

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE DESPORTOS  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO FÍSICA

**RODRIGO DO AMARAL DE BRUM**

**A INFLUÊNCIA DOS TÊNIS DE CORRIDA NA ECONOMIA DE CORRIDA E  
PERFORMANCE DE CORREDORES DE LONGA DISTÂNCIA:  
UMA REVISÃO NARRATIVA**

Florianópolis,  
2022

Rodrigo do Amaral de Brum

**A INFLUÊNCIA DOS TÊNIS DE CORRIDA NA ECONOMIA DE CORRIDA E  
PERFORMANCE DE CORREDORES DE LONGA DISTÂNCIA:  
UMA REVISÃO NARRATIVA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em  
Educação Física – Bacharelado do Centro de  
Desportos da Universidade Federal de Santa  
Catarina como requisito para a obtenção do Título  
de Bacharel em Educação Física.  
Orientador: Prof. Dr. Ricardo Dantas de Lucas

Florianópolis,

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

de Brum, Rodrigo do Amaral

A influência dos ténis de corrida na economia de  
corrida e performance de corredores de longa distância :  
uma revisão narrativa / Rodrigo do Amaral de Brum ;  
orientador, Ricardo Dantas de Lucas, 2022.

49 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de  
Desportos, Graduação em Educação Física, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Educação Física. 2. Economia de Corrida. 3. Ténis de  
Corrida. 4. Endurance. 5. Performance. I. de Lucas,  
Ricardo Dantas . II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Educação Física. III. Título.

Rodrigo do Amaral de Brum

**A INFLUÊNCIA DOS TÊNIS DE CORRIDA NA ECONOMIA DE CORRIDA E  
PERFORMANCE DE CORREDORES DE LONGA DISTÂNCIA:  
UMA REVISÃO NARRATIVA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Educação Física” e aprovado em sua forma final pelo Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina, com a nota **9,0**

Florianópolis, 16 de março de 2022.

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Ricardo Dantas de Lucas, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Ramon Cruz Ph. D.

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Eduardo Marcel Fernandes Nascimento Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado ao meus queridos pais, à minha amada esposa, ao meu querido enteado e aos meus colegas de classe.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer de maneira geral a todos que fizeram parte desta longa e árdua jornada. Não foi fácil chegar até aqui, mas com apoio, suporte e ajuda de inúmeras pessoas consegui alcançar meu objetivo. Muitas adversidades foram superadas, obstáculos contornados, é somente quem esteve presente, por mínimo tempo que tenha sido conhece um pouco do meu caminho. Sou grato a minha esposa Bruna Suelen Paz que nunca me recusou amor, apoio e incentivo. Obrigado, todo o amor do meu coração, por compartilhar os inúmeros momentos de ansiedade e estresse, e compreender cada momento passado. Sem você ao meu lado este trabalho não seria concluído. Assim como meu enteado Yuri Paz da Rosa que ajudou no que pode para me prover tempo para escrever e pesquisar por material para construção do meu trabalho. Agradeço também aos meus pais Rogério Genro de Brum e Rosangela do Amaral de Brum por terem me dado a base para seguir meu caminho e conseguir chegar até onde estou hoje.

Meus agradecimentos aos amigos de caserna do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, especialmente ao 3º Sgt BM Rodrigo Barreto de Sousa que por muitas vezes me ajudou a frequentar estágios, aulas e tudo que precisei para conseguir concluir a graduação. Ao meu chefe atual 1º Tem BM Thiago Bernardes Maccarini por ser compreensivo e flexível a fim de facilitar a finalização do curso. Também não posso deixar de citar Cel BM Richard Sass Braum que durante sua chefia proporcionou todo suporte para que eu pudesse frequentar o curso. Obrigado a todos da equipe da divisão de finanças que fizeram parte desta etapa, Cb BM Rodrigo Soares, Cb BM Jader João da Silveira, 3º Sgt BM Alexandre Miranda, 2º Sgt BM Matheus Baldessar Pereira, 3º Sgt BM Ricardo Bittencourt, 3º Sgt BM João Fernando Abreu, 3º Sgt BM Filipe Machado, Cap BM Felipe Pires Silva e todos os outros companheiros de trabalho e amigos que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza. A todos os meus amigos que conheci nesse difícil caminho, por sua compreensão durante os tempos de ausência ao longo do TCC, sempre estiveram presentes com conversas, palavras de encorajamento e força, risos e tudo que pudesse de alguma forma ajudar. Principalmente numa fase particularmente complicada do curso e da minha vida pessoal. Todo apoio, força, amor e assistência fizeram a diferença por mais breve que tenha sido sua passagem. Meus sinceros agradecimentos a Simoni Weingartner, Paula Dutra Muller, Ícaro Wagner de Noronha, Bruno Godoy Azevedo Santos que em um momento delicado não hesitou em me auxiliar, Lucas Zanatta Piva, Guilherme Henrique, André Luiz Amaral Barbosa e muitos outros que contribuíram à sua maneira para me ajudar a concluir esta etapa.

Ao meu orientador Professor Dr. Ricardo Dantas de Lucas por me orientar e guiar quando a pandemia provocou uma guinada na direção do trabalho, fazendo com que eu ficasse perdido quanto ao andamento. Por acreditar e confiar na minha capacidade de concluir o TCC e toda a dedicação e atenção que possibilitaram encontrar um norte. Agradeço a todos os professores que me proporcionaram não só o conhecimento racional, mas também a concretização do caráter educativo e da emoção no processo de formação profissional, pois se dedicaram a mim, não só para me ensinar, mas também para me deixar aprender. A todos os colegas da minha turma, principalmente, Guilherme Tadeu de Barcelos, Jonatan Candido da Silva e Ernesto Schultz, obrigado pelo ambiente amigável em que vivemos e consolidamos o conhecimento, que é a base para o trabalho final deste curso. Este é um trabalho feito por todos, onde cada um construiu um pequeno pedaço. Obrigado por tudo. Este TCC também é de vocês!

“Paciência e perseverança tem o efeito mágico de fazer as dificuldades desaparecerem e os obstáculos sumirem” (John Quincy Adams, 1998)



## RESUMO

O pedestrianismo, ou como popularmente é chamada, corrida de rua, é a modalidade mais tradicional do atletismo e tem ganhado espaço em praticantes de esportes. Por ser uma prática de baixo custo a adesão cresce a cada ano. Em relação a performance, a economia de corrida (EC) é um fator de suma importância, sendo que corredores mais econômicos conseguem sustentar um esforço em determinada velocidade por mais tempo, e conseqüentemente desempenhar melhor. O avanço tecnológico relacionado ao calçado esportivo tem gerado debates a respeito da sua influência no desempenho de corredores. As grandes marcas de fabricantes de tênis de corrida inundam o mercado com seus novos produtos ano após ano prometendo potencializar o desempenho. Desta forma, este estudo de revisão bibliográfica tem por finalidade averiguar o efeito do calçado na performance de corrida e na EC de corredores de endurance através de estudos controlados que comparam diferentes condições de calçados (pesado, leve ou minimalista), características (massa, amortecimento, controle de movimento, rigidez de flexão longitudinal, viscoelasticidade da entressola, *drop* e conforto) ou comparam o uso de tênis com correr descalço. Dos 12 estudos analisados nesta revisão, 7 abordaram somente economia de corrida, 1 somente desempenho/performance, 3 abordaram economia de corrida e desempenho/performance e 1 abordou a influência do calçado no arco longitudinal do pé. Os autores corroboram que o uso de uma placa de carbono nos calçados desenvolvidos para corredores como o Nike Vapor Fly 4 %, podem aumentar a economia de corrida em cerca de 4 % e a performance e desempenho em até 6 %, quando comparados com calçados comuns ou minimalistas.

**Palavras-chave:** Economia de corrida. Endurance. Corridas de rua. Performance. Tênis de corrida.

## ABSTRACT

Pedestrianism, or as it is popularly called, street running, is the most traditional modality of athletics and has gained space in sports practitioners. As it is a low-cost practice, membership grows every year. Regarding performance, Running Economy (EC) is a very important factor, as more economical runners are able to sustain an effort at a certain speed for longer. The search for performance improvements doesn't stop. The continuous, incessant research and demand for new materials and technology development, with the aim of creating an ideal footwear for runners, is likely to be a never-ending endeavor. The big brands of running shoe manufacturers flood the market with their new products year after year promising performance improvements. Thus, this bibliographic review aims to investigate the effect of footwear on running performance and on the RE of endurance runners through the review of controlled studies that compare different conditions of footwear (heavy, light or minimalist), characteristics (mass, damping, control movement, longitudinal flexural stiffness, midsole viscoelasticity, drop and comfort) or compare the use of sneakers with running barefoot. Of the 12 studies analyzed in this review, 7 addressed running economy only, 1 only performance/performance, 3 addressed both running economy and performance/performance, and 1 addressed the influence of footwear on the longitudinal arch of the foot. The authors corroborate that the use of a carbon plate in shoes developed for runners, such as the Nike Vapor Fly 4 %, can increase running economy by about 4 % and performance and performance by up to 6 %, when compared to common shoes. or minimalists.

**Keywords:** Running economy. Endurance. Street racing. Running shoes

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferença entre corredores aéreos e terrestres (GINDRE et al., 2016).....	28
Figura 2 - Resultados que mostram as diferenças entre os dois grupos de corredores (aéreos e terrestres) em relação aos parâmetros citados na figura (GINDRE et al., 2016) .....	29
Figura 3 - - Diferenças no VO <sub>2</sub> reportadas na literatura durante a corrida com tênis em comparação com descalço (FRANZ; WIERZBINSKI; KRAM, 2012) .....	34
Figura 4 - Modelos de tênis avaliados (BARNES; KILDING, 2019) .....	39

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Palavras-chaves utilizadas na busca por artigos .....	30
------------------------------------------------------------------	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAB – Adidas Adios Boost  
AL – Arco Longitudinal  
CP – Comprimento de passada  
CO<sub>2</sub> – Gás Carbônico  
EC – Economia de Corrida  
FC – Frequência cardíaca  
FC máx. – Frequência cardíaca máxima  
FCR – Frequência cardíaca de reserva  
FP – Frequência de passadas  
[Lac] – Concentração de Lactato Sanguíneo  
NVP – Nike Vapor Fly 4%  
NZS – Nike Zoom Streak  
O<sub>2</sub> - Oxigênio  
OV – Oscilação Vertical  
PSE – Percepção Subjetiva de Esforço  
Q – Débito Cardíaco  
QR – Quociente Respiratório  
SNA – Sistema Nervoso Autônomo  
SNPS – Sistema Nervoso Parassimpático  
SNS – Sistema Nervoso Simpático  
TPU – Termoplástico Poliuretano  
VE – Ventilação Pulmonar  
VO<sub>2</sub> – Consumo de Oxigênio  
VO<sub>2</sub> máx. – Consumo máximo de oxigênio  
vVO<sub>2</sub> – Velocidade no consumo máximo de oxigênio  
VS – Volume Sistólico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>17</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>17</b>
1.1.3	<b>Justificativa .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....</b>	<b>19</b>
2.1	INDICADORES FISIOLÓGICOS RELACIONADOS A CORRIDA.....	19
2.1.1	<b>Frequência cardíaca .....</b>	<b>19</b>
2.1.2	<b>Consumo máximo de oxigênio (VO<sub>2</sub> máx.) .....</b>	<b>20</b>
2.1.3	<b>Economia de Corrida .....</b>	<b>21</b>
2.2	INDICADORES BIOMECÂNICOS RELACIONADOS A CORRIDA .....	24
2.2.1	<b>Oscilação Vertical.....</b>	<b>24</b>
2.2.2	<b>Comprimento de passada .....</b>	<b>25</b>
2.2.3	<b>Frequência de passada .....</b>	<b>26</b>
2.3	CLASSIFICAÇÃO DOS CORREDORES .....	27
2.3.1	<b>Corredores aéreos e terrestres .....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>30</b>
3.1	MÉTODOS.....	30
3.1.1	<b>Caracterização da pesquisa .....</b>	<b>30</b>
3.1.2	<b>Base de Dados .....</b>	<b>30</b>
3.1.2.1	Palavras-Chaves utilizadas .....	30
3.2	REVISÃO DOS ARTIGOS .....	31
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O pedestrianismo, ou como popularmente é chamada, corridas de rua, é a modalidade mais tradicional do atletismo e tem ganhado espaço em praticantes de esportes se transformando em algo popular devido ao baixo valor da prática, que necessita apenas de um par de tênis para ser executada. Esse aumento de praticantes que estão à procura de uma atividade física, utilizando de ambientes como praças, parques, em geral ambientes abertos, converge para um aumento do número de provas realizadas em todo país. Como dito anteriormente o baixo custo permite acesso a modalidade de todas as classes sociais, sendo classificada assim como uma prática de grande alcance (SALGADO et al., 2006). Assim por pedestrianismo, podemos entender as corridas realizadas na rua e estradas, que de acordo com Dallari (2009), as primeiras corridas de rua, da maneira como vemos nos dias de hoje, tiveram início por volta do século XVII, ganhando força na Inglaterra, onde a atividade era feita por trabalhadores.

Já no Brasil as primeiras corridas datam do início do século XX, sendo a Corrida de São Silvestre a prova mais conhecida e com maior prestígio, a qual teve sua primeira edição em 1925 na cidade de São Paulo. Já em nível mundial, as maratonas, a popular prova de 42.195 m, é a principal competição de longa distância. Essas provas demandam gastos energéticos altos e envolvem demandas fisiológicas, relacionadas ao consumo máximo de oxigênio ( $VO_2$  máx.), limiares ventilatórios, frequência cardíaca (EC); e biomecânicos, como a oscilação vertical, o comprimento e a cadência de passada. Tipicamente, o  $VO_2$  máx., representa a potência aeróbica máxima de um indivíduo. Em outras palavras seria a maior capacidade que um indivíduo possui de captar, transportar e utilizar o oxigênio até a musculatura ativa quando se pratica um exercício aeróbio máximo. O interesse em fatores fisiológicos para determinar a performance de atletas já vem de anos e este índice tem sido utilizado, juntamente com índices como velocidade de pico em testes incrementais, economia de corrida (EC) e velocidade do limiar de lactato para o diagnóstico da aptidão de atletas participantes de provas predominantemente aeróbias, como 5 km, 10 km, 15 km, 21 km e 42,195 km (NOAKES; MYBURGH; SCHALL, 1990).

Segundo Pereira e Lima:

Diversos fatores fisiológicos e suas variações como, temperatura central, ventilação pulmonar, limiar anaeróbio e frequência cardíaca, podem estar associados às mudanças na economia de corrida durante competições, treinamentos ou testes para sua avaliação. Tais fatores são importantes para um melhor entendimento das mudanças ocorridas na medida de economia de corrida e quais estratégias poderão ser utilizadas para uma otimização desses fatores (2010, p.129).

A EC pode ter sua definição exemplificada como o estado estável do consumo de oxigênio ( $O_2$ ) requerido para uma dada velocidade submáxima ou distância percorrida (FRANCH et al., 1998; SPURRS; MURPHY; WATSFORD, 2003). Uma EC superior é capaz de compensar menores valores de  $VO_2$  máx., pois indivíduos mais econômicos conseguem sustentar um esforço em velocidade submáxima por mais tempo (FRANCH et al., 1998). A importância da EC para determinação do desempenho foi mostrada em estudos onde foram avaliados atletas com  $VO_2$  máx. semelhantes, mas nos quais a EC foi responsável por até 65 % da variação nos tempos de provas de 10 km (MORGAN et al., 1990; SAUNDERS et al., 2004).

Segundo Foster e Lucia (2007) melhorando a EC em torno de 5 %, ocorre um aumento do desempenho em cerca de 3,8 %. Sendo assim, cresce o interesse de pesquisadores pelos efeitos que uma melhor EC tem no desempenho de praticantes de corrida de longas distâncias, visto que com uma EC superior os resultados em provas são cada vez melhores, ou seja, é possível percorrer a mesma distância com menor gasto metabólico, e conseqüentemente mais rapidamente. Por tal razão, investigar estratégias que possam trazer melhora no desempenho e também dos mecanismos responsáveis pela melhora da EC passou a ser relevante (SAUNDERS et al., 2004).

Em um interesse em desenvolver um calçado ideal, com objetivo de melhorar o desempenho nas corridas de longa distância, alterações em diversas características dos tênis, resultaram em melhora na EC (HUNTER et al., 2019).

Os tênis sofreram diversas mudanças, dentre elas: massa, retorno de energia e amortecimento através da manipulação da espuma e da flexibilidade. Os calçados cuja massa é menor, apresentam amortecimento externo, e as placas de fibra de carbono são benéficas quando a EC é a atenção principal (FULLER et al., 2016).

Uma escolha adequada de um tênis de corrida frequentemente é adotada como um requisito fundamental para corredores de longa distância e como maneira de melhorar o rendimento. Este aumento de performance é visto como uma motivação interna, motivo pelo qual inúmeros atletas profissionais e amadores experimentam calçados novos (FULLER et al., 2015).

Nos últimos anos, correr com tênis minimalistas tornou-se cada vez mais popular. O objetivo deste tipo de calçado é imitar a corrida descalça que, de acordo com os seus defensores é a maneira como os humanos evoluíram para correr (SQUADRONE; GALLOZZI, 2009).

O interesse em correr descalço aumentou muito nos últimos tempos, porém tendo em vista que a região plantar do pé fica mais exposta, pode levar a ferimentos traumáticos como



perfurações, e assim as empresas que confeccionam tênis de corrida criaram os calçados minimalistas (GOBLE et al., 2013).

Enquanto os tênis de corrida tradicionais têm um calcanhar elevado e acolchoado e maior nível de amortecimento, os minimalistas são projetados para fornecer proteção adequada para terrenos potencialmente perigosos, ao mesmo tempo em que proporcionam flexibilidade semelhante a correr descalço (RIDGE et al., 2015).

A pesquisa contínua, incessante e a busca por novos materiais e desenvolvimento de tecnologias, com o objetivo de criar um calçado ideal para corredores é bem provável uma diligência sem fim (HUNTER et al., 2019).

Assim esta revisão narrativa traz um compilado de estudos que abordam a influência dos tênis de corrida na economia de corrida e desempenho/performance.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Verificar o efeito do calçado esportivo de corrida, sobre a EC e desempenho de endurance, por meio de uma revisão bibliográfica.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Esta revisão bibliográfica tem por finalidade abordar, revisar e investigar estudos que avaliem o efeito do calçado na performance de corrida e na EC de corredores de endurance através da revisão de estudos controlados que comparam diferentes condições de calçados (pesado, leve ou minimalista), características (massa, amortecimento, controle de movimento, rigidez de flexão longitudinal, viscoelasticidade da entressola, drop e conforto) ou comparam o uso de tênis com correr descalço.

### 1.1.3 Justificativa

Na busca pelo rendimento esportivo, a preparação minuciosa do atleta ou do praticante de corrida é muito importante. No praticante de corrida de endurance um dos aspectos a ser melhorado é a EC, isto é, aprimorar sua performance e reduzir o desgaste nas provas que participa, o que, indubitavelmente, é crucial no esporte de alto rendimento (PEREIRA; LIMA, 2010). Devido aos grandes avanços tecnológicos que acontecem no desenvolvimento de calçados de corrida, inúmeros estudos vêm investigando a relação destes com a EC e desempenho. Assim a reunião e revisão de ensaios que abordem este assunto é de grande valia para um melhor entendimento deste parâmetro considerado tão importante que é a EC.

Esta revisão de bibliográfica leva a um melhor entendimento do próprio praticante de corrida, de como o seu o corpo funciona e de que maneira pode melhorar o próprio movimento para alcançar tempos melhores ganhando mais velocidade e gastando menos energia.

Assim a proximidade com a prática da corrida vivenciada durante toda a graduação, e sendo a corrida uma das modalidades do triatlo, esporte este que venho praticando a cerca de 1 ano, despertou o desejo por conhecimento a fim de melhorar os parâmetros da prática e reduzir o tempo nas provas disputadas. Além disso adquirir conhecimento que possa convergir para uma pós-graduação em fisiologia do exercício ou biomecânica, áreas que com certeza estudam

os itens abordados como trabalho de conclusão de curso. E como seguirei no ramo do treinamento personalizado, o estudo contribuirá como forma de entendimento para poder avaliar, estruturar e planejar o treinamento na parte de corrida dos atletas.

## 2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

### 2.1 INDICADORES FISIOLÓGICOS RELACIONADOS A CORRIDA

#### 2.1.1 Frequência cardíaca

A FC é um índice de demanda fisiológica, a qual é controlada pelo sistema nervoso autônomo, que de maneira funcional pode ser dividido em sistema nervoso simpático (SNS) e sistema nervoso parassimpático (SNPS). A variação da frequência cardíaca, isto é, o incremento que ocorre saindo do repouso para o exercício com intensidade máxima é dependente do equilíbrio que existe entre as respectivas influências do SNPS e SNS no sistema nervoso autônomo (SNA), enquanto os impulsos simpáticos aumentam a FC, os parassimpáticos diminuem, causando a redução da mesma (POWERS; HOWLEY, 2014; WHITE; RAVEN, 2014).

O estado estável da FC se aproxima mais da FC simpática sem oposição conforme a carga de trabalho aumenta, apontando assim para uma influência maior do SNS em cargas de trabalho mais altas. Porém como não se chega nunca ao mesmo valor, o sistema parassimpático não deixa de ter influência. Os dois sistemas agem de maneira simultânea, isto é, quando há uma atividade com consumo energético reduzido o SNPS têm maior ação, e ao decorrer do aumento do consumo energético, o SNS passa a ser mais atuante causando um incremento no valor da FC (WHITE; RAVEN, 2014).

Quando um exercício tem início, o corpo reage, quebrando a homeostase e aumentando a demanda muscular por oxigênio, sendo que em intensidades mais altas a necessidade por  $O_2$  pode chegar a valores de 15 até 25 vezes os valores de repouso (POWERS; HOWLEY, 2014). Com este aumento alguns ajustes fisiológicos são necessários, e o aumento do débito cardíaco é um deles. “O débito cardíaco (Q) é o produto da frequência cardíaca (FC) pelo volume sistólico (VS) (quantidade de sangue bombeada por batimento cardíaco),  $Q = FC \times VS$ .” (POWERS; HOWLEY, 2014, pág. 199).

Este incremento no valor do débito cardíaco, ocorre diretamente proporcional à taxa metabólica exigida para o exercício que está sendo praticado. O mecanismo deste aumento justifica-se por duas vias: aumento da FC e/ou da pressão sistólica. Isto é facilmente verificado em esportes como a corrida e o ciclismo (POWERS; HOWLEY, 2014).

Durante exercícios incrementais o VS em indivíduos destreinados, alcança um platô em valores de 40-60 % de  $VO_2$  máx. Isso acontece porque com uma FC mais alta, o tempo para

enchimento ventricular é muito pequeno reduzindo valores da diástole e VS. Porém já em praticantes de corrida de fundo, como maratonistas bem treinados, este platô não é atingido. Ao invés disso o aumento ocorre até o  $\text{VO}_2$  máx., sendo tal fato explicado pelo enchimento ventricular ser mais efetivo e o retorno venoso ser maior em atividades com intensidade mais altas (POWERS; HOWLEY, 2014).

Observando-se a FC e provas consideradas de meio-fundo e fundo, onde a exigência aeróbia é grande, um corredor que atinge 80 % do seu  $\text{VO}_2$  máx. estará requerendo uma FC de aproximadamente 88 % da frequência cardíaca máxima (FC máx.), cenário que os atletas de mais alto nível conseguem permanecer durante 2 h no mínimo (DOS SANTOS, 2012).

Portanto a frequência cardíaca é um índice importante na corrida sendo utilizada como parâmetro de inúmeros testes. Um exemplo é o teste realizado com uma velocidade inicial de  $4 \text{ km.h}^{-1}$  e uma inclinação de 1 %, com incrementos de  $1 \text{ km.h}^{-1}$  a cada minuto, até a velocidade alcançada ser equivalente a 65 % frequência cardíaca reserva (FCR). Com base neste ponto estabelece um período de 6 min com intuito de garantir que o “steady state” do consumo de  $\text{O}_2$  foi atingido (RIBEIRO et al., 2008). Assim a FC se mostra como um indicador fisiológico de grande importância e que merece ser observado com atenção nos corredores tanto amadores quanto os de elite.

### **2.1.2 Consumo máximo de oxigênio ( $\text{VO}_2$ máx.)**

O  $\text{VO}_2$  máx., conhecido também por potência aeróbia, indica uma medida do sistema cardiovascular, sinalizando o quanto o organismo é capaz de conduzir o sangue com oxigênio até a musculatura que está trabalhando (POWERS; HOWLEY, 2014).

A ergo espirometria é utilizada como um teste padrão ouro para realizar a medida do  $\text{VO}_2$  máx., cujos valores são importantes para monitorar atletas, indivíduos ativos, assintomáticos e enfermos (SANTOS; VIANA; SÁ FILHO, 2012). Tipicamente, o  $\text{VO}_2$  máx. vem sendo usado para diagnosticar atletas que realizam provas com predomínio aeróbio (NOAKES; MYBURGH; SCHALL, 1990). É utilizado para prescrição de treinamento para corredores a velocidade no consumo máximo de oxigênio ( $v\text{VO}_2$  máx.), que é definida segundo Billat (2001) como a velocidade de corrida alcançada onde o  $\text{VO}_2$  máx. é atingido em um teste incremental.

Um indivíduo que atinja limiares metabólicos mais altos, tem a capacidade de manter percentuais mais altos de  $\text{VO}_2$  máx. antes de atingir a fadiga. Assim os indivíduos que tem

maior capacidade de endurance, tem uma certa tendência a hiperventilar numa intensidade maior durante um teste incremental (RIBEIRO et al., 2008).

Há um grande fator genético que influencia cerca de 50 % o valor do  $\text{VO}_2$  máx., porém com a realização de um treinamento adequado com intensidade correta, os valores de  $\text{VO}_2$  máx. podem aumentar em até 50 %, em pessoas normais sedentárias, o que demonstra uma grande participação dos fatores ambientais. Este aumento tem sua maior alteração em consequência de um incremento na densidade de capilares na musculatura treinada, que é necessária para conseguir abranger o aumento do fluxo sanguíneo nos músculos (POWERS; HOWLEY, 2014).

Segundo Halvorsen et al., (2012), o  $\text{VO}_2$  correlaciona-se inversamente proporcional a frequência de passadas (FP), enquanto a oscilação vertical (OV) e OV x FP se relacionam de maneira positiva com o  $\text{VO}_2$ . Assim é importante que se analise o comportamento do  $\text{VO}_2$  durante a prática de corrida para melhor entendimento das relações das variáveis apontadas no estudo.

### **2.1.3 Economia de Corrida**

A EC é comumente definida como a demanda energética para uma dada velocidade submáxima de corrida, e determinada pelo consumo de oxigênio ( $\text{VO}_2$ ) e o quociente respiratório (QR) no estado estável. Normalmente a EC é aferida em laboratório utilizando-se de uma esteira rolante, onde se consegue manter a velocidade constante (SAUNDERS et al., 2004).

EC é considerada um dos parâmetros fisiológicos importantes para atletas de endurance, principalmente corredores de longas distâncias. Apesar de ser uma medida relativamente simples de ser aferida, e consideravelmente confiável, a EC é um parâmetro de grande complexidade e com inúmeros fatores que são reflexos de outros parâmetros, como os de ordem metabólica, cardiorrespiratória, biomecânica e neuromuscular. Inúmeros fatores da EC de um indivíduo são passíveis de adaptação, treino ou intervenções. Contudo uma alteração na EC de um indivíduo pode não ser benéfica para outro devido a individualidade biológica (BARNES; KILDING, 2015).

Em uma certa velocidade o consumo de oxigênio alcança um estado estável, o qual frequentemente se refere a EC, e que é o reflexo da demanda de energia necessária para corrida em uma velocidade submáxima, assim conceituando EC. Os corredores que possuem uma boa EC têm um menor consumo de oxigênio menor para a mesma velocidade do que um corredor com uma EC ruim. Os valores são de ordem crescente, e quem se classifica melhor tem valores

mais altos. Porém a EC pode variar cerca de 30 % entre corredores com o mesmo  $\text{VO}_2$  máx. (BERTUZZI et al., 2010; BARNES; KILDING, 2015).

O gasto energético da corrida reflete o somatório dos dois metabolismos, aeróbio e anaeróbio, sendo que o aeróbio é diretamente relacionado ao  $\text{VO}_2$  ( $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ). O  $\text{VO}_2$  alcançado em determinada velocidade de corrida permite estabelecer uma relação com a mesma, e consegue fornecer um fácil parâmetro para efetuar a comparação de dois indivíduos ou mais sob várias condições, e este  $\text{VO}_2$  determina a EC. Esta quantificação deste parâmetro fisiológico se dá normalmente com uma corrida em esteira com velocidades constantes com incrementos com duração entre 3 e 15 min até atingir o estado estável. O mais comum é a utilização de estágios progressivos de aproximadamente 4 min em velocidades de 12, 14, 16 e 18  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ , isto porque o estado estável do  $\text{VO}_2$  é alcançado dentro de 2-3 min (PEREIRA; FREEDSON, 1997).

O estado estável de consumo de oxigênio também pode ser verificado juntamente com outros indicadores fisiológicos como a concentração de lactato sanguíneo ([Lac]) e o (QR) (BARNES; KILDING, 2015).

Existe na literatura uma relação bem documentada entre a EC e a performance de endurance. Comparando corredores de elite de longa distância americanos com corredores de menor nível, indicou que os primeiros tinham uma melhor EC. E quando expresso o percentual de  $\text{VO}_2$  a diferença de EC era realçada com os corredores de elite se exercitando em percentuais menores de seus  $\text{VO}_2$  máx. (SAUNDERS et al., 2004)

As comparações entre os indivíduos são comumente realizadas ao se interpolar os dados de  $\text{VO}_2$  com a velocidade de corrida e sendo expressa em relação a massa corporal por minuto ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) ou pelo volume de oxigênio necessário para percorrer 1 km em relação a massa corporal ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ ). Devido a diferença entre a corrida na esteira e no solo (rua), onde a ação dos isquiotibiais são grandes na extensão do quadril e flexão do joelho, o gasto energético na esteira pode ser subestimado. Por isso uma inclinação de 1 % é utilizada na esteira para simular uma aproximação a corrida no solo onde a resistência do ar é presente (BARNES; KILDING, 2015).

Mudanças nas medidas de índices cardiorrespiratórios e de substratos metabólicos tem sido associada a mudanças na EC. Correlações encontradas entre medidas de FC e Ventilação Pulmonar (VE) apresentaram valores altos em inúmeros estudos, mostrando que alterações nestas variáveis provocam uma melhora da EC e também fortemente correlacionadas com o  $\text{VO}_2$ . Em uma dada velocidade os valores ventilatórios podem diminuir com o treinamento, e isto reflete uma melhor EC. Já as correlações com a temperatura corporal, as evidências são conflituosas. Encontra-se na literatura relatos de que um aumento da temperatura corporal

ocasiona um aumento de  $VO_2$ . Ainda outros fatores influenciadores na EC há a composição corporal, ressaltando a distribuição de massa corporal pelos segmentos do corpo (BARNES; KILDING, 2015).

Um fator importante para análise da EC é o volume de treinamento e o tempo de treinamento do indivíduo, que quanto mais treinado for, melhor será sua economia de corrida. Estudos mostram que com esse maior tempo de treinamento os indivíduos tendem a escolher um padrão de corrida mais econômico. Em relação ao tipo de pisada referente a aterrissagem (ante pé, médio pé e calcanhar), estudos sugerem que corredores que pisam com ante pé são mais econômicos em relação aos que pisam com o calcanhar primeiramente no solo (PERL; DAOUD; LIEBERMAN, 2012). Em contraponto um estudo de Gruber et al., (2013) mostrou não existir uma diferença significativa contrariando a crença popular que os corredores que aterrissam com ante pé seriam mais econômicos do que aqueles que utilizam o calcanhar (BARNES; KILDING, 2015).

Existem diversos fatores cinemáticos e cinéticos que são analisados para observar se a EC está em um nível bom ou não. Dentre eles observou-se que corredores de elite em comparação com bons corredores amadores, os primeiros possuem um ângulo ideal da coxa durante a extensão do quadril, maior extensão da perna durante a pisada e ângulos mais agudos do joelho (SAUNDERS et al., 2004). Os segmentos inferiores do corpo são o maior foco dos estudos, deixando os segmentos superiores frequentemente em segundo plano. Correlações negativas foram encontradas relacionando-se largura do ombro e pelve e EC em corredores de elite masculinos indicando que os movimentos de ombros e quadril podem afetar negativamente a EC. Existem evidências de que menos movimento dos braços, aferido pelo percurso percorrido pelo punho, durante o ciclo de passada, tendem a reduzir a movimentação do tronco melhorando a EC (BARNES; KILDING, 2015).

Algumas características antropométricas, como o tamanho dos membros, a estatura, gordura e massa corporal são itens que têm sido apontados como parâmetros que afetam de forma significativa a EC (SAUNDERS et al., 2004). Enquanto o comprimento das pernas contribui para a inércia angular e custo metabólico de mover as pernas durante a corrida. Porém ainda é controverso e não há um consenso se o comprimento da perna seria um fator com importância na determinação da EC (SAUNDERS et al., 2004).

Há de se observar a EC pelo olhar das características neuromusculares. Neste quesito a interação entre o sistema nervoso e muscular é essencial. Correr em velocidades mais altas, de maneira econômica é uma habilidade adquirida com muito treino, que requer uma propriocepção e conhecimento do próprio corpo para recrutar a musculatura correta a fim de



produzir força e movimento, para gerar deslocamento, sendo possível verificar na literatura evidências de que o treinamento de corrida induz melhoras na EC. Existem 2 pontos relacionados a contração muscular que influenciam consideravelmente o gasto energético e a EC, sendo estes a velocidade de contração e o equilíbrio entre as fases concêntrica e excêntrica (BARNES; KILDING, 2015).

Observa-se que a EC é estudada por inúmeros pesquisadores em todo o mundo. Os fatores que podem afetar a EC são vários, desde altura, comprimento de membros, composição corporal, movimentação dos segmentos corporais dentre outros. Conhecer os que de fato levam a uma alteração da EC causando uma melhora na mesma são de suma importância para eventuais correções e aprimoramentos na prescrição de treinamento tanto de atletas como de corredores recreacionais de finais de semana.

## 2.2 INDICADORES BIOMECÂNICOS RELACIONADOS A CORRIDA

### 2.2.1 Oscilação Vertical

A OV é definida como o movimento vertical do tronco (do centro de massa corporal) a cada passo dado medido em centímetros (cm) (CAVAGNA, 2005). Uma OV exagerada do centro de massa apresenta uma pisada que provoca forças reativas maiores e requerem amplitudes de movimento maiores e causam aumento de atrito e rigidez. Estudos de Foster e Lucia (2007) sugerem que referente a indicadores biomecânicos de corredores de elite e bons corredores amadores, os primeiros possuem uma oscilação ligeiramente menor e uma melhor EC. A percepção intuitiva é que a oscilação vertical é relacionada contrariamente à economia de corrida. Porém segundo Cavagna (2005) uma menor oscilação vertical resultaria em FP maiores e conseqüente maior gasto energético devido maior aceleração dos segmentos e maior demanda por oxigênio gerando menor EC. Do lado oposto, o estudo de Halvorsen et al., (2012) mostrou que menor oscilação vertical resulta em maior EC.

Sabe-se que a OV afeta a EC, e a grande maioria dos autores que estudam corrida relatam uma melhor de EC com uma oscilação que apresente valores menores. Assim através desta pesquisa pode-se ratificar as informações apresentadas assim como expor novos conhecimentos que podem ser encontrados.

### 2.2.2 Comprimento de passada

Segundo Cavanagh e Kram (1989) o comprimento de passada (CP) é definido como a distância entre o primeiro contato do pé de referência e o segundo toque deste mesmo pé. E quando o CP se mostrou como um componente que afeta a EC, qualquer ponto de vista sobre quais fatores interferem o CP na faixa de velocidade escolhida pode trazer mais esclarecimentos sobre a EC.

Assim o CP é tido como o principal componente influenciador pelo incremento na velocidade de corrida na fase inicial de ganho de velocidade. Contudo após um tempo esta variável não consegue sofrer aumento entrando em um platô, e neste momento a FP ganha papel importante para se alcançar maiores velocidades. Visto que o CP tem influência sobre a EC, isso pode ser o motivo que pelo qual um CP específico é escolhido em uma faixa de várias velocidades (CAVANAGH; KRAM, 1989).

O  $VO_2$  submáximo aumenta de forma curvilínea conforme o corredor auto seleciona o CP, aumentando ou diminuindo a mesma. Passadas muito curtas aumentam a força interna de contração dos músculos através do aumento da frequência de movimentos aumentando o gasto energético e diminuindo a EC (BARNES; KILDING, 2015).

Segundo Lussiana e Gindre (2016), não há necessidade de dizer para o corredor qual CP e FP ele deve utilizar, pois a tendência são escolhas muito próximas das ideais, utilizando a percepção subjetiva de esforço (PSE), devido ao tempo de treinamento. Os corredores também podem adaptar-se a determinada FP e CP em uma dada velocidade de corrida.

Ainda pode haver uma correlação entre EC e o recrutamento das fibras musculares. Em FP menores e CP maiores os músculos necessitam de uma quantidade maior de energia para gerar potência durante a propulsão e conseguir superar as forças de frenagem. Por outro lado, em FP maiores e CP menores, a força mecânica associada com o movimento dos segmentos aumenta devido ao incremento da frequência de movimentação dos mesmos. Ambas as condições parecem exigir mais das fibras tipo II mais do que em FP e CP médias (KANEKO et al., 1987).

CP é um parâmetro que afeta a EC corrida sendo interessante conceituar e explicar brevemente sobre a CP para um melhor entendimento da sua relação com a EC.

### 2.2.3 Frequência de passada (FP)

A FP é definida como a quantidade de passos realizados em um período de 1 min. A FP e o CP são variáveis dependentes e juntas delimitam a velocidade de corrida. Mantendo-se esta velocidade constante se uma variável aumenta a outra diminui como consequência (MOORE, 2016).

Assim como Cavanagh e Kram (1989), Hogberg (1952) também constatou que a FP é um dos componentes capazes de incrementar a velocidade associada ao CP. Neste estudo de Hogberg (1952) o protocolo utilizado corroborou que uma corrida nas velocidades de  $10 \text{ km.h}^{-1}$  e  $20 \text{ km.h}^{-1}$  teve uma diferença de 9 % em relação a FP, ratificando o fato de que o CP estabiliza e o aumento da FP que se torna o responsável pelo incremento na velocidade.

Hunter e Smith (2007) utilizaram em seu estudo como parâmetro uma corrida de 60 min, onde FP auto selecionada sofre variações em uma velocidade constante, cerca de 77,9 % do  $\text{VO}_2$  máx., percebeu-se certa dissemelhança no custo metabólico para manter a intensidade. Em um primeiro momento o indivíduo escolheu sua FP predileta e logo em seguida ocorreu um incremento no valor de 4 % e posteriormente 8 %, sendo as alterações realizadas dentro do período de 1 h. A percepção de que houve uma ampliação do gasto energético se deu no início do teste, previamente ao indivíduo apresentar fadiga, dado que a intensidade aplicada era aproximadamente a que seria possível de manter durante 1 h de corrida.

Já no estudo de Hamill, Derrik e Holt (1995) foi realizado um teste em esteira, onde cada sujeito escolheu uma velocidade de corrida e uma FP. Posteriormente foram realizadas aferições em FP acrescida de 10 % e 20 % e FP reduzida em -10 % e -20 %. Foram encontradas divergências com certa significância em relação FC e no  $\text{VO}_2$ , porém nos últimos 3 min do teste, os sujeitos parecem entrar no chamado “steady-state”. Ambos os indicadores sofreram incrementos que merecem atenção nos dois casos da variação da FP, tanto quando houve diminuição de FP quanto ao aumentar a FP. No entanto, observou-se que o aumento foi maior quando a frequência de passadas sofreu redução em relação àquela selecionada pelo indivíduo como considerada ideal.

Deste modo é fácil perceber a influência que a FP tem em algumas variáveis fisiológicas como FC e  $\text{VO}_2$ , e sua relação com o CP, visto que para manter uma mesma velocidade de corrida se o CP aumenta a FP deve diminuir e vice-versa. Por estes motivos a FP é analisada e considerada um parâmetro importante a ser levado em consideração.

## 2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS CORREDORES

### 2.3.1 Corredores aéreos e terrestres

Segundo Gindre et al., (2016), o método Volodalen®, oferece um modelo com fins de classificar os corredores observando seu padrão de corrida em 2 grupos: aéreos e terrestres. Para isso utiliza uma escala global subjetiva de avaliação. O objetivo do estudo foi verificar se o método apresentado, aplicado por um treinador de corrida experiente correspondia a parâmetros biomecânicos aferidos de forma objetiva através do OptojumpNext®.

Nos corredores classificados como aéreos, se observou uma fase de voo mais duradoura, maior oscilação vertical do tronco, força vertical e rigidez das pernas do que o grupo dos corredores terrestres.

A observação dos movimentos realizados pelo indivíduo durante a prática de esportes, é uma qualidade importante para um treinador que busca sempre melhorar o desempenho do seu atleta (MORENO et al., 2006).

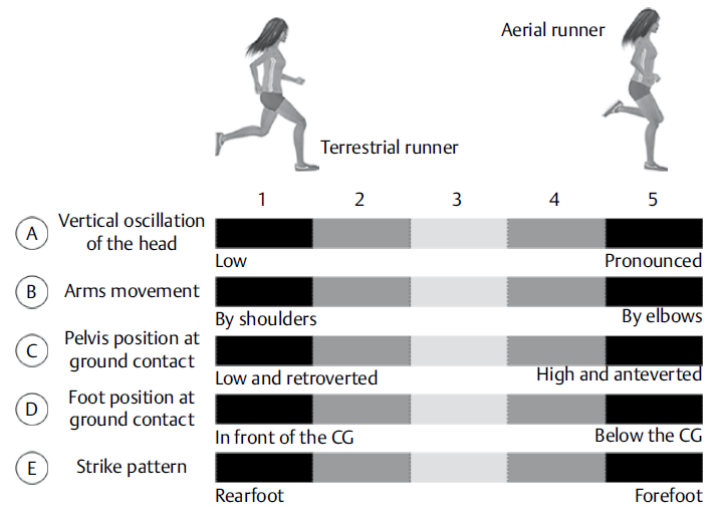
Porém para ter uma eficiência adequada, o observador deve se ater aos parâmetros da atividade em si. Alguns treinadores de corridas rápidas, ratificaram que postura, posição do quadril, movimento dos braços, assim como o tempo de contato dos pés com o solo são indicadores importantes para uma performance na corrida (THOMPSON; BEZODIS; JONES, 2009).

Contudo o ato de correr é algo dinâmico, no qual alterações em um parâmetro afetam outros, a título de exemplo, reduzindo o tempo de contato dos pés com o solo, deixando de ajustar a FP, causa um maior tempo na fase aérea da corrida, o que pode ocasionar uma maior oscilação vertical do tronco (GINDRE et al., 2016).

Segundo Gindre et al., (2016) juntando os parâmetros biomecânicos, faz com que cada corredor tenha um padrão de corrida específico, podendo um treinador fazer uso desse critério para classificar de maneira diferente seus atletas. Através da tabela apresentada na figura 1, os treinadores podem classificar os indivíduos em corredores aéreos e terrestres.

O método apresentado, utiliza 5 (cinco) critérios subjetivos classificando os corredores nos 2 (dois) grupos anteriormente citados, facilitando o entendimento dos treinadores e a montagem dos treinos baseado nas características individuais.

**Figura 1-** Diferença entre corredores aéreos e terrestres (GINDRE et al., 2016)

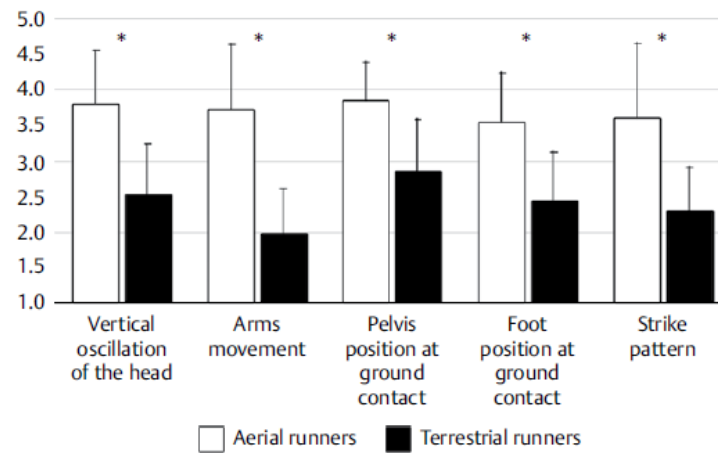


Segundo o estudo de Gindre et al., (2016), a amostra utilizada foi de 91 indivíduos, composta por homens e mulheres, todos com uma boa saúde, relatada pelos próprios participantes, sendo que todos não apresentaram lesões no ano anterior e estavam livres de danos nos membros inferiores no período atual. Cada sujeito participou de uma sessão de 30 min, sendo 10 min de aquecimento em velocidade auto selecionada. No teste os indivíduos correram 3 tiros de 50 m em pista de atletismo coberta nas velocidades de  $11,88 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $15,12 \text{ km.h}^{-1}$  e  $18 \text{ km.h}^{-1}$ , com descanso de 2 min. A velocidade de cada tentativa foi monitorada através de células fotoelétricas (Racetime2, MicroGate, Timing and Sport, Bolzano, Italy). A validade do esforço se dava quando a velocidade do corredor estava dentro da margem de  $\pm 5\%$  da velocidade estipulada.

A avaliação subjetiva dos sujeitos, se deu através da observação por um profissional especialista em corrida com no mínimo 20 anos de experiência a nível nacional, sendo pelo menos 10 anos de familiaridade com o método citado, com atenção especial aos 5 elementos chave apresentados na Fig. 1. Já a avaliação objetiva foi feita por um sistema de medição ótica (Optojump Next®, MicroGate Timing and Sport, Bolzano, Italy), com frequência de amostragem de 1000 Hz, a fim de captar o tempo de contato com o solo e de voo por 20 m, a partir das marcações de 20 e 40 m dos 50 m percorridos (GINDRE et al., 2016).

Os resultados encontrados mostraram que dos 91 sujeitos observados e analisados, 48 (sendo 5 mulheres) foram classificados como corredores aéreos e 43 (sendo 9 mulheres) como terrestres. O primeiro grupo apresentou uma pontuação, segundo a Fig. 1, maior do que o segundo grupo. A figura 2 mostra os principais resultados que diferenciam os 2 (dois) grupos.

**Figura 2** - Resultados que mostram as diferenças entre os dois grupos de corredores (aéreos e terrestres) em relação aos parâmetros citados na figura. (GINDRE et al., 2016)



A análise dos dados corroborou a hipótese do estudo de que corredores aéreos tem um tempo de contato com o solo mais curto, maior rigidez de membros inferiores e fase de voo mais longa, além de uma maior oscilação vertical do tronco. Do outro lado, o padrão terrestre foi objetivamente associado com um menor tempo de voo, maior tempo de contato com o solo e uma maior compressão da perna do que o padrão aéreo, e apresentando um padrão de ataque de retro pé e uma oscilação vertical do tronco baixa (GINDRE et al., 2016).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 MÉTODOS

##### 3.1.1 Caracterização da pesquisa

Segundo Gil (2007), o tipo de pesquisa em relação a coleta de dados é uma revisão bibliográfica, e quanto a abordagem, narrativa com um tema de estudo mais abrangente, estabelecendo uma seleção arbitrária de artigos, com critérios de buscas não especificados, tendo uma análise crítica pessoal do pesquisador e a evidência científica a ser questionada.

As revisões narrativas são projetadas para descrever ou discutir o estado atual do tópico de pesquisa. Eles não precisam detalhar a fonte consultada ou o método utilizado para buscar as fontes de referência. O pesquisador seleciona os trabalhos consultados com base nas perspectivas teóricas e no contexto do tema em discussão.

##### 3.1.2 Base de Dados

Uma pesquisa por artigos foi realizada em novembro de 2021. As bases de dados pesquisadas foram: PubMed, que é um mecanismo de busca de acesso aberto para o banco de dados de citações e resumos de artigos de pesquisa biomédica MEDLINE. Cortesia da Biblioteca Nacional de Medicina dos EUA como parte de Entrez e Scielo (Scientific Electronic Library Online).

##### 3.1.2.1 Palavras-Chaves utilizadas

As palavras para busca dos artigos em cada base de dados foram em inglês, sendo estas as apresentadas no **quadro 1** abaixo:

*Quadro 1* – Palavras utilizadas para busca de artigos

Shoe	Endurance	Race
Footwear	Distance	Marathon
Running economy	Speed	Oxygen
Performance	Racing	Metabolic Cost

### 3.2 REVISÃO DOS ARTIGOS

Esta revisão bibliográfica buscou trazer artigos que abordassem a influência que os tênis de corrida atuais acarretam na EC e performance/desempenho de corredores de longa distância. Dos 12 estudos analisados nesta revisão, 7 abordaram somente EC, 1 somente desempenho/performance, 3 abordaram EC e desempenho/performance e 1 abordou a influência do calçado no arco longitudinal do pé.

O objetivo na corrida de endurance é correr determinada distância no menor tempo possível ou pelo menos mais rápido que o corredor que chegaria primeiro (BARNES; KILDING, 2019).

Por tal razão há um crescente e enorme interesse em desenvolver o tênis ideal, com o objetivo de melhorar o desempenho na corrida de longa distância, e mudanças em várias propriedades do tênis resultaram em maior EC (HUNTER et al., 2019). A EC é inversamente proporcional ao gasto metabólico, ou seja, melhorando a economia de corrida, o custo de energia é reduzido e isto promoverá melhora do desempenho individual (HOOGKAMER et al., 2016).

Com o avanço tecnológico das últimas décadas, os tênis passaram por diversas alterações, entre elas: redução da massa, melhora no retorno de energia e amortecimento por meio de tratamento de espuma e flexibilidade. Calçados cuja massa é inferior têm amortecimento externo, e a placa de fibra de carbono são benéficos quando a EC é o foco principal (FULLER et al., 2016).

Os efeitos que um tênis pode ter no desempenho de corrida ainda é uma área pouco explorada, com um interesse em amplo crescimento. Pouquíssimos estudos apresentam consequências de um calçado esportivo em medidas de tempo ou distância no desempenho da corrida. Porém a maioria como estudos de (HUNTER et al., 2019; FULLER et al., 2016; BARNES; KILDING, 2019; MUNIZPARDOS et al., 2021) usaram a EC aferida em velocidades submáximas como medida da performance. E esta é uma escolha lógica, haja vista que o desempenho na corrida depende de inúmeros fatores relacionados a EC e esta é aparentemente afetada pelo tipo de tênis utilizado (FULLER et al., 2016).

Este é um dos motivos pelo qual a pesquisa contínua e a exploração de novos materiais e desenvolvimentos tecnológicos para criar o calçado ideal para corredores tem sido esforço incessante (HUNTER et al., 2019).

Uma escolha adequada de um tênis de corrida frequentemente é adotada como um requisito fundamental para corredores de longa distância e como maneira de melhorar o



rendimento. Este aumento de performance é visto como uma motivação interna, razão pela qual inúmeros atletas profissionais e amadores experimentam calçados novos (FULLER et al., 2015).

Em 2007 uma pesquisa sistemática não encontrou estudos que tivessem investigado os efeitos dos calçados utilizados na performance de corrida, existindo ainda uma falta de consenso sobre o que deve ser considerado um calçado adequado para corredores de longa distância (RICHARDS; MAGIN; CALLISTER, 2009).

Porém, alguns estudos vêm investigando a influência de diferentes modelos de tênis sobre a EC. As características do calçado utilizado que podem influenciar a EC são inúmeras, podendo se destacar as seguintes: massa, a qual se apresentou como uma das mais importantes, amortecimento, controle de movimento, rigidez de flexão longitudinal, a viscoelasticidade da entressola, altura do drop que, a grosso modo, pode ser explicada como a diferença da altura entre a parte de trás e a da frente do tênis (FULLER et al., 2015).

O efeito menos claro apontado foi o amortecimento, sendo relatado que nem sempre um maior amortecimento reduz o custo energético e que correr com tênis minimalistas ou descalço tem se mostrado ter um gasto metabólico menor do que com o uso de calçado com amortecimento. De fato, realizar a corrida sem tênis ou com os minimalistas pode ocasionar mudanças no padrão de marcha, no tipo de aterrissagem do pé no solo, redução da oscilação vertical do tronco, e tudo isto contribui para uma melhor EC (WARNE; WARRINGTON, 2014).

Este interesse em correr descalço aumentou muito nos últimos tempos, porém tendo em vista que a região plantar do pé fica mais exposta, pode levar a ferimentos traumáticos como perfurações, e assim as empresas que confeccionam calçados esportivos criaram os tênis minimalistas (GOBLE; WEGLER; FOREST, 2013). Segundo Rothschild (2012), estudos recentes com corredores sendo 364 recreacionais, 380 competitivos e 41 de elite, que participavam de corridas desde 5 km até maratona, mais de 50 % trocaram os calçados comuns por minimalistas ou passaram a correr descalço por crenças subjetivas que o seu desempenho seria melhor. Como já relatado anteriormente essa crença advém de que estudos recentes mostram que a massa do tênis e a ação de correr mais com a ponta do pé têm influência na EC, porém isto não é consenso na literatura.

Segundo Gruber et al., (2013), estudos atuais sugerem que não há vantagens significativas sobre a EC quando avaliados os padrões de aterrissagem da pisada com calcanhar ou os que utilizam o médio/ante pé.

Ao se falar sobre o pé humano, ele permite que a força produzida pelos membros inferiores seja transmitida para o chão, suportem o peso do corpo e também gerem propulsão, e a estrutura do pé que permite que ele trabalhe como uma mola é o arco longitudinal (AL) (KELLY et al., 2016).

Correr com tênis, que segundo Nigg et al., (2003) na atualidade é: uma entressola viscoelástica que é projetada para comprimir e retornar energia quando aplicado força durante a corrida, ocasiona uma redução da compressão e recuo do AL, sugerindo que o seu uso influencia na função elástica, onde o pé age como uma mola. Esta constatação está de acordo com as características dos calçados de corrida cuja função é fornecer suporte para o AL e reduzir a tensão nas estruturas de tecidos moles na planta do pé (KELLY et al., 2016).

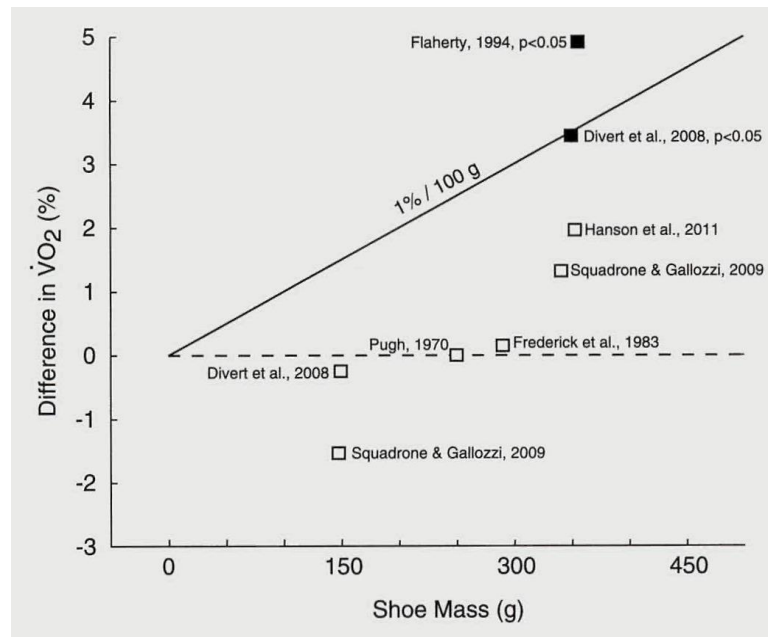
Uma série recente de experimentos, fornecem novas evidências que os músculos intrínsecos do pé funcionam em paralelo com aponeurose plantar, ajustando ativamente a rigidez do AL em resposta à carga durante postura de pé e locomoção (KELLY et al., 2016).

Desta forma, admite-se que o calçado esportivo é na atualidade um equipamento que pode ajudar a aprimorar a EC. Os tênis mais novos que estão no mercado foram projetados com o intuito de aumentar o retorno de energia, embora sua eficácia não tenha sido investigada a fundo (SINCLAIR et al., 2016). Os tênis de corrida leves diferem dos convencionais por ter sua massa reduzida, drop, amortecimento e podem ser categorizados como minimalistas (ESCULIER et al., 2015). Contudo, apesar de muita pesquisa sobre os efeitos do calçado de corrida minimalista sobre economia de corrida, uma recente revisão sistemática não encontrou estudos sobre os efeitos de tênis leves em desempenho de corrida ou tempo para percorrer uma distância definida (FULLER et al, 2016). Por outro lado, segundo Franz; Wierzbinski; Kram, (2012), tênis minimalistas melhoram a EC em curtas distâncias por causa da sua massa reduzida e no tocante ao amortecimento, ajuda a reduzir o esforço muscular necessário para amortecer impactos com o solo, assim, reduzindo o custo metabólico.

A investigação que o custo metabólico da corrida é muito suscetível a massa que se coloca nas partes distais dos membros inferiores também sugere que a EC pode sofrer melhora diminuindo a massa dos tênis utilizados ou zerando esta, isto é, correr descalço (HOOGKAMER; KRAM; ARELLANO, 2017). Nesse pensamento segundo os achados de Frederick et al., (1984), o custo metabólico aumenta cerca de 1 % para 100 g de massa adicionados a cada calçado, porém em velocidades acima de  $4,88 \text{ m.s}^{-1}$  esta influência cai para  $\sim 0,75 \%$  (apud HOOGKAMER et al., 2017).

Estudos que apresentaram maiores variações na EC foram aqueles que investigaram a relação entre calçados esportivos leves, minimalistas ou correr descalço e a EC. A hipótese de que a massa do calçado é um fator extremamente importante é muito forte, sendo levada em consideração na construção dos tênis de corredores de longas distâncias. E uma associação positiva entre a massa do tênis e o  $\text{VO}_2$  já foi reportada por Franz; Wierzbinski; Kram (2012), demonstrado na figura 3.

**Figura 3** - Diferenças no  $\text{VO}_2$  reportadas na literatura durante a corrida com tênis em comparação com descalço (FRANZ; WIERZBINSKI; KRAM, 2012).



Franz; Wierzbinski; Kram (2012), sugerem que os efeitos negativos na EC ocorrem com tênis de corrida cuja construção tenha massa superior a 440 g por par, sendo que os que forem mais leves que isto trariam benefícios para EC.

Frederick et al., (1983) (apud HOOBKAMER et al., 2018), observaram também que ao contrário do que seria o óbvio, correr descalço, com massa do calçado 0 g seria o ideal, constataram que correr com um tênis com massa de 290 g cada, requer o mesmo consumo de oxigênio que não usar um implemento. Apresentaram então a hipótese do amortecimento, isto é, que ao percorrer a distância descalço, o sujeito exerce um esforço muscular a fim de absorver o impacto com o solo e quando se utiliza o tênis a sola realiza esse papel, reduzindo o esforço muscular.

Com objetivo de melhorar a EC, que é considerada segundo Hanson et al., (2011) o melhor preditor de desempenho, e é um parâmetro que corredores almejam aperfeiçoar, pois indivíduos com uma EC superior, tem a capacidade de manter intensidades de exercício mais altas e/ou sustentar a mesma intensidade por um intervalo de tempo (HOOBKAMER et al.,

2016). A fim de melhorar a EC a literatura sugere que os atributos dos calçados podem desempenhar um papel fundamental no custo metabólico. Por exemplo, os calçados minimalistas, isto é, aqueles que em sua construção tem sua massa a menor possível, aumentam a EC em cerca de 1- 4 % em relação àqueles de construção da sola de EVA (DINATO et al., 2021). Este incremento na EC tem sido associado com uma ação mecânica melhor dos arcos longitudinal e transversal do pé, que tem a capacidade de armazenar e retornar aproximadamente 17 % da energia mecânica a cada passo (PERL; DAOUD; LIEBERMAN, 2012). Franz; Wierzbinski; Kram, (2012) demonstraram a relação da massa do calçado com o custo metabólico, e seus achados mostraram que os efeitos da massa adicionada ao tênis quando controlados, este custo era relativamente melhor que correr descalço.

Sob outra perspectiva Nigg et al., (2003), examinaram a influência de diversos materiais da entressola na ativação muscular e EC, e chegaram à conclusão que ao se usar material viscoelástico e não componentes mais rígidos, não provocou alterações significativas no estado estável do  $VO_2$ .

Na literatura é consenso que o tênis pode melhorar a EC quando projetado com as características mecânicas adequadas (SINCLAIR et al., 2013). E com esta demanda crescente, a empresa de tênis Nike™ lançou o modelo “Nike™ Vaporfly 4 %” (NVP) que chegou ao Brasil no final de 2018. Um dos principais corredores que utilizou tênis da marca citada anteriormente foi Eliud Kipchoge, um dos principais maratonistas da atualidade, que completou a maratona no tempo de 2 h 01 min 39 s em 2018 na cidade de Berlim na tentativa de quebrar a barreira das 2 h, e fez uso do NVP com o objetivo de melhorar a sua EC, esta que é influenciada por diversos fatores de natureza fisiológica, biomecânica e externos. Se o NVP é realmente efetivo em causar uma melhora na EC, assume-se que ocorrem mudanças na mecânica de corrida do indivíduo. Isto porque a confecção da entressola apresenta rigidez à flexão maior que o normal e a altura do tênis foge do tradicional, gerando variações como o braço de momento externo do centro de pressão e a articulação do tornozelo (HUNTER et al., 2019).

Os recordes atuais, desde das provas de 5 km até a maratona, foram quebrados depois que foi introduzido na construção dos tênis a placa de fibra de carbono em inglês carbon fiber plate (CFP). Os mais recentes são conhecidos por melhorar a EC em cerca de 4 % (MUNIZ-PARDOS et al., 2021). Em 12 de outubro de 2019, Eliud Kipchoge, maratonista do Quênia já mencionado, correu a maratona em 1 h 59 min 40 s, utilizando um tênis confeccionado exclusivamente para ele com CFP, o modelo Nike™ Alphafly, em uma corrida não oficial na cidade de Viena, Áustria. Porém a Nike introduziu pela primeira vez uma placa longa de carbono por toda a entressola na liga de Mônaco em 14 de agosto de 2020 e o efeito foi

imediatamente percebido. O recorde dos 5000 m foi quebrado por um atleta utilizando tênis da Nike com CFP. Isto fez com que alguns corredores mudassem de calçado e até como ocorreu com um maratonista espanhol conhecido, uma quebra de contrato com a Adidas para usar os tênis da Nike com CFP. Isto fez com que outras marcas mundialmente famosas desenvolvessem seus próprios calçados com placas de carbono (MUNIZ-PARDOS et al., 2021).

A promessa era de fornecer uma massa mínima com um bom retorno de energia e uma boa flexibilidade do conjunto (HOOGKAMER et al., 2017). Isso é proveniente de um tênis leve com uma entressola responsiva e uma placa de carbono por toda sua extensão que confere rigidez com peso mínimo. Aferições em um protótipo mostraram uma melhora na EC em cerca de 4 % em velocidades específicas de 14, 16 e 18 km.h<sup>-1</sup>, quando comparado a outros 2 tênis de corrida famosos, o Adidas® Adios Boost (AAB) e o Nike™ Zoom Streak (Nzs) (HOOGKAMER et al., 2018).

Hoogkamer et al., (2018) relatam que mesmo com o uso do tênis com CFP uma grande diferença interindividual foi observada, onde alguns corredores não apresentaram melhoras na EC e outros 6,4 %, isso devido ao padrão de pisada (ante pé, médio pé) e a diferença entre um calçado ótimo para cada indivíduo. Essa diferença entre sujeitos usando calçados com CFP é uma das futuras áreas de pesquisa.

Embora um aumento do CP tenha sido observado como sendo mais eficiente que uma amplificação da FP, demandando menos energia para acelerar as pernas, membros inferiores mais longos se mostraram mais favoráveis a passadas maiores e, portanto, melhor EC (MUNIZ-PARDOS et al., 2021).

Como a espessura da sola aumenta o comprimento do membro inferior fazendo com que teoricamente o tamanho da passada aumente, a EC sofreria mudanças positivas. Isto é, o modelo biomecânico (modelo do membro) fazendo uma ligação entre o comprimento de membro e custo energético em animais terrestres. Assim, para corredores este modelo deriva da taxa de produção de força muscular durante a corrida e do tamanho efetivo do segmento. Embora a espessura da sola seja proporcional ao tamanho do tênis, ela não é linear e corredores mais baixos tem um ganho desproporcional em relação ao comprimento do membro inferior o que tem sido sugerido pela literatura que melhora a EC (MUNIZ-PARDOS et al., 2021).

Os calçados atualmente no mercado, incluindo os com placa de carbono e os que apresentam solas grossas, porém leves, são desenvolvidos para aumentar o retorno de energia através do recuo elástico passivo, exigindo menos energia por passo (MUNIZ-PARDOS et al., 2021). Diferentes materiais são utilizados na construção dos tênis de corrida, e no estudo de Sinclair et al., (2016) mostrou que o Termoplástico de Poliuretano (TPU), um novo tipo de

material que compõe a entressola de calçados de corrida atualmente, melhoram a EC em cerca de 4,1%, através do retorno de energia mecânica causada pela sola a cada passo realizado, quando comparado a tênis convencionais.

Apesar dessas descobertas recentes, ainda não se tem certeza se há uma habilidade superior dos modelos minimalistas e com TPU em relação a uma melhor EC, isto porque as evidências encontradas se limitam a analisar as mudanças na EC, sem verificar se esta melhora foi transferida e gerou uma melhora de performance (DINATO et al., 2021).

Segundo o estudo de Hunter et al., (2019), foi percebido um deslocamento do centro de pressão durante a 2ª fase do tempo de contato do pé com o solo, com a utilização do NVP. Este pequeno deslocamento altera a vantagem mecânica do quadril, joelho, tornozelo, com diferenças no retorno de energia, e levanta-se a hipótese que ocorrem mudanças significativas no pico de força, tempo de contato com o solo, CP, oscilação vertical, amplitude de movimento do joelho e quadril, velocidade de flexão plantar.

Hunter et al., (2019) comparou metabolicamente e mecanicamente a versão de consumidor do tênis Nike™ Vapor Fly 4 % com outros dois modelos de maratona populares e determinou as diferenças na EC. Para isso foram recrutados 19 homens com idade média de  $23 \pm 6,1$  anos, estatura:  $1,80 \pm 0,07$  m, massa corporal:  $66,5 \pm 6,6$  kg. Utilizando o estudo anterior de Hoogkamer et al., (2018) como base e uma análise focada no consumo de oxigênio como maneira de definir as diferenças na EC, foram selecionados 18 sujeitos. Os critérios de inclusão no teste foram os seguintes: ser maior de 18 anos, ter completado uma prova de 10 km em tempo menor de 32 min no ano anterior, não fazer uso de órteses e não apresentar lesão que tenha limitado o treinamento nos 3 meses anteriores ao teste. Para comparação foi realizado um teste onde no primeiro dia os indivíduos realizavam um aquecimento na esteira a  $3,53 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $12,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) por 5 min. Em seguida, vestiram o equipamento para mensurar o consumo de  $\text{O}_2$  da (True One 2400, Parvo Medics, UT). Depois de provar os tênis para saber qual o tamanho adequado, o teste continuava com 1 dos 3 calçados em ordem aleatória, sendo que estudo utilizou os tênis Nike™ Vapor Fly 4% tendo como concorrentes o Adidas® Adios Boost (AAB) e o Nike™ Zoom Streak (NZS). A justificativa para escolha foi o sucesso de corredores de elite que ganharam provas recentemente utilizando estes tênis. No teste os corredores completaram um bloco de 3 min a  $4,44 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), sendo esta velocidade escolhida por já ter sido utilizada no estudo base fornecendo uma intensidade abaixo do limiar anaeróbio. Foi completado 5 min nesta velocidade, seguido de 5 min de descanso para troca de tênis, até que cada um tivesse corrido com cada calçado por 2 vezes. No segundo dia foi colocado em cada sujeito 36 marcadores refletivos de acordo com o Vicon Plugin Gait Model (Vicon Corp,

Oxford, UK), sendo gravados por 10 câmeras a uma frequência de 250 Hz com amostragem das placas de força a 1000 Hz. Cada indivíduo correu durante 3 min com cada tênis e os dados de força coletados foram nos 30 s finais e o tempo (s) de contato com o solo, taxa de passada (Hz), pico de força vertical, impulso vertical (Ns), oscilação vertical do centro de massa (mm), amplitude de movimento de flexão do joelho durante a postura (graus) enquanto em contato com o solo, amplitude de movimento de flexão do quadril e velocidade de flexão plantar foram determinados usando um software customizado criado com Microsoft Visual Basic (Seattle, WA). Os resultados demonstraram uma diferença significativa no consumo de  $O_2$  na velocidade de  $16 \text{ km.h}^{-1}$  usando o tênis NVP em cerca de 2,8 % na média na melhora da EC em relação ao Adidas® Adios Boost e 1,9 % melhor que o NZS. Na comparação geral entre os tênis e todos os sujeitos analisados, a melhora da EC variou de 0 a 6,4 %. CP, a velocidade com que é realizada a flexão plantar e a oscilação vertical foram os parâmetros significantes que tiveram diferenças entre as combinações do uso dos tênis. Porém a diferença pode se dar devido ao tamanho das amostras nos estudos. Além disso o aumento da massa dos tênis é uma desvantagem para a EC (SHORTEN, 1993).

Hunter et al., (2019) relataram ainda que o uso do NVP resultou em maior EC quando comparado com AAB e NZS a  $16 \text{ km.h}^{-1}$ . Os benefícios no custo metabólico do NVP são suficientes para melhorar o desempenho de forma significativa, embora um efeito placebo não possa ser descartado. Melhorias nos tempos de desempenho são esperadas no tênis NVP. Essas diferenças são parcialmente explicadas por alterações na técnica de corrida que parecem ser devido a diferenças de tênis, sendo que algumas pessoas responderam de maneira distinta aos calçados esportivos. Mais estudos são necessários para determinar o que leva um corredor a se beneficiar mais ou menos com um determinado tênis.

Da mesma forma Barnes; Kilding, (2019), realizaram um estudo com o objetivo de determinar se e em que extensão o (A) Nike™ Vapor Fly 4 % melhora a EC quando comparado com o (B) Adidas® Adizero Adios 3 (ADI) e (C) Nike™ Zoom Matumbo 3 (NZM) retratados na figura 4, utilizando como base o estudo citado anteriormente de Hoogkamer et al., (2018) o qual examinaram o protótipo Nike™ Vapor Fly 4 % e mostrou uma melhora na EC de 4,01 % em velocidades de 14, 16 e  $18 \text{ km.h}^{-1}$  ( $p < 0,001$ ) em 18 corredores bem treinados quando comparado com o AD. Para avaliação no estudo foram selecionados 24 corredores (12 homens e 12 mulheres), sendo os tênis masculinos tamanho entre o 36 e 42. Todos os participantes

correram anteriormente 5 ou 10 km com tempo abaixo de 15 ou 30 min (homens) respectivamente e abaixo de 17:15 ou 35:30 (mulheres). Como protocolo foi estabelecido 3

**Figura 4** - Modelos de tênis avaliados (BARNES; KILDING,2019)



visitas para cada sujeito, sendo a 1ª destinada a estabelecer se cada participante era capaz de correr abaixo do limiar de lactato a 14, 16 e 18 km.h<sup>-1</sup> para homens e 14, 15 e 16 km.h<sup>-1</sup> para mulheres através da mensuração da concentração de lactato sanguíneo ([Lac]). Na 2ª e 3ª visitas o VO<sub>2</sub>, características biomecânicas da passada e a [Lac] foram aferidos nas 4 condições de uso de dos tênis NVF, ADI, NZM e NVF+. O NVF+ é o NVF com 30 - 35 g de massa (pesos de chumbo) adicionados para equalizar a massa maior do ADI a fim de examinar os efeitos da alteração da massa do calçado no custo energético. Esta diferença de massa foi percebida nos tamanhos de tênis menores (36 - 37) entre o NVP e ADI. Já nos tamanhos maiores (42) foi de ~10 g. Na visita 1, os indivíduos, usando seus próprios tênis, realizaram 15 min de aquecimento em velocidade auto selecionada antes de correr 3 blocos de 5 min cada, nas velocidades de 14, 16 e 18 km.h<sup>-1</sup> (homens) e 14, 15 e 16 km.h<sup>-1</sup> (mulheres) em uma esteira rolante, com 5 min de descanso entre os blocos. Um tacômetro digital portátil foi utilizado para aferir todas as velocidades da esteira. Para análise dos gases expirados foi permitido uma familiarização com o equipamento. A 2ª e 3ª visitas foram realizadas em ordem aleatória com pelo menos 72 h de intervalo entre elas. Antes de cada visita as medidas de estatura, massa e composição corporal foram aferidas novamente. Um aquecimento de 15 min a velocidade auto selecionada, abaixo de 14 km.h<sup>-1</sup>, com os próprios tênis foi feito. Na sequência todos completaram 4 blocos de 5 min a 14 km.h<sup>-1</sup> com 3 min de descanso para realizar a troca dos calçados. Em seguida correram outra série de 4 x 5 min com velocidade determinada de 18 km.h<sup>-1</sup> para homens de 16 km.h<sup>-1</sup> para mulheres. Durante os testes de corrida foi usado um monitor de frequência com gravação a cada 5 s e os gases expirados foram mensuradas de maneira contínua para determinar o VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, VE e QR. O VO<sub>2</sub> médio determinado através da análise dos últimos 2 min de cada bloco, foi expresso como EC (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>). Os parâmetros biomecânicos, como FP, CP, tempo de



contato com o solo e de voo, foram aferidos através de uma análise de vídeo de alta velocidade (240 quadros por segundo). Ao final das análises, Barnes; Kilding, (2019) encontraram como resultados que o Nike™ Vapor Fly melhorou a EC em média de  $4,2 \pm 1,2$  % comparados com o Adidas® Adizero Adios 3 e  $2,6 \pm 1,3$  % com o Nike™ Zoom Matumbo. Quando acrescido de massa para se aproximar do ADI, o NVF ainda melhorou a EC em  $2,9 \pm 1,3$  %.

Foi percebida uma variação considerável interindividual em relação ao custo energético, com diferença trivial na EC entre homens e mulheres. Utilizando o NVF os indivíduos geralmente correram com maiores tempo de contato com solo e voo, menores FP e maiores CP que o NZM, porém não foram encontradas diferenças biomecânicas entre NVF e NVF +. Utilizando o ADI os tempos de contato foram maiores em 0,2, 0,9 e 0,8 % que NVF. Diferenças triviais quanto ao custo metabólico entre estudos utilizando esteiras podem ser explicadas segundo Kerdok et al., (2002) e Tung; Franz; Kram, (2014) porque o amortecimento da esteira afeta a EC e uma esteira com plataforma mais rígida provoca um aumento no consumo de oxigênio alterando a EC. De maneira geral o Nike™ Vapor Fly 4 % reduziu o consumo de oxigênio quando comparado com o Nike™ Zoom Matumbo e Adidas® Adizero Adios 3.

Grande parte dos estudos avaliam a EC, porém muito se fala em desempenho/performance, com o desejo de alcançar tempos menores. Nesse âmbito Fuller et al., (2016), realizaram um estudo com objetivo de determinar se calçados minimalistas melhoram o desempenho de corredores de longa distância treinados e se as mudanças na EC, massa do calçado, CP, FP estão ligadas com qualquer diferença no desempenho, quando comparados os tênis minimalistas x convencionais durante uma corrida submáxima nas velocidades de 11, 13 e 15 km.h<sup>-1</sup>. Fuller et al., (2016) alertam que a fadiga tem efeitos prejudiciais na EC, que podem superar os benefícios de se usar um tênis com massa menor que o normal. Desta maneira não fica muito claro se as avaliações da EC em curtas distâncias em velocidades baixas estão relacionadas ao desempenho de corrida em longas distâncias com um ritmo maior.

Fuller et al., (2016), recrutaram 26 corredores de longa distância treinados, do sexo masculino, com idade entre 18 e 40 anos, com pisada tipo retro pé, que treinavam com tênis convencional e percorriam 15 - 70 km por semana. A amostra foi determinada baseada em estudos anteriores que detectaram pequenas variações na EC entre tênis minimalista e o tradicional (LUSSIANA et al., 2013). Mais 12 sujeitos foram recrutados e completaram o protocolo com seus próprios calçados, a fim de reforçar a confiabilidade dos resultados gerados.

Os participantes elegíveis correram um mínimo de 15 km por semana, e tinham tempo abaixo de 23 min na prova de 5 km, assim como não tinham experiência anterior com tênis minimalistas, auto identificaram a pisada como retro pé no momento da inscrição (típico de 89 % dos corredores (LARSON et al., 2011)) e não apresentavam lesão musculoesquelética atual ou recente (anterior a 3 meses). O padrão de pisada foi determinado a partir de ensaios de corrida no solo em velocidade auto selecionada e usando uma câmera digital de alta velocidade com amostragem a 200 Hz (Basler Pilot, Ahrensburg, Alemanha).

As condições dos tênis avaliados no estudo foi: tênis de corrida convencional (Asics Gel Cumulus-14; massa  $333 \pm 25$  g; drop 9 mm) e um tênis minimalista (Asics Piranha SP4; massa  $138 \pm 10$  g; drop 5 mm). O Asics Piranha atende normas publicadas para classificação de calçado minimalista (ESCULIER et al., 2015). Nenhum participante possuía o Asics Gel Cumulus, sendo ambos os tênis novidade para os indivíduos. No início de cada visita experimental, os participantes completaram uma corrida submáxima de 2 min em uma esteira motorizada em velocidade de corrida auto selecionada para avaliar o conforto do calçado. Nenhum tempo adicional foi fornecido para os participantes se acostumarem a correr com cada tênis porque este estudo investigou os efeitos imediatos de correr em diferentes tipos de calçados. O conforto do calçado foi avaliado usando escalas analógicas visuais de 100 mm com âncoras “não confortável de maneira alguma” na extremidade esquerda (0 mm) e “mais confortável imaginável” à direita (100 mm) (MILLS; BLANCH; VICENZINO, 2010).

Como protocolo para avaliar a EC foi realizado um aquecimento de 5 min na esteira a velocidade de  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  para em seguida perfazer 3 blocos de 6 min de corrida submáxima a 11, 13 e  $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . A EC foi avaliada mensurando o consumo de oxigênio durante o minuto final de cada bloco em  $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ . Para que os dados do sujeito fossem incluídos, o consumo de oxigênio em estado estacionário teve que ser alcançado e o QR tinha que permanecer abaixo de 1,00 (FRANZ; WIERZBINSKI; KRAM, 2012). O quociente respiratório foi maior que 1,00 para 13 corredores a  $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  e 3 corredores a  $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , o que impediu a medição da EC para esses participantes nessas velocidades. A confiabilidade da EC foi excelente para cada velocidade de observada (coeficiente de variação  $< 2,0 \%$ ).

Sensores de força, cada um com massa de 4 g, foram colocados no ante pé e regiões do calcanhar de cada tênis com objetivo de avaliar o padrão de passada, seu comprimento e frequência durante cada bloco submáximo de 6 min de corrida. Os sensores de força registraram o contato inicial do pé e a saída do dedo do pé sem utilização de fios a 2000 Hz usando um sistema Delsys Trigno (Delsys Inc, MA, EUA). Comprimento médio da passada foi

mensurado através da fórmula:  $SL = ST \times V$ , onde  $SL$ = comprimento da passada,  $ST$ = tempo de cada passada e  $V$ = velocidade observada na esteira.

Para avaliar o desempenho/performance foi realizado um teste de 5 km em uma esteira motorizada com inclinação de 0 % (LAURSEN et al., 2007). O tempo gasto para correr 5 km foi a medida de desempenho. Os sujeitos determinaram a velocidade inicial durante a avaliação de elegibilidade e isso permaneceu constante em todas as visitas de teste. Os participantes não viam quanto tempo havia decorrido do teste nem a velocidade que estavam correndo, somente a distância percorrida e podiam ajustar a velocidade da esteira para correr 5 km no menor tempo possível. Os gases expirados foram coletados durante todo o estudo para determinar o pico de consumo de oxigênio.

Os resultados encontrados mostraram que houve uma pequena melhoria de 22 s no desempenho quando os sujeitos usaram os tênis minimalistas, a diferença no pico de consumo de oxigênio entre os tipos de calçados foi trivial. Os corredores perceberam uma grande redução no conforto ao correr com tênis minimalistas. A massa do calçado não se correlacionou com a melhora no desempenho. Os efeitos principais ocorreram na EC para o tênis e velocidade e uma interação tênis\*velocidade ( $P < 0,05$ ). O uso de calçados minimalistas foi acompanhado por uma pequena redução no consumo de oxigênio e explicou 14 % da variação no  $VO_2$ . A redução do consumo de oxigênio foi pequena nas velocidades de 13 e 15  $km \cdot h^{-1}$ , mas trivial em 11  $km \cdot h^{-1}$ . Concluiu-se que 79 % do efeito que os tênis minimalistas têm na EC pode ser atribuído à sua massa reduzida. A frequência e o comprimento da passada não tiveram efeito na EC ( $P > 0,17$ ). A melhora na EC com tênis minimalistas a 15  $km \cdot h^{-1}$  foi associado à melhora no desempenho para os 13 corredores que conseguiram atingir consumo de oxigênio estável nessa velocidade ( $r = 0,58$ ;  $p < 0,05$ ).

O objetivo deste estudo citado anteriormente, foi de determinar se tênis minimalistas eram capazes de melhorar o desempenho em corredores de longa distância treinados. Assumiu-se a hipótese que o desempenho seria melhor quando se usasse calçados minimalistas por causa de melhorias na EC que resultariam de sua massa reduzida.

Os achados sugerem que os corredores podem esperar pequenas melhorias no tempo de corrida de 5 km (~2 %) ao usar tênis minimalistas, mesmo sem experiência de corrida neste tipo de calçado. Não está claro se melhorias semelhantes ocorrem a uma distância maior, no entanto, a maioria dos corredores não usa tênis minimalistas para distâncias de corrida superiores a 5 km (ROTHSCHILD, 2012).

EC e o conforto do tênis foram as únicas variáveis que contribuíram para a melhora do tempo utilizando calçados minimalistas. No entanto, nem o conforto do tênis nem a EC tiveram uma relação uniforme com o desempenho do contrarrelógio (FULLER et al., 2016).

## 4 CONCLUSÃO

A partir dos estudos analisados, é evidente que o tipo de tênis acarreta modificações na EC. Em sua grande maioria trazem benefícios, melhoram a EC, embora possa ocorrer uma variação interindividual em relação ao custo energético. As características da construção do tênis podem fazer com que o corredor consiga alcançar uma EC melhor.

É consenso que a massa do tênis influencia a EC de maneira negativa, ratificado pelos achados de Frederick et al., (1984), onde encontraram que o custo metabólico aumenta cerca de 1 % para cada 100 g de massa adicionados a cada calçado, porém em velocidades acima de  $4,88 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $17,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) esta influência cai para  $\sim 0,75 \%$  (apud HOOGKAMER et al., 2017).

Quanto ao tênis minimalistas, os estudos sugerem que corredores que fazem uso deste tipo de calçado podem esperar pequenas melhoras no tempo de corrida do 5 km ( $\sim 2 \%$ ), porém ainda não está muito claro se esta melhoria ocorreria em distâncias maiores.

No âmbito geral é perceptível a melhora que os tênis com placa de carbono trazem para economia de corrida, e a EC é um componente tão importante para o desempenho de atletas que uma pequena alteração, traz mudanças significantes ao corredor, porém os efeitos quanto a performance/desempenho ainda é uma área pouco explorada, tendo foco maior na EC. Assim é necessário estudos mais robustos em relação a performance, sendo que a pesquisa nessa área é promissora nos próximos anos.

## REFERÊNCIAS

- BARNES, K. R.; KILDING, A. E. Running economy: measurement, norms, and determining factors. **Sports Medicine - Open**, v. 1, n. 1, p. 8, dez. 2015.
- BARNES, K. R.; KILDING, A. E. A Randomized Crossover Study Investigating the Running Economy of Highly-Trained Male and Female Distance Runners in Marathon Racing Shoes versus Track Spikes. **Sports Medicine**, v. 49, n. 2, p. 331–342, fev. 2019.
- BERTUZZI, R. C. DE M. et al. É possível determinar a economia de corrida através do teste progressivo até a exaustão? **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 24, n. 3, p. 373–378, set. 2010.
- BILLAT, L. V. Interval Training for Performance: A Scientific and Empirical Practice: Special Recommendations for Middle- and Long-Distance Running. Part I: Aerobic Interval Training. **Sports Medicine**, v. 31, n. 1, p. 13–31, 2001.
- CAVAGNA, G. A.; HEGLUND, N. C.; WILLEMS, P. A. Effect of an increase in gravity on the power output and the rebound of the body in human running. **Journal of Experimental Biology**, v. 208, n. 12, p. 2333–2346, 15 jun. 2005.
- CAVANAGH, P. R.; KRAM, R. Stride length in distance running: velocity, body dimensions, and added mass effects. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 21, n. 4, p. 467-479, ago. 1989.
- DALLARI, M.M. Corrida de rua: um fenômeno sociocultural contemporâneo. São Paulo: USP, 2009. 130p. Tese (Doutorado em educação) – Faculdade de educação, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.
- DINATO, R. C. et al. Footwear designed to enhance energy return improves running economy compared to a minimalist footwear: does it matter for running performance? **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 54, 15 mar. 2021.
- ESCULIER, J.-F. et al. A consensus definition and rating scale for minimalist shoes. **Journal of Foot and Ankle Research**, v. 8, n. 1, p. 42, dez. 2015.
- FOSTER, C.; LUCIA, A. Running Economy: The Forgotten Factor in Elite Performance. **Sports Medicine**, v. 37, n. 4, p. 316–319, 2007
- FULLER, J. T. et al. The Effect of Footwear on Running Performance and Running Economy in Distance Runners. **Sports Medicine**, v. 45, n. 3, p. 411–422, mar. 2015.
- FULLER, J. T. et al. Effects of a minimalist shoe on running economy and 5-km running performance. **Journal of Sports Sciences**, v. 34, n. 18, p. 1740–1745, 16 set. 2016.
- FRANCH, J. et al. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands: **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 30, n. 8, p. 1250–1256, ago. 1998.

FRANZ, J. R.; WIERZBINSKI, C. M.; KRAM, R. Metabolic Cost of Running Barefoot versus Shod: Is Lighter Better? **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 44, n. 8, p. 1519–1525, ago. 2012.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GINDRE, C. et al. Aerial and Terrestrial Patterns: A Novel Approach to Analyzing Human Running. **International Journal of Sports Medicine**, v. 37, n. 01, p. 25–26, jan. 2016.

GOBLE, C.; WEGLER, J.; FOREST, C. P. The potential hazards of barefoot running: Proceed with caution: **Journal of the American Academy of Physician Assistants**, v. 26, n. 3, p. 49–53, mar. 2013.

GRUBER, A. H. et al. Economy and rate of carbohydrate oxidation during running with rearfoot and forefoot strike patterns. **Journal of Applied Physiology**, v. 115, n. 2, p. 194–201, 15 jul. 2013.

HALVORSEN, K.; ERIKSSON, M.; GULLSTRAND, L. Acute Effects of Reducing Vertical Displacement and Step Frequency on Running Economy. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 8, p. 2065–2070, ago. 2012.

HAMILL, J.; DERRICK, T. R.; HOLT, K. G. Shock attenuation and stride frequency during running. **Human Movement Science**, v. 14, n. 1, p. 45–60, jun. 1995.

HANSON, N. J. et al. Oxygen Cost of Running Barefoot vs. Running Shod. **International Journal of Sports Medicine**, v. 32, n. 06, p. 401–406, jun. 2011.

HOGBERG, P. Length of stride, stride frequency, "flight" period and maximum distance between the feet during running with different speeds. **Arbeitsphysiologie**, v. 14, n. 6, p. 431–436, 1952.

HOOBKAMER, W. et al. Altered Running Economy Directly Translates to Altered Distance-Running Performance. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 48, n. 11, p. 2175–2180, nov. 2016.

HOOBKAMER, W.; KRAM, R.; ARELLANO, C. J. How Biomechanical Improvements in Running Economy Could Break the 2-hour Marathon Barrier. **Sports Medicine**, v. 47, n. 9, p. 1739–1750, set. 2017.

HOOBKAMER, W. et al. A Comparison of the Energetic Cost of Running in Marathon Racing Shoes. **Sports Medicine**, v. 48, n. 4, p. 1009–1019, abr. 2018.

HUNTER, I.; SMITH, G. A. Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: changes with fatigue during a 1-h high-intensity run. **European Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 6, p. 653–661, 27 jul. 2007.

HUNTER, I. et al. Running economy, mechanics, and marathon racing shoes. **Journal of Sports Sciences**, v. 37, n. 20, p. 2367–2373, 18 out. 2019.

KANEKO M, MATSUMOTO M, ITO A, FUCHIMOTO T. **Optimum step frequency in constant speed running**. Human Kinetics: Champaign; 1987

KELLY, L. A. et al. Shoes alter the spring-like function of the human foot during running. **Journal of The Royal Society Interface**, v. 13, n. 119, p. 20160174, jun. 2016.

KERDOK, A. E. et al. Energetics and mechanics of human running on surfaces of different stiffnesses. **Journal of Applied Physiology**, v. 92, n. 2, p. 469–478, 1 fev. 2002.

LARSON, P. et al. Foot strike patterns of recreational and sub-elite runners in a long-distance road race. **Journal of Sports Sciences**, v. 29, n. 15, p. 1665–1673, dez. 2011.

LAURSEN, P. B. et al. Reliability of Time-to-Exhaustion versus Time-Trial Running Tests in Runners. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 39, n. 8, p. 1374–1379, ago. 2007.

LUSSIANA, T. et al. Effect of slope and footwear on running economy and kinematics: Slope, footwear, running economy, and kinematics. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 23, n. 4, p. e246–e253, ago. 2013.

LUSSIANA, T.; GINDRE, C. Feel your stride and find your preferred running speed. **Biology Open**, v. 5, n. 1, p. 45–48, 15 jan. 2016.

MILLS, K.; BLANCH, P.; VICENZINO, B. Identifying Clinically Meaningful Tools for Measuring Comfort Perception of Footwear. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 42, n. 10, p. 1966–1971, out. 2010.

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

MORGAN, D. W. et al. Effects of a prolonged maximal run on running economy and running mechanics: **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 22, n. 6, p. 834, dez. 1990.

MORENO, F. J. et al. Visual Search Strategies of Experienced and Nonexperienced Swimming Coaches. **Perceptual and Motor Skills**, v. 103, n. 3, p. 861–872, dez. 2006

MUNIZ-PARDOS, B. et al. Recent Improvements in Marathon Run Times Are Likely Technological, Not Physiological. **Sports Medicine**, v. 51, n. 3, p. 371–378, mar. 2021

NIGG, B. M. et al. The effect of material characteristics of shoe soles on muscle activation and energy aspects during running. **Journal of Biomechanics**, v. 36, n. 4, p. 569–575, abr. 2003.

NIGG, B. M.; CIGOJA, S.; NIGG, S. R. Effects of running shoe construction on performance in long distance running. **Footwear Science**, v. 12, n. 3, p. 133–138, 1 set. 2020.

NOAKES, T. D.; MYBURGH, K. H.; SCHALL, R. Peak treadmill running velocity during the  $\dot{V}O_2$  max test predicts running performance. **Journal of Sports Sciences**, v. 8, n. 1, p. 35–45, mar. 1990.



- PEREIRA, M.; FREEDSON, P. Intraindividual Variation of Running Economy in Highly Trained and Moderately Trained Males. **International Journal of Sports Medicine**, v. 18, n. 02, p. 118–124, fev. 1997.
- PEREIRA, Ricardo Henrique Filipin Alves; LIMA, Waldecir Paula. INFLUÊNCIA DO TREINAMENTO DE FORÇA NA ECONOMIA DE CORRIDA EM CORREDORES DE ENDURANCE. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, São Paulo, v. 4, n. 20, p.116-135, mar. 2010.
- PERL, D. P.; DAOUD, A. I.; LIEBERMAN, D. E. Effects of Footwear and Strike Type on Running Economy. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 44, n. 7, p. 1335–1343, jul. 2012.
- POWERS, S.K.; HOWLEY, E.T. Fisiologia do Exercício - Teoria e Aplicação ao Condicionamento e ao Desempenho - 8ª Ed. 2014.
- RIBEIRO, L. G. et al. Determinantes do tempo limite na velocidade correspondente a VO<sub>2</sub>máx em indivíduos fisicamente ativos. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 10, n. 1, p. 69, 18 jul. 2008.
- RIDGE, S. T. et al. The Effect of Training in Minimalist Running Shoes on Running Economy. **Journal of Sports Science & Medicine**, v. 14, n. 3, p. 643–647, set. 2015.
- RICHARDS, C. E.; MAGIN, P. J.; CALLISTER, R. Is your prescription of distance running shoes evidence-based? **British Journal of Sports Medicine**, v. 43, n. 3, p. 159–162, 1 mar. 2009.
- ROTHSCHILD, C. E. Primitive Running: A Survey Analysis of Runners' Interest, Participation, and Implementation. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 8, p. 2021–2026, ago. 2012.
- SALGADO, J. V. V.; MIKAIL, M. P. T. C. Corrida de rua: análise do crescimento do número de provas e de praticantes. **Conexões**, v. 4, n. 1, p. 90–98, 6 nov. 2007.
- SANTOS, José Augusto Rodrigues dos. Análise das diferenças entre corredores africanos e caucasianos de meio-fundo e fundo. **Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 154, 10 set. 2012.
- SANTOS, T. M.; VIANA, B. F.; SÁ FILHO, A. S. Reprodutibilidade do VO<sub>2</sub>Máx estimado na corrida pela frequência cardíaca e consumo de oxigênio de reserva. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 26, n. 1, p. 29–36, mar. 2012.
- SAUNDERS, P. U. et al. Factors Affecting Running Economy in Trained Distance Runners: **Sports Medicine**, v. 34, n. 7, p. 465–485, 2004.
- SINCLAIR, J. et al. The influence of footwear kinetic, kinematic and electromyographical parameters on the energy requirements of steady state running. **Movement & Sport Sciences – Science & Motricité**, n. 80, p. 39–49, 2013.

SINCLAIR, J. et al. Influence of footwear designed to boost energy return on running economy in comparison to a conventional running shoe. **Journal of Sports Sciences**, v. 34, n. 11, p. 1094–1098, 2 jun. 2016.

SQUADRONE, R.; GALOOZZI, C. Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot runners. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, p. 49–6, mar. 2009.

SPURRS, R. W.; MURPHY, A. J.; WATSFORD, M. L. The effect of plyometric training on distance running performance. **European Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 1, p. 1–7, mar. 2003.

SHORTEN, M. R. The energetics of running and running shoes. **Journal of Biomechanics**, v. 26, p. 41–51, jan. 1993.

THOMPSON, A.; BEZODIS, I. N.; JONES, R. L. An in-depth assessment of expert sprint coaches' technical knowledge. **Journal of Sports Sciences**, v. 27, n. 8, p. 855–861, jun. 2009.

TUNG, K. D.; FRANZ, J. R.; KRAM, R. A Test of the Metabolic Cost of Cushioning Hypothesis during Unshod and Shod Running. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 46, n. 2, p. 324–329, fev. 2014.

WARNE, J. P.; WARRINGTON, G. D. Four-week habituation to simulated barefoot running improves running economy when compared with shod running: Habituation to simulated barefoot running. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 24, n. 3, p. 563–568, jun. 2014.

WHITE, D. W.; RAVEN, P. B. Autonomic neural control of heart rate during dynamic exercise: revisited: Autonomic neural control of heart rate. **The Journal of Physiology**, v. 592, n. 12, p. 2491–2500, 15 jun. 2014.