diferentes porcentagens de TPE inseridos na entressola do calçado não produziram diferenças na EC e desempenho em uma prova de 10km. Desta forma, ainda não é possível dizer qual calçado é capaz de reduzir o tempo gasto em uma prova de corrida de curta ou longa duração.

Palavras chave: Calçado esportivo. Corrida. Custo energético. Biomecânica.

ABSTRACT

DINATO R.C. The influence of different cushioning systems of sports shoes on running economy and performance. Tese (doutorado) – Escola de Educação Física e Esportes da Universidade de São Paulo – São Paulo 2018.

The overall objective of the study was to investigate the impact of minimalist footwear and sports shoes with midsole thermoplastic expanded polyurethane (TPE) on physiological parameters and performance during running. Study 1 compared minimalist shoes and TPE shoes in running economy and performance. Twelve male distance runners performed the following tests: a) a maximal incremental test to characterize the sample; b) two 3-km time-trials on an outdoor 400 m track and at the end of tests answered an evaluation of comfort. c) four 6-min submaximal running tests on a treadmill to determine the RE, energetic cost (CTO_2) of 3 km running time-trial and ground reaction force parameters. The athletes performed the sub-maximal running tests and 3-km time trials using the TPE and minimalist shoes. There was a higher RE (~2.4%) ($P = 0.01$), increased first peak (~15.8%) ($P = 0.01$), and decrease push-off rate (~15.9%) ($P = 0.01$) in TPU compared with minimalist shoes. However, there were not significant differences TPU and minimalist shoes for CTO_2 ($P = 0.61$) and overall running performance ($P = 0.61$). These findings revealed that TPU produces a higher RE and a lower push-off rate when compared to minimalist shoes, but these improvements were not accompanied by changes in CTO_2 and, consequently in running performance. Study 2 compared 3 shoes with differences percentage TPE inserted in the midsole. The main methodological differences were the EMG analysis and the 10 km running time-trial. There was no statistical difference between shoes for the EC, vertical component of ground reaction force and EMG. Regression analysis revealed that 96% of the performance in a 10 km running time-trial can be explained by the variable height of the arch and medial-lateral control to the shoe model TPE 55%. No biomechanical variable analyzed in this study was able to identify any differences that could establish a difference between the shoes that had repercussions on RE or performance. The practical results of the studies have shown that running with TPE improves the RE compared to minimalist shoes. However, the improvement in RE was not reflected in performance in the 3-km running time-trial. Different percentages of TPE inserted in the shoe midsole did not produce differences in RE and performance in a 10km running time-trial. Thus, it is not possible to tell which shoes is able to reduce the time spent on a short or long running race.

Key words: Sports shoes. Running. Energy cost. Biomechanics.

LISTA DE SIGLAS, ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ATP – Trifosfato de adenosina

CO₂ – Dióxido de carbônico

C_{temp} - Temperatura corporal

EC – Economia de corrida

EMG – Eletromiografia

EVA – Copolímero de etileno e vinil acetato

FC_{max} – Frequência cardíaca máxima

FRS – Força reação do solo

F_{max} – Força vertical maxima

k_{vert} - Rigidez vertical

k_{leg} – Rigidez da perna

LHTL – Viver na altitude e treinar ao nível do mar

LMTM – Viver em altitude moderada e treinar em altitude moderada

LLTL – Viver e treinar ao nível do mar

[La] – Concentração de lactato sanguínea

L - Comprimento da perna em metros

LV2 - Segundo limiar ventilatório

m – Massa corporal

O₂ – Oxigênio

PCO₂ – Pressão parcial de dióxido de carbono

PSE – Percepção subjetiva de esforço

PU - Poliuretano

TPE – Termoplástico poliuretano expandido

t_c – Tempo de contato

t_f - Tempo de voo durante a fase aérea da corrida

VE – Ventilação

$\dot{V}O_2$ – Consumo de oxigênio

$\dot{V}O_{2max}$ – Máximo consumo de oxigênio

y_{CM} - variação vertical do deslocamento do centro de massa

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Materiais disponíveis para fabricação de calçados entre as décadas de 50 e de 90	8
Tabela 2 – Idade, histórico de treinamento, características antropométricas e fisiológicas dos participantes.....	43
Tabela 3 - Valores médios e desvio padrão obtidos da escala analógica da percepção de conforto dos calçados minimalista e TPE.....	46
Tabela 4 - Médias e desvios padrões das variáveis da força reação do solo vertical normalizada pelo peso corporal (PC) e da rigidez da perna e vertical dos dois modelos de calçados analisados.	47
Tabela 5 - Características antropométricas, demográficas dos participantes do estudo 2.	61
Tabela 6 - Valores médios e desvios padrões da escala visual analógica (EVA) da avaliação de conforto dos calçados TPE 55%, TPE 80% e TPE 100%.	65
Tabela 7 – Médias e desvios padrões das comparações das variáveis do EMG das 3 condições de calçados durante a corrida na esteira a 12 km/h.....	66
Tabela 8 - Médias e desvios padrões das variáveis da FRS vertical normalizada pelo peso corporal (PC) e da rigidez da perna e vertical dos três modelos de calçados analisados.	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Partes principais que compõem o calçado esportivo: Cabedal, Palmilha, Entressola e Solado.	9
Figura 2 - VO_2 de mulheres maratonistas entre 1992 e 2003. Adaptado de Jones 2006.	12
Figura 3 - Diferença de altura da sola entre a parte da frente (antepé) em relação a parte de trás (retopé) do calçado. (Fonte: Google.com.br)	23
Figura 4 - Visão geral do desenho experimental	33
Figura 5 - Calçados utilizados nas coletas, descaracterizados com fita Silver tape preta.	34
Figura 6 - Equipamentos que foram utilizados nas avaliações biomecânicas e fisiológicas: esteira rolante modelo TK35 (painel A) e analisador de gases (painel B).	36
Figura 7 - Representação gráfica das variáveis da FRS vertical, onde (Fz1) 1º pico vertical da FRS, (Fz2) 2º pico vertical da FRS, (LR 80) taxa de carga entre 20 e 80% do 1º pico vertical da FRS.	38
Figura 8 - Calçados comercialmente disponíveis que foram comprados e utilizados: A. Nike Free, B. Adidas Energy TPE	41
Figura 9 – Economia de corrida ($12 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) e custo de oxigênio na velocidade média do contrarrelógio de 3km com os dois modelos de calçados.	44
Figura 10 – Velocidade de corrida (painel esquerdo) e percepção de esforço (PSE) (painel direito) durante o teste contrarrelógio de 3km.	45
Figura 11 – Visão geral do desenho experimental	55

Figura 12 - Sistema Noraxon MyoTrace TM 400 que foi utilizado na aquisição dos sinais eletromiográficos.....	57
Figura 13 - Calçados comercialmente disponíveis que foram adquiridos e utilizados: A. Adidas Supernova Glide 55%, B. Adidas Energy 80%, C. Adidas Ultra Boost 100%.	59
Figura 14 - Valores médios da EC obtidos no teste de carga constante nas velocidades 12km/h com os três modelos de calçados.....	62
Figura 15 - Valores médios e desvio padrão obtidos da prova de 10km em uma pista de atletismo de 400 m dos calçados TPE 55%, TPE 80% e TPE 100%. *representa diferença estatística entre os calçados sinalizados.....	63
Figura 16 - percepção de esforço (PSE) durante o teste de 10km.....	64

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo Geral	5
2.2 Objetivos específicos	5
2.3 Hipóteses	5
2.3.1 Hipóteses do estudo 1	5
2.3.2 Hipóteses do estudo 2	6
3. REVISÃO DA LITERATURA	7
3.1 Estrutura, construção e evolução dos calçados esportivos	7
3.2 Economia de corrida	10
3.3 Fatores fisiológicos e EC	12
3.4 Fatores biomecânicos e suas consequências na economia de corrida	15
3.4.1 – Características antropométricas que podem influenciar a EC	16
3.4.2 Cinemática e Cinética dos segmentos e a relação com EC	18
3.4.3 Fatores de interação entre superfície e calçado	21
3.5 Percepção de amortecimento e suas relações com variáveis biomecânicas e EC	23
3.6 Intervenções para melhorar a economia de corrida em corredores	26
3.6.1 Treinamento de resistência	27
3.6.2 Exposição a altitude	28
4. ESTUDO 1	31
4.1 MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1.1 Desenho Experimental	32

4.1.2 Antropometria.....	35
4.1.3 Teste incremental máximo	35
4.1.4 Teste de carga constante.....	36
4.1.5 Teste contrarrelógio de 3km.....	39
4.1.6 Calçados avaliados	41
4.1.7 Análise estatística	42
4.2 RESULTADOS.....	43
4.3 DISCUSSÃO	48
4.4 CONCLUSÃO	52
5. ESTUDO 2	53
5.1 MATERIAIS E MÉTODOS	53
5.1.1 Amostra estudo 2	53
5.1.2 Desenho Experimental.....	54
5.1.3 Antropometria e o teste incremental máximo	55
5.1.4 Teste de carga constante.....	55
5.1.5 Teste na pista de atletismo de 10km.....	57
5.1.6 Calçados avaliados	58
5.1.7 Análise estatística	59
5.2. RESULTADOS.....	60
5.3 DISCUSSÃO	67
5.4 CONCLUSÃO	72
6. LIMITAÇÕES	73
7. CONCLUSÃO GERAL.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO 1 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO	83

ANEXO 2 - QUESTIONÁRIO DE PRONTIDÃO PARA APTIDÃO FÍSICA	86
ANEXO 3 – FICHA DE AVALIAÇÃO INICIAL.....	87
ANEXO 4 – FICHA DE COLETA DOS DADOS DE CONFORTO	88
ANEXO 5 – APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA	89

1. INTRODUÇÃO

A economia de corrida (EC) é geralmente definida como o consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) em estado estável em velocidade de corrida submáxima (Saunders, Pyne, *et al.*, 2004a), sendo considerado um dos mais importantes preditores de desempenho em corridas de longa duração (Cavanagh e Williams, 1982).

A EC parece ser influenciada por fatores metabólicos, cardiorrespiratórios e biomecânicos (Barnes e Kilding, 2015b). No intuito de melhorar o padrão de movimento do pé durante a corrida, e consequentemente a EC, avanços recentes, na tecnologia do material do calçado esportivo, com materiais mais leves, sem sistemas de amortecimento, controle médio-lateral, variações de redução do *drop* e suporte no arco longitudinal medial do pé, denominado calçado minimalista, vem ganhando destaque na literatura por mimetizar a corrida descalça (Fuller *et al.*, 2015; Tam *et al.*, 2017), demonstrando uma melhora na EC quando comparados a calçados convencionais (Squadrone e Gallozzi, 2009; Hanson *et al.*, 2011; Franz *et al.*, 2012).

O raciocínio inicial é que a falta de suporte na região do arco plantar em calçados minimalistas proporciona uma melhor restituição da energia elástica para os membros inferiores reduzindo o $\dot{V}O_2$ em até 3,3% (Perl *et al.*, 2012). Squadrone e Gallozzi, (2009) também demonstraram um $\dot{V}O_2$ 2,8% menor no calçado minimalista comparado ao calçado esportivo convencional. Vários estudos demonstraram que o calçado minimalista aumenta a frequência e diminui o comprimento do passo, reduzindo as forças de impacto em retropé e o seu desconforto (Squadrone e Gallozzi, 2009; Barcellona *et al.*, 2017; Cheung *et al.*, 2017; Firminger *et al.*, 2017). A redução do desconforto em retropé poderia diminuir o esforço geral do corredor e

consequentemente, o consumo total de oxigênio submáximo durante a corrida, melhorando ou mantendo a EC dos corredores (Cochrum *et al.*, 2017).

O conforto tem se mostrado de grande relevância na construção dos calçados esportivos modernos, cujos benefícios vem sendo associados a melhora do desempenho (Nigg *et al.*, 1999; Nigg, 2001) e na EC (Luo *et al.*, 2009). Luo *et al.* (2009) avaliaram 5 pares de tênis com diferenças na rigidez da entressola e demonstraram uma melhora de 0,7% na EC quando os participantes correram com o calçado considerado mais confortável e, que embora esta diferença seja pequena pode ser significativa em corredores de elite.

Além do conforto, a influência da massa do calçado esportivo também se tornou um importante determinante na EC, visto que alguns estudos observaram um aumento do custo metabólico quando impostas à determinadas cargas de trabalho (Divert *et al.*, 2008; Franz *et al.*, 2012). De acordo com Franz *et al.* (2012) a cada 100g de massa do calçado adicionada em cada pé, o $\dot{V}O_2$ aumentou 0,9% na condição descalça e 1,19% com calçado esportivo. A massa do calçado associa-se com o sistema de amortecimento acoplado no seu solado, podendo este ter grande influência na EC.

Vários são os sistemas de amortecimento dos calçados esportivos. Segundo Frederick, (1984) um menor $\dot{V}O_2$ foi observado em calçados com tecnologia de ar encapsulado na entressola, considerado mais macio em relação ao calçado com Etil Vinil Acetato (EVA). Nigg *et al.* (2003) investigaram a ativação muscular e a EC em calçados esportivos com material viscoelástico e elástico inseridos na entressola. Os autores observaram que alguns corredores consumiram menos oxigênio com calçado esportivo viscoelástico enquanto outros tiveram um menor consumo de oxigênio com o calçado esportivo elástico.

Outro fator importante para o desempenho está associado com a ativação muscular, geralmente verificada pela medida de eletromiografia (EMG), na qual corredores com maior $\dot{V}O_2$ apresentaram uma maior pré-ativação do vasto medial para as duas condições de calçado (visco elástico e elástico) (Kyröläinen *et al.*, 2001). Esta maior pré ativação do vasto medial foi explicada pelos autores para representar um aumento na rigidez muscular da perna levando a uma transição mais rápida da fase de frenagem para a fase propulsiva durante o contato do pé com o solo na corrida (Dalleau *et al.*, 1998).

É discutido na literatura que uma maior rigidez muscular pode levar a um aumento da rigidez articular dos membros inferiores, que por sua vez, pode diminuir o deslocamento vertical do centro de massa (Halvorsen *et al.*, 2012). Diversos estudos tem encontrado uma correlação entre uma diminuição do $\dot{V}O_2$ e um menor deslocamento vertical do centro de massa (Morgan, Martin, *et al.*, 1989; Halvorsen *et al.*, 2012). A introdução de um sistema de amortecimento de baixa rigidez na entressola do calçado esportivo, pode reduzir a rigidez da superfície de contato do pé com o solo, fazendo com que os corredores aumentem a rigidez dos membros inferiores (Bishop *et al.*, 2006). Recentemente, as indústrias de calçado esportivo, influenciadas nas vantagens descritas na literatura sobre a influência do calçado esportivo no desempenho e EC, lançou um novo material na entressola denominado “Boost™”. Este material é constituído por grânulos de Termoplástico Poliuretano Expandido (TPE) que quando comparado ao EVA teria características mais complacentes e apresentaria uma menor perda de energia, ou seja, melhor EC (Worobets *et al.*, 2013).

As vantagens do calçado minimalista em relação ao calçado esportivo tradicional e seus efeitos sobre a EC vem sendo apresentada por vários estudos

(Squadrone e Gallozzi, 2009; Moore *et al.*, 2014). Porém, em relação ao sistema de amortecimento, apenas o estudo de Sinclair, Mcgrath, *et al.* (2016) investigaram os efeitos do calçado TPE no $\dot{V}O_2$ em comparação ao calçado esportivo tradicional. Os resultados do estudo indicaram que o calçado TPE diminuiu o $\dot{V}O_2$ em 4,2% em comparação ao calçado esportivo tradicional.

Todavia, os calçados TPE estão sendo fabricados com diferentes quantidades deste material inseridos na entressola (www.adidas-group.com). Até o presente momento não foram encontrados estudos que investigaram os efeitos do calçado com tecnologia TPE em comparação ao calçado minimalista, uma vez que, os dois calçados parecem fornecer vantagens em relação ao calçado tradicional. Também não foram encontrados estudos que compararam calçados com diferenças nas porcentagens de TPE inseridas na entressola. Dessa forma, torna-se necessário estudos que verifiquem a influência dos calçados esportivos com tecnologia de amortecimento TPE em relação ao minimalista sobre os aspectos de EC, fatores biomecânicos, desempenho e conforto, a fim de, ajudar a população de corredores a escolher o melhor calçado esportivo para treinos e provas de competição.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da presente Tese foi investigar a influência de calçados esportivos com diferentes características de amortecimento sobre os parâmetros fisiológicos e o desempenho durante a corrida.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da presente Tese foram divididos em dois estudos, a saber:

Estudo 1: Comparar os efeitos dos calçados esportivos com tecnologia TPE 80% e minimalista sobre a EC, a componente vertical da força reação do solo, rigidez vertical e da perna, conforto percebido e o desempenho no teste contrarrelógio de 3-km de corrida.

Estudo 2: Comparar os efeitos de calçados esportivos com 55%, 80% e 100% de TPE na entressola sobre a EC, o componente vertical da força reação do solo, eletromiografia, rigidez vertical e da perna, conforto percebido e o desempenho no teste contrarrelógio de 10-km de corrida.

2.3 Hipóteses

2.3.1 Hipóteses do estudo 1

- i. Baseado em estudo anterior que sugere uma maior capacidade do calçado TPE em melhorar os parâmetros relacionados ao desempenho (Sinclair, Mcgrath, *et al.*, 2016), o calçado TPE produziria uma melhor EC e,

consequentemente, melhora o desempenho durante um teste contrarrelógio de 3-km de corrida devido a um aumento da taxa de propulsão em comparação ao calçado minimalista.

- ii. O calçado esportivo TPE apresentaria maior percepção de conforto em relação ao calçado minimalista, e consequentemente, melhora da EC como observado Luo *et al.* (2009).

2.3.2 Hipóteses do estudo 2

- I. O calçado com maior percentual de TPE 100% apresentaria vantagens em relação à EC em relação aos outros dois com menores percentuais 80% e 55%.
- II. Os calçados com menor percentual de TPE 80% e 55% apresentaria um pior desempenho na prova de 10km em relação ao calçado com maior percentual 100%.
- III. O calçado TPE 100% apresentara maior percepção de conforto em relação aos outros dois modelos analisados (80% e 55%) e consequentemente melhor EC (Luo *et al.*, 2009).

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Estrutura, construção e evolução dos calçados esportivos.

Desde meados dos anos 80 a indústria mundial de calçados vem promovendo mudanças significativas nos processos de produção dos calçados esportivos mediante a modernização de máquinas e equipamentos (Andrade e Correa, 2001).

Por muitos anos, os calçados foram tradicionalmente confeccionados em couro, com sola também de couro ou de borracha natural. Com o desenvolvimento da petroquímica e o surgimento de materiais sintéticos, várias opções se abriram, e os fabricantes de calçados começaram a utilizar matérias-primas alternativas tais como a espuma de EVA e o poliuretano (PU) na confecção dos calçados esportivos (Andrade e Correa, 2001). Em estudo conduzido por Brueckner *et al.* (2011) foi comparado calçados esportivos com entressola de EVA e PU através de testes mecânicos e biomecânicos. Os autores observaram que ambos materiais aumentaram a rigidez da entressola após 300 km de uso e uma diminuição da perda de energia (teste mecânico) foi encontrada para o calçado com EVA (33%), concluindo que o PU também pode ser um material adequado para utilização em calçados esportivos.

A partir da década de 80, surgiram novas tecnologias para absorção de impacto nos calçados esportivos através da tecnologia Air, que consiste em câmaras de ar inseridas entre as camadas de EVA da entressola (Cavanagh e Lafortune, 1980). Na Tabela 1 apresentam-se os materiais disponíveis entre as décadas de 50 e de 90 utilizados na fabricação de calçados.

Tabela 1 - Materiais disponíveis para fabricação de calçados entre as décadas de 50 e de 90

1950	1960	1970	1980	1990
Couro	Couro	Couro	Couro	Couro
Borracha não vulcanizada	Borracha não vulcanizada	Borracha não vulcanizada	Borracha não vulcanizada	Borracha não vulcanizada
Borracha vulcanizada	Borracha vulcanizada	Borracha vulcanizada	Borracha vulcanizada	Borracha vulcanizada
PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
	PU	PU	PU	PU
	Borracha termoplástica	Borracha termoplástica	Borracha termoplástica	Borracha termoplástica
	Poliuretano termoplástico	Poliuretano termoplástico	Poliuretano termoplástico	Poliuretano termoplástico
	EVA	EVA	EVA	EVA

Adaptado de Andrade e Correia (2001)

Os calçados esportivos com sistema de amortecimento iguais, mas localizados em regiões diferentes do pé (retropé e antepé), são capazes de alterar variáveis biomecânicas como a força máxima, pico de pressão e área de contato (Cavanagh e Lafortune, 1980). Estes resultados indicaram que calçados com sistema de amortecimento em regiões diferentes do pé podem alterar as cargas plantares, sendo importante a escolha de um calçado de corrida para treino ou competição, uma vez que, estas características na fabricação determinam os locais onde estão inseridos os sistemas de amortecimento do calçado (Wiegerinck *et al.*, 2009).

Para a fabricação de um calçado esportivo são necessárias 4 partes distintas (Figura 1). O cabedal, usado para dar mais firmeza e proteção à parte superior do pé. A palmilha, na maioria dos modelos é fabricada com copolímero de EVA e tem a função de dar firmeza ao caminhar e sustentação ao arco longitudinal medial. A entressola, é uma camada intermediária colocada entre a palmilha e a sola, com função estética e de amortecimento e por último a sola, que é a parte que está em contato direto com o solo, tendo papel fundamental na qualidade e aderência do calçado. O material utilizado na fabricação determina suas propriedades tais como; durabilidade, flexibilidade, resistência à umidade, leveza e resistência ao deslizamento (Andrade e Correa, 2001).

Figura 1 - Partes principais que compõem o calçado esportivo: Cabedal, Palmilha, Entressola e Solado.

Diferentes propriedades de amortecimento foram introduzidas na entressola dos calçados esportivos, tais como gel, capsulas de ar, wave e dmx, na tentativa de determinar quais trariam melhores benefícios no desempenho do corredor durante a corrida.

Pode-se verificar na literatura que a evolução dos materiais inseridos na entressola dos calçados promoveram algumas alterações na mecânica da corrida, destacam-se as variações da força de impacto, o tempo de contato, o ângulo de ataque do calcanhar no solo no apoio inicial (Hardin *et al.*, 2004; Cheung e Ng, 2008; Nigg *et al.*, 2012), a EC (Nigg *et al.*, 2003; Squadrone e Gallozzi, 2009; Perl *et al.*, 2012; Fuller *et al.*, 2015), a atividade elétrica do músculo (Nigg *et al.*, 1999; Scott *et al.*, 2012), o deslocamento vertical do centro de massa e na rigidez da perna (Sinclair, Atkins, *et al.*, 2016) e a influência do conforto (Wegener *et al.*, 2008; Dinato *et al.*, 2015), sendo este, o único fator que o corredor consegue avaliar no momento de aquisição de um tênis novo.

As variáveis mencionadas acima serão descritas com mais detalhes nos tópicos subsequentes.

3.2 Economia de corrida

A EC vem sendo considerada um dos principais parâmetros de aptidão aeróbia relacionada à corrida. A importância da EC reside no fato da mesma expressar o desempenho de atletas e praticantes de atividade física durante à corrida (Barnes e Kilding, 2015a). Atletas com valores similares de consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$) podem apresentar diferentes desempenhos em provas de longa duração devido a diferenças na EC (Hoogkamer *et al.*, 2016). Assim, o objetivo primordial dos corredores para participar em competições esportivas é correr no menor tempo possível. Para tanto, há a necessidade de

entendermos alguns fatores determinantes do desempenho. Segundo Foster e Lucia, (2007) os fatores determinantes do desempenho são: (i) consumo máximo de oxigênio, (ii) capacidade de sustentar uma alta porcentagem do $\dot{V}O_{2max}$ por um longo período de tempo e (iii) mover-se com maior eficiência (EC).

Até a década de 70, a literatura científica apresentou pouca evidência sobre a importância da EC, pois acreditava-se que o $\dot{V}O_{2max}$ seria determinante do desempenho. Pollock, (1977) em seu estudo, comparou corredores de elite, considerados bem treinados e destreinados com $\dot{V}O_{2max}$ correspondente à 76, 69 e 54 ml·kg⁻¹·min⁻¹, respectivamente. O autor concluiu que entre grupos (treinados e destreinados) o $\dot{V}O_{2max}$ é um bom preditor de performance. No entanto, em outro estudo, corredores com $\dot{V}O_{2max}$ similares demonstraram correlação positiva entre o tempo dos 10km e EC, indicando que o $\dot{V}O_{2max}$ não pode ser utilizado para distinguir diferentes níveis de performance (Morgan, Baldini, *et al.*, 1989).

Uma medida que pode distinguir entre um bom e um ruim desempenho na corrida é a EC, definida como a taxa de $\dot{V}O_2$ a uma determinada velocidade submáxima de corrida (Conley *et al.*, 1981; Foster e Lucia, 2007). Essa taxa de $\dot{V}O_2$ reflete a demanda energética na corrida a uma velocidade submáxima constante. Corredores com uma boa EC consomem menos oxigênio em relação a corredores com baixa EC a uma mesma velocidade submáxima (Saunders, Pyne, *et al.*, 2004b). Jones, (2006) demonstrou que mulheres maratonistas, entre os anos de 1992 e 2003, aumentaram em 15% a EC (Figura 2). Segundo o autor a melhora deste parâmetro permitiu avanços contínuos na compreensão de desempenho ao longo dos anos. Tanto Conley *et al.* (1981) quanto Costill *et al.* (1973) encontraram fortes correlações entre EC e desempenho ($r=0,83$ e $r=0,94$ respectivamente) quando realizaram provas de 10km.

Figura 2 - $\dot{V}O_2$ de mulheres maratonistas entre 1992 e 2003. Adaptado de Jones 2006.

Poucos estudos conseguiram estabelecer uma relação entre EC e desempenho (Costill *et al.*, 1973; Conley *et al.*, 1981; Jones, 2006). No entanto, outros trabalhos tem voltado sua atenção a alguns outros fatores fisiológicos que podem influenciar na EC, tais como: temperatura corporal, frequência cardíaca, ventilação (VE) e lactato (Saunders, Pyne, *et al.*, 2004a), bem como fatores biomecânicos, tais como: antropometria, cinemática dos membros inferiores e força reação do solo, além de fatores extrínsecos como a interação entre calçado e o solo (Saunders, Pyne, *et al.*, 2004a; Moore, 2016). Todos estes fatores serão explicados com mais detalhes nos próximos tópicos do trabalho.

3.3 Fatores fisiológicos e EC

Alguns fatores fisiológicos tais como a temperatura corporal (C_{temp}), a frequência cardíaca (FC), a ventilação (VE) e o lactato ([La]) podem estar associados com variações na EC (Saunders, Pyne, *et al.*, 2004b). Com o objetivo de determinar a relação entre o tempo de corrida em 10 km e algumas variáveis

fisiológicas, tais como o $\dot{V}O_{2max}$ e concentração de lactato (Morgan, Baldini, *et al.*, 1989) encontraram forte correlação entre o tempo de corrida nos 10 km com a $v\dot{V}O_{2max}$ ($r=-0,87$; $p \leq 0,01$) e com a velocidade da esteira para uma concentração de lactato sanguíneo a 4mM ($r=-0,82$; $p \leq 0,01$). Segundo os autores $v\dot{V}O_{2max}$ pode ser potencialmente usada como um índice do status de treinamento e como um parâmetro sensível e preditor de desempenho em corridas de longa duração. Em outro estudo, Thomas *et al.* (1999) investigaram os efeitos da FC, [La], C_{temp} e VE na EC em uma corrida de 5km a uma velocidade entre 80 e 85% do $\dot{V}O_{2max}$. Os resultados demonstraram que o aumento da VE foi o único fator que obteve uma correlação moderada com a diminuição da EC ($r=0,64$; $p<0,05$), indicando que o aumento do $\dot{V}O_2$ foi associado com o aumento na VE.

Smoljanic *et al.* (2014) investigaram a relação entre EC e a C_{temp} em corredores bem treinados e com baixo nível de treinamento, no qual foram observadas que em uma velocidade constante mantida na esteira os corredores menos econômicos demonstraram maiores aumentos na temperatura corporal em relação a corredores energeticamente mais econômicos ($1,51 \pm 0,29^{\circ}C$ e $1,03 \pm 0,33^{\circ}C$, respectivamente).

Outro ponto importante, é a composição das fibras musculares que também parece influenciar na EC. Williams e Cavanagh, (1987) demonstraram que corredores com alta porcentagem de fibras musculares de contração lenta (63,8%) possuem uma melhor EC ($36,8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) em relação a corredores com menores porcentagens deste tipo de fibra 57,3%, com um maior $\dot{V}O_2$ ($41,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Corroborando com essas informações, Bosco *et al.* (1987) também encontraram uma correlação significativa ($r=0,60$) entre o percentual de fibras rápidas e o gasto energético durante a corrida na esteira a uma velocidade

de 12 km/h. Os resultados do estudo demonstraram que o grupo com maior percentual de fibras rápidas tiveram um custo energético maior em relação ao grupo com menor percentual de fibra musculares rápidas (54,1% e 33%, respectivamente). Segundos os autores a atividade metabólica ou a velocidade de contração das fibras musculares influencia na EC (Saunders, Pyne, *et al.*, 2004a).

A distribuição dos tipos de fibras musculares também pode ser um fator importante para a EC. Discute-se que fibras musculares do tipo II (de contração rápida) poderia produzir um custo metabólico contrátil menor do que as fibras do tipo I em velocidades relativamente maiores (Hunter *et al.*, 2015). Dessa forma, indivíduos que apresentam maior distribuição desse tipo de fibra (seja devido ao treinamento de força ou a fatores genéticos) sejam mais econômicos durante a corrida. Isto devido ao fato de que em atividades como a corrida em grandes velocidades há um forte potencial para o ciclo de estiramento-encurtamento, onde as capacidades de contração rápida das miofibras aumentam a força excêntrica tardia, o ciclo encurtamento-estiramento e a economia, o que, por sua vez, compensa a redução da eficiência bioquímica das miofibras de contração rápida (Hunter *et al.*, 2015). Assume-se, que indivíduos que tenham experiência com o treinamento de força, além de resistência, apresentem melhores índices de EC devido a melhoras na coordenação muscular, como diminuição da atividade de músculos antagonistas utilizados durante a corrida, diminuindo os níveis de co-contracção durante essa atividade, e melhor sincronização de recrutamento das unidades motoras agonistas (Bonacci *et al.*, 2009).

Um dos métodos mais eficazes de se demonstrar que a força muscular influencia significativamente a EC é a realização de estudos longitudinais randomizados e controlados envolvendo o treinamento de força e potência

muscular (Denadai *et al.*, 2017). O treino pliométrico de seis semanas consecutivas em corredores amadores resultou em uma melhora significativa na EC (Turner *et al.*, 2003), prolongando o treinamento para 9 semanas de pliometria, porém, em atletas altamente treinados, a melhora da EC também foi igualmente significativa e satisfatória (Saunders, Pyne, *et al.*, 2004a), demonstrando a grande influência do recrutamento muscular sobre a EC.

O $\dot{V}O_2$ do miocárdio também constitui uma fração significativa do $\dot{V}O_2$ do corpo inteiro durante o exercício. As reduções no $\dot{V}O_2$ miocárdico resultariam em melhorias na EC de uma combinação mais eficiente da FC e volume sistólico. A redução da FC diminui o trabalho cardíaco e melhora o volume sistólico (Bailey e Pate, 1991).

3.4 Fatores biomecânicos e suas consequências na economia de corrida

Entender como a técnica correta de corrida pode influenciar a EC tem sido foco de pesquisas ao longo dos anos e fatores específicos tais como a cinemática dos membros inferiores (Williams e Cavanagh, 1987; Moore *et al.*, 2012), a cinética (Heise e Martin, 2001; Barnes e Kilding, 2015a), o tempo de contato com o solo e o tempo de voo (Cavanagh e Williams, 1982) bem como a interação entre a superfície e o calçado (Franz *et al.*, 2012; Worobets *et al.*, 2014) são fatores descritos que podem afetar e/ou influenciar a EC.

Dentre os fatores relacionados acima, o tempo de contato com o solo, o voo, o comprimento do passo (Cavanagh e Williams, 1982), a cinemática dos membros inferiores (Williams e Cavanagh, 1987), as forças que causam o movimento, tais como as forças de reação do solo (Heise e Martin, 2001) e os fatores neuromusculares (Abe *et al.*, 2007), tais como ativação e coativação muscular podem ser considerados fatores intrínsecos. Os fatores extrínsecos

estão relacionados a interação superfície-calçado com particular ênfase no calçado e superfície de corrida (Franz *et al.*, 2012; Worobets *et al.*, 2014).

Um número considerável de variáveis biomecânicas mostrando diferenças ou tendências consistentes foram identificadas e demonstraram a importância da influência mecânica na EC (Williams e Cavanagh, 1987; Kyröläinen *et al.*, 2001). Por esta razão os próximos itens irão descrever com mais detalhes como cada uma das variáveis biomecânicas supracitadas podem afetar a EC.

3.4.1 – Características antropométricas que podem influenciar a EC

Algumas características antropométricas tais como a altura, comprimentos dos membros e a massa corporal tem sido discutidos como potenciais influências na EC (Saunders, Pyne, *et al.*, 2004a). Embora seja difícil obter medidas diretas da relação entre a distribuição da massa dos segmentos e EC, resultado oriundo de estudo experimental conduzido por Cureton *et al.* (1978), o qual, foi adicionada massa nos membros inferiores dos corredores demonstrando que o custo metabólico para carregar um peso extra se torna mais significativo quando a massa está localizada na posição distal do segmento.

Nesta linha de raciocínio Myers e Steudel, (1985) demonstraram que a mudança da massa nos membros inferiores pode alterar o custo energético da corrida. Para os autores, o custo energético da adição de massa nos membros inferiores aumenta em torno de 10% em relação a adição na linha da cintura (1%), uma vez que, o custo para acelerar e desacelerar as pernas durante a corrida é um importante aspecto para o custo total da locomoção.

Outras evidências também encontraram aumento significativo no $\dot{V}O_2$ durante a corrida ao utilizar um calçado com maior massa afetando diretamente a massa dos membros inferiores (Jones *et al.*, 1986). Em média um calçado de corrida convencional tem massa em torno de 350 g, sendo que a demanda aeróbia aumenta 1% a cada 100g adicionada nos pés (Divert *et al.*, 2008). A massa extra (160g) ocasionada pelo uso de órtese proporcionou um $\dot{V}O_2$ em 1,4% na população de corredores experientes (Burkett *et al.*, 1985). Outra evidência é que o $\dot{V}O_2$ permanece 2,8% menor com um calçado minimalista comparado a um calçado padrão (Squadrone e Gallozzi, 2009). Estes resultados demonstram que a corrida descalço ou com calçado minimalista pode ser mais vantajosa do que correr com o calçado convencional. No entanto, o sistema de amortecimento e outras características de design do calçado esportivo podem também ter uma influência sobre a melhora da EC.

Outra característica antropométrica discutida na literatura é o comprimento da perna, ou seja, membro inferior. No entanto, ainda não há um consenso se o comprimento da perna pode ser um fator determinante para a EC. Na tentativa de responder esta questão Williams e Cavanagh, (1987) analisaram 31 atletas, durante 10 km de corrida, e não observaram diferenças associadas com o comprimento dos membros inferiores e da massa para a EC. Ainda neste raciocínio, características físicas de velocistas e corredores de média e longa distância, também foram estudadas por Malina *et al.* (1971), os quais encontraram que velocistas possuem pernas mais curtas que os corredores de média e longa distância. Normalmente, corredores de média e longa distância possuem melhor EC do que velocistas (Daniels e Daniels, 1992), entretanto, a influência do comprimento dos membros inferiores nestas diferenças permanece

pouco compreensiva, visto os poucos estudos realizados (Myers e Steudel, 1985).

3.4.2 Cinemática e Cinética dos segmentos e a relação com EC

Diversos parâmetros cinemáticos tem sido estudados e associados com melhoras na EC. Moore *et al.* (2012) realizaram um estudo durante 10 semanas de treinamento em corredoras iniciantes e detectaram um menor ângulo de flexão do joelho no momento da tirada do pé do solo após o treinamento (157° pós e 165° pré). Para os pesquisadores, é possível que a perna esteja em melhor posição na fase aérea, significando um menor gasto energético durante a flexão da perna na fase de balanço.

Outras comparações entre corredores de elite e corredores bem treinados indicam que a melhor EC apresentada pelos corredores de elite foi associado com maior ângulo máximo da coxa durante a extensão do quadril e uma menor oscilação vertical (Cavanagh *et al.*, 1977). Outro estudo também demonstrou que corredores de elite apresentaram maior tempo de contato, menor pico de força vertical e maior extensão da perna no momento do toque do pé no solo (Williams e Cavanagh, 1977).

Diferentes velocidades de corrida também foram analisadas para investigar a relação entre variáveis cinéticas, cinemáticas e atividade elétrica muscular em 17 corredores jovens. Os resultados mostraram que o aumento da atividade elétrica dos músculos ao redor das articulações do joelho e tornozelo foi correlacionado com o aumento do gasto energético ($r=0,48$, $p<0,05$), a qual foi proporcional com o aumento da velocidade da corrida (Kyröläinen *et al.*, 2001).

Mudanças também foram apresentadas para força vertical, anteroposterior e médio-lateral para desperdício de gasto metabólico. Quantificar a magnitude do suporte e a força durante a fase de contato com o solo pode explicar, em parte, a variabilidade da EC entre indivíduos com capacidades físicas semelhantes (Heise e Martin, 2001). Para verificar esta evidência o estudo de Heise e Martin (2001) analisou 16 corredores com bom nível de treinamento e encontraram boa correlação entre a EC e o impulso vertical total oriundo da força reação do solo (FRS) ($r=0,62$), indicando que o aumento da oscilação vertical do centro de massa leva a um maior dispêndio energético.

A maioria dos trabalhos que investigaram a relação entre a EC e a força reação do solo focou seus resultados na componente vertical desta força. Williams e Cavanagh, (1987) demonstraram que corredores mais econômicos possuem similar mecânica de corrida com menor oscilação vertical do centro de massa. Eles observaram que o tempo de contato e o pico de força se correlacionam com o $\dot{V}O_2$ submáximo ($r=0,49$ e $0,50$, respectivamente). Corredores mais econômicos tiveram menor primeiro pico da componente vertical da FRS e, que segundo os autores estas características são mais predominantes em corredores com padrão de pisada de retropé. No entanto, dados obtidos de corredores de elite e de longa distância demonstraram baixa correlação entre a FRS vertical e EC (Williams e Cavanagh, 1977), sugerindo que a força reação do solo não é o fator predominante em corredores de elite para determinar se um corredor é mais econômico ou não (Barnes e Kilding, 2015a).

Em um raciocínio contrário, estudos têm atribuído para a melhora da EC a energia armazenada durante a fase da contração excêntrica durante a corrida, a qual pode contribuir consideravelmente na fase de propulsão (Cavagna e

Kaneko, 1977; Perl *et al.*, 2012). O racional é que o tendão de Achilles e o arco medial longitudinal do pé podem armazenar 35% e 17%, respectivamente, da energia potencial recebida e dissipada durante a primeira metade da fase de apoio da corrida em velocidade moderada, podendo alterar o apoio dos pés durante a corrida (Ker *et al.*, 1987).

Williams e Cavanagh, (1987) estão entre os pioneiros em relacionar variáveis cinemáticas dos membros inferiores durante a corrida com a EC. Neste estudo os corredores foram divididos em corredores com boa EC, razoável EC e uma menor EC. Os resultados demonstraram diferenças significativas no ângulo do joelho no toque do calcanhar no solo e na máxima flexão do quadril (quanto maiores os valores angulares, melhor a EC), bem como na máxima velocidade de deslocamento do joelho durante o balanço, ou seja quanto menor a velocidade de deslocamento, melhor a EC entre os grupos avaliados.

As variações na técnica de corrida, especificamente do comprimento e da frequência de passada, podem resultar em alterações significativas na EC (Daniels, 1985; Williams e Cavanagh, 1987; Tartaruga *et al.*, 2012). Além da fase de balanço durante a corrida, Cavanagh e Williams (1982) destacaram o comprimento e a frequência de passada como variáveis de predição da EC, consequentemente, do desempenho de corridas de meia e longa distância. De acordo com os autores, quanto mais treinado e condicionado estiver o atleta, maior será o comprimento de passada e menor será a frequência de passada, portanto, maior EC. Entretanto, os autores destacam a necessidade de se realizarem mais estudos, objetivando a análise da relação de outras variáveis cinemáticas da técnica de corrida com a EC. Segundo Cavagna e Kaneko, (1977) o $\dot{V}O_2$ durante a corrida pode ser 30 a 40% maior, porém, com a contribuição da energia elástica armazenada e restituída. Uma melhor

contribuição do uso da energia armazenada e restituída do arco longitudinal medial do pé foi observada no estudo de (Perl *et al.*, 2012). Os resultados demonstraram que os corredores foram em média 2,8% mais econômicos quando utilizaram calçado que permite a utilização da musculatura intrínseca do pé, favorecendo um melhor aproveitamento da energia elástica durante a corrida.

3.4.3 Fatores de interação entre superfície e calçado

A um consenso na literatura científica que a corrida com calçados tradicionais (presença de sistema de amortecimento, suporte de arco, controle médio-lateral e calcanhar elevado) é prejudicial para a EC comparado a correr descalço ou com calçado minimalista (sem a presença dos itens elencados acima) (Divert *et al.*, 2008; Franz *et al.*, 2012; Fuller *et al.*, 2015).

Levando em considerações as diferenças inerciais entre um calçado leve e um calçado pesado, o qual deve ser acelerado contra e a favor da gravidade em cada passo, seria racional pensar que um esforço muscular reduzido poderia levar a uma melhora na EC (Fuller *et al.*, 2015). Nesta perspectiva, uma associação positiva entre a massa do calçado e o $\dot{V}O_2$ durante a corrida foi reportado por Franz *et al.* (2012), indicando que para cada 100g de massa adicionada em cada pé, aumenta o $\dot{V}O_2$ em 0,9% e 1,2% durante a corrida descalço e calçado respectivamente. No entanto, uma revisão sistemática conduzida por Fuller *et al.* (2015) sugere que menos de 440 g de massa por par de calçado não influencia na EC, mas um aumento superior a este pode interferir negativamente na EC. Os resultados do estudo mostraram que a corrida com calçado leve ou descalço foi significativamente mais econômico comparado ao calçado convencional, mas não encontraram diferença entre o calçado leve e a condição descalça, reforçando que uma diferença inferior a 440 g de massa por

par não traz prejuízos para a EC. Dessa forma, se a massa do calçado não for levada em consideração, a corrida descalço ou com calçado leve trará vantagens em relação a EC comparado com calçados convencionais (Massa do calçado > 440g) (Stefanyshyn e Nigg, 2000; Divert *et al.*, 2008; Worobets *et al.*, 2013).

Mesmo sendo considerado um calçado leve, o calçado minimalista difere do convencional basicamente pela altura do drop (figura 3), espessura da sola e maior espaço para os dedos. Dois outros estudos (Perl *et al.*, 2012; Moore *et al.*, 2014) compararam os efeitos destas diferenças na EC controlando os efeitos da massa. Calçados com entressola fina e sem diferença de drop provocam um aumento na frequência de passada e uma mudança no padrão de pisada, que por sua vez, pode melhorar a EC (Cavanagh e Williams, 1982; Lieberman *et al.*, 2010). Tanto Perl *et al.* (2012) quanto Moore *et al.* (2014) mesmo após controlarem o padrão de pisada e a frequência da passada em seus estudos também encontram melhora na EC com o calçado minimalista em relação ao calçado convencional. Para Perl *et al.* (2012) as características do calçado minimalista tais como o solado plano e fino melhora a energia elástica armazenada e restituída pelo tendão de aquiles e pelo arco longitudinal medial do pé. No entanto, até o momento esta hipótese não foi testada (Fuller *et al.*, 2015).

Figura 3 - Diferença de altura da sola entre a parte da frente (antepé) em relação a parte de trás (retropé) do calçado. (Fonte: Google.com.br)

Tem-se pensado que o feedback somatossensorial aumentado associado com a corrida com o calçado minimalista, fazem com que os corredores aumentem a frequência da passada e aterrizem com a parte anterior dos pés (Moore *et al.*, 2014). Este fato foi observado por Squadrone e Gallozzi, (2009).

Outras observações referentes as mudanças no momento de inércia dos membros inferiores, também podem afetar a EC. Estudo realizado por Scholz *et al.* (2008) ao analisar 15 corredores altamente treinados encontraram uma forte correlação ($r^2=0,75$; $P < 0,001$) entre a economia de corrida e o braço de momento do tendão de aquiles, com o braço de momento explicando 56% da variação na EC, onde, menores braços de momentos estão associados a melhor EC.

3.5 Percepção de amortecimento e suas relações com variáveis biomecânicas e EC.

O conforto do calçado é um dos mais importantes fatores para os fabricantes de calçados esportivos. Alguns estudos tem investigado a percepção

de conforto e suas correlações com a componente vertical da FRS e a distribuição da pressão plantar (Milani *et al.*, 1997; Wegener *et al.*, 2008). Milani *et al.* (1997) analisaram 8 calçados de corrida com diferenças na rigidez da entressola e demonstraram que calçados mais duros tendem a apresentarem menores FRS vertical, sugerindo que pode haver uma adaptação dos corredores em relação ao estilo de corrida na tentativa de evitar altos impactos no retropé e apesar das habilidades perceptivas dos corredores, eles não são capazes de identificar calçados biomecanicamente seguro dentre a vasta gama de modelos disponíveis.

Outro estudo que também analisou calçados esportivos com diferenças na rigidez da entressola (macio, médio e duro) demonstraram forte correlação entre a percepção de amortecimento e o pico de pressão no calcanhar e o primeiro pico da FRS vertical e que dependendo da rigidez do calçado as forças de impacto podem ser alteradas, indicando ainda, que as medidas da pressão plantar podem ser um indicativo para representar a percepção de amortecimento dos corredores (Hennig *et al.*, 1996).

De acordo com Hennig *et al.* (1996) e Milani *et al.* (1997), nosso sistema perceptivo-sensorial consegue distinguir impactos de diferentes frequências e magnitudes em função das características da rigidez da entressola, e realizam ajustes no estilo de corrida para reduzir essas altas taxas de impactos no membros inferiores.

Mudanças na percepção de conforto poderiam ser detectadas pelas medidas da pressão plantar durante a corrida, desde que, os valores obtidos dos dados da pressão fossem grandes o suficiente para identificar estas mudanças, caso contrário, o conforto só poderia ser identificado durante o andar (Chen e Nigg, 1994). Também não foi demonstrado relação da percepção de conforto

com as variáveis de pressão plantar durante a corrida em calçados esportivos com entressola de Gel e HydroFlow em nenhuma região do pé, indicando que a percepção de conforto não é um bom indicador para demonstrar a redução de pressão plantar em calçados esportivos (Wegener *et al.*, 2008).

Contrariando os estudos de Chen e Nigg (1994) e Wegener *et al.* (2008), Miller *et al.* (2000) encontraram fortes correlações entre as percepções de conforto e as características de flexibilidade e rigidez da entressola do calçado esportivo durante o andar e o correr, e que a percepção de conforto diminui da marcha em relação a corrida, reforçando o fato que o conforto do calçado não depende apenas de suas características individuais, mas também da atividade que está sendo realizada (andar ou correr).

Corredores e seus treinadores consideram as características de conforto do calçado esportivo uma importante variável para um bom desempenho do corredor durante a realização da corrida. Luo *et al.* (2009) verificaram que calçados confortáveis produzem menor $\dot{V}O_2$ (0,7% em média) quando comparado ao calçado desconfortável. Os próprios autores discutem e inferem que o conforto do calçado está associado à morfologia e a sensibilidade dos pés, bem como da sua adequação ao formato e encaixe no calçado. Muitas das explicações para esta compreensão é pelo novo paradigma proposto por Nigg *et al.* (2015), onde calçados confortáveis estão associados a adaptações biomecânicas adequadas com menor gasto energético muscular e uma melhor EC, porém os corredores selecionam o conforto do calçado em seu próprio filtro subjetivo com o propósito de reduzir o risco de lesão. Isto faz da variável conforto um importante parâmetro subjetivo sobre o qual o corredor se baseia para a escolha do calçado esportivo à ser utilizado.

Na tentativa de identificar se corredores seriam capazes de perceber o conforto em calçados com alta quilometragem de uso, Cornwall e Mcpoil, (2017) realizaram um estudo através da qual identificaram que o calçado pode perder até 33% das capacidades de amortecimento após 450 km de uso e que embora houvesse reduções significativas no amortecimento, os corredores não foram capazes de perceber estas mudanças mesmo após 650 km de uso.

As percepções de conforto do calçado esportivo tem sido associado com diversos fatores tais como temperatura interna do calçado (Lake, 2000), pressões plantares e dorsais (Chen e Nigg, 1994), sensibilidade do pé (Mündermann *et al.*, 2001), atenuação de cargas (Milani *et al.*, 1997), atividade elétrica dos membros inferiores (Nigg *et al.*, 2003) e economia de corrida (Luo *et al.*, 2009). A interação dos materiais da entressola, do modelo do calçado e do corredor, dificulta a previsão de como um indivíduo pode reagir a um dado calçado esportivo (Frederick, 1986). Isto também pode explicar porque tem sido difícil estabelecer conexões diretas entre o calçado, o desempenho e a EC. Um melhor esclarecimento dessas relações poderiam trazer benefícios para a construção do calçado de corrida, tanto para a melhora do conforto quanto para diminuição dos tempos durante uma prova de corrida.

3.6 Intervenções para melhorar a economia de corria em corredores

Corredores bem treinados tem uma melhor EC em relação a corredores destreinados, indicando que podem ocorrer adaptações em virtude do treinamento (Saunders, Pyne, *et al.*, 2004a). Estratégias tais como a diminuição metabolismo, melhora cardiorrespiratória e adaptações biomecânicas e neuromusculares podem influenciar para melhora na EC (Barnes e Kilding, 2015b). O treinamento de longa duração associado com outros métodos de

treinamento tem se mostrado uma ferramenta importante na melhora da EC em corredores destreinados ou moderados (Pollock *et al.*, 1980). Segundo Barnes e Kilding, (2015b) intervenções agudas e crônicas foram investigadas com o intuito de melhorar a EC, tais como treinamento de resistência, treinamento intervalado de alta intensidade (HIT) e exposição a altitude. Estas estratégias serão melhor descritas nas próximas seções.

3.6.1 Treinamento de resistência

Um método comum de treinamento frequentemente realizado por corredores de longas distâncias é o treinamento de resistência, que tem como objetivo aumentar a força, potência e resistência muscular, além de promover adaptações neurais e conseqüentemente melhorando a EC (Barnes e Kilding, 2015b). A melhora da EC através do treinamento de resistência pode ser alcançada através da melhora da coordenação dos membros inferiores e da coativação muscular aumentando a rigidez da perna e diminuindo o tempo de contato durante a fase de apoio da corrida, permitindo uma transição mais rápida da fase frenagem para a fase propulsiva (Kyröläinen *et al.*, 2001).

Sale, (1988) alega que o treinamento de resistência pesado induz a mudanças no sistema nervoso os quais permite que o atleta aumente a ativação dos músculos responsáveis pelo movimento produzindo uma força maior em cada passo. Um aumento da força após o treinamento de resistência mais intenso resultando no aumento do recrutamento e sincronização das unidades motoras pode melhorar a eficiência mecânica e o padrão de recrutamento. Um aumento da força muscular excêntrica após um treinamento de resistência mais pesado é capaz de atrasar a fadiga muscular resultando em uma pequena

diminuição do $\dot{V}O_2$, melhorando a EC em qualquer velocidade durante um exercício de resistência (Hayes *et al.*, 2011).

Um outro treinamento de força conhecido como treinamento pliométrico é capaz de melhorar o padrão de ativação de unidades motoras com menor hipertrofia muscular em relação ao treinamento de resistência pesado (Häkkinen *et al.*, 1985). O treinamento pliométrico melhora a capacidade do musculo na geração de potência através do aumentando o ciclo encurtamento-alongamento obtidos com exercícios de saltos (Turner *et al.*, 2003). Outro potencial benefício deste treinamento é o aumento da rigidez do sistema musculo-tendíneo, os quais, permitem que o corpo armazene e utilize a energia elástica de forma mais eficiente (Spurrs *et al.*, 2003). Os resultados deste estudo demonstraram que um programa de treinamento de 6 semanas é capaz de melhorar a EC e o desempenho em uma prova de 3 km em até 2,7%. Paavolainen *et al.* (1999) investigou 22 corredores recreacionais e identificou que 9 semanas de treinamento pliométrico aumentou o desempenho em uma prova de 5 km e a EC em aproximadamente 3% e 8% respectivamente. Os autores sugerem que o aumento do desempenho foi resultado da melhora das características neuromusculares e da eficiência biomecânica que foi transferida para o aumento da potência e da EC.

Segundo Barnes e Kilding, (2015b) o treinamento pliométrico e de resistência aumenta a EC em corredores recreacionais, de nível médio e altamente treinados e que as sessões de treinamento variam entre 6 e 9 semanas com séries de exercícios com e sem carga 3 vezes por semana (Spurrs *et al.*, 2003; Turner *et al.*, 2003; Barnes e Kilding, 2015b).

3.6.2 Exposição a altitude

Estratégias ambientais para melhora da performance são utilizadas por atletas, técnicos e cientistas do esporte, sendo o treinamento na altitude uma estratégia potencial para atingir os resultados desejados (Barnes e Kilding, 2015b). Existe um consenso na comunidade esportiva que o treinamento na altitude pode melhorar o desempenho através do aumento dos parâmetros hematológicos levando a um aumento da capacidade aeróbia (Levine e Stray-Gundersen, 1997). Um conceito mais tradicional para o treinamento na altitude consistia no atleta vivendo e treinando a moderada altitude (1500-3000m). Uma abordagem mais recente defende que o atleta viva na altitude e treine ao nível do mar, metodologia esta que ficou conhecida como “*live-high train-low*” (LHTL) (Levine e Stray-Gundersen, 1997). Devido as condições geográficas e a dificuldade de acesso a determinadas regiões não é fácil realizar o LHTL, sendo cada vez mais frequente o atleta viver em altitude simulada e treinar ao nível do mar (Stray-Gundersen *et al.*, 2001).

A aclimação a altitude permite adaptações nos sistemas centrais e periféricos que melhoram o transporte e utilização de oxigênio, mecanismos que potencialmente podem melhorar a EC dos atletas (Levine e Stray-Gundersen, 1997). Estudo conduzido por Katayama *et al.* (2004) demonstraram que a exposição em condições simuladas de hipóxia intermitente melhorou a EC e o desempenho em 8 corredores bem treinados. Os atletas expostos a hipóxia durante 3 horas por dia em 14 dias consecutivos demonstraram melhora na EC a 14km/h e 16 km/h de 2,5% e 2,8% respectivamente e no desempenho durante uma prova de 3km em 0,8%. Saunders, Telford, *et al.* (2004) investigou os efeitos da exposição simulada em altitude moderada em 22 corredores de elite de longa distância. Os atletas divididos em grupos foram submetidos as condições LHTL (2000-3100m), “live-moderate train-moderate” (LMTM – 1500-2000m) e live-low

train-low (LLTL – 600m). Os resultados demonstraram que os corredores submetidos a 20 dias de exposição a LHTL tiveram uma redução na EC de 3,3% em comparação as outras condições. Saltin *et al.* (1995) investigou as características fisiológicas de corredores Quenianos que viviam e treinavam na altitude (2000m) e Escandinavos que viviam e treinavam ao nível do mar. Os corredores Quenianos tiveram um menor $\dot{V}O_2$ (5-15%) e não acumulavam lactato em altas intensidades de exercício.

Brothers *et al.* (2010) investigaram as mudanças nos parâmetros fisiológicos e de desempenho em 55 recrutas do exército americano durante 46 semanas, sendo 18 voluntários habituados a viver na altitude de 2210m e 37 recrutas recém chegados que viviam ao nível do mar. Os recrutas que viviam ao nível do mar tiveram pior EC (6,6%) e maiores tempos em um teste de 2400m (5,4%) comparados aos adaptados em altitude moderada. Os autores demonstraram que uma aclimação completa a 2210 m de altitude pode exigir longos períodos de adaptações fisiológicas uma vez que as diferenças fisiológicas e de desempenho persistiram entre os grupos.

A exposição a altitude não traz prejuízos a EC e evidências sugerem que pode haver melhorias substanciais na EC ao nível do mar. A aclimação a altitude leva a adaptações centrais e periféricas que melhoram o transporte e utilização de oxigênio, visto que, estas adaptações poderiam explicar as mudanças na EC (Barnes e Kilding, 2015b).

4. ESTUDO 1

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Dezesseis corredores recreacionais de provas de longa duração participaram voluntariamente deste estudo. Durante o período experimental 4 corredores desistiram por razões pessoais. Desta forma, 12 corredores recreacionais (idade $33,1 \pm 7,2$ anos; altura $1,74 \pm 0,05$ m; massa corporal $70,1 \pm 9,9$ kg; índice de massa corporal $23,3 \pm 2,5$ kg·m²; percentual de gordura corporal $11,0 \pm 4,8\%$; frequência cardíaca máxima (FCmax) $180,7 \pm 10,2$ e $\dot{V}O_{2max}$ $52,1 \pm 4,9$ ml·kg⁻¹·min⁻¹) completaram as 4 visitas. Os critérios de elegibilidade foram: participação em competições de corridas de rua com percursos de 10 km há pelo menos dois anos sem interrupção; volume semanal de treino superior a 30 km; padrão de pisada de retropé; não apresentar lesão musculoesquelética nos últimos seis meses. Todos os corredores responderam um questionário que objetivava detectar alguma alteração que os impedisse de realizarem exercícios físicos extenuantes e um questionário previamente elaborado onde constaram os dados pessoais e informações sobre o treinamento físico, tais como o tempo de corrida, volume semanal, utilização de calçados esportivos e dados sobre lesões relacionadas a corrida. Os participantes receberam uma explicação verbal acerca dos riscos e dos benefícios proporcionados pelo estudo e, em seguida, assinaram um termo de consentimento informado, aprovado pelo Comitê de Ética para estudos com humanos da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (número do processo 910.103).

4.1.1 Desenho Experimental

Os atletas visitaram o laboratório em quatro ocasiões separadas por um intervalo mínimo de três dias e máximo de quatro semanas. Uma visão geral das medidas gerais e do desenho experimental é apresentada na figura 4. Na primeira visita foram realizadas as medidas antropométricas (massa corporal, estatura e dobras cutâneas) e um teste progressivo até a exaustão para caracterização da amostra. Após 40 min de descanso, os participantes realizaram uma familiarização ao teste contrarrelógio de 3-km em uma pista de atletismo de 400 m. Na segunda e terceira visitas os atletas realizaram, de forma contrabalançada, uma corrida contrarrelógio de 3 km na pista de atletismo nas condições com calçado minimalista e calçado TPE em dias diferentes. Na quarta visita, os atletas realizaram testes de velocidade constante na esteira com 6 minutos de duração (12km/h) utilizando o calçado TPE e o calçado minimalista e 6 minutos de corrida na velocidade correspondente a média do contrarrelógio de 3 km usando o calçado TPE e minimalista para a determinação da EC e dos parâmetros biomecânicos.

- EC: economia de corrida; FRS: força reação do solo
- AV3km: média 3-km contrarrelógio

Figura 4 - Visão geral do desenho experimental

Os testes foram realizados no mesmo horário do dia para evitar a variação circadiana, com temperaturas ambiente similares. Foram adquiridos 3 pares de cada calçado esportivo, do modelo masculino, cujos tamanhos foram 41, 42 e 43 do padrão brasileiro. Estas numerações foram escolhidas por se tratarem de tamanhos comuns de calçados masculinos e assim, permitir um aumento do número de corredores que poderiam participar do estudo. As avaliações para cada calçado foram realizadas em um sistema simples-cego, onde os corredores não sabiam qual era a condição experimental em virtude da descaracterização do calçado que estava sendo avaliado. Para que isso fosse possível, antes das coletas os calçados foram mascarados com fita preta tipo Silvertape; retirou-se as etiquetas que os identificassem e realizou-se a abrasão do solado para eliminar qualquer identificação da marca do fabricante (Figura 5). Após este procedimento, os calçados foram numerados para que sua identificação até o

final de todas as avaliações e análises estatísticas fossem sempre feitas por seu número correspondente e não mais pela marca.

Por motivos de higienização, foi solicitado o uso de meia. Previamente, as avaliações todos os corredores foram orientados a não realizarem qualquer tipo de exercício exaustivo nas 24h que precederam os testes. Eles também foram instruídos a não consumirem bebidas com cafeína nas 8h que antecederem os testes e a manterem os mesmos hábitos alimentares durante o período experimental.

Figura 5 - Calçados utilizados nas coletas, descaracterizados com fita Silver tape preta.

4.1.2 Antropometria

As avaliações antropométricas foram realizadas de acordo com os procedimentos descritos por Norton and Olds (1996). A massa corporal total foi medida com uma balança eletrônica com resolução de 0,1 kg (Filizola, modelo ID 1500, São Paulo, Brasil) e a estatura foi mensurada através de um estadiometro de madeira com resolução de 0,1 cm. As dobras cutâneas foram medidas em cinco pontos anatômicos (Tríceps, suprailíaca, subescapular, abdominal e superior da coxa) por meio de um compasso da marca Harpenden (West Sussex, UK). Foram realizadas três mensurações numa ordem de rodízio em cada local no lado direito do corpo e com o corredor na posição ereta. O valor médio das três medidas representou o escore das pregas cutâneas. As medidas foram realizada por um único avaliador experiente. A densidade corporal foi estimada usando a equação de Jackson e Pollock (2004), e a estimativa do percentual de gordura corporal (%GC) por Brozek *et al.* (1963).

4.1.3 Teste incremental máximo

O teste incremental máximo foi realizado em uma esteira (modelo TK35, CEFISE, Nova Odessa, Brasil). Após três minutos de aquecimento correndo a 8 km/h, a velocidade da esteira rolante foi aumentada em 1 km/h a cada 1 minuto até a exaustão, a qual foi definida como a incapacidade de manter a velocidade de corrida. Os corredores receberam um incentivo verbal para continuar o maior tempo possível. Durante todo o teste as trocas gasosas foram mensuradas respiração a respiração por um analisador de gases estacionário (Metalyser 3B, Cortex, Leipzig, Alemanha) e, subsequentemente, filtrado em médias de 20 segundos. Antes de todos os testes, foi utilizada uma seringa com o volume de

ar de 3 litros (Modelo 5530, Hans Rudolph, EUA). A calibração do dispositivo foi realizada de acordo com as especificações do fabricante utilizando uma composição de ar ambiente conhecida contendo 12% de O_2 e 5% de CO_2 .

A frequência cardíaca foi mensurada por um cárdio-frequencímetro (Polar, modelo S810, Kempele, Finlândia) acoplado ao analisador de gases. A FCmax foi definida como o maior valor obtido ao final do teste. O $\dot{V}O_{2max}$ foi determinado quando dois dos seguintes critérios foram atendidos: um aumento na absorção de oxigênio de menos de $2,1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ entre dois estádios consecutivos e uma taxa de troca respiratória maior que 1,1. Durante o teste, os participantes foram supervisionados por profissional competente.

Figura 6 - Equipamentos que foram utilizados nas avaliações biomecânicas e fisiológicas: esteira rolante modelo TK35 (painel A) e analisador de gases (painel B).

4.1.4 Teste de carga constante

O teste de carga constante foi realizado utilizando os dois modelos de calçados esportivos (minimalista e TPE) na mesma esteira usada no teste incremental máximo (Figura 6). A determinação da EC foi realizada na velocidade de 12 km/h, enquanto que o custo de oxigênio (CTO_2) durante o teste de corrida foi considerado como sendo o $\dot{V}O_2$ na velocidade média de cada teste

obtido no contrarrelógio de 3-km. Esses testes foram realizados de forma contrabalançada. Antes dos testes, os participantes fizeram um aquecimento de 5 minutos a uma velocidade de 8 km/h seguido de um alongamento leve de 5 minutos. Cada teste teve a duração de 6 minutos e foram intercalados por um período de 10 minutos de recuperação passiva ou até os valores ventilatórios voltarem aos níveis de base. Os procedimentos adotados na mensuração das trocas gasosas foram idênticos aos utilizados no teste progressivo até a exaustão. A EC e o CTO_2 foram definidos pela média dos valores do $\dot{V}O_2$ durante os últimos 30 segundos do teste.

Durante o teste de carga constante, a componente vertical da força reação do solo (FRS), foi adquirida. A mesma esteira utilizada no teste incremental máximo foi instrumentada com 4 células de carga tipo *Strain Gage*, com capacidade de 3000 Newtons cada. Foi utilizado um conversor analógico digital modelo N2000 Pro A/D (Cefise, Nova Odessa, Brasil). O software utilizado para fazer a aquisição dos dados oriundos das células de carga foi o MPlacas 1.0 (Cefise, Nova Odessa, Brasil), cuja frequência de amostragem é de até 600hz. Foram selecionados 20 passos válidos para cada um dos calçados avaliados. As análises foram realizadas utilizando uma rotina MatLab (versão R2009a). Os dados da força reação do solo vertical foram filtrados através de um filtro Butterworth de 4° ordem com frequência de corte de 30 Hz. As variáveis da força reação do solo calculadas foram (Figura 7):

- primeiro pico da força vertical ($Fz1$) (normalizada pelo peso corporal - PC), equivalente ao momento do toque do calcanhar no solo;
- segundo pico de força ($Fz2$) (PC), equivalente ao momento de propulsão;

- taxa de carga ou loading rate (LR) (PC/s), equivalente a taxa entre 20 e 80% do primeiro pico da força vertical (Milner *et al.*, 2006);

- taxa de propulsão (T_{xp}) (PC/s), definida como a taxa do segundo pico de força entre o tempo da força mínima até o segundo pico de força.

Figura 7 - Representação gráfica das variáveis da FRS vertical, onde (Fz1) 1º pico vertical da FRS, (Fz2) 2º pico vertical da FRS, (LR 80) taxa de carga entre 20 e 80% do 1º pico vertical da FRS.

Também foi calculado a “rigidez” vertical, que pode ser definido como a razão entre a força máxima e o deslocamento vertical do centro de massa na fase do apoio médio da corrida (Morin *et al.*, 2005). A rigidez vertical k_{vert} (kN/m) foi calculada como a razão entre a força vertical máxima (F_{max}), (corresponde a Fz2) e a variação vertical do deslocamento do Centro de Massa estimado (y_{CM}), como descrito na equação abaixo:

$$k_{vert} = \frac{F_{max}}{\Delta y_{CM}}$$

E

sendo (m) a massa corporal em kg, (t_c) o tempo de contato em (s) e (g) a aceleração da gravidade.

e

$$\Delta y_{CM} = \frac{F_{max} t_c^2}{m \pi^2} + g \frac{t_c^2}{8}$$

Também foi calculado a rigidez da perna (k_{leg}) com base nas seguintes equações:

$$k_{leg} = F_{max} \cdot \Delta L^{-1}$$

Onde $\longrightarrow \Delta L = L - \sqrt{L^2 - \left(\frac{v t_c}{2}\right)^2} + \Delta y_c$

onde: (L) é o comprimento da perna em metros (m) e (v) é a velocidade da corrida em ($m \cdot s^{-1}$).

4.1.5 Teste contrarrelógio de 3km

Os corredores realizaram individualmente um teste contrarrelógio de 3-km em uma pista de atletismo de 400 m em 3 diferentes dias (familiarização, minimalista e TPE). Estes testes foram realizados com intervalos de no mínimo 48 horas entre eles. Antes dos testes os participantes realizaram um aquecimento de 10 minutos. Foi permitido o consumo regular de água, a qual foi disponibilizada a vontade durante o teste. Os participantes foram instruídos a percorrerem o percurso o mais rápido possível, simulando um evento

competitivo. O encorajamento verbal foi realizado durante todo o teste. O tempo total dos 3-km foi registrado em cada volta de 400 m utilizando-se um cronometro profissional (Modelo HS-1000, Cassio, Japão). A percepção subjetiva de esforço (PSE) foi mensurada a cada 400m utilizando-se de uma escala de Borg de 15 pontos (Borg, 1970). Uma cópia desta escala foi reduzida e plastificada (10x5cm) e fixada no antebraço dominante dos corredores. Todos os testes foram realizados em períodos do dia em que a temperatura ambiente e a umidade do ar tivesse valores médios com menor variação. Os valores médios e desvio padrão de temperatura e umidade foram $24,3 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$ e $68,8 \pm 14,6\%$, respectivamente.

Ao final do teste contrarrelógio de 3-km os corredores responderam uma avaliação de conforto baseadas em uma escala analógica visual de 100 mm adaptada de Mündermann *et al.* (2002), na qual no extremo do lado esquerdo é considerado desconfortável e no extremo do lado direito é considerado muito confortável (ANEXO 4). Os itens avaliados para cada calçado foram: amortecimento do calcanhar, conforto da borda superior do contraforte, conforto quanto à largura da base do contraforte, amortecimento no antepé, conforto na largura do antepé, conforto quanto ao comprimento do calçado, controle médio lateral durante a corrida, conforto da região do arco plantar, conforto geral.

As avaliações de conforto dos calçados foram realizadas em simples-cego, onde os corredores não sabiam qual calçado estava sendo avaliado. Para que isso fosse possível, antes das coletas os calçados foram mascarados com fita prateada e retirou-se as etiquetas para eliminar qualquer identificação da marcado fabricante (Figura5). A ordem da avaliação de conforto dos dois calçados seguiu a mesma ordem do teste contrarrelógio de 3 km.

4.1.6 Calçados avaliados

Foram avaliados 2 calçados esportivos, de marcas já conhecidas no mercado. Para que não houvesse influência da massa na EC foi adicionado 30g no calçado minimalista.

- a. **Calçado Minimalista - (Figura 4A):** Possui cabedal leve em mesh reforçado com Flywire no mediopé para ventilação com leveza e um ajuste adaptativo. O calcanhar imita o formato do pé, com rolamento próximo ao chão para promover uma passada natural. Solado: Wafle com cortes profundos hexagonais estruturam as laterais para que seu pé se mova mais naturalmente em cada direção. Tipo de pisada neutra. Média de massa 275 g. Preço médio: R\$ 200,00
- b. **Calçado Esportivo TPE (Figura 4B):** Cabedal possui tecnologia TechFit em mesh respirável; Entressola com tecnologia TPE; Tecnologia Torsion® System que permite que a parte da frente e detrás se movam de forma independente; Entressola constituída por grânulos de Termoplástico Poliuretano Expandido. Tipo de Pisada: Neutra. Média de massa 320 g. Preço médio: R\$ 499,00

Figura 8 - Calçados comercialmente disponíveis que foram comprados e utilizados: A. Nike Free, B. Adidas Energy TPE

4.1.7 Análise estatística

Por meio do software Statistica v.8 (*StatSoft, Inc.*), verificou-se a normalidade das distribuições das variáveis pelo teste de Shapiro-Wilk. Todas as variáveis foram apresentadas como médias $\pm$ desvios padrão. As comparações entre os calçados foram realizadas por meio de teste *t de Student* para amostras dependentes. Foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson entre a variável EC e desempenho e as variáveis relacionadas à escala de conforto. A correlação de Pearson foi considerada fraca entre 0 e 0,30; moderada entre 0,31 e 0,60; forte entre 0,61 e 0,90 e muito forte entre 0,91 e 1,0 (Callegari-Jacques, 2003). O tamanho do efeito (TE) foi quantificado usando a média das diferenças e consideradas trivial ($<0,20$), pequenas (0,20–0,49), moderada (0,50–0,79) e grande ($\geq 0,80$) (Cohen, 1992). Foram consideradas diferenças estatísticas com nível de significância igual ou menor que 5% ($p \leq 0,05$).

4.2 RESULTADOS

A tabela 2 apresenta a idade, histórico de treinamento, as características antropométricas e fisiológicas dos participantes.

Tabela 2 – Idade, histórico de treinamento, características antropométricas e fisiológicas dos participantes.

Características	Média (desvio-padrão)
Idade (anos)	33,2 ± 6,8
Estatura (m)	1,74 ± 0,05
Massa corporal (kg)	70,5 ± 10,6
Percentual de gordura corporal (%)	11,0 ± 4,8
Índice de massa corporal (kg·m ²)	23,3 ± 2,5
Tempo de corrida (anos)	4,5 ± 2,8
Volume de treino semanal (km)	43,5 ± 14,4
Tempo nos 10km (min)	41,7 ± 2,8
$\dot{V}O_{2max}$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	52,1 ± 4,9
FCmax (bpm)	180,7 ± 10,2

$\dot{V}O_{2max}$: consumo máximo de oxigênio, FC_{max}: frequência cardíaca máxima.

Os valores são médias ± desvios padrão.

A figura 9 apresenta a EC e CTO₂ nas duas condições experimentais. O calçado TPE produziu uma maior EC (~2,4%) quando comparado ao calçado minimalista ($p = 0,01$, TE = 0,42). Não houve diferença significativa entre os calçados para o CTO₂ ($p = 0,61$, TE = 0,18).

Figura 9 – Economia de corrida (12 km·h⁻¹) e custo de oxigênio na velocidade média do contrarrelógio de 3km com os dois modelos de calçados.

TPE: Termoplástico Poliuretano Expandido

Os valores são médias $\pm$ desvios padrão.

*Significativamente menor que o calçado minimalista ($p = 0,01$)

A figura 10 mostra a distribuição da velocidade de corrida (painel esquerdo) durante o teste contrarrelógio de 3 km nas duas condições de calçados. A distribuição de velocidade ao longo dos 3 km apresentou uma estratégia de prova em formato U, enquanto que a PSE (painel direito) mostrou um comportamento linear típico para as duas condições de calçado. Oito dos doze corredores demonstraram uma melhora ao utilizarem o calçado TPE

(~4,9%), enquanto que quatro apresentaram melhora utilizando o calçado minimalista (~4,7%). Não houve efeito da condição ($P>0,52$), distância ($P>0,63$) e interação ($P>0,47$) para as velocidades de corrida e PSE. Também não houve diferença significativa de desempenho no tempo total do teste entre os calçados TPE ($704,9 \pm 59,6s$) e minimalista ($715,9 \pm 61,5$, $P=0,61$, $TE = 0,18$).

Figura 10 – Velocidade de corrida (painel esquerdo) e percepção de esforço (PSE) (painel direito) durante o teste contrarrelógio de 3km.

Valores expressos em média $\pm$ desvio padrão. TPE: Termoplástico Poliuretano Expandido

A tabela 3 apresenta os valores para as avaliações de conforto dos calçados. É possível observar que o calçado minimalista obteve maior valor de conforto apenas para borda superior do contraforte e na largura do contraforte, muito embora estas diferenças não expressaram significância entre os calçados. Para as demais variáveis não houve diferença significativa ($p>0,05$). A variável conforto geral representa a impressão geral dos calçados analisados e não foram encontradas correlações entre o conforto geral e o desempenho para o calçado minimalista ($r^2 = 0,002$, $p=0,88$) e TPE ($r^2 = 0,007$, $p=0,79$) e entre EC e

conforto geral para o calçado minimalista ($r^2 = 0,07$, $p=0,42$) e TPE ($r^2 = 0,05$, $p=0,49$).

Tabela 3 - Valores médios e desvio padrão obtidos da escala analógica da percepção de conforto dos calçados minimalista e TPE.

Variáveis	Minimalista	TPE	p^1
Amortecimento retropé	5,9 ± 2,8	7,2 ± 1,7	0,13
Borda do Contraforte	7,1 ± 2,5	6,9 ± 1,6	0,79
Largura do contraforte	7,5 ± 1,9	7,2 ± 1,8	0,60
Amortecimento no Antepé	6,1 ± 2,5	6,7 ± 1,9	0,27
Comprimento do Tênis	7,0 ± 1,7	7,1 ± 1,6	0,86
Largura Antepé	6,1 ± 2,5	7,2 ± 1,9	0,19
Controle Médio-lateral	6,0 ± 2,2	6,6 ± 2,0	0,35
Altura do Arco	6,4 ± 1,9	6,8 ± 1,5	0,58
Conforto Geral	6,3 ± 2,3	6,6 ± 1,4	0,67

¹Teste *t* de Student

A tabela 4 apresenta os valores das variáveis da componente vertical da força reação do solo. O calçado TPE produziu um maior primeiro pico vertical da força reação do solo quando comparado ao calçado minimalista ($p = 0,01$, TE = 0,63). A taxa de propulsão foi significativamente menor no calçado TPE comparado ao calçado minimalista ($p = 0,01$, TE = 0,67). O segundo pico da força reação do solo ($p = 0,50$, TE = 0,10) e o *loading rate* ($p = 0,79$, TE = 0,03) não apresentaram diferenças significativas. As variáveis k_{vert} ($p = 0,30$, TE = 0,21) e k_{leg} ($p = 0,50$, TE = 0,15) não apresentaram diferenças significativas entre os calçados avaliados.

Tabela 4 - Médias e desvios padrões das variáveis da força reação do solo vertical normalizada pelo peso corporal (PC) e da rigidez da perna e vertical dos dois modelos de calçados analisados.

Variável	Minimalista	TPE	p ¹
1º Pico vertical (PC)	1,9 ± 0,46*	2,2 ± 0,49	0,01
2º Pico vertical (PC)	2,9 ± 0,59	2,9 ± 0,55	0,50
Loading Rate (N·ms ⁻¹)	162,2 ± 65,3	159,8 ± 63,7	0,79
Taxa de Propulsão (N·ms ⁻¹)	103,3 ± 22,9*	89,1 ± 19,1	0,01
k_{vert} (kN·m ⁻¹)	45,8 ± 23,9	51,3 ± 27,8	0,21
k_{leg} (kN·m ⁻¹)	20,2 ± 10,7	21,9 ± 11,9	0,37

¹Teste *t de Student* *Representa diferença estatística entre os calçados.

4.3 DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi analisar a influência dos calçados esportivos com tecnologia TPE e minimalista sobre a EC, FRS vertical, rigidez vertical e da perna, conforto percebido e o desempenho no teste contrarrelógio de 3 km de corrida. A hipótese inicial do estudo foi que o calçado TPE teria uma melhor EC no estado estável e, conseqüentemente, um melhor desempenho na prova contrarrelógio de 3km. Observou-se que o corredor que fez uso do calçado TPE apresentou menor EC e menores taxas de propulsão quando comparado ao calçado minimalista. O calçado minimalista apresentou diminuição do primeiro pico vertical quando comparado ao calçado TPE.

Alguns estudos investigaram a EC entre calçados com TPE e calçados com entressola de EVA (Worobets *et al.*, 2013; Worobets *et al.*, 2014; Sinclair, Mcgrath, *et al.*, 2016), no qual os resultados observados foram que o calçado com entressola de TPE tem melhor restituição de energia elástica em relação ao calçado convencional. Recentemente, também verificou-se a relação entre o calçado minimalista e o calçado com entressola de EVA e observou uma melhora do desempenho com o calçado minimalista quando comparado ao calçado convencional (EVA) (Fuller *et al.*, 2015).

Os resultados observados neste estudo sobre a EC para o calçado TPE corroboram com os estudos de Worobets *et al.* (2014) e Frederick, (1986), os quais também encontraram diferenças significativas no $\dot{V}O_2$ entre calçados com diferentes sistemas de amortecimento na entressola (TPE e EVA). Nigg *et al.* (2003) demonstraram que o uso de calçado com entressola de material viscoelástico em comparação ao material elástico pode reduzir em até 2% o $\dot{V}O_2$ dos corredores durante exercício em esteira. Em outro estudo Frederick, (1984) demonstrou que calçado esportivo com entressola mais macia geralmente está

associado a um consumo mais baixo de oxigênio. Confirmando estes achados Sinclair, Mcgrath, *et al.* (2016) verificaram uma melhora de 4,2% na EC com o calçado TPE comparado ao calçado convencional. Os autores especularam que a cada 1% no aumento do $\dot{V}O_2$ em velocidade constante pode afetar a velocidade de corrida em 0,17 km/h, e, desta forma o calçado TPE poderia levar a uma diminuição de até 3 minutos no tempo total em uma prova de 10km.

Ainda nesta linha de raciocínio, pode-se observar neste estudo que o sistema de amortecimento do calçado TPE pode melhorar a EC em até 2,4% quando comparado ao calçado minimalista. Esses achados corroboram com estudos que demonstraram que as capacidades de restituição de energia do calçado TPE contribui para melhora da EC (Worobets *et al.*, 2014; Sinclair, Mcgrath, *et al.*, 2016). Com base em nossas observações parece que o calçado com entressola de TPE, de fato, pode influenciar na restituição da energia elástica durante a corrida, embora os mecanismos por trás desta melhora ainda precisam ser melhor compreendidos.

Com relação ao conforto, os resultados mostraram que não houve diferença significativa para nenhuma das nove variáveis de conforto de ambos os calçados (TPE e Minimalista), bem como nenhuma associação entre conforto geral e EC. Contraditoriamente, apenas dois estudos demonstraram relação entre conforto e EC (Luo *et al.*, 2009; Sinclair, Mcgrath, *et al.*, 2016). O primeiro foi realizado por Luo *et al.*, (2009) ao avaliarem o conforto entre cinco condições de calçado e observarem uma associação com a melhora na EC de 0,7%. Os autores inferem que embora seja uma diferença pequena, pode ser representativa em atletas de elite. O segundo estudo realizado por Sinclair *et al.* (2016) observaram que o conforto geral mostrou-se significativamente maior no calçado TPE comparado ao calçado convencional e que calçados mais

confortáveis estão associados com melhor EC. No presente estudo, não foi observado associações entre o conforto dos calçados e a EC. Uma possível explicação para esses achados pode ser devido as diferentes metodologias utilizadas para a avaliação do conforto dos estudos realizados por Sinclair *et al.* (2016) e Luo *et al.* (2009), uma vez que a percepção de conforto do calçado esportivo é influenciada pela duração da atividade (Hintzy *et al.*, 2015). Ambos os autores avaliaram o conforto após 6 e 5 minutos, respectivamente, durante uma corrida na esteira a 12km/h há uma velocidade preferida. Neste estudo os corredores avaliaram o conforto após o teste contrarrelógio de 3km, na pista de atletismo, ambiente natural de treinamento.

Embora o conforto seja um parâmetro importante para a compra de calçados de corrida, os resultados deste estudo, somados às descobertas inconsistentes da literatura (Luo *et al.*, 2009; Worobets *et al.*, 2013; Moore *et al.*, 2014; Worobets *et al.*, 2014), ainda não elucidam como o conforto dos calçados poderia ser associado a EC. O que pode-se perceber é que ambos os calçados: TPE e minimalista apresentaram bons escores de conforto. Uma melhor explicação dessas relações poderia trazer benefícios para os fabricantes de calçados para o aprimoramento do conforto e da EC com possíveis benefícios no desempenho.

Finalmente, a respeito das variáveis biomecânicas, o calçado minimalista obteve valor significativamente menor em comparação ao calçado TPE ($p=0,01$) para o primeiro pico da força reação do solo. Milani *et al.* (1997) ao analisarem 8 modelos de calçados esportivos com diferenças apenas na rigidez da entressola, também observaram que quanto maior o amortecimento, maiores foram as taxas de carga. Hennig *et al.* (1996) observaram maiores picos de pressão no calcanhar e taxas de força em calçados mais macios em relação a

calçados mais duros. Tanto Hennig et al. (1996) quanto Milani et al. (1997) apoiam a ideia que existe uma tendência a menores forças de impacto vertical com o calçados mais duros (semelhantes aos calçados minimalistas), indicando que os atletas adaptam seu estilo de corrida para evitar altos impactos na região do calcanhar.

Uma relação entre $\dot{V}O_2$ e Fz_1 foi encontrada por Williams e Cavanagh, (1987) onde observaram um primeiro pico de força vertical menor para o grupo com baixo $\dot{V}O_2$. Neste estudo os resultados foram contrários aos de Williams e Cavanagh (1987), uma vez que o calçado com maior Fz_1 obteve menores valores de $\dot{V}O_2$. Uma possível explicação pode ser devido a inserção do TPE na entressola do calçado, que melhorou a restituição de energia dos corredores (Sinclair, Mcgrath, et al., 2016). Outra contribuição pode ter relação com a taxa de propulsão menor do calçado TPE, que corrobora com os resultados encontrados por Heise e Martin, (2001) que encontraram um impulso vertical menor nos corredores que foram mais econômicos. O fato deste composto também estar inserido na região do antepé e não somente no retropé, pode ter promovido aos corredores uma adaptação do padrão de pisada, em virtude das características do material, resultando em menos força para empurrar o solo na fase de propulsão da corrida e consequentemente ativando menos os músculos responsáveis pela propulsão, como já observado por Kyröläinen *et al.* (2001) ao verificar uma associação entre uma menor atividade muscular com um menor gasto energético em corredores.

4.4 CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo revelaram que correr com calçado TPE melhora a EC em comparação ao calçado minimalista. No entanto, a melhora na EC não foi transferida para a velocidade média do teste contrarrelógio de 3 km. Isto se deve ao fato que não houve diferença na EC como observado no CTO_2 na velocidade média do teste contra relógio de 3 km. Embora o TPE tenha vantagens sobre EC em comparação com um calçado minimalista, tais vantagens não se refletiram no desempenho. Com base nos dados de conforto, ainda não é possível dizer qual calçado é capaz de reduzir o tempo gasto em uma prova de corrida de curta duração.

5. ESTUDO 2

5.1 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1.1 Amostra estudo 2

Dez corredores recreacionais de provas de longa duração participaram voluntariamente deste estudo (idade $38,1 \pm 7,1$ anos; altura $1,76 \pm 0,1$ m; massa corporal $70,8 \pm 9,3$ kg; índice de massa corporal $22,1 \pm 2,4$ kg·m²; percentual de gordura corporal $12,8 \pm 5,2$ %, FCmax $185,3 \pm 8,1$; $\dot{V}O_{2max}$ $50,4 \pm 7,2$ ml·kg⁻¹·min⁻¹). Os critérios de inclusão dos corredores foram: participação em competições de corridas de rua com percursos de 10 km há pelo menos dois anos sem interrupção; volume semanal de treino superior a 30 km; padrão de pisada de retropé; não apresentar lesão musculoesquelética nos últimos seis meses. Todos os corredores responderam um questionário que objetiva detectar alguma alteração que os impeçam de realizarem exercícios físicos extenuantes e um questionário previamente elaborado onde constaram os dados pessoais e informações sobre o treinamento físico, tais como o tempo de corrida, volume semanal, utilização de calçados esportivos e dados sobre lesões relacionadas a corrida. Os participantes receberam uma explicação verbal acerca dos riscos e dos benefícios proporcionados pelo estudo e, em seguida, assinaram um termo de consentimento informado, aprovado pelo Comitê de Ética para estudos com humanos da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo. Número do parecer 910.103

5.1.2 Desenho Experimental

Os atletas visitaram o laboratório em cinco ocasiões separadas por um intervalo mínimo de três dias e máximo de seis semanas. Uma visão geral das medidas e desenho experimental está presente na figura 11. Na primeira visita foram realizadas as medidas antropométricas (massa corporal, estatura e dobras cutâneas), e um teste progressivo até a exaustão para caracterização da amostra. Após 40 min de descanso, os participantes realizaram uma familiarização ao teste de 10km de corrida em uma pista de atletismo de 400 m. Na segunda, terceira e quarta visitas os atletas realizaram de forma contrabalançada uma corrida de 10 km em uma pista de atletismo com os calçados TPE 55%, TPE 80% e TPE 100% em dias diferentes. Na quinta visita, os corredores realizaram testes de velocidade constante na esteira com 6 minutos de duração (12km/h) utilizando as 3 condições de calçado. Dez minutos de intervalo ou até os valores ventilatórios retornarem a linha de base foram permitidos entre os testes. O $\dot{V}O_2$, força reação do solo e eletromiografia foram medidos durante os testes de carga constante para determinar a EC e os parâmetros biomecânicos. Foram cedidos 9 pares de cada calçado esportivo, do modelo masculino, cujos tamanhos foram 41, 42 e 43 do padrão brasileiro. Estas numerações foram escolhidas por se tratarem de tamanhos comuns de calçados masculinos e assim, permitir um aumento do número de corredores que podem participar do estudo. Os sujeitos foram instruídos a não realizarem qualquer tipo de exercício exaustivo nas 24h que precederam os testes. Eles também foram instruídos a não consumirem bebidas com cafeína nas 8h que antecederem os testes e a manterem os mesmos hábitos alimentares durante o período experimental.

Figura 11 – Visão geral do desenho experimental

5.1.3 Antropometria e o teste incremental máximo

As avaliações antropométricas e o teste incremental máximo foram realizados seguindo os mesmos procedimentos descritos no estudo 1 (página 34).

5.1.4 Teste de carga constante

O teste de carga constante foi realizado utilizando os 3 modelos de calçados esportivos (TPE 55%, 80% e 100%) na mesma esteira usada no teste incremental máximo (figura 6). A determinação da EC foi realizada na velocidade de 12 km/h. Estes testes foram realizados de forma contrabalançada. Antes dos

testes, os participantes fizeram um aquecimento de 5 minutos a uma velocidade de 8 km/h seguido de um alongamento leve de 5 minutos. Cada teste teve duração de 6 minutos intercalados por um período de 10 minutos de recuperação passiva ou até os valores ventilatórios voltarem aos níveis de base. Os procedimentos adotados na mensuração das trocas gasosas foram idênticos aos utilizados no teste progressivo até a exaustão. A EC foi definida pela média dos valores do $\dot{V}O_2$ durante os últimos 30 segundos do teste.

Durante o teste de carga constante, a componente vertical da FRS foi adquirida da mesma forma que o estudo 1 (páginas 36 e 37).

Também foi calculado a “*rigidez*” vertical, que pode ser definido como a razão entre a força máxima para o deslocamento vertical do centro de massa na fase do apoio médio da corrida (Morin *et al.*, 2005) e a rigidez da perna (k_{leg}) (estudo 1)

Para o registro da atividade elétrica dos músculos foi utilizado um eletromiógrafo de superfície com 4 canais analógicos da marca Noraxon (MyoTraceTM 400) (Figura 12). O contato dos eletrodos com o eletromiógrafo foi realizado por meio de uma interface ativa. O posicionamento dos eletrodos seguiu a recomendação da Surface EMG for a Non-Invasive Assessment of Muscles (Merletti e Hermens, 2000). Foi utilizado eletrodos bipolares autoadesivos de Ag/AgCl, descartáveis, (Hal, São Paulo, Brasil), de formato circular (10 mm de diâmetro), com distância Inter eletrodos de 20 mm centro a centro.

Como preparação para a colocação dos eletrodos foi realizada a tricotomia e a abrasão da pele com gaze embebida em álcool nos locais de fixação, e esta fixação foi reforçada com fita adesiva do tipo transpor e faixa elástica para evitar artefatos de movimento nos eletrodos. Os eletrodos foram

posicionados somente nos músculos do membro inferior direito. Os músculos tibial anterior e gastrocnêmio medial foram escolhidos para análise devido ao papel fundamental que esses músculos desempenham na corrida: flexor de tornozelo no contato inicial da corrida e extensor de tornozelo na propulsão ao final da fase de apoio da corrida, respectivamente. Os sinais eletromiográficos foram adquiridos com frequência de amostragem de 1 kHz. O processamento dos dados foi realizado por meio de uma rotina matemática escrita em linguagem MatLab (MatLabR2008a). Para medir a “intensidade ou amplitude do EMG” foi utilizado o valor RMS (em inglês “Root Mean Square”).

Figura 12 - Sistema Noraxon MyoTrace TM 400 que foi utilizado na aquisição dos sinais eletromiográficos.

5.1.5 Teste na pista de atletismo de 10km

Os corredores realizaram individualmente um teste de corrida de 10 km em uma pista de atletismo de 400 m em 4 diferentes dias (familiarização, TPE 55%, TPE 80% e TPE 100%). Estes testes foram realizados com intervalos de no mínimo 48 horas entre eles. Antes dos teste os participantes realizaram um aquecimento de 10 min. Foi permitido o consumo regular de água, a qual foi disponibilizada a vontade durante o teste. Os participantes foram instruídos a percorrerem o percurso o mais rápido possível, simulando um evento

competitivo. O encorajamento verbal foi realizado durante todo o teste. Os corredores foram informados sobre a duração do teste na 10ª e 20ª volta. O tempo total dos 10 km foi registrado a cada volta de 400 m utilizando-se um cronometro profissional (modelo HS-1000, Cassio, Japão). A PSE foi mensurada a cada volta de 400 m usando uma escala de Borg de 15 pontos (Borg, 1970). Uma cópia da escala foi reduzida, plastificada e fixada no braço dominante de participante. Todos os testes foram realizados no mesmo horário para que os valores médios da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar tenham a menor variação. A média e desvio padrão da temperatura e humidade foram $26,4 \pm 3,6^{\circ}\text{C}$ e $70,8 \pm 10,3\%$, respectivamente.

Ao final do teste de 10km os corredores responderam uma avaliação de conforto baseadas em uma escala analógica visual de 100 mm adaptada de Mündermann *et al.* (2002), na qual no extremo do lado esquerdo é considerado desconfortável e no extremo do lado direito é considerado muito confortável (ANEXO 4). Os itens avaliados para cada calçado foram: amortecimento do calcanhar, conforto da borda superior do contraforte, conforto quanto à largura da base do contraforte, amortecimento no antepé, conforto na largura do antepé, conforto quanto ao comprimento do calçado, controle médio lateral durante a corrida, conforto da região do arco plantar, conforto geral.

5.1.6 Calçados avaliados

Foram avaliados 3 calçados esportivos, de marcas já conhecidas no mercado. As informações a respeito das características dos calçados foram retiradas do site do fabricante (www.adidas-group.com).

A – Calçado com Tecnologia Boost™ 55%: Entressola de poliuretano termoplástico expandido (TPE) com 55% de Boost™ aplicado. Solado de borracha para promover aderência e resistência. Sistema Torsion com finalidade de garantir melhor estabilidade. Cabedal em tecido mesh. Pisada neutra. Peso médio: 330g. Preço médio: R\$ 319,00

B – Calçado com Tecnologia Boost™ 80%: Entressola de poliuretano termoplástico expandido (TPE) com 80% de Boost™. Sistema Torsion para melhorar a estabilidade. Solado em borracha. Cabedal em tecido mesh. Pisada neutra. Pisada: Neutra. Peso médio: 290 g. Preço médio: R\$ 499,00

C – Calçado com Tecnologia Boost™ 100%: Entressola de poliuretano termoplástico expandido (TPE) com 100% de Boost™. Sistema Torsion para melhorar a estabilidade. Solado em borracha. Cabedal em tecido mesh. Pisada neutra. Pisada: Neutra. Peso médio: 300 g. Preço médio: R\$ 799,00

Figura 13 - Calçados comercialmente disponíveis que foram adquiridos e utilizados: A. Adidas Supernova Glide 55%, B. Adidas Energy 80%, C. Adidas Ultra Boost 100%.

5.1.7 Análise estatística

Por meio do software Statistica v.8 (*StatSoft, Inc.*), verificou-se a normalidade das distribuições das variáveis (teste de Shapiro-Wilk). Todas as variáveis foram apresentadas como médias $\pm$ desvios padrão, caso apresentem um comportamento gaussiano. Confirmados estes pressupostos, as variáveis

fisiológicas, biomecânicas e o valor da escala analógica de conforto, foram comparados entre os calçados por meio de ANOVAs para medidas repetidas, seguidas de pós teste de Neuman Keuls. Foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson entre a variável EC e desempenho, assim como entre EC e as variáveis relacionadas à escala de conforto. A correlação de Pearson foi considerada fraca entre 0 e 0,30; moderada entre 0,31 e 0,60; forte entre 0,61 e 0,90 e muito forte entre 0,91 e 1,0 (Callegari-Jacques, 2003). O tamanho do efeito (TE) foi quantificado usando a média das diferenças e considerados trivial ($<0,20$), pequenas (0,20–0,49), moderada (0,50–0,79) e grande ($\geq 0,80$) (Cohen, 1992). Foram consideradas diferenças estatísticas com nível de significância igual ou menor que 5% ($P \leq 0,05$).

O conjunto das 9 variáveis de conforto foi reduzido para um grupo menor, restando apenas aquelas cujas correlações foram significativas ($p < 0,05$). Estas variáveis foram então introduzidas na análise de regressão stepwise forward a fim de determinar quais conjuntos de variáveis de conforto poderiam prever o desempenho. A análise de regressão foi feita para cada calçado separadamente.

5.2. RESULTADOS

Os corredores, foram avaliados quanto a sua antropometria, composição corporal, dados demográficos e sobre a prática da corrida. De uma maneira geral estes corredores possuíam características comumente encontradas em corredores recreacionais, com experiência média de corrida de 12 anos e o volume semanal de treinamento de aproximadamente 55 km/semana. Estes dados estão reunidos na tabela 5.

Tabela 5 - Características antropométricas, demográficas dos participantes do estudo 2.

Características	Média ± desvio-padrão
Idade (anos)	38,1 ± 7,1
Estatura (m)	1,76 ± 0,1
Massa corporal (kg)	70,8 ± 9,3
Percentual de gordura corporal (%)	12,8 ± 5,2
Índice de massa corporal (kg·m ²)	22,1 ± 2,4
Tempo de corrida (anos)	12,4 ± 8,4
Volume de treino semanal (km)	55,1 ± 16,9
Tempo nos 10km (min)	41,1 ± 5,1
$\dot{V}O_{2max}$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	50,4 ± 7,2
FCmax (bpm)	185,3 ± 8,1

A figura 14 mostra os dados de EC para as três condições de calçado. Os valores da EC dos calçados analisados a 12 km/h foram TPE 55% (43,0 ± 3,3 ml·kg⁻¹·min⁻¹), TPE 80% (42,3 ± 3,5 ml·kg⁻¹·min⁻¹) e TPE 100% (41,2 ± 3,6 ml·kg⁻¹·min⁻¹). Não houve diferença significativa entre os calçados (F = 0,40, p=0,67).

Figura 14 - Valores médios da EC obtidos no teste de carga constante nas velocidades 12km/h com os três modelos de calçados.

Os dados da figura 15 mostram os valores de desempenho no teste de 10 km. A distribuição da velocidade de corrida demonstrou uma estratégia de prova em formato “U”. Foi encontrada diferença estatística apenas na décima volta (4000 m) entre os calçados TPE 55% e TPE 80% ($F = 7,4$, $p=0,004$) com velocidades de $14,3 \pm 0,9$ km/h e $13,9 \pm 1,1$ km/h respectivamente. Não foi encontrada diferença estatística entre os calçados analisados para nenhuma das outras parciais ($p>0,05$) e para o tempo total da prova ($F= 1,98$, $p=0,16$). A média de velocidade dos 10km foram: TPE 55% (14,1 km/h), TPE 80% (13,9 km/h) e TPE 100% (14,1 km/h). Não foram encontradas correlações significativas entre

a EC e a variável desempenho entre os calçados analisados (TPE 55%: $r=-0,20$, $p=0,58$; TPE 80%: $r=-0,07$, $p=0,84$ e TPE 100%: $r=-0,21$, $p=0,56$).

Figura 15 - Valores médios e desvio padrão obtidos da prova de 10km em uma pista de atletismo de 400 m dos calçados TPE 55%, TPE 80% e TPE 100%.

*representa diferença estatística entre os calçados sinalizados.

A figura 16 mostra a PSE ao longo do teste de 10 km de corrida e observa-se um perfil linear típico para as 3 condições experimentais. Em todas as voltas não foram encontradas diferenças significativas para a PSE entre os calçados TPE 55%, TPE 80% e TPE 100% ($p>0,05$).

Figura 16 - percepção de esforço (PSE) durante o teste de 10km

O calçado TPE 55% foi significativamente menos confortável quanto a borda do contraforte em relação ao calçado TPE 100% ($p=0,04$). Não houve diferença significativa entre os calçados para nenhuma das outras 8 variáveis de conforto ($p>0,05$) (Tabela 6). Houve correlações significativas entre o desempenho e algumas variáveis de conforto para o calçado TPE 55% (amortecimento do calcanhar $r=-0,74$, $p=0,015$; largura do contraforte $r=-0,70$, $p=0,02$; amortecimento no antepé $r=-0,80$, $p=0,005$; largura no antepé $r=-0,64$, $p=0,04$; comprimento do tênis $r=-0,69$, $p=0,03$; controle médio-lateral $r=-0,73$, $p=0,02$; altura do arco $r=-0,96$, $p=0,0001$ e conforto geral $r=-0,93$, $p=0,0001$).

Tabela 6 - Valores médios e desvios padrões da escala visual analógica (EVA) da avaliação de conforto dos calçados TPE 55%, TPE 80% e TPE 100%.

Variáveis	TPE 55%	TPE 80%	TPE 100%	<i>p</i> ¹
Amortecimento calcanhar (cm)	7,1 ± 2,3	7,6 ± 1,4	8,1 ± 1,7	0,35
Borda do Contraforte (cm)	7,6 ± 1,9*	7,9 ± 1,3	8,8 ± 1,0*	0,04
Largura do contraforte (cm)	7,8 ± 1,5	7,7 ± 1,4	8,5 ± 1,3	0,12
Amortecimento no Antepé (cm)	7,2 ± 1,9	7,9 ± 1,4	8,5 ± 1,1	0,10
Largura Antepé (cm)	8,1 ± 1,5	7,9 ± 1,1	8,0 ± 1,6	0,88
Comprimento do Tênis (cm)	8,4 ± 1,3	8,2 ± 0,7	8,6 ± 1,1	0,40
Controle Médio-lateral (cm)	7,6 ± 1,7	7,5 ± 1,5	7,9 ± 1,1	0,67
Altura do Arco (cm)	7,2 ± 2,2	7,8 ± 1,2	8,2 ± 1,1	0,18
Conforto Geral (cm)	7,6 ± 1,8	7,5 ± 1,3	8,6 ± 1,0	0,09

¹ ANOVA para medidas repetidas, *representa diferença estatística entre o calçado TPE 55% e o calçado TPE 100%

O modelo de regressão linear múltipla para prever o desempenho dos calçados foi baseado no índice de correlação de Pearson. Somente o modelo obtido para o calçado TPE 55% obteve valor de significância ($p=0,00003$), apresentando um $R=0,99$ e R^2 ajustado= $0,96$. Este modelo revelou que o desempenho em uma prova de 10 km pode ser devido as variáveis altura do arco (Beta= $-1,2$) e controle médio-lateral (Beta= $0,49$). Não houve significância estatística nos modelos de predição de desempenho para os outros calçados.

Os valores do EMG não mostraram diferença significativa para as 3 condições de calçados analisados (tabela 7). As correlações do produto de Pearson entre as variáveis eletromiográficas e EC também não apresentaram correlações significativas.

Tabela 7 – Médias e desvios padrões das comparações das variáveis do EMG das 3 condições de calçados durante a corrida na esteira a 12 km/h.

Variável		TPE 55%	TPE 80%	TPE 100%	p^1
RMS	Tibial anterior (μV)	142,9 $\pm$ 57,9	138 $\pm$ 51,4	134,2 $\pm$ 62,2	0,64
	Gastrocnêmio Medial (μV)	209,5 $\pm$ 64,4	202,9 $\pm$ 59,6	185,9 $\pm$ 75,5	0,22

¹ANOVA para medidas repetidas

Não foram encontradas diferenças significativas para as variáveis da componente vertical da FRS e para a rigidez da perna e vertical para os três modelos de calçados (Tabela 8). Não houve correlação entre a EC e a FRS vertical.

Tabela 8 - Médias e desvios padrões das variáveis da FRS vertical normalizada pelo peso corporal (PC) e da rigidez da perna e vertical dos três modelos de calçados analisados.

Variável	TPE 55%	TPE 80%	TPE 100%	p^1
1° Pico vertical (PC)	2,2 $\pm$ 0,4	2,1 $\pm$ 0,3	2,1 $\pm$ 0,4	0,47
2° Pico vertical (PC)	2,7 $\pm$ 0,4	2,7 $\pm$ 0,2	2,8 $\pm$ 0,4	0,37
Loading Rate ($N \cdot ms^{-1}$)	191,6 $\pm$ 46,2	175,9 $\pm$ 32,0	171, 9 $\pm$ 44,3	0,06
Taxa de Propulsão ($N \cdot ms^{-1}$)	83,4 $\pm$ 24,8	77,1 $\pm$ 17,9	77,7 $\pm$ 18,5	0,43
k_{vert} ($kN \cdot m^{-1}$)	43,4 $\pm$ 18,1	39,7 $\pm$ 15,3	40,7 $\pm$ 17,2	0,18
k_{leg} ($kN \cdot m^{-1}$)	18,9 $\pm$ 8,8	17,9 $\pm$ 7,4	18,4 $\pm$ 7,9	0,54

¹ANOVA para medidas repetidas

5.3 DISCUSSÃO

Este estudo comparou a EC e desempenho entre calçados esportivos com diferentes quantidades de TPE inseridas na entressola (55%, 80% e 100%) durante um teste de corrida de 10km em uma pista de atletismo. De maneira geral, o calçado TPE 100% não obteve diferença significativa para a EC e o desempenho em relação aos calçados TPE 55% e 80%, contrariando nossa primeira e segunda hipóteses.

A primeira observação deste estudo foi que os calçados com diferentes porcentagens de TPE inseridas na entressola não apresentaram diferenças em relação a EC. Estudos prévios que investigaram a influência de calçados mais macios em relação a EC reportaram conclusões conflitantes. Frederick *et al.* (1986) e Worobets *et al.* (2014) encontraram melhora na EC em calçados mais macios, já Bosco e Rusko, (1983) demonstraram uma piora na EC em calçados considerados macios e Nigg *et al.* (2003) não encontraram diferenças entre calçados classificados com média dureza e macio.

Embora os estudos supracitados examinaram a influência de diferentes sistemas de amortecimento de calçados esportivos na EC, torna-se um tanto quanto difícil comparar os resultados devido as diferentes características de amortecimento dos calçados testados. Por exemplo, Bosco e Rusko (1983) descrevem os calçados como “calçado normal” e “calçado macio especial”, sem descrição de nenhuma outra característica. Frederick *et al.* (1986) utilizou um calçado com entressola de EVA e o outro com capsulas de ar embutidas na entressola, considerado o calçado macio. Além destas características, também foi realizado um teste mecânico onde determinou que o calçado macio obteve 7% mais restituição de energia elástica e 32% mais penetração em cada impacto (teste mecânico) em relação ao calçado considerado duro. Nigg *et al.* (2003)

forneceu dados relacionados as características de dureza obtidos de um teste mecânico onde foi determinado os valores de dureza da região do calcanhar em valores de Shore C (ensaio mecânico utilizado para determinar a dureza de uma grande variedade de artigos de borracha e de plástico macio, ABNT NBR 14098:2009), e a partir daí caracterizados como calçado de média dureza (Shore C=45) e calçado macio (Shore C=26). Worobets *et al.* (2014) por sua vez testou um calçado de EVA e um calçado TPE, mas não forneceu informações sobre qual a porcentagem de Boost™ inserida na entressola.

Neste estudo analisamos três calçados com o mesmo composto na entressola (TPE) mas com diferentes porcentagens de Boost™. Desta forma, como os estudos testaram um calçado macio e um de referência, fica difícil estabelecer uma similaridade ou uma diferença entre os calçados analisados. No entanto, observamos uma diferença percentual de 4,2% na EC entre o calçado TPE 100% (mais Boost™) e o TPE 55% (menos Boost™) com um tamanho de efeito moderado de 0,52. Desta forma, se aplicarmos uma redução de 4,2% no $\dot{V}O_2$ no calçado com maior restituição de energia, isto poderia se traduzir em uma redução de 2:10 minutos no tempo total em uma prova de 10 km. Um tamanho de efeito moderado na EC pode ser importante para atletas de alta desempenho uma vez que melhorias relativamente pequenas no desempenho podem ter grandes efeitos nos resultados dos principais eventos competitivos (Hopkins *et al.*, 1999).

Uma segunda observação está relacionada ao desempenho dos calçados. Nos últimos anos, o interesse pelas características dos calçados esportivos que podem levar a melhora no desempenho tem aumentado na literatura acadêmica (Franz *et al.*, 2012; Perl *et al.*, 2012; Moore *et al.*, 2014; Sinclair, McGrath, *et al.*, 2016), mas, apenas um estudo conseguiu estabelecer

uma associação da melhora da performance com a melhora da EC, ao analisar um calçado minimalista e um calçado convencional (entressola de EVA), sugerindo que o calçado pode influenciar na melhora da performance em uma distância de 5 km (Fuller *et al.*, 2016). Apenas dois estudos adotaram um calçado com entressola de TPE, mas compararam com calçados convencionais (EVA) (Worobets *et al.*, 2014; Sinclair, Mcgrath, *et al.*, 2016). Os resultados de Worobets *et al.* (2014) demonstraram que o calçado com TPE influenciou na EC em torno de 1% correndo na esteira e no solo, mas não mencionou melhora no desempenho e também não especificou o modelo do calçado para podermos identificar a porcentagem de Boost™. O segundo estudo conduzido por Sinclair *et al.* (2016) comparou o calçado convencional (EVA) com o modelo Energy Boost™, igual a um dos modelos utilizados neste estudo (TPE 80%), e encontrou uma diferença significativamente melhor na EC, mas os resultados não demonstraram uma associação com a melhora no desempenho. Em nosso estudo, também não encontramos diferenças significativas no desempenho em uma prova de 10km entre os 3 calçados com tecnologia TPE. Uma possível explicação poderia estar relacionada a EC, uma vez que a melhora na EC tem sido associada na melhora da performance (Sinclair, Mcgrath, *et al.*, 2016). Como as velocidades nas três condições foram muito semelhantes e a EC é uma variável sensível a diferença de velocidade, isto pode ter contribuído para não haver diferença entre os calçados. Talvez uma prova com distâncias ainda maiores poderiam encontrar diferenças na EC e consequentemente no desempenho em calçados com iguais tecnologias de amortecimento mas com diferenças nas porcentagens destes materiais.

Outra observação a ser feita é em relação as variáveis de conforto avaliadas ao termino da prova de 10km. Nenhuma das 9 variáveis apresentaram

diferenças significativas entre os calçados, contrariando nossa terceira hipótese, onde esperávamos que o calçado TPE 100% fosse o mais confortável e consequentemente tivesse o melhor desempenho, como reportado por Luo *et al.* (2009) que demonstrou uma melhora significativa de 0,7% na EC com o calçado considerado mais confortável em relação ao menos confortável. Segundo (Miller *et al.*, 2000) as variáveis mecânicas são importantes para explicar o conforto e um mecanismo que relaciona variáveis mecânicas e conforto poderia ajudar a explicar as mudanças na EC. Nigg (2001) propôs que o conforto pode ser um indicador para mudanças no trabalho muscular que pode ser influenciado por modificações mecânicas do calçado. Por sua vez, uma mudança na curvatura do solado do calçado pode influenciar na atividade do tibial anterior (Bourgit *et al.*, 2008). Diferenças na rigidez da entressola foram relacionados com uma pré-ativação do vasto medial (Nigg *et al.*, 2003) e ajustes compensatórios nas articulações do joelho e tornozelo em corredores (Clarke *et al.*, 1983). A relação entre a percepção de conforto e as variáveis cinéticas, cinemáticas e eletromiográficas foram investigadas por (Mündermann *et al.*, 2003). Os resultados demonstraram que o conforto pode ser parcialmente explicado pelas variáveis cinemáticas, cinéticas e EMG, sendo que a maioria dessas variáveis foram relacionadas com a atividade do tibial anterior.

Outro achado interessante do presente estudo foi a predição do desempenho pelas variáveis altura do arco ($\text{Beta}=-1,2$) e controle médio-lateral ($\text{Beta}=0,49$) relacionadas ao conforto do calçado TPE 55%. Uma hipótese para este resultado estaria relacionada a energia elástica armazenada durante a contração excêntrica da corrida que contribui substancialmente na propulsão durante as várias contrações consecutivas (Cavagna e Kaneko, 1977). Estima-se que o tendão de aquiles e o arco longitudinal medial do pé pode armazenar

cerca de 35% e 17% , respectivamente, da energia potencial ganha e dissipada em cada passo durante uma corrida em velocidade moderada (Ker *et al.*, 1987). Cavagna *et al.* (1964) estimou que o $\dot{V}O_2$ durante a corrida pode ser 40-50% maior sem as contribuições da energia elástica. Perl *et al.* (2012) demonstraram que o arco plantar do pé funciona como uma mola elástica armazenando e restituindo energia durante a corrida em calçados que não possuem uma estrutura interna de suporte ao arco plantar, sendo que, os corredores tiveram em média uma EC 3% melhor em comparação a calçados com suporte de arco. Embora os resultados não tenham apontado diferença na EC e desempenho entre os calçados, mas a predição de desempenho pela variável de conforto relacionada ao arco longitudinal medial poderia sugerir que este modelo de calçado (TPE 55%) teria uma pequena vantagem em relação aos outros dois modelos testados. Infelizmente, não temos dados da tensão do arco plantar neste estudo para confirmar esta hipótese. Pesquisas futuras poderiam incluir uma análise de cineradiografia para analisar o comportamento destas estruturas do pé dentro do calçado.

Nossos resultados são diferentes dos estudos supracitados, onde as variáveis de conforto não tem relação com as variáveis biomecânicas, corroborando com estudo de Dinato *et al.* (2015). Sutis diferenças entre os calçados testados podem ter contribuído para estes resultados, uma vez que as diferenças mecânicas dos calçados estavam presentes apenas na porcentagem de material (TPE) da entressola.

Uma observação final dos resultados do estudo é em relação às variáveis biomecânicas que não apresentaram diferenças estatísticas entre os calçados. Estudos anteriores que investigaram fatores biomecânicos que poderiam influenciar na EC demonstraram que corredores com menor primeiro pico da

componente vertical da FRS foram mais econômicos (Williams e Cavanagh, 1987; Heise e Martin, 2001). Em nosso estudo, o primeiro pico da componente vertical da FRS vertical não apresentou diferença significativa entre as 3 condições de calçados ($p=0,47$) que conseqüentemente não influenciou na EC. Uma variável biomecânica que vem sendo associada a lesão em corredores é o loading rate. Milner *et al.* (2006) analisou 20 corredoras com histórico de fratura por estresse na tíbia e 20 corredoras sem histórico. Os resultados demonstraram que o grupo com lesão na tíbia tiveram valores significativamente maiores na variável loading rate em comparação aos corredores que não apresentavam lesão. Os resultados deste estudo demonstraram uma tendência ($p=0,06$) a menores valores de loading rate no calçado TPE 100% ($171,9 \pm 44,3$) em comparação ao calçado TPE 55% ($191,6 \pm 46,2$). Estes resultados podem sugerir que o calçado TPE 100% poderia ser benéfico para a população de corredores que sofrem de fratura de estresse na tíbia. Estudos futuros poderiam ser feitos para investigar a relação entre corredores com fratura por estresse na tíbia e calçados com tecnologia Boost™.

5.4 CONCLUSÃO

Os resultados do estudo revelaram que independentemente da quantidade de tecnologia Boost™ inserida na entressola do calçado, não foram encontradas diferenças significativas para as variáveis EC e desempenho em uma prova de 10 km de corrida. Nenhuma variável biomecânica analisada neste estudo foi capaz de identificar alguma diferença que pudesse estabelecer uma diferença entre os calçados que repercutisse em desempenho ou EC. Somente o calçado TPE 55% teve o desempenho predito pela variável altura do arco.

Desta forma não se pode prever o desempenho deste tipo de calçado (Boost™) através das variáveis de conforto.

6. LIMITAÇÕES

É importante reconhecer algumas das limitações dos estudos. No estudo 1 nossos participantes eram corredores recreacionais de longa distância, que possuíam experiência de treinamento aeróbico contínuo de baixa intensidade. Assim, deve-se ter cuidado ao extrapolar essas descobertas para atletas altamente treinados que frequentemente realizam treinamento de alta intensidade e podem ser mais adaptados para manter altas velocidades de corrida com menor custo energético. A falta de sincronização da esteira com o eletromiógrafo durante os testes de carga constantes poderiam fornecer informações mais detalhadas da atividade elétrica muscular nos momentos do toque do calcanhar e retirada do hálux durante a corrida. Mudanças mais sutis do EMG não foram detectadas e poderiam influenciar a associação entre as variáveis.

7. CONCLUSÃO GERAL

Os resultados práticos do estudo revelaram que correr com calçado TPE^M melhora a EC em comparação ao calçado minimalista. No entanto, a melhora na EC não se refletiu em desempenho no teste de corrida de 3 km. O estudo 2 revelou que diferentes porcentagens de TPE inseridos na entressola do calçado não produziram diferenças na EC, desempenho e variáveis biomecânicas adquiridas da componente vertical da força reação do solo em uma prova de

10km. Desta forma, ainda não é possível dizer qual calçado é capaz de reduzir o tempo gasto em uma prova de corrida de curta ou longa duração.

Os resultados sugerem que um calçado com tecnologia TPE traria melhores resultados em comparação a um calçado minimalista em relação a EC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, D. et al. Changes in EMG characteristics and metabolic energy cost during 90-min prolonged running. **Gait Posture**, v. 26, n. 4, p. 607-10, Oct 2007.

ANDRADE, J. E.; CORREA, A. B. **Panorama da Indústria Mundial de Calçados, com Ênfase na América Latina**. BNDS Setorial - Rio de Janeiro. v13: p95 - 126 p. 2001.

BAILEY, S. P.; PATE, R. R. Feasibility of improving running economy. **Sports Med**, v. 12, n. 4, p. 228-36, Oct 1991.

BARCELLONA, M. G. et al. The effect of minimalist footwear and instruction on running: an observational study. **BMJ Open Sport Exerc Med**, v. 3, n. 1, p. e000160, 2017.

BARNES, K. R.; KILDING, A. E. Running economy: measurement, norms, and determining factors. **Sports Med Open**, v. 1, n. 1, p. 8, Dec 2015a.

_____. Strategies to improve running economy. **Sports Med**, v. 45, n. 1, p. 37-56, Jan 2015b.

BISHOP, M. et al. Athletic footwear, leg stiffness, and running kinematics. **J Athl Train**, v. 41, n. 4, p. 387-92, 2006 Oct-Dec 2006.

BONACCI, J. et al. Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions: implications for running economy. **Sports Med**, v. 39, n. 11, p. 903-21, 2009.

BORG, G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. **Scand J Rehabil Med**, v. 2, n. 2, p. 92-8, 1970.

BOSCO, C. et al. Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 56, n. 2, p. 138-43, 1987.

BOSCO, C.; RUSKO, H. The effect of prolonged skeletal muscle stretch-shortening cycle on recoil of elastic energy and on energy expenditure. **Acta Physiol Scand**, v. 119, n. 3, p. 219-24, Nov 1983.

BOURGIT, D.; MILLET, G. Y.; FUCHSLOCHER, J. Influence of shoes increasing dorsiflexion and decreasing metatarsus flexion on lower limb muscular activity during fitness exercises, walking, and running. **J Strength Cond Res**, v. 22, n. 3, p. 966-73, May 2008.

BROTHERS, M. D. et al. Hematological and physiological adaptations following 46 weeks of moderate altitude residence. **High Alt Med Biol**, v. 11, n. 3, p. 199-208, 2010.

BROZEK, J. et al. DENSITOMETRIC ANALYSIS OF BODY COMPOSITION: REVISION OF SOME QUANTITATIVE ASSUMPTIONS. **Ann N Y Acad Sci**, v. 110, p. 113-40, Sep 1963.

BRUECKNER, K. et al. Mechanical and biomechanical characterization of running shoes with different midsole materials before and after aging. **Footwear Science**, v. 3, 2011.

BURKETT, L. N.; KOHRT, W. M.; BUCHBINDER, R. Effects of shoes and foot orthotics on $\dot{V}O_2$ and selected frontal plane knee kinematics. **Med Sci Sports Exerc**, v. 17, p. 158-163, 1985.

CAVAGNA, G. A.; KANEKO, M. Mechanical work and efficiency in level walking and running. **J Physiol**, v. 268, n. 2, p. 467-81, Jun 1977.

CAVAGNA, G. A.; SAIBENE, F. P.; MARGARIA, R. MECHANICAL WORK IN RUNNING. **J Appl Physiol**, v. 19, p. 249-56, Mar 1964.

CAVANAGH, P. R.; LAFORTUNE, M. A. Ground reaction forces in distance running. **J Biomech**, v. 13, n. 5, p. 397-406, 1980.

CAVANAGH, P. R.; POLLOCK, M. L.; LANDA, J. A biomechanical comparison of elite and good distance runners. **Ann N Y Acad Sci**, v. 301, p. 328-45, 1977.

CAVANAGH, P. R.; WILLIAMS, K. R. The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. **Med Sci Sports Exerc**, v. 14, n. 1, p. 30-5, 1982.

CHEN, H.; NIGG, B. M. Relationship between plantar pressure distribution under the foot and insole comfort. **Clinical Biomechanics**, v. 9, p. 335-341, 1994.

CHEUNG, R. T.; NG, G. Y. Influence of different footwear on force of landing during running. **Phys Ther**, v. 88, n. 5, p. 620-8, May 2008.

CHEUNG, R. T. et al. Relationship between foot strike pattern, running speed, and footwear condition in recreational distance runners. **Sports Biomech**, v. 16, n. 2, p. 238-247, Jun 2017.

CLARKE, T. E.; FREDERICK, E. C.; COOPER, L. B. Effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running. **Int J Sports Med**, v. 4, n. 4, p. 247-51, Nov 1983.

COCHRUM, R. G. et al. Comparison of Running Economy Values While Wearing No Shoes, Minimal Shoes, and Normal Running Shoes. **J Strength Cond Res**, v. 31, n. 3, p. 595-601, Mar 2017.

COHEN, J. A power primer. **Psychol Bull**, v. 112, n. 1, p. 155-9, Jul 1992. ISSN 0033-2909.

CONLEY, D. L.; KRAHENBUHL, G. S.; BURKETT, L. N. Training for Aerobic Capacity and Running Economy. **Phys Sportsmed**, v. 9, n. 4, p. 107-46, Apr 1981.

CORNWALL, M. W.; MCPOIL, T. G. CAN RUNNERS PERCEIVE CHANGES IN HEEL CUSHIONING AS THE SHOE AGES WITH INCREASED MILEAGE? **Int J Sports Phys Ther**, v. 12, n. 4, p. 616-624, Aug 2017.

COSTILL, D. L.; THOMASON, H.; ROBERTS, E. Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. **Med Sci Sports**, v. 5, n. 4, p. 248-52, 1973.

CURETON, K. J. et al. Effect of experimental alterations in excess weight on aerobic capacity and distance running performance. **Med Sci Sports**, v. 10, n. 3, p. 194-9, 1978.

DALLEAU, G. et al. The spring-mass model and the energy cost of treadmill running. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 77, n. 3, p. 257-63, Feb 1998.

DANIELS, J.; DANIELS, N. Running economy of elite male and elite female runners. **Med Sci Sports Exerc**, v. 24, n. 4, p. 483-9, Apr 1992.

DANIELS, J. T. A physiologist's view of running economy. **Med Sci Sports Exerc**, v. 17, n. 3, p. 332-8, Jun 1985.

DENADAI, B. S. et al. Explosive Training and Heavy Weight Training are Effective for Improving Running Economy in Endurance Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Med**, v. 47, n. 3, p. 545-554, Mar 2017.

DINATO, R. C. et al. Biomechanical variables and perception of comfort in running shoes with different cushioning technologies. **J Sci Med Sport**, v. 18, n. 1, p. 93-7, Jan 2015.

DIVERT, C. et al. Barefoot-shod running differences: shoe or mass effect? **Int J Sports Med**, v. 29, n. 6, p. 512-8, Jun 2008.

FIRMINGER, C. R. et al. Effects of footwear and stride length on metatarsal strains and failure in running. **Clin Biomech (Bristol, Avon)**, v. 49, p. 8-15, Aug 2017.

FOSTER, C.; LUCIA, A. Running economy : the forgotten factor in elite performance. **Sports Med**, v. 37, n. 4-5, p. 316-9, 2007.

FRANZ, J. R.; WIERZBINSKI, C. M.; KRAM, R. Metabolic cost of running barefoot versus shod: is lighter better? **Med Sci Sports Exerc**, v. 44, n. 8, p. 1519-25, Aug 2012.

FREDERICK, E. C. Physiological and ergonomics factors in running shoe design. **Appl Ergon**, v. 15, n. 4, p. 281-7, Dec 1984.

_____. Kinematically mediated effects of sport shoe design: a review. **J Sports Sci**, v. 4, n. 3, p. 169-184, 1986.

FREDERICK, E. C.; HOWLEY, E. T.; POWERS, S. K. Lower Oxygen Demands of Running in Soft-Soled Shoes **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 57, n. 2, p. 174-177, 1986.

FULLER, J. T. et al. The effect of footwear on running performance and running economy in distance runners. **Sports Med**, v. 45, n. 3, p. 411-22, Mar 2015.

_____. Effects of a minimalist shoe on running economy and 5-km running performance. **J Sports Sci**, v. 34, n. 18, p. 1740-5, Sep 2016.

HALVORSEN, K.; ERIKSSON, M.; GULLSTRAND, L. Acute effects of reducing vertical displacement and step frequency on running economy. **J Strength Cond Res**, v. 26, n. 8, p. 2065-70, Aug 2012.

HANSON, N. J. et al. Oxygen cost of running barefoot vs. running shod. **Int J Sports Med**, v. 32, n. 6, p. 401-6, Jun 2011.

HARDIN, E. C.; VAN DEN BOGERT, A. J.; HAMILL, J. Kinematic adaptations during running: effects of footwear, surface, and duration. **Med Sci Sports Exerc**, v. 36, n. 5, p. 838-44, May 2004.

HAYES, P. R.; FRENCH, D. N.; THOMAS, K. The effect of muscular endurance on running economy. **J Strength Cond Res**, v. 25, n. 9, p. 2464-9, Sep 2011.

HEISE, G. D.; MARTIN, P. E. Are variations in running economy in humans associated with ground reaction force characteristics? **Eur J Appl Physiol**, v. 84, n. 5, p. 438-42, May 2001.

HENNIG, E. M.; VALIANT, G. A.; LIU, Q. Biomechanical variables and the perception of cushioning for running in various types of footwear. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 12, n. 2, p. 143-150, May 1996.

HINTZY, F.; CAVAGNA, J.; HORVAIS, N. Evolution of perceived footwear comfort over a prolonged running session. **Foot (Edinb)**, v. 25, n. 4, p. 220-3, Dec 2015.

HOOBKAMER, W. et al. Altered Running Economy Directly Translates to Altered Distance-Running Performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 48, n. 11, p. 2175-2180, Nov 2016.

HOPKINS, W. G.; HAWLEY, J. A.; BURKE, L. M. Design and analysis of research on sport performance enhancement. **Med Sci Sports Exerc**, v. 31, n. 3, p. 472-85, Mar 1999.

HUNTER, G. R. et al. Muscle fiber type, Achilles tendon length, potentiation, and running economy. **J Strength Cond Res**, v. 29, n. 5, p. 1302-9, May 2015.

HÄKKINEN, K.; KOMI, P. V.; ALÉN, M. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. **Acta Physiol Scand**, v. 125, n. 4, p. 587-600, Dec 1985.

- JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. 1978. **Br J Nutr**, v. 91, n. 1, p. 161-8, Jan 2004.
- JONES, A. M. The Physiology of the World Record Holder for the Women's Marathon **International Journal of Sports Science & Coaching**, v. 1, n. 2, p. 101 - 116, 2006.
- JONES, B. H. et al. The energy cost of women walking and running in shoes and boots. **Ergonomics**, v. 29, n. 3, p. 439-43, Mar 1986.
- KATAYAMA, K. et al. Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. **Eur J Appl Physiol**, v. 92, n. 1-2, p. 75-83, Jun 2004.
- KER, R. F. et al. The spring in the arch of the human foot. **Nature**, v. 325, n. 7000, p. 147-9, 1987 Jan 8-14 1987.
- KYRÖLÄINEN, H.; BELLI, A.; KOMI, P. V. Biomechanical factors affecting running economy. **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, n. 8, p. 1330-7, Aug 2001.
- LAKE, M. J. Determining the protective function of sports footwear. **Ergonomics**, v. 43, n. 10, p. 1610-21, Oct 2000.
- LEVINE, B. D.; STRAY-GUNDERSEN, J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. **J Appl Physiol (1985)**, v. 83, n. 1, p. 102-12, Jul 1997.
- LIEBERMAN, D. E. et al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. **Nature**, v. 463, n. 7280, p. 531-535, Jan 2010.
- LUO, G. et al. Improved footwear comfort reduces oxygen consumption during running. **Footwear Science**, v. 1, n. 1, p. 25-29, 2009.
- MALINA, R. M. et al. Physique of female track and field athletes. **Med Sci Sports**, v. 3, n. 1, p. 32-8, 1971.
- MERLETTI, R.; HERMENS, H. Introduction to the special issue on the SENIAM European Concerted Action. **J Electromyogr Kinesiol**, v. 10, n. 5, p. 283-6, Oct 2000.
- MILANI, T. L.; HENNIG, E. M.; LAFORTUNE, M. A. Perceptual and biomechanical variables for running in identical shoe constructions with varying midsole hardness. **Clin Biomech (Bristol, Avon)**, v. 12, n. 5, p. 294-300, Jul 1997.
- MILLER, J. E. et al. Influence of foot, leg and shoe characteristics on subjective comfort. **Foot Ankle Int**, v. 21, n. 9, p. 759-67, Sep 2000.
- MILNER, C. E. et al. Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. **Med Sci Sports Exerc**, v. 38, n. 2, p. 323-328, Feb 2006.

MOORE, I. S. Is There an Economical Running Technique? A Review of Modifiable Biomechanical Factors Affecting Running Economy. **Sports Med**, v. 46, n. 6, p. 793-807, Jun 2016.

MOORE, I. S.; JONES, A.; DIXON, S. **The pursuit of improved running performance: Can changes in cushioning and somatosensory feedback influence running economy and injury risk?** 6: 1-11 p. 2014.

MOORE, I. S.; JONES, A. M.; DIXON, S. J. Mechanisms for improved running economy in beginner runners. **Med Sci Sports Exerc**, v. 44, n. 9, p. 1756-63, Sep 2012.

MORGAN, D. W. et al. Ten kilometer performance and predicted velocity at VO₂max among well-trained male runners. **Med Sci Sports Exerc**, v. 21, n. 1, p. 78-83, Feb 1989.

MORGAN, D. W.; MARTIN, P. E.; KRAHENBUHL, G. S. Factors affecting running economy. **Sports Med**, v. 7, n. 5, p. 310-30, May 1989.

MORIN, J. B. et al. A simple method for measuring stiffness during running. **J Appl Biomech**, v. 21, n. 2, p. 167-80, May 2005.

MYERS, M. J.; STEUDEL, K. Effect of limb mass and its distribution on the energetic cost of running. **J Exp Biol**, v. 116, p. 363-73, May 1985.

MÜNDERMANN, A. et al. Orthotic comfort is related to kinematics, kinetics, and EMG in recreational runners. **Med Sci Sports Exerc**, v. 35, n. 10, p. 1710-9, Oct 2003.

_____. Development of a reliable method to assess footwear comfort during running. **Gait Posture**, v. 16, n. 1, p. 38-45, Aug 2002.

MÜNDERMANN, A.; STEFANYSHYN, D. J.; NIGG, B. M. Relationship between footwear comfort of shoe inserts and anthropometric and sensory factors. **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, n. 11, p. 1939-1945, Nov 2001.

NIGG, B. M. The role of impact forces and foot pronation: a new paradigm. **Clin J Sport Med**, v. 11, n. 1, p. 2-9, Jan 2001.

NIGG, B. M. et al. Shoe midsole hardness, sex and age effects on lower extremity kinematics during running. **J Biomech**, v. 45, n. 9, p. 1692-7, Jun 2012.

NIGG, B. M.; NURSE, M. A.; STEFANYSHYN, D. J. Shoe inserts and orthotics for sport and physical activities. **Med Sci Sports Exerc**, v. 31, n. 7 Suppl, p. S421-8, Jul 1999.

NIGG, B. M. et al. The effect of material characteristics of shoe soles on muscle activation and energy aspects during running. **J Biomech**, v. 36, n. 4, p. 569-75, Apr 2003.

PAAVOLAINEN, L. M.; NUMMELA, A. T.; RUSKO, H. K. Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 31, n. 1, p. 124-30, Jan 1999.

PERL, D. P.; DAOUD, A. I.; LIEBERMAN, D. E. Effects of footwear and strike type on running economy. **Med Sci Sports Exerc**, v. 44, n. 7, p. 1335-43, Jul 2012.

POLLOCK, M. L. Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I: Cardiorespiratory aspects. **Ann N Y Acad Sci**, v. 301, p. 310-22, 1977.

POLLOCK, M. L.; JACKSON, A. S.; PATE, R. R. Discriminant analysis of physiological differences between good and elite distance runners. **Res Q Exerc Sport**, v. 51, n. 3, p. 521-32, Oct 1980.

SALE, D. G. Neural adaptation to resistance training. **Med Sci Sports Exerc**, v. 20, n. 5 Suppl, p. S135-45, Oct 1988.

SALTIN, B. et al. Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. **Scand J Med Sci Sports**, v. 5, n. 4, p. 209-21, Aug 1995.

SAUNDERS, P. U. et al. Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Med**, v. 34, n. 7, p. 465-85, 2004a.

_____. Reliability and variability of running economy in elite distance runners. **Med Sci Sports Exerc**, v. 36, n. 11, p. 1972-6, Nov 2004b.

_____. Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. **J Appl Physiol (1985)**, v. 96, n. 3, p. 931-7, Mar 2004.

SCHOLZ, M. N. et al. Running biomechanics: shorter heels, better economy. **J Exp Biol**, v. 211, n. Pt 20, p. 3266-71, Oct 2008.

SCOTT, L. A.; MURLEY, G. S.; WICKHAM, J. B. The influence of footwear on the electromyographic activity of selected lower limb muscles during walking. **J Electromyogr Kinesiol**, v. 22, n. 6, p. 1010-6, Dec 2012.

SINCLAIR, J.; ATKINS, S.; TAYLOR, P. J. The Effects of Barefoot and Shod Running on Limb and Joint Stiffness Characteristics in Recreational Runners. **J Mot Behav**, v. 48, n. 1, p. 79-85, 2016.

SINCLAIR, J. et al. Influence of footwear designed to boost energy return on running economy in comparison to a conventional running shoe. **J Sports Sci**, v. 34, n. 11, p. 1094-8, 2016.

SMOLJANIC, J. et al. Running economy, not aerobic fitness, independently alters thermoregulatory responses during treadmill running **Journal Appl Physiology**, v. 117, 2014.

SPURRS, R. W.; MURPHY, A. J.; WATSFORD, M. L. The effect of plyometric training on distance running performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 89, n. 1, p. 1-7, Mar 2003.

SQUADRONE, R.; GALLOZZI, C. Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot runners. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 49, n. 1, p. 6-13, Mar 2009.

STEFANYSHYN, D. J.; NIGG, B. M. Energy aspects associated with sport shoes. **Sportverletz Sportschaden**, v. 14, n. 3, p. 82-9, Sep 2000.

STRAY-GUNDERSEN, J.; CHAPMAN, R. F.; LEVINE, B. D. "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. **J Appl Physiol (1985)**, v. 91, n. 3, p. 1113-20, Sep 2001.

TAM, N. et al. Habitual Minimalist Shod Running Biomechanics and the Acute Response to Running Barefoot. **Int J Sports Med**, v. 38, n. 10, p. 770-775, Sep 2017.

TARTARUGA, M. P. et al. The relationship between running economy and biomechanical variables in distance runners. **Res Q Exerc Sport**, v. 83, n. 3, p. 367-75, Sep 2012.

THOMAS, D. Q.; FERNHALL, B.; GRANAT, H. Changes in Running Economy During a 5-km Run in Trained Men and Women Runners. **Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 13, 1999.

TURNER, A. M.; OWINGS, M.; SCHWANE, J. A. Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. **J Strength Cond Res**, v. 17, n. 1, p. 60-7, Feb 2003.

WEGENER, C.; BURNS, J.; PENKALA, S. Effect of neutral-cushioned running shoes on plantar pressure loading and comfort in athletes with cavus feet: a crossover randomized controlled trial. **Am J Sports Med**, v. 36, n. 11, p. 2139-2146, Nov 2008.

WIEGERINCK, J. I. et al. Differences in plantar loading between training shoes and racing flats at a self-selected running speed. **Gait Posture**, v. 29, n. 3, p. 514-9, Apr 2009.

WILLIAMS, K.; CAVANAGH, P. A biomechanical correlates with running economy in elite distance runners. 1977.

WILLIAMS, K. R.; CAVANAGH, P. R. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. **J Appl Physiol (1985)**, v. 63, n. 3, p. 1236-45, Sep 1987.

WOROBETS, J. et al. Running shoe properties can influence oxygen consumption. **Footwear Science**, v. 5, p. S75-S76, 2013.

_____. Softer and more resilient running shoe cushioning properties enhance running economy. **Footwear Science**, v. 6, n. 3, p. 147 - 153, 2014.

ANEXO 1 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

Comitê de Ética em Pesquisa

Formulário E

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

I - DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

1. DADOS DO INDIVÍDUO

Nome completo

Sexo ☐ Masculino
☐ Feminino

RG

Data de nascimento

Endereço completo

CEP

Fone

E-mail

2. RESPONSÁVEL LEGAL

Nome completo

Natureza (grau de parentesco, tutor, curador, etc.)

Sexo ☐ Masculino
☐ Feminino

II - DADOS SOBRE A PESQUISA CIENTÍFICA

1. Título do Projeto de Pesquisa

Efeito da utilização de calçado esportivo minimalista sobre a corrida: um estudo sobre parâmetros fisiológicos, biomecânicos e o rendimento esportivo

2. Pesquisador Responsável

Rômulo Cássio de Moraes

Bertuzzi

3. Cargo/Função

Docente

4. Avaliação do risco da pesquisa:

☒ RISCO MÍNIMO | ☐ RISCO BAIXO | ☐ RISCO MÉDIO | ☐ RISCO MAIOR
(probabilidade de que o indivíduo sofra algum dano como consequência imediata ou tardia do estudo)

5. Duração da Pesquisa

6 meses

III - EXPLICAÇÕES DO PESQUISADOR AO INDIVÍDUO OU SEU REPRESENTANTE LEGAL SOBRE A PESQUISA, DE FORMA CLARA E SIMPLES, CONSIGNANDO:

O senhor visitara o laboratório em quatro ocasiões separadas por um intervalo mínimo de 72h e máximo de três semanas. Antecedendo os testes físicos, o senhor será submetido a uma avaliação cardiológica em repouso, realizada e/ou supervisionada por um profissional especializado. Na primeira visita serão realizadas as medidas antropométricas (massa corporal e estatura) e um teste progressivo até a exaustão. Na segunda visita, o senhor será submetido a testes de cargas constantes com intensidade submáxima para a determinação da economia de corrida e dos parâmetros biomecânicos nas condições com calçado minimalista e calçado tradicional. Na terceira e quarta visitas o senhor realizara, de forma contrabalançada, uma corrida contra-relógio de 3 km em uma pista de atletismo nas condições com calçado minimalista e calçado tradicional. Dez dias antes de cada avaliação o senhor receberá um par do calçado Nike Free® e um par do calçado Vibram Five Fingers® para se adaptarem aos modelos de calçados avaliados. O senhor não poderá realizar qualquer tipo de exercício exaustivo nas 24h que antecederem os testes. Também não poderão consumir bebidas com cafeína.

Duração do experimento: os testes terão a duração de aproximadamente 1 hora.

Benefícios: De uma forma geral, espera-se compreender o padrão de apoio e impacto dos pés durante a corrida com a utilização de calçados minimalistas. Espera-se que de fato haja uma melhora no custo energético e um consequente aumento no rendimento esportivo, assim como, uma considerável redução da taxa de impacto da força vertical durante a corrida. O presente estudo tem a intenção de contribuir para um maior entendimento de como o calçado minimalista auxilia na biomecânica e na economia de corrida, contribuindo de forma efetiva no desempenho de atletas em esportes de longa duração.

IV - ESCLARECIMENTOS DADOS PELO PESQUISADOR SOBRE GARANTIAS DO SUJEITO DA PESQUISA:

1. Você terá acesso, a qualquer tempo, às informações sobre procedimentos, riscos e benefícios relacionados à pesquisa, inclusive para dirimir eventuais dúvidas;
2. Liberdade de retirar seu consentimento a qualquer momento e de deixar de participar do estudo, sem que isto traga prejuízo à continuidade da assistência;
3. Salvaguarda da confidencialidade, sigilo e privacidade; e

Disponibilidade de assistência no HU ou HCFMUSP, por eventuais danos à saúde, decorrentes da pesquisa.

V - INFORMAÇÕES DE NOMES, ENDEREÇOS E TELEFONES DOS RESPONSÁVEIS PELO ACOMPANHAMENTO DA PESQUISA, PARA CONTATO EM CASO DE INTERCORRÊNCIAS CLÍNICAS E REAÇÕES ADVERSAS.

Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi
Av. Professor Mello Moraes, 65
Telefone: (11) 2985-6185
Endereço: Rua Elísio de Carvalho, 132
Telefone: (11) 98087-0281 / 94830-5079

VI. - OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES

VII - CONSENTIMENTO PÓS-ESCLARECIDO

Declaro que, após convenientemente esclarecido pelo pesquisador e ter entendido o que me foi explicado, consinto em participar do presente Projeto de Pesquisa.

São Paulo, ____/____/____

Assinatura do sujeito da pesquisa
ou responsável legal

Assinatura do pesquisador
(carimbo ou nome legível)

ANEXO 2 - QUESTIONÁRIO DE PRONTIDÃO PARA APTIDÃO FÍSICA

1. Alguma vez seu médico disse que tem problemas cardíacos e que só pode fazer atividade física recomendada por ele ou por outro Médico?

SIM ☐NÃO ☐

2. Quando está fazendo atividade física sente alguma dor no peito?

SIM ☐NÃO ☐

3. No último mês, teve alguma vez dor no peito quando não estava fazendo esforço?

SIM ☐NÃO ☐

4. Alguma vez já perdeu a consciência ou já perdeu o equilíbrio por causa de tontura?

SIM ☐NÃO ☐

5. Tem problemas ósseos ou articulares?

SIM ☐NÃO ☐

6. O seu médico proscreeu-lhe algum medicamento para a tensão arterial ou para o coração?

SIM ☐NÃO ☐

7. Tem conhecimento de algum fator e/ou problema médico que possa influenciar no seu programa de atividade física?

SIM ☐NÃO ☐

8. Gostaria de comentar algum outro problema de saúde seja de ordem física ou psicológica que impeça a sua participação na atividade física?

Declaro que li, entendi e preenchi responsavelmente o questionário e, que todas as perguntas foram respondidas honestamente e de acordo com a realidade.

Data: ____/____/____

Assinatura: _____

ANEXO 3 – FICHA DE AVALIAÇÃO INICIAL

DADOS PESSOAIS

Data da avaliação: ____/____/____

Nome: _____ Identificação: _____

Data de nascimento: _____ Idade: _____ Sexo: _____

Telefone: _____

email: _____

Massa: _____ Altura: _____

IMC: _____

Há quanto tempo você corre? _____ anos

Frequência por semana: _____ vezes

Tempo dos 10Km: _____ mim

Volume de treino semanal: _____ Km

Qual tênis usa para treinar _____

Utilização do tênis para:

- ☐ mesmo para treino e prova
- ☐ 2 tênis revezamento simples
- ☐ 2 tênis – 1 treino e 1 prova
- ☐ 3 tênis – 2 treino e 1 prova
- ☐ Não utiliza tênis

Já usou ou faz uso de calçado minimalista

☐ Sim ☐ Não

Se sim, qual

Modelo(s) _____

☐ Utiliza para treino

☐ Provas

☐ Treino e prova

Já apresentou lesão no ultimo ano? ☐ Sim ☐ Não

☐ tendinite onde? ☐ calcâneo ☐ intra patelar ☐ supra patelar

☐ fasciite plantar D/E ☐ esporão do calcâneo

☐ fratura de estresse nos ossos do pé ☐ torção do tornozelo

☐ síndrome do trato ílio tibial D/E ☐ lesões ligamentares joelho D/E

☐ lesões meniscais D/E L/M ☐ fratura de estresse na tíbia D/E

Você utiliza palmilhas para correr? ☐ Sim ☐ Não

Você utiliza tornoeleira para correr? ☐ Sim ☐ Não

ANEXO 4 – FICHA DE COLETA DOS DADOS DE CONFORTO

Ident. Sujeito _____

Data ____/____/____

Nome: _____

Calçado: 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐

1. Amortecimento do Calcanhar: Qual a sua percepção de conforto para a rigidez ou maciez na região do calcanhar?

2. Borda Superior do Contraforte: Qual o conforto da borda superior do contraforte do tênis?

3. Largura do Contraforte: Qual o conforto da largura do contraforte do tênis no calcanhar?

4. Amortecimento do Antepé: Qual a sua percepção de conforto para o quesito amortecimento na região do antepé?

5. Largura do Antepé: Qual o conforto da largura do antepé?

6. Comprimento do tênis: Qual o conforto do comprimento do tênis?

7. Controle Médio-lateral: Qual o conforto na movimentação médio-lateral do calçado?

8. Altura do arco: Qual o conforto da altura do arco?

9. Conforto geral: Qual a sua percepção de conforto do tênis na sua totalidade, sem especificação de região ou material?

ANEXO 5 – APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA

ESCOLA DE EDUCAÇÃO
FÍSICA E ESPORTE DA
UNIVERSIDADE DE SÃO

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITO DA UTILIZAÇÃO DE CALÇADO ESPORTIVO MINIMALISTA SOBRE A CORRIDA: UM ESTUDO SOBRE PARÂMETROS FISIOLÓGICOS, BIOMECÂNICOS E O RENDIMENTO ESPORTIVO

Pesquisador: Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 37502714.8.0000.5391

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Patrocinador Principal: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 910.103

Data da Relatoria: 10/12/2014

Apresentação do Projeto:

Defensores da corrida com calçados minimalistas, que possuem a função de mimetizar a corrida descalço, alegam que correr com este tipo de calçado pode ser mais eficiente do que correr com calçado esportivo. Embora os achados de alguns dos estudos prévios indiquem que a corrida com a utilização de calçados minimalistas possa minimizar o custo energético, ao menos em nosso conhecimento, ainda não existem trabalhos que investigaram o impacto dessa melhora da economia de corrida (EC) mediante o uso de calçado minimalista sobre o rendimento esportivo.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo do presente projeto será investigar o impacto da corrida com calçado minimalista sobre os parâmetros biomecânicos, fisiológicos e o desempenho na corrida.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Bem descrito, no entanto há a necessidade de se detalhar os cuidados que serão tomados durante o teste máximo. Escrever que os profissionais que estarão presentes no teste máximo são treinados e capacitados para intercorrência possível mesmo que improváveis.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Projeto com tema atual e controverso ainda na literatura, justificando sua aplicação. Mostra clara

Endereço: Av. Profº Mello Moraes, 65

Bairro: CIDADE INTERCAP

CEP: 05.757-060

UF: SP

Município: TABOÃO DA SERRA

Telefone: (11)3091-3097

Fax: (11)3812-4141

E-mail: cep39@usp.br