



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA**  
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – DF**

**André Costa Tenorio de Britto**  
**Orientador: Prof. Dr. Jake do Carmo**

**Título: Adaptações biomecânicas e posturais em corredores amadores**  
**Subtítulo: Análise integrada da pressão plantar, morfologia do arco e estabilidade em**  
**diferentes distâncias de corrida**

**Brasília**  
**2025**

**ANDRÉ COSTA TENÓRIO DE BRITTO**

**Título: Adaptações biomecânicas e posturais em corredores amadores**

**Subtítulo: Análise integrada da pressão plantar, morfologia do arco e estabilidade  
em diferentes distâncias de corrida**

**Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Educação Física da Universidade de Brasília como  
requisito parcial para obtenção de título Doutor em  
Educação Física, área de concentração biomecânica e  
leitura de sinais  
Orientador: Prof. Dr. Jake do Carmo**

**Brasília**

**2025**

**André Costa Tenorio de Britto**

**ADAPTAÇÕES BIOMECÂNICAS E POSTURAIS EM CORREDORES  
AMADORES.**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Educação Física da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção de título Doutor em Educação Física, área de concentração biomecânica e leitura de sinais.

**BANCA DE EXAMINADORA**

---

**Prof.Dr.Jake do Carmo**  
**Universidade de Brasília**  
**Orientador**

---

**Prof,Dr. Paulo Gutierres**  
**Universidade de Brasília**  
**Avaliador Interno**

---

**Prof.Dr. Mário Noberto Sevilio**  
**Universidade Federal do Maranhão**  
**Avaliador externo**

---

**Prof.Dra.Rosane**  
**Universidade Federal do Rio Grande do Norte**  
**Avaliador externo**

*A Paulo Tenorio (in memoriam) e Maria Thereza, por sempre acreditarem na educação como melhoria de vida.*

*A Paula (esposa), Flavio e Mel (filhos) pelo constante apoio e solidariedade nos momentos difíceis.*

## RESUMO

A corrida de rua é uma prática amplamente difundida e reconhecida pelos benefícios à saúde, embora esteja associada a elevada incidência de lesões nos membros inferiores. Alterações biomecânicas e redistribuições da pressão plantar são fatores determinantes nesse processo. Esta tese teve como objetivo analisar as adaptações biomecânicas agudas da pressão plantar, da morfologia do arco longitudinal medial e do controle postural em corredores amadores após corridas de diferentes distâncias. Foram conduzidos três estudos complementares. O primeiro artigo, publicado na Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano, investigou os efeitos imediatos de corridas de 5 km, 10 km e 15 km sobre a pressão plantar e os índices de arco e excursão do centro de pressão. O segundo artigo, aceito na Human Movement Science, avaliou as modificações plantares e posturais após uma meia-maratona (21 km), observando alterações estruturais e funcionais sem comprometimento da estabilidade. O terceiro estudo, desenvolvido no âmbito desta tese, integrou análises baropodométricas estática e dinâmica, o teste da queda do navicular e medidas estabilográficas, permitindo comparar respostas biomecânicas entre esforços curtos, médios e longos. De forma integrada, os resultados confirmam que a distância percorrida modula progressivamente o comportamento plantar e postural, com corridas curtas produzindo ajustes estabilizadores e corridas longas induzindo respostas assimétricas e compensatórias associadas à fadiga. As evidências reforçam o caráter adaptativo do sistema plantar e a interação entre estabilidade, morfologia e redistribuição de cargas durante a corrida. Este conjunto de estudos contribui para o entendimento das respostas biomecânicas agudas ao esforço em corredores amadores, fornecendo subsídios para estratégias de prevenção de lesões, prescrição segura de treinamento e aprimoramento do desempenho.

**Palavras-chave:** pressão plantar; corrida; arco longitudinal medial; controle postural; biomecânica.

## ABSTRACT

Road running is a widely practiced activity recognized for its health benefits, although it is associated with a high incidence of lower limb injuries. Biomechanical alterations and redistributions of plantar pressure are key factors in this process. The objective of this doctoral thesis was to analyze the acute biomechanical adaptations of plantar pressure, medial longitudinal arch morphology, and postural control in amateur runners after runs of different distances. Three complementary studies were conducted.

The first article, published in the *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, investigated the immediate effects of 5 km, 10 km, and 15 km runs on plantar pressure and on the Arch Index (AI) and Center of Pressure Excursion Index (CPEI). The second article, accepted for publication in *Human Movement Science*, examined plantar and postural modifications following a half marathon (21 km), identifying structural and functional changes without impairing stability. The third study, developed within this doctoral thesis, integrated static and dynamic baropodometric analyses, the navicular drop test, and stabilographic measurements, allowing for comparisons of biomechanical responses across short-, medium-, and long-distance runs.

Taken together, the results confirm that running distance progressively modulates plantar and postural behavior: shorter runs promote stabilizing bilateral adjustments, whereas longer runs induce asymmetrical and compensatory responses associated with fatigue. The evidence reinforces the adaptive nature of the plantar system and the interplay between stability, morphology, and load redistribution during running.

This set of studies contributes to a deeper understanding of the acute biomechanical responses to exertion in amateur runners, offering valuable insights for injury prevention strategies, safe training prescription, and performance enhancement.

**Keywords:** Plantar pressure; Running; Medial longitudinal arch; Postural control; Biomechanics.

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

1. índice do arco (IA)
2. índice de excursão do centro de pressão (CPEI)
3. índice de massa corporal (IMC)
4. centro de pressão (COP)
5. arco longitudinal medial (ALM)
6. Teste da Queda do Navicular (TQN)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Posicionamento do voluntário durante o exame .....	11
Figura 2 - Posicionamento durante baropodometria dinâmica .....	12
Figura 3 - Cálculo da IA. O comprimento da pegada estática, excluindo os dedos dos pés, é dividido em terços iguais. O IA é então calculado como a área do terço médio da pegada dividida por toda a área da pegada ( $AI = B/A + B + C$ ) (20) .....	13
Figura 4 - Cálculo do índice de excursão do centro de pressão (CPEI). .....	14
Figura 5 - Exemplos típicos de categorias de postura do pé cavo, normal e plano (parte superior) e categorias de função do pé supinado, normal e pronado (parte inferior). .....	15



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição dos dados antropométricos de acordo com o sexo na amostra avaliada.....	20
Tabela 2 - Análise comparativa dos índices do arco e excursão do centro de pressão nos tempos pré- e pós-treino e nas diferentes distâncias. ....	22
Tabela 3 - Análise comparativa das variáveis pressão e área plantar nos tempos pré- e pós-treino e nas diferentes distâncias. ....	23
Tabela 4 - . Modelos de regressão multivariado para análise o efeito dos fatores IMC, sexo e distância do treino sobre as variáveis pressão e área plantar.....	24
Tabela 5 - Análise comparativas das variáveis pressão e área plantar por quadrante nos tempos pré- e pós-treino e nas diferentes distâncias. ....	26
Tabela 6 - . Modelos de regressão multivariado para análise o efeito dos fatores IMC, sexo e distância do treino sobre as variáveis pressão e área por quadrante.....	1
Tabela 7 - Características antropométricas da amostra avaliada. ....	17
Tabela 8 - Avaliação da concordância na classificação do tipo de pé e tipo de pisada antes e após a corrida de meia maratona na amostra avaliada.....	18
Tabela 9 - Análise comparativa das variáveis biomecânicas dos antes e depois da corrida de meia maratona.....	20
Tabela 10 - Análise comparativa das variáveis de estabilometria antes e depois da corrida de meia maratona.....	21
Tabela 11 - Caracterização da amostra incluída no estudo. ....	33
Tabela 12 - Direção e magnitude das alterações nas variáveis baropodométricas e posturográficas no total da amostra após a corrida. ....	34
Tabela 13 - Principais diferenças pré-pós nas variáveis biomecânicas segundo a distância (valores reais). ....	36
Tabela 14 - Análise comparativa antes e após a corrida da altura do navicular na posição sentada e bipodal de acordo com a distância percorrida. ....	37
Tabela 15 - Avaliação de assimetrias entre pés (direito versus esquerdo). ....	38

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GERAL: .....</b>	<b>13</b>
2.1	JUSTIFICATIVA TEÓRICA E METODOLÓGICA: .....	13
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 1 - EFEITOS AGUDOS DE CORRIDAS DE 5 KM, 10 KM E 15 KM SOBRE A PRESSÃO PLANTAR E PARÂMETROS BIOMECÂNICOS EM CORREDORES RECREACIONAIS.....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
3.1	MÉTODOS.....	16
3.1.1	Amostra .....	16
3.1.2	Equipamento.....	16
3.1.3	Protocolo.....	17
3.2	AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES IA E CPEI .....	17
3.2.1	Índice do Arco (IA).....	17
3.2.2	Índice de Excursão do Centro de Pressão (CPEI).....	18
<b>4</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS/DISCUSSÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>3</b>
<b>8</b>	<b>CAPÍTULO 2 - BIOMECHANICAL ADAPTATIONS OF PLANTAR PRESSURE AND POSTURAL CONTROL AFTER A HALF-MARATHON RUN .....</b>	<b>7</b>
<b>8</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>9</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
9.1	PARTICIPANTES .....	9
9.2	COLETA DE DADOS.....	9
9.2.1	Anamnese .....	10
9.2.2	Baropodometria.....	10
9.2.3	Avaliação da Pressão Plantar .....	11
9.2.4	Postura do pé e avaliação da função.....	13
9.2.5	Teste da Queda do Navicular (TQN) .....	15
<b>10</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</b>	<b>16</b>
<b>11</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>17</b>
<b>12</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>13</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>24</b>

<b>14</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>25</b>
<b>15</b>	<b>CAPÍTULO 3 - EFEITOS DE DIFERENTES DISTANCIAS DE CORRIDA NA PRESSÃO PLANTAR E ESTABILIDADE POSTURAL: UMA ANÁLISE PRÉ E PÓS-EXERCÍCIO .....</b>	<b>28</b>
<b>15</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>16</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
16.1	DESENHO DO ESTUDO.....	30
16.2	AMOSTRA .....	30
16.3	PROCEDIMENTOS .....	31
<b>17</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</b>	<b>32</b>
<b>18</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
18.1	RESULTADOS NO TOTAL DA AMOSTRA .....	34
18.2	RESULTADOS SEGUNDO A DISTÂNCIA PERCORRIDA .....	35
18.3	ALTURA DO NAVICULAR.....	36
18.4	ASSIMETRIAS ENTRE OS PÉS.....	37
<b>19</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
<b>20</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>21</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>43</b>
<b>22</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>45</b>
22.1	RESPOSTA À QUESTÃO DE PESQUISA.....	45
22.2	SUMÁRIO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS.....	45
22.3	DISCUSSÃO DA CONTRIBUIÇÃO .....	46
22.4	IMPLICAÇÕES DO TRABALHO.....	47
22.5	RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	47
22.6	CONCLUSÃO FINAL.....	48
<b>23</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>
<b>24</b>	<b>APÊNDICE I - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A corrida de rua consolidou-se como uma das práticas esportivas mais difundidas mundialmente, destacando-se por sua acessibilidade, baixo custo e reconhecidos benefícios fisiológicos e psicológicos. Entretanto, o aumento do número de praticantes tem sido acompanhado por uma alta incidência de lesões musculoesqueléticas, especialmente nos membros inferiores, que representam a maioria das ocorrências relatadas entre corredores amadores (1–4).

As causas dessas lesões são multifatoriais e envolvem aspectos como volume e intensidade de treino, tipo de pisada, alinhamento biomecânico e, principalmente, a distribuição da pressão plantar durante a corrida (5–7). A análise da pressão plantar fornece informações valiosas sobre o comportamento do pé em contato com o solo, permitindo identificar sobrecargas regionais e possíveis assimetrias associadas à fadiga ou a diferentes padrões de passada (8,9).

O arco longitudinal medial (ALM) desempenha papel central nesse processo, atuando como estrutura de absorção e redistribuição das forças de reação do solo (10,11). A fadiga muscular e os esforços repetitivos podem induzir alterações temporárias na morfologia do arco, resultando em colapso parcial e aumento da área de contato plantar (12–14). A mobilidade do arco pode ser mensurada pelo teste da queda do navicular (TQN), descrito por (15), que avalia a diferença na altura do osso navicular entre as posições sentada e em pé, refletindo a integridade estrutural e funcional do arco plantar.

Além das alterações morfológicas, o controle postural é um componente essencial da biomecânica da corrida, representando a capacidade do sistema neuromuscular de manter a estabilidade diante da fadiga e das demandas de impacto repetitivo. Estudos recentes demonstram que o equilíbrio pode ser momentaneamente afetado após corridas de longa duração, mas tende a se restabelecer rapidamente por meio de mecanismos compensatórios de estabilidade (8,13).

Do ponto de vista metodológico, o uso de tecnologias como o baropodômetro S-Plate® tem se mostrado eficaz e confiável para a análise de pressões plantares, áreas de contato e índices biomecânicos associados, como o Índice do Arco (IA) e o Índice de Excursão do Centro de Pressão (CPEI) (16,17). A combinação dessas medidas com o TQN e variáveis estabilográficas fornece um panorama abrangente da resposta do pé e do sistema postural ao

esforço físico, permitindo identificar padrões de adaptação aguda em função da distância percorrida.

Apesar dos avanços recentes, ainda são escassos os estudos que investigam comparativamente os efeitos de diferentes distâncias de corrida sobre as variáveis baropodométricas, a mobilidade do arco plantar e o controle postural, especialmente em corredores amadores. A literatura mostra resultados divergentes quanto à magnitude e direção das adaptações biomecânicas após esforços curtos, intermediários e longos (5,18,19). Assim, compreender como o aumento da distância influencia a distribuição de cargas e a estabilidade corporal é essencial para o desenvolvimento de estratégias preventivas e de prescrição segura de treinamento.

Diante disso, esta tese propõe investigar as adaptações biomecânicas agudas da pressão plantar, da morfologia do arco plantar e da estabilidade postural em corredores amadores após corridas de diferentes distâncias, integrando análises estática, dinâmica e postural.

O presente trabalho foi estruturado em três estudos complementares, apresentados sob a forma de artigos científicos:

O primeiro artigo, publicado na Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano (Acute effects of 5 km, 10 km, and 15 km runs on plantar pressure and biomechanics in recreational runners), avaliou os efeitos agudos de corridas de 5 km, 10 km e 15 km sobre variáveis baropodométricas e índices funcionais do pé, identificando redistribuições de carga conforme a distância.

O segundo artigo, aceito na Human Movement Science (Biomechanical Adaptations of Plantar Pressure and Postural Control After a Half-Marathon Run), investigou as respostas biomecânicas e posturais após uma meia-maratona (21 km), demonstrando modificações morfológicas e funcionais associadas à fadiga.

O terceiro estudo, desenvolvido especificamente para esta tese (Efeitos de diferentes distâncias de corrida na pressão plantar e estabilidade postural), ampliou a amostra e integrou as medições de baropodometria estática, dinâmica e postural, permitindo uma análise comparativa entre esforços de curta, média e longa duração.

## **2 OBJETIVO GERAL:**

Analisar as adaptações biomecânicas agudas da pressão plantar, da morfologia do arco longitudinal medial e do controle postural em corredores amadores após corridas de diferentes distâncias.

### **2.1 JUSTIFICATIVA TEÓRICA E METODOLÓGICA:**

A relevância deste estudo fundamenta-se na necessidade de compreender como a distância percorrida influencia o comportamento biomecânico do pé e a estabilidade corporal, considerando que alterações na pressão plantar e na morfologia do arco são fatores determinantes para o desempenho e a prevenção de lesões (5,6,12). A integração de diferentes métodos de avaliação baropodometria, teste da queda do navicular e análise postural permite uma abordagem abrangente e inovadora sobre as adaptações agudas à corrida em distintas distâncias, fornecendo subsídios para a prescrição individualizada de treinamentos e estratégias de prevenção de lesões em corredores amadores.

**3    CAPÍTULO 1 - EFEITOS AGUDOS DE CORRIDAS DE 5 KM, 10 KM E 15 KM  
SOBRE A PRESSÃO PLANTAR E PARÂMETROS BIOMECÂNICOS EM  
CORREDORES RECREACIONAIS.**

### 3 INTRODUÇÃO

A corrida de rua é uma das práticas esportivas mais populares mundialmente, com milhões de praticantes recreativos buscando benefícios à saúde física e mental (1–3) . No entanto, esse aumento na adesão vem acompanhado de uma alta incidência de lesões, afetando entre 24% e 65% dos corredores, sendo que mais de 90% dessas lesões ocorrem nos membros inferiores, especialmente joelho, tornozelo, pé e perna (4–11).

Entre os fatores associados ao surgimento dessas lesões estão as alterações biomecânicas e a distribuição inadequada da pressão plantar durante a corrida (5,12–17). A biomecânica da corrida influencia diretamente a carga sobre a planta dos pés, sendo esse o ponto de contato primário com o solo e responsável pela absorção de forças de reação (18,19). Corridas prolongadas, com mais de 30 minutos de duração, já demonstraram provocar alterações na pressão plantar, como deslocamentos medial e anterior da força (20–22), além de sobrecargas específicas associadas à fadiga muscular e ao tipo de pisada (23–30).

Os avanços tecnológicos, como a baropodometria, têm permitido analisar a distribuição da pressão plantar em condições estáticas e dinâmicas, sendo uma ferramenta útil para investigar padrões de carga que podem predispor a lesões e orientar intervenções preventivas, como a escolha de calçados adequados ou modificações na técnica de corrida (13,31–33).

Apesar do progresso na área, ainda são escassos os estudos que avaliam de forma sistemática os efeitos agudos da corrida em diferentes distâncias (5 km, 10 km e 15 km) sobre parâmetros biomecânicos como o Índice do Arco (IA) e o Índice de Excursão do Centro de Pressão (CPEI). Além disso, pouco se sabe sobre como variáveis individuais, como sexo e índice de massa corporal (IMC), influenciam essas alterações (13,32,34,35).

Diante disso, este estudo teve como objetivo investigar as alterações agudas na pressão plantar e nos parâmetros IA e CPEI em corredores recreativos, após a realização de corridas de 5 km, 10 km e 15 km. A pesquisa também analisa como o sexo e o IMC interagem com esses parâmetros, contribuindo para a elaboração de estratégias personalizadas de prevenção de lesões e otimização do desempenho em corredores amadores.



### **3.1 MÉTODOS**

#### **3.1.1 Amostra**

Participaram deste estudo transversal 31 corredores amadores de rua, com experiência mínima de 3 meses em treinos regulares nas distâncias de 5 km, 10 km ou 15 km. Os critérios de inclusão foram: idade acima de 18 anos, ausência de histórico de cirurgia ortopédica e prática regular de corrida. Foram excluídos participantes com marcha antálgica, limitações físicas decorrentes de condições da extremidade inferior, tratamento médico ativo por lesão nos membros inferiores, feridas ou doenças na região plantar, histórico de trauma significativo (como fraturas, cirurgias ou queimaduras), ou lesões recorrentes que resultassem em marcha assimétrica.

Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). A confidencialidade das informações foi garantida, e os voluntários puderam se retirar da pesquisa a qualquer momento. Após os testes, os resultados foram compartilhados individualmente com cada participante. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do curso de Educação Física da Universidade Federal do Maranhão. Todos os participantes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conforme os princípios da Declaração de Helsinque.

#### **3.1.2 Equipamento**

A avaliação da pressão plantar foi realizada por meio de uma plataforma baropodométrica modelo S-Plate® (Medicapteurs, França), equipada com 1600 sensores resistivos, área ativa de 400 mm x 400 mm, frequência de coleta de 100 Hz e sensibilidade de 0,4 N a 100 N.

### 3.1.3 Protocolo

As coletas ocorreram nos locais habituais de treino dos voluntários. Cada participante passou por duas etapas de avaliação: uma antes e outra após a corrida. A etapa pré-corrida foi realizada com os indivíduos descalços, caminhando sobre a plataforma em ritmo auto selecionado, com foco visual em um ponto fixo à frente para evitar a observação da plataforma. O segundo passo completo da marcha era registrado, repetindo-se a coleta caso a passada não fosse completamente capturada ou houvesse assimetria visível na marcha.

As medidas pós-corrida foram realizadas até 10 minutos após o término do treino, respeitando as mesmas condições da avaliação inicial, incluindo o comprimento da abordagem.

Optou-se por realizar as medições com os pés descalços, em vez de utilizar palmilhas com sensores, por motivos práticos e para garantir padronização entre os participantes. Apesar de as palmilhas fornecerem medidas mais específicas dentro do calçado, sua aplicabilidade é limitada por fatores como tipo de tênis, conforto e posicionamento instável dentro do calçado. As avaliações descalças são validadas para investigar padrões de carga plantar e confiáveis na detecção de alterações entre diferentes condições de teste. (36)

## 3.2 AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES IA E CPEI

### 3.2.1 Índice do Arco (IA)

A postura dos pés foi avaliada com base no Índice do Arco (IA), calculado a partir da imagem de pico de pressão máxima em apoio bipodal relaxado. O IA foi definido como a razão entre a área do terço médio da impressão plantar e a área total da impressão plantar (excluindo os dedos) (37). Valores maiores de IA indicam pés mais planos. Os participantes foram classificados como tendo pés cavos, normais ou planos, com base em quintis separados por sexo:

Homens: cavo (0–0,171), normal (0,172–0,294), plano (0,295–0,491)

Mulheres: cavo (0–0,157), normal (0,158–0,286), plano (0,287–0,486)

### 3.2.2 Índice de Excursão do Centro de Pressão (CPEI)

A função do pé foi estimada por meio do Índice de Excursão do Centro de Pressão (CPEI), extraído das imagens de pressão plantar durante a marcha (dinâmica). O CPEI quantifica o desvio lateral do centro de pressão no terço anterior da pisada, sendo normalizado pela largura do pé na linha de trissecação (88). Pés pronados apresentam valores menores de CPEI, enquanto pés supinados têm valores maiores. A categorização seguiu quintis específicos por sexo:

Homens: pronado ( $-25,3$  a  $10,2$ ), normal ( $10,3$  a  $23,4$ ), supinado ( $23,6$  a  $42,2$ )

Mulheres: pronado ( $-11,2$  a  $6,1$ ), normal ( $6,2$  a  $19,2$ ), supinado ( $19,3$  a  $37,9$ )

## 4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de dados foi realizada utilizando os recursos do software R statistical package versão 4 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) e GraphPad Prism versão 10.0 (GraphPad Software Inc., San Diego, USA). Inicialmente, a estatística descritiva foi realizada utilizando medidas de frequência absoluta, relativa, média e desvio-padrão ( $\pm dp$ ). O teste exato de Fisher foi utilizado para comparar a distribuição das categorias entre os tempos e distâncias.

A normalidade e a homogeneidade da distribuição das variáveis contínuas foram avaliadas por meio dos testes Shapiro-Wilk e Bartlett. Após este procedimento os testes t de Student pareado ou Wilcoxon foram utilizados para mudanças nas variáveis entre pré- e pós treino. Enquanto os testes one-way ANOVA seguido de Tukey ou Kruskal-Wallis seguido de Dunn foram utilizados para comparar as medidas entre as distâncias no pós-treino. Modelos de regressão linear multivariado foram utilizados para analisar o efeito do tempo de treino, IMC e sexo sobre as variáveis contínuas. Para todas as análises o nível de significância adotado foi de 5% ( $P < 0,05$ ).

## 5 RESULTADOS/DISCUSSÃO

Um total de 31 pacientes, 48,4% homens e 51,6%, foram incluídos no presente estudo. A Tabela 1 apresenta a distribuição dos dados antropométricos na amostra. Destaca-se que a média do IMC foi de  $26,2 \pm 2,7$  kg/m<sup>2</sup> entre os homens e  $24,0 \pm 2,8$  kg/m<sup>2</sup> entre as mulheres.

Tabela 1 - Distribuição dos dados antropométricos de acordo com o sexo na amostra avaliada.

Variáveis	Total		Homens (n=15; 48,4%)		Mulheres (n=16; 51,6%)	
	média	±dp	média	±dp	média	±dp
Peso (em kg)	71,0	±13,1	79,1	±10,6	63,5	±10,5
Altura (em m)	1,68	±0,09	1,73	±0,07	1,62	±0,07
IMC (em kg/m <sup>2</sup> )	25,1	±2,9	26,2	±2,7	24,0	±2,8

±dp = desvio-padrão. IMC = índice de massa corporal.

A Tabela 2 apresenta a avaliação dos índices do arco e de excursão do centro de pressão pré-treino e pós-treino nas diferentes distâncias. Observou-se diferenças estatisticamente significantes na avaliação pós-treino de 10 km ( $P = 0,008$ ), na qual após o treino ocorreu uma maior frequência de excursão pronado nos voluntários. Observou-se diferenças significantes quando comparado 5km e 10 km, no pós-treino ( $P = 0,036$ ), no qual foi ocorreu uma frequência maior da posição pronado no grupo 5 km do que no 10 km.

Não ocorreu diferença significativa no IA intragrupos e intergrupos em nenhum momento do estudo. Impulsos aumentados e um deslocamento medial e anterior na curva de trajetória do CPEI foram encontrados após a corrida semelhante aos resultados de Bercovitz et al., 2020 (38) e associados a lesões, especialmente na extremidade inferior de um dos pés Van Get et al., 2007 (39). A alteração no CPEI pós treino pode refletir o valgo na articulação do tornozelo com origem em desequilíbrio da força dos músculos medial e lateral da panturrilha pós treino (40). Estudos anteriores indicaram que estruturas anormais do pé ou biomecânica têm o risco potencial de lesões por uso excessivo (41). A altura do arco antes da corrida, a distância de corrida e o nível do corredor podem explicar as diferenças nos resultados.

Pronação excessiva na fase inicial de apoio do pé tem como fatores contribuintes, os movimentos repetitivos gerados pela corrida e alto volume de forças de impacto (42). Fukano apresentou em seus estudos alteração pós corrida do arco do pé e na altura dorsal ambos diminuem ao longo de uma semana levando mais de uma semana para retornar aos perfis

anteriores a corrida e tem sido associado ao aumento das cargas plantares na região medial do pé (43). Pode-se considerar que deteriorações funcionais únicas ou múltiplas, como microtrauma, fadiga muscular e/ou fluência por carga repetitiva de tecidos moles de sustentação do arco (44) dos fatores contribuintes descritos acima, resultaram da corrida; no entanto, o presente estudo não identificou a causa.

A Tabela 3 apresenta a análise das variáveis relacionadas à pressão e área plantar. Observou-se diferenças estatisticamente significantes nas medidas aferidas antes e após o treino apenas no grupo 15 km. Observou-se um aumento estatisticamente significativo na medida da área estática bípede após o treino (pré-treino =  $78,7 \pm 15,4 \text{ cm}^2$ ; pós-treino =  $85,8 \pm 18,9 \text{ cm}^2$ ;  $P = 0,031$ ), e na medida de área dinâmica do pé direito (pré-treino =  $56,5 \pm 13,9 \text{ cm}^2$ ; pós-treino =  $62,2 \pm 10,7 \text{ cm}^2$ ;  $P = 0,024$ ).

Tabela 2 - Análise comparativa dos índices do arco e excursão do centro de pressão nos tempos pré- e pós-treino e nas diferentes distâncias.

Variáveis	Comparação pré- e pós-treino na mesma distância									Comparação das variáveis entre distâncias no pós-treino	
	5 km			10 km			15 km			5 km versus 10 km	5 km versus 15 km
	Pré	Pós	Valor P	Pré	Pós	Valor P	Pré	Pós	Valor P	Valor P	Valor P
	%	%		%	%		%	%			
<b>Índice do arco</b>			0,414			1,000			0,527	0,558	0,564
Plano	0%	0%		0%	0%		11,1%	16,7%			
Normal	42,9%	28,6%		40,0%	60,0%		61,1%	38,9%			
Cavo	57,1%	71,4%		60,0%	40,0%		27,8%	44,4%			
<b>Excursão do centro de pressão (pé esquerdo)</b>			0,266			0,524			0,466	0,212	0,621
Normal	14,3%	42,9%		20,0%	0%		22,2%	38,9%			
Supinado	0%	14,3%		40,0%	20,0%		61,1%	38,9%			
Pronado	85,7%	42,9%		40,0%	80,0%		16,7%	22,2%			
<b>Excursão do centro de pressão (pé direito)</b>			0,767			0,008*			0,835	0,036*	0,567
Normal	57,1%	28,6%		0	100%		33,3%	22,2%			
Supinado	14,3%	14,3%		60,0%	0%		27,8%	33,3%			
Pronado	28,6%	57,1%		40,0%	0%		38,9%	44,4%			

\*Diferenças estatisticamente significantes ( $P < 0,05$ ).

Tabela 3 - Análise comparativa das variáveis pressão e área plantar nos tempos pré- e pós-treino e nas diferentes distâncias.

Variáveis	5 km			10 km			15 km		
	Pré	Pós	Valor P	Pré	Pós	Valor P	Pré	Pós	Valor P
	média ( $\pm$ dp)	média ( $\pm$ dp)		média ( $\pm$ dp)	média ( $\pm$ dp)		média ( $\pm$ dp)	média ( $\pm$ dp)	
Pressão máxima estática (g/cm <sup>2</sup> )	1998,3 (336,6)	1866,8 (265,9)	0,309	2316,6 (316,7)	2286,4 (361,2)	0,917	2170,3 (383,7)	1969,7 (333,2)	0,070
Pressão média estática (g/cm <sup>2</sup> )	781,6 (105,1)	725,3 (38,4)	0,077	914,8 (120,5)	864,2 (83,4)	0,544	867,1 (107)	798,1 (101,3)	0,053
Área estática bípede (cm <sup>2</sup> )	104,4 (22,7)	111,3 (19,8)	0,086	76,2 (12,9)	80,4 (14,2)	0,594	78,7 (15,4)	85,8 (18,9)	0,031*
Pressão dinâmica esquerda (g/cm <sup>2</sup> )	3700,9 (933,5)	4060,4 (1121,3)	0,252	3823,6 (917,8)	4041,6 (780)	0,706	3887,2 (1016,6)	3857,6 (1603,3)	0,906
Pressão dinâmica direita (g/cm <sup>2</sup> )	3625,9 (982,9)	3316,9 (390,3)	0,360	3489 (507,3)	3584,4 (954,9)	0,823	3199,9 (1071,4)	3274,3 (1347,7)	0,759
Área dinâmica esquerda (cm <sup>2</sup> )	88,5 (23,3)	89,3 (22,5)	0,849	73,8 (20,3)	80 (21,3)	0,259	76,1 (16,4)	74,1 (12,3)	0,492
Área dinâmica direita (cm <sup>2</sup> )	84,4 (13,4)	86,6 (16,4)	0,554	61,6 (19,7)	67 (23,1)	0,229	56,5 (13,9)	62,2 (10,7)	0,024*

$\pm$ dp = desvio-padrão. \*Diferenças estatisticamente significantes (P < 0,05).



Tabela 4 - . Modelos de regressão multivariado para análise o efeito dos fatores IMC, sexo e distância do treino sobre as variáveis pressão e área plantar.

Variáveis dependentes	Fatores da regressão			
	IMC	Homens/ mulheres	10 km 5km	15 km/ 5 km
	Coef. Padr. (Valor P)	Coef. Padr. (Valor P)	Coef. Padr. (Valor P)	Coef. Padr. (Valor P)
Pressão máxima estática (g/cm <sup>2</sup> )	-0,014 (0,948)	0,261 (0,504)	1,197 (0,049*)	0,303 (0,516)
Pressão média estática (g/cm <sup>2</sup> )	-0,023 (0,912)	0,138 (0,715)	1,421 (0,018*)	0,746 (0,106)
Área estática bípede (cm <sup>2</sup> )	0,511 (0,001*)	0,413 (0,115)	-1,109 (0,007*)	-0,657 (0,039*)
Pressão dinâmica esquerda (g/cm <sup>2</sup> )	0,595 (0,005*)	0,097 (0,783)	0,088 (0,867)	0,576 (0,177)
Pressão dinâmica direita (g/cm <sup>2</sup> )	0,201 (0,330)	0,803 (0,036*)	0,452 (0,416)	0,362 (0,411)
Área dinâmica esquerda (cm <sup>2</sup> )	0,290 (0,162)	0,355 (0,336)	-0,357 (0,517)	0,562 (0,204)
Área dinâmica direita (cm <sup>2</sup> )	0,001 (0,992)	0,593 (0,072)	-1,170 (0,021*)	-1,352 (0,001*)

IMC = índice de massa corporal. Coef. Padr. = coeficiente de regressão padronizado.

\*Negrito indica coeficiente estatisticamente significativo (P < 0,05).

A Tabela 4 apresenta o efeito dos diferentes tempos de treinos sobre a área e pressão plantar, considerando os ajustes para os fatores sexo e IMC. Esta análise revelou que o IMC foi um fator associado ao aumento da área estática bípede (Coef. = 0,511; P = 0,001) e ao aumento de pressão dinâmica esquerda (Coef. = 0,595; P = 0,005). Homens apresentavam maiores valores de pressão dinâmica direita (Coef. = 0,803; P = 0,036). Diferente do estudo de (45) não houve diferença significativa na distribuição da pressão plantar entre os dois pés antes e depois da corrida, o que pode estar relacionado aos hábitos pessoais e às grandes diferenças entre os indivíduos. Isso pode refletir a influência da dominância da perna, resultando em diferenças na cinemática e cinética dos membros inferiores entre os dois lados. No entanto, isso é especulativo e a dominância da perna não foi registrada neste trabalho. Uma explicação mais provável é que isso reflete o tamanho limitado da amostra.

A avaliação pós-treino de 10 km comparada a 5 km apresentou mais valores de pressão máxima estática (Coef. = 1,197; P = 0,049) e pressão média estática (Coef. = 1,421; P = 0,018), e menores valores de área estática bípede (Coef. = -1,109; P = 0,007) e área dinâmica direita (Coef. = -1,170; P = 0,021) semelhante resultado encontra no estudo de (46) com valores aumentados do pico de pressão pós corrida para área total do pé. O treino de 15 km comparado

a 5 km apresentou menores valores de área estática bípede (Coef. = -0,657;  $P = 0,039$ ) e área dinâmica direita (Coef. = -1,352;  $P = 0,001$ ).

Na análise da pressão e área plantar por quadrante (Tabela 5), observou-se que o quadrante III apresenta aumento significativo da área ( $P = 0,005$ ) e pressão plantar ( $P = 0,007$ ) após o treino de 15 km. Nagel (36) apresentou redução de toda área de contato do pé e pressão de pico elevada ambas de forma significativa, diferente deste resultado onde maior área na região do quadrante III possibilita uma distribuição aumentada de pressão.

O modelo de regressão multivariado revelou que o IMC foi um fator que aumentou os valores da área plantar nos quadrantes II e III no momento pós-treino (Tabela 6).

Relataram que maior carga no segundo e terceiro metatarsos é um fator importante para a dor femoral da patela (47). Como resultado, podemos dizer que a fadiga expõe corredores iniciantes de arco baixo ao risco de dor patelofemoral. Além disso, uma das causas de dor patelofemoral pode ser referida à eversão adicional no retropé (48). O aumento da pressão e da carga da área medial do antepé é sinal de aumento da eversão do retropé (49), podendo ser considerado fator de risco para dor patelofemoral em corredores iniciantes do arco baixo.

Tabela 5 - Análise comparativas das variáveis pressão e área plantar por quadrante nos tempos pré- e pós-treino e nas diferentes distâncias.

Variáveis	5 km			10 km			15 km		
	Pré média ( $\pm$ dp)	Pós média ( $\pm$ dp)	Valor P	Pré média ( $\pm$ dp)	Pós média ( $\pm$ dp)	Valor P	Pré média ( $\pm$ dp)	Pós média ( $\pm$ dp)	Valor P
<b>Área</b>									
Quadrante I	12,38 (9,26)	12,38 (10,25)	1,000	5,80 (7,53)	10,00 (7,52)	0,058	6,33 (7,09)	10,44 (9,41)	0,107
Quadrante II	38,75 (9,04)	40,38 (10,93)	0,456	30,60 (6,02)	31,2 (7,66)	0,862	31,61 (6,45)	30,28 (6,20)	0,473
Quadrante III	16,38 (9,75)	18,63 (9,05)	0,606	9,80 (5,93)	11,60 (7,23)	0,726	9,39 (7,54)	16,61 (9,17)	0,005*
Quadrante IV	36,88 (9,95)	39,88 (11,93)	0,552	30,00 (5,29)	27,60 (6,54)	0,145	30,78 (8,02)	28,5 (7,55)	0,090
<b>Pressão</b>									
Quadrante I	6,75 (5,2)	7,13 (6,51)	0,791	4,00 (5,05)	7,00 (6,08)	0,174	4,33 (6,31)	8,06 (8,37)	0,130
Quadrante II	44,63 (9,78)	44,75 (8,36)	0,954	49,40 (6,27)	48,40 (5,37)	0,473	48,89 (7,75)	42,67 (9,74)	0,075
Quadrante III	11,63 (8,12)	11,75 (7,55)	0,969	7,00 (4,12)	8,40 (6,07)	0,633	7,17 (6,72)	14,06 (8,56)	0,007*
Quadrante IV	37 (3,7)	36,25 (7,89)	0,821	39,60 (5,41)	36,00 (5,39)	0,358	39,5 (9,15)	35,33 (12,39)	0,213

$\pm$ dp = desvio-padrão, \*Diferenças estatisticamente significantes (P < 0,05),

Tabela 6 - . Modelos de regressão multivariado para análise o efeito dos fatores IMC, sexo e distância do treino sobre as variáveis pressão e área por quadrante.

Variáveis dependentes	Fatores da regressão			
	IMC	Homens/ mulheres	10 km 5km	15 km/ 5 km
	Coef. Padr. (Valor P)	Coef. Padr. (Valor P)	Coef. Padr. (Valor P)	Coef. Padr. (Valor P)
Área				
Quadrante I	0,080 (0,727)	0,384 (0,359)	-0,241 (0,700)	-0,111 (0,823)
Quadrante II	0,656 ( $<0,001^*$ )	-0,012 (0,963)	-0,576 (0,165)	-0,509 (0,123)
Quadrante III	-0,056 (0,803)	0,392 (0,341)	-0,870 (0,165)	-0,260 (0,594)
Quadrante IV	0,508 (0,004*)	0,203 (0,491)	-0,900 (0,050)	-0,642 (0,076)
Pressão				
Quadrante I	-0,138 (0,555)	0,421 (0,321)	-0,158 (0,803)	0,013 (0,979)
Quadrante II	0,144 (0,531)	-0,292 (0,482)	0,544 (0,384)	-0,110 (0,823)
Quadrante III	-0,308 (0,174)	0,217 (0,589)	-0,659 (0,279)	-0,001 (0,997)
Quadrante IV	0,207 (0,383)	-0,250 (0,555)	0,148 (0,816)	0,099 (0,844)

IMC = índice de massa corporal. Coef. Padr. = coeficiente de regressão padronizado.

\*Negrito indica coeficiente estatisticamente significativo ( $P < 0,05$ ).

## 6 CONCLUSÃO

A corrida induziu mudanças biomecânicas no padrão de apoio dos pés, com tendência à pronação após o exercício, especialmente em treinos mais longos. Essas alterações variaram conforme a estrutura plantar, sugerindo que diferentes tipos de pé respondem de maneira distinta ao estresse mecânico da corrida. A distância do treino influenciou a distribuição da carga plantar, podendo estar relacionada à variabilidade nos padrões de lesão entre indivíduos.

Esses achados reforçam a importância de considerar características biomecânicas individuais na prescrição de treinos e na prevenção de lesões em corredores iniciantes. Futuros estudos devem investigar o tempo necessário para a recuperação da postura plantar após o exercício, bem como o papel do calçado na modulação dessas respostas adaptativas.

## 7 REFERÊNCIAS

1. Rosenkrantz L, Schuurman N, Lear SA. Environmental Preferences and Concerns of Recreational Trail Runners. *Int J Environ Res Public Health*. 2024 Jan 16;21(1):97.
2. Rhim H, Kim YH, Kim MG, Jang KM, Suh SW. Magnetic Resonance Imaging Findings of Knees and Spines in Recreational Runners who Completed 1000 Marathons. *Cureus*. 2019 Dec 14;
3. Oliveira GM, Lopes AD, Hespanhol L. Are there really many runners out there? Is the proportion of runners increasing over time? A population-based 12-year repeated cross-sectional study with 625,460 Brazilians. *J Sci Med Sport*. 2021 Jun;24(6):585–91.
4. Macera CA. Predicting Lower-Extremity Injuries Among Habitual Runners. *Arch Intern Med*. 1989 Nov 1;149(11):2565.
5. Taunton JE. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. *Br J Sports Med*. 2002 Apr 1;36(2):95–101.
6. Hulme A, Nielsen RO, Timpka T, Verhagen E, Finch C. Risk and Protective Factors for Middle- and Long-Distance Running-Related Injury. *Sports Medicine*. 2017 May 27;47(5):869–86.
7. Marti B, Vader JP, Minder CE, Abelin T. On the epidemiology of running injuries. *Am J Sports Med*. 1988 May 23;16(3):285–94.
8. Kluitenberg B, van Middelkoop M, Smits DW, Verhagen E, Hartgens F, Diercks R, et al. The <sc>NL</sc> start2run study: Incidence and risk factors of running-related injuries in novice runners. *Scand J Med Sci Sports*. 2015 Oct;25(5).
9. van Poppel D, van der Worp M, Slabbekoorn A, van den Heuvel SSP, van Middelkoop M, Koes BW, et al. Risk factors for overuse injuries in short- and long-distance running: A systematic review. *J Sport Health Sci*. 2021 Jan;10(1):14–28.
10. RHIM HC, KIM SJ, JEON JS, NAM HW, JANG KM. Prevalence and risk factors of running-related injuries in Korean non-elite runners: a cross-sectional survey study. *J Sports Med Phys Fitness*. 2021 Mar;61(3).
11. Vannatta CN, Heinert BL, Kernozek TW. Biomechanical risk factors for running-related injury differ by sample population: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Biomechanics*. 2020 May;75:104991.
12. Wilzman AR, Tenforde AS, Troy KL, Hunt K, Fogel N, Roche MD, et al. Medical and Biomechanical Risk Factors for Incident Bone Stress Injury in Collegiate Runners: Can Plantar Pressure Predict Injury? *Orthop J Sports Med*. 2022 Jun 1;10(6).

13. Hawrylak A, Matner P, Demidaś A, Barczyk-Pawełec K, Demczuk-Włodarczyk E. Static and dynamic plantar pressure distribution in amateur marathon runners. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018 Dec;59(1).
14. Ghani Zadeh Hesar N, Van Ginckel A, Cools A, Peersman W, Roosen P, De Clercq D, et al. A prospective study on gait-related intrinsic risk factors for lower leg overuse injuries. *Br J Sports Med*. 2009 Dec;43(13):1057–61.
15. Thijs Y, Tiggelen D Van, Roosen P, De Clercq D, Witvrouw E. A Prospective Study on Gait-related Intrinsic Risk Factors for Patellofemoral Pain.
16. Willems TM, Witvrouw E, De Cock A, De Clercq D. Gait-related risk factors for exercise-related lower-leg pain during shod running. *Med Sci Sports Exerc*. 2007 Feb;39(2):330–9.
17. Taunton JE. A prospective study of running injuries: the Vancouver Sun Run “In Training” clinics. *Br J Sports Med*. 2003 Jun 1;37(>3):239–44.
18. Napier C, MacLean CL, Maurer J, Taunton JE, Hunt MA. Kinematic Correlates of Kinetic Outcomes Associated With Running-Related Injury. *J Appl Biomech*. 2019 Apr;35(2):123–30.
19. Rohan A, Nyc M, Rogóż A, Fugiel J. Changes in plantar pressure distribution after long-distance running. *New Medicine*. 2017 Jun;21(2).
20. Chen YT, Tenforde AS, Fredericson M. Update on stress fractures in female athletes: epidemiology, treatment, and prevention. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2013 Jun 28;6(2):173–81.
21. Shiotani H, Mizokuchi T, Yamashita R, Naito M, Kawakami Y. Acute effects of long-distance running on mechanical and morphological properties of the human plantar fascia. *Scand J Med Sci Sports*. 2020 Aug 20;30(8):1360–8.
22. Bercovitz T, Herman A, Solomonow-Avnon D, Wolf A, Kodesh E. Plantar pressure modifications in experienced runners following an exhaustive run. *Sports Biomech*. 2022;21(10):1189–99.
23. Franklyn-Miller A, Bilzon J, Wilson C, McCrory P. Can RSScan footscan® D3D™ software predict injury in a military population following plantar pressure assessment? A prospective cohort study. *The Foot*. 2014 Mar;24(1):6–10.
24. Zhang X, Lam WK, Vanwanseele B. Dose-response effects of forefoot and arch orthotic components on the center of pressure trajectory during running in pronated feet. *Gait Posture*. 2022 Feb;92:212–7.
25. Hamzavi B, Esmaeili H. Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in runners with different strike types. *Gait Posture*. 2021 Jul;88:132–7.

26. Williams III DS, McClay IS, Hamill J. Arch structure and injury patterns in runners. *Clinical Biomechanics*. 2001 May;16(4):341–7.
27. Weist R, Eils E, Rosenbaum D. The Influence of Muscle Fatigue on Electromyogram and Plantar Pressure Patterns as an Explanation for the Incidence of Metatarsal Stress Fractures. *Am J Sports Med*. 2004 Dec 30;32(8):1893–8.
28. Burnfield JM, Few CD, Mohamed OS, Perry J. The influence of walking speed and footwear on plantar pressures in older adults. *Clinical Biomechanics*. 2004 Jan;19(1):78–84.
29. Arendt EA. Stress Fractures and the Female Athlete. *Clin Orthop Relat Res*. 2000 Mar;372:131–8.
30. Eisele SA, Sammarco GJ. Fatigue fractures of the foot and ankle in the athlete. *J Bone Joint Surg*. 1993 Feb;75(2):290–8.
31. Telfer S, Li EY. pressuRe: an R package for analyzing and visualizing biomechanical pressure distribution data. *Sci Rep*. 2023 Oct 5;13(1):16776.
32. Chow TH, Chen YS, Wang JC. Characteristics of Plantar Pressures and Related Pain Profiles in Elite Sprinters and Recreational Runners.
33. Zulkifli SS, Loh WP. A state-of-the-art review of foot pressure. *Foot and Ankle Surgery*. 2020 Jan;26(1):25–32.
34. Vasiliadis A V, Kazas C, Tsalidou M, Vazakidis P, Metaxiotis D. Plantar Injuries in Runners: Is There an Association With Weekly Running Volume? *Cureus*. 2021 Aug 29;
35. Kyung MG, Lee DO, Moon K, Yoon YS, Lee DY. Discrepancies in plantar pressure distribution between affected and unaffected sides in patients with plantar fasciitis. *Journal of Orthopaedic Surgery*. 2024 May 1;32(2).
36. Nagel A, Fernholz F, Kibele C, Rosenbaum D. Long distance running increases plantar pressures beneath the metatarsal heads. A barefoot walking investigation of 200 marathon runners. *Gait Posture*. 2008 Jan;27(1):152–5.
37. Cavanagh PR, Rodgers MM. The arch index: A useful measure from footprints. *J Biomech*. 1987 Jan;20(5):547–51.
38. Bercovitz T, Herman A, Solomonow-Avnon D, Wolf A, Kodesh E. Plantar pressure modifications in experienced runners following an exhaustive run. *Sports Biomech*. 2022 Nov 26;21(10):1189–99.
39. Van Gent RN, Siem D, Van Middelkoop M, Van Os AG, Bierma-Zeinstra SMA, Koes BW. Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: A systematic review. Vol. 41, *British Journal of Sports Medicine*. 2007. p. 469–80.



40. Graf ES, Stefanyshyn DJ. The shifting of the torsion axis of the foot during the stance phase of lateral cutting movements. *J Biomech.* 2012 Oct 11;45(15):2680–3.
41. Powell DW, Williams DSB, Windsor B, Butler RJ, Zhang S. Ankle work and dynamic joint stiffness in high- compared to low-arched athletes during a barefoot running task. *Hum Mov Sci.* 2014 Apr;34:147–56.
42. Mei Q, Gu Y, Xiang L, Baker JS, Fernandez J. Foot pronation contributes to altered lower extremity loading after long distance running. *Front Physiol.* 2019;10(MAY).
43. Fukano M, Inami T, Nakagawa K, Narita T, Iso S. Foot posture alteration and recovery following a full marathon run. *Eur J Sport Sci.* 2018 Nov 23;18(10):1338–45.
44. Welk AB, Haun DW, Clark TB, Kettner NW. Use of high-resolution ultrasound to measure changes in plantar fascia thickness resulting from tissue creep in runners and walkers. *J Manipulative Physiol Ther.* 2015 Jan 1;38(1):81–5.
45. Zhang X, Wang W, Chen G, Ji A, Song Y. Effects of standing and walking on plantar pressure distribution in recreational runners before and after long-distance running. *J Biomech.* 2021 Dec 2;129.
46. Bercovitz T, Herman A, Solomonow-Avnon D, Wolf A, Kodesh E. Plantar pressure modifications in experienced runners following an exhaustive run. *Sports Biomech.* 2022;21(10):1189–99.
47. Thijs Y, De Clercq D, Roosen P, Witvrouw E. Gait-related intrinsic risk factors for patellofemoral pain in novice recreational runners. *Br J Sports Med.* 2008 Jun;42(6):466–71.
48. Powers CM, Chen PY, Reischl SF, Perry J. Comparison of Foot Pronation and Lower Extremity Rotation in Persons With and Without Patellofemoral Pain. *Foot Ankle Int.* 2002 Jul 1;23(7):634–40.
49. Willems T, Witvrouw E, Delbaere K, De Cock A, De Clercq D. Relationship between gait biomechanics and inversion sprains: A prospective study of risk factors. *Gait Posture.* 2005 Jun;21(4):379–87.

## **8    CAPÍTULO 2 - BIOMECHANICAL ADAPTATIONS OF PLANTAR PRESSURE AND POSTURAL CONTROL AFTER A HALF-MARATHON RUN**

## 8 INTRODUÇÃO

A corrida de rua é uma das atividades físicas mais populares no mundo, conhecida por seus benefícios para a saúde cardiovascular, controle de peso e bem-estar mental. Porém, o aumento do número de praticantes trouxe à tona um aumento proporcional na incidência de lesões relacionadas à corrida, especialmente em membros inferiores, como joelho, tornozelo e pés(1). Estima-se que entre 24% e 65% dos corredores sofram algum tipo de lesão, frequentemente associadas à biomecânica inadequada, fadiga muscular ou sobrecarga repetitiva. Essas lesões incluem fascite plantar, síndrome do estresse tibial medial e tendinite de Aquiles, sendo comumente influenciadas por fatores como a distribuição da pressão plantar e a função do arco longitudinal medial (ALM) (2).(3–5)

O teste de queda do navicular é amplamente utilizado para avaliar alterações no arco longitudinal medial, sendo um indicador direto da funcionalidade dinâmica do pé (6). Durante a corrida, o arco do pé desempenha um papel essencial na absorção e redistribuição de forças de impacto, e sua altura pode ser reduzida temporariamente devido à fadiga muscular, resultando em maior área de contato plantar e redistribuição de pressão. Essas alterações podem estar associadas a padrões biomecânicos que aumentam o risco de lesões em corredores (7–9).

Além disso, a baropodometria é uma ferramenta tecnológica que possibilita a análise precisa da distribuição da pressão plantar, tanto em condições estáticas quanto dinâmicas. Estudos mostram que a corrida de longa distância pode levar a alterações agudas na pressão plantar, como aumento da carga no calcanhar medial e no antepé, alterações essas que são importantes marcadores de fadiga muscular e biomecânica adaptativa (3,10,11).

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo investigar os efeitos agudos de uma corrida de 21 km (meia maratona) sobre variáveis biomecânicas em corredoras recreativas. Especificamente, busca-se analisar as alterações na distribuição da pressão plantar, na altura do arco longitudinal medial, na classificação do tipo de pé e da pisada, bem como nas variáveis de estabilometria. A compreensão dessas modificações pode contribuir para estratégias preventivas e de recuperação, visando à redução do risco de lesões associadas à prática da corrida.

## **9 MÉTODOS**

### **9.1 PARTICIPANTES**

As voluntárias para este desenho de estudo transversal foram praticantes amadoras de corrida de rua. Foram considerados elegíveis se tivessem acima de 18 anos de idade sem histórico de cirurgia ortopédica. Potenciais participantes foram excluídos se apresentassem qualquer um dos seguintes: marcha antálgica, limitação ocupacional ou física devido a uma condição da extremidade inferior, atualmente procurando atendimento médico relacionado a uma lesão na extremidade inferior ou uma ferida aberta ou doença de pele na região plantar de qualquer um dos pés. Indivíduos com história significativa de trauma de membros inferiores (fraturas, cirurgia ou queimaduras) ou lesões recorrentes por uso excessivo que resultaram em um padrão de marcha assimétrico também foram excluídos.

Durante a pesquisa, foi informado todo o processo a ser desenvolvido para obtenção dos resultados, disponibilizando a cada voluntária o formulário com termo de responsabilidade livre e esclarecido (TCLE). No decorrer dos testes foi facultado as voluntárias a possibilidade de desistir de participar da pesquisa quando lhes aprouvesse. Após a realização dos testes, os voluntários foram informados dos resultados obtidos. As identidades dos participantes foram mantidas em sigilo.

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do curso de Educação Física da Universidade Federal do Maranhão. Todos os participantes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, conforme os princípios da Declaração de Helsinque.

### **9.2 COLETA DE DADOS**

As avaliações foram realizadas no departamento de educação física da Universidade Federal do Maranhão. Todas as voluntárias foram submetidas a uma anamnese e exame de baropodometria.

### **9.2.1 Anamnese**

Na anamnese foram coletados os seguintes dados dos voluntários: nome, idade, sexo, peso, altura, profissão, escolaridade, endereço e telefone. Além disso, foi indagado aos voluntários se praticavam outra atividade física, além da corrida.

### **9.2.2 Baropodometria**

Os parâmetros da pressão plantar durante a marcha e posição estática foram coletados usando uma plataforma de pressão modelo S-PLATE comprimento 610mm, largura 580 mm, altura 40 mm, espessura 10 mm, área ativa de sensores 400 mm x 400 mm, sensor resistivos, tamanho do sensor 10 mm x 10 mm, 1600 sensores, frequência de coleta 100 Hz e pressão mínima e máxima dos sensores de 0.4 N a 100 N (Componentes desenvolvidos pela Medicauteurs). O equipamento não necessita de baterias, nem fonte de energia externa, uma vez que a energia é fornecida pela porta Universal Serial Bus – USB do computador. (12)

### 9.2.3 Avaliação da Pressão Plantar

O teste foi coletado de duas formas estático e dinâmico. Para a avaliação estática, foi registrada a cartografia bípode das pressões plantares. As voluntárias foram orientadas a subir na plataforma para que se ambientasse com o equipamento. Após estar posicionado corretamente, foi solicitado a ele que permanecesse com os braços ao longo do corpo, calcanhares na mesma linha, olhando para frente e que evitasse se movimentar durante o exame (13). Permanecendo estática na posição sem ficar oscilando por 5s é realizado o registro. Medidos o pico e a pressão média em cada pé (kpa), o peso suportado por cada pé (kg) e a área de contato total e individual do pé (cm<sup>2</sup>).

Figura 1- Posicionamento do voluntário durante o exame



Durante o exame, a distribuição da força plantar é apresentada em tempo real, permitindo análise da distribuição plantar durante a avaliação. Se necessário, é possível interromper o exame.

Para a avaliação dinâmica foi registrada a progressão do pé na plataforma ao longo do ciclo da marcha. Instrua o paciente a subir algumas vezes na plataforma para se sentir relaxado e se acostume a pisar corretamente na plataforma(14) . Em seguida, peça ao paciente para atravessar a plataforma (atingindo a parte central da plataforma) com o pé esquerdo. Repetindo todo o processo no lado direito. A alta frequência de aquisição (até 100 imagens por segundo) permite uma análise precisa da evolução do suporte plantar. Aquisição do tempo é definido por

padrão em 1 segundo. Tempo necessário para o paciente concluir uma etapa inteira na plataforma.

Figura 2 - Posicionamento durante baropodometria dinâmica



A escolha foi feita para usar medidas com os pés descalços em vez de palmilhas com sensores dentro do tênis de corrida para acomodar muitos participantes. Palmilhas com sensor podem ter sido mais vantajosas para uma investigação direta dos parâmetros cinéticos dentro do tênis durante a corrida, mas são afetadas por fatores externos, como o tipo de tênis de corrida. Além disso, as palmilhas podem mudar de posição dentro do sapato e o corredor pode não se sentir confortável em correr qualquer distância com a palmilha dentro do sapato. (15)

As medições com os pés descalços podem apenas refletir indiretamente quaisquer efeitos duradouros, mas foram muito mais fáceis de aplicar em um grupo grande de indivíduos. No entanto, as medições com os pés descalços são validadas na avaliação das características de carga do pé e são uma ferramenta valiosa para detectar diferenças entre duas medições repetidas.

Medidas de pressão plantar pré-treino foram realizadas anteriores à distância de volume de corrida pré-estabelecida para cada indivíduo. As participantes foram instruídas a andar descalças pela plataforma em um ritmo auto selecionado. Uma imagem foi colocada ao nível dos olhos para evitar olhar para a plataforma durante a marcha e para padronizar a posição da cabeça e dos olhos. As participantes foram posicionadas de modo que o segundo passo após o início da marcha fosse registrado desde o toque do calcanhar até a ponta do pé(16). Uma tentativa era repetida se toda a pegada não fosse registrada ou se o pesquisador considerasse que a marcha do participante parecia grosseiramente assimétrica.

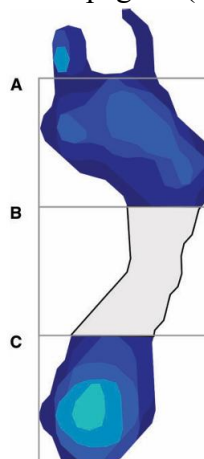
As medidas pós-corrida foram realizadas no mesmo local e as voluntárias foram solicitadas a comparecer ao reteste no máximo 5 minutos após o término da corrida. O comprimento de abordagem da medição pré-corrida foi registrado e usado novamente para a

medição pós-corrida. Mais uma vez, foi tomado cuidado para garantir o registro de uma tentativa com características de marcha normal, tanto quanto possível para o sujeito.

#### 9.2.4 Postura do pé e avaliação da função

A postura dos pés foi avaliada por meio do índice do arco (IA), descrito inicialmente por Cavanagh e Rogers (17). A partir da imagem do pico de pressão máxima do apoio bipodal relaxado do participante, o IA foi calculado como a razão entre a área do terço médio da impressão plantar e toda a área da impressão plantar (excluindo os dedos), com um valor maior representando um pé mais plano (ou seja, mais plano) (Fig.3). Os escores de IA já demonstraram ser altamente correlacionados com as medidas da altura navicular (18) e do arco longitudinal medial angular (19) obtidas a partir de radiografias dos pés. Os escores de IA foram divididos em quintis para homens e mulheres separadamente, e a postura dos pés categorizada em cavo (aqueles nos 20% mais baixos%), no grupo de referência normal (aqueles no intermediário 60%) ou plano (aqueles nos 20% mais altos). Os pontos de corte para definição de cada categoria foram as seguintes: cavo (0-0.171), grupo de referência (0.172-0,294) e plano (0.295-0,491) para homens e cavos (0-0.157), grupo de referência (0.158-0.286) e plano (0.287-0,486) para mulheres.

Figura 3 - Cálculo da IA. O comprimento da pegada estática, excluindo os dedos dos pés, é dividido em terços iguais. O IA é então calculado como a área do terço médio da pegada dividida por toda a área da pegada ( $AI = B/A + B + C$ ) (20)





A função do pé foi avaliada pelo cálculo do índice de excursão do centro de pressão (CPEI) das tentativas de caminhada. O CPEI representa o grau de desvio lateral do centro de pressão na trissecção anterior de um terço do pé em relação a uma linha que liga o primeiro e o último centro de pontos de dados de pressão (ver fig 4). Para o cálculo do CPEI, a imagem de pico de pressão máxima de uma impressão dinâmica foi dividida em terços. Uma linha de construção foi traçada do primeiro ao último ponto de dados do centro de pressão. Uma linha (AD) foi construída na trissecção anterior de um terço do pé. Foi medida a distância entre a intersecção da linha de construção com a linha AD (ponto B) e onde o centro de pressão se cruza com a linha AD (ponto C). O CPEI foi então calculado normalizando-se a distância BC à largura do pé (AD), de modo que  $CPEI = BC/DA \times 100$ . Em um pé pronado, a concavidade do centro da curva de pressão é diminuída, resultando em um menor valor de CPEI. Em um pé supinado, a concavidade do centro da curva de pressão é aumentada, resultando em maior valor de CPEI (21). Assim como nos escores de IA, os escores do CPEI foram divididos em quintis específicos por sexo, e os participantes foram categorizados como tendo função do pé supinado (aqueles nos 20% mais altos), um grupo de referência da função do pé (aqueles no meio 60%) ou função do pé pronado (aqueles nos 20% mais baixos). Os pontos de corte para definição de cada categoria foram: supinado (23.6–42.2), grupo de referência normal (10.3–23.4) e pronado (–25.3–10.2) para homens e supinado (19.3–37.9), grupo de referência (6.2–19.2) e pronado (–11.2–6.1) para mulheres. Exemplos típicos de cavo, postura normal e plana do pé e categorias de função supinado, de referência e pronado do pé usando este sistema de classificação são mostrados na fig 5.

Figura 4 - Cálculo do do índice de excursão do centro de pressão (CPEI).

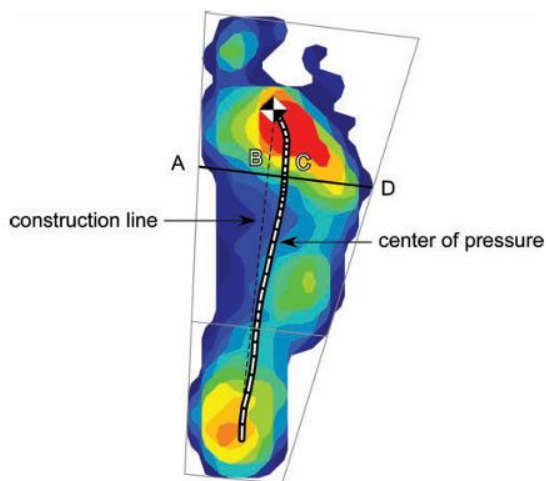
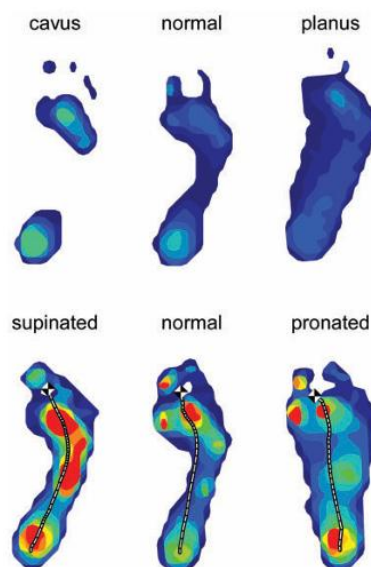


Figura 5 - Exemplos típicos de categorias de postura do pé cavo, normal e plano (parte superior) e categorias de função do pé supinado, normal e pronado (parte inferior).



Os seguintes parâmetros foram determinados para todo o pé, bem como para as áreas específicas de interesse: pressão plantar máxima estática, pressão plantar média estática, pressão plantar dinâmica unilateral, área plantar estática e dinâmica, índice do arco e índice de excursão do centro de pressão.

### 9.2.5 Teste da Queda do Navicular (TQN)

Com as participantes em posição sentada com os pés apoiados no chão, a região palpável mais proeminente da tuberosidade do navicular foi marcada com um pequeno ponto utilizando uma caneta esferográfica azul. A articulação subtalar foi, então, colocada em neutro pelo método de palpação do tálus(22) e a distância vertical da marcação da tuberosidade do navicular ao solo foi mensurada. A posição neutra da articulação subtalar foi considerada quando o avaliador, ao inverter e everter o pé do participante, palpava o tálus igualmente medial e lateralmente(22) . Após a primeira mensuração, o indivíduo foi instruído a ficar de pé, em duplo apoio, em uma superfície firme, permitindo ao pé sair da posição neutra. A altura da tuberosidade do navicular em relação ao solo foi, então, novamente medida. A diferença entre as duas medidas foi registrada em milímetros (23–25).

## 10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados utilizando o software R statistical package version 4 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). Inicialmente, foram calculadas as medidas descritivas das variáveis, incluindo frequências, média, desvio padrão, valores mínimos e máximos. A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Para a comparação entre os valores obtidos antes e após a corrida de 21 km, foi aplicado o teste t pareado para amostras dependentes. O tamanho do efeito foi calculado utilizando o d de Cohen. A concordância entre as classificações do tipo de pé e do tipo de pisada antes e após a corrida foi avaliada por meio do índice Kappa de Cohen não ponderado. O nível de significância de 5% foi adotado para todos os testes ( $P < 0,05$ ).

## 11 RESULTADOS

Doze mulheres voluntárias com média de idade de  $41,42 \pm 5,5$  anos foram incluídas neste estudo. Conforme mostrada na Tabela 7 as medidas descritivas das variáveis antropométricas das mulheres incluídas no estudo. O peso corporal médio foi de  $58,13 \pm 6,91$  quilogramas, a altura média foi de  $1,62 \pm 0,03$  metros, e o índice de massa corporal apresentou uma média de  $22,6 \pm 2,05$  kg/m<sup>2</sup>, indicando que a maioria dos participantes se encontra dentro da faixa de peso normal segundo os critérios da Organização Mundial da Saúde.

Tabela 7 - Características antropométricas da amostra avaliada.

Variáveis	média	$\pm dp$	mínimo–máximo
Idade (em anos)	41,2	5,55	29,0–48,0
Peso (em kg)	58,1	6,91	47,5–69,1
Altura (em m)	1,62	0,03	1,57–1,68
IMC (em kg/m <sup>2</sup> )	22,0	2,05	18,7–26,0

$\pm dp$  = desvio-padrão. IMC = índice de massa corporal.

Conforme mostrado na Tabela 8 os resultados da avaliação da concordância entre as classificações do tipo de pé e do tipo de pisada antes e após a corrida de meia maratona, utilizando o índice Kappa de Cohen não ponderado. A concordância na classificação do tipo de pé foi de 50,0%, com índice Kappa de 0,077, indicando uma concordância fraca e não significativa ( $P = 0,565$ ). A frequência de pés cavos reduziu de 41,7% para 33,3%, enquanto a frequência de pés planos aumentou de 0% para 8,3% após a corrida, sugerindo uma leve redistribuição na tipologia morfofuncional.

Para a classificação da pisada no pé esquerdo, a concordância foi de 41,7%, com índice Kappa de 0,143 ( $P = 0,501$ ), também indicando concordância fraca e estatisticamente não significativa. A pisada supinada permaneceu predominante em ambos os momentos (50,0%), mas observou-se redução nos casos de super supinada (25,0% para 8,3%) e um aumento discreto da pisada neutra (8,3% para 25,0%).

Já para o pé direito, a concordância foi de 33,3%, com Kappa de 0,111 ( $P = 0,508$ ), refletindo baixa consistência entre as classificações. Houve variação entre as categorias, com

destaque para o aumento da pisada pronada (8,3% para 25,0%) e redução dos casos de super supinada.

Esses resultados reforçam a instabilidade na classificação da pisada e do tipo de pé após o esforço prolongado, e sugerem que a corrida pode ter influenciado a distribuição de cargas plantares e os padrões de contato com o solo, sem manutenção consistente dos perfis posturais inicialmente observados.

Tabela 8 - Avaliação da concordância na classificação do tipo de pé e tipo de pisada antes e após a corrida de meia maratona na amostra avaliada.

Variáveis	Antes da corrida		Depois da corrida		% de concordância	P
	n	(%)	n	(%)	(Kappa)	
Tipo de pé					50,0% (0,077)	0,565
Normal	7	(58,3)	7	(58,3)		
Cavo	5	(41,7)	4	(33,3)		
Plano	0	(0)	1	(8,3)		
Pisada no pé esquerdo					41,7% (0,143)	0,501
Neutra	1	(8,3)	3	(25,0)		
Supinada	6	(50,0)	6	(50,0)		
Super Supinada	3	(25,0)	1	(8,3)		
Pronada	2	(16,7)	2	(16,7)		
Pisada no pé direito					33% (0,111)	0,508
Neutra	3	(25,0)	4	(33,3)		
Supinada	5	(41,7)	3	(25,0)		
Super Supinada	3	(25,0)	2	(16,7)		
Pronada	1	(8,3)	3	(25,0)		

Valor de P calculado através da estatística Kappa de Cohen não ponderada.

A Tabela 9 apresenta a análise comparativa das variáveis biomecânicas avaliadas antes e após a corrida de meia maratona. Dentre os achados, três variáveis apresentaram diferenças estatisticamente significativas ( $P < 0,05$ ).

Houve uma redução significativa na altura do navicular direito em posição bipodal, com média de  $4,00 \pm 0,63$  cm antes da corrida para  $3,48 \pm 0,77$  cm após a corrida ( $P = 0,014$ ),

associada a um tamanho de efeito grande ( $d = 1,05$ ). Esse resultado sugere uma queda do arco longitudinal medial no pé direito durante a sustentação do peso após o esforço prolongado.

Também foi observada uma elevação significativa da pressão máxima plantar em posição estática bipodal, com aumento de  $2169 \pm 338 \text{ g/cm}^2$  para  $2435 \pm 396 \text{ g/cm}^2$  ( $P = 0,024$ ;  $d = 0,93$ ), indicando maior carga vertical sobre os pés após a corrida.

Adicionalmente, a pressão média plantar dinâmica no pé esquerdo apresentou aumento significativo, de  $2547 \pm 1355 \text{ g/cm}^2$  para  $3596 \pm 2096 \text{ g/cm}^2$  ( $P = 0,035$ ), com tamanho de efeito grande ( $d = -0,85$ ), sugerindo sobrecarga funcional no membro inferior esquerdo durante a fase de apoio na corrida.

As demais variáveis — incluindo altura navicular em posição sentada, áreas plantares, e pressões plantares nos pés direito e esquerdo — não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. No entanto, algumas apresentaram tamanhos de efeito moderado (como a área estática no pé esquerdo,  $d = 0,61$ ), sugerindo possíveis alterações biomecânicas não detectadas com significância estatística, mas relevantes do ponto de vista clínico.

Esses achados apontam para mudanças específicas na mecânica do pé após corrida prolongada, com indícios de queda do arco plantar, aumento da carga estática e redistribuição assimétrica da pressão dinâmica, o que pode refletir fadiga estrutural e tem implicações relevantes para prevenção de lesões e estratégias de recuperação pós-corrida.

Tabela 9 - Análise comparativa das variáveis biomecânicas dos antes e depois da corrida de meia maratona.

Variáveis	Antes da corrida		Depois da corrida		d de Cohen	P
	média	±dp	média	±dp		
Altura do Navicular Direito Sentado (cm)	4,70	0,78	4,17	0,89	0,74	0,05*
Altura do Navicular Direito Bipodal (cm)	4,00	0,63	3,48	0,77	1,05	0,014*
Diferença Navicular Direito Sentado-Bipodal (cm)	0,70	0,32	0,69	0,42	0,03	0,937
Altura do Navicular Esquerdo Sentado (cm)	4,71	0,56	4,47	0,76	0,49	0,183
Altura do Navicular Esquerdo Bipodal (cm)	4,07	0,84	3,69	0,83	0,54	0,142
Diferença Navicular Esquerdo Sentado-Bipodal (cm)	0,64	0,46	0,78	0,44	0,24	0,498
Pressão Máxima Estática Bipodal (g/cm <sup>2</sup> )	2169	338,19	2435,2	396,8	0,93	0,024*
Pressão Média Estática Bipodal (g/cm <sup>2</sup> )	924,5	124,75	1042,5	160,06	-0,71	0,067
Pressão Máxima Dinâmica (Pé Esquerdo) (g/cm <sup>2</sup> )	3708,3	416,19	4045	1358,5	-0,22	0,519
Pressão Máxima Dinâmica (Pé Direito) (g/cm <sup>2</sup> )	4600,5	922,84	4240,3	936,49	0,38	0,286
Pressão Média Dinâmica Esquerdo (g/cm <sup>2</sup> )	2547,4	1355,5	3596,4	2096,0	-0,85	0,035*
Pressão Média Dinâmica Direito (g/cm <sup>2</sup> )	4600,5	922,84	4240,3	936,49	0,38	0,286
Área Dinâmica (Pé Esquerdo) (cm <sup>2</sup> )	37,89	12,16	40,0	7,92	-0,16	0,638
Área Dinâmica (Pé Direito) (cm <sup>2</sup> )	54,44	11,57	45,22	11,55	0,46	0,202
Área Estática (Pé Esquerdo) (cm <sup>2</sup> )	32,0	7,12	29,78	6,91	0,61	0,107
Área Estática (Pé Direito) (cm <sup>2</sup> )	29,8	8,4	30,89	10,31	0,17	0,631

±dp = desvio-padrão. \*Diferenças estatisticamente significantes através do teste t pareado ( $P < 0,05$ ).

A Tabela 10 apresenta a análise comparativa das variáveis estabilométricas antes e após a corrida de meia maratona. Nenhuma das variáveis analisadas apresentou diferença estatisticamente significativa entre os momentos pré e pós corrida ( $P > 0,05$  para todas as comparações). Os valores de d de Cohen variaram entre -0,08 e 0,22, indicando efeitos nulos a pequenos.

O comprimento total da oscilação do centro de pressão (COP) variou de  $312,45 \pm 88,64$  mm antes da corrida para  $301,57 \pm 69,72$  mm após a corrida ( $P = 0,686$ ;  $d = 0,12$ ). A área de deslocamento apresentou leve redução, de  $124,33 \pm 96,75$  mm<sup>2</sup> para  $106,47 \pm 75,31$  mm<sup>2</sup> ( $P = 0,618$ ;  $d = 0,15$ ), também sem significância estatística.

As demais variáveis — como a razão entre comprimento e área (L/S), as velocidades média, lateral e anterior, e os deslocamentos médios nos eixos X e Y — mantiveram valores semelhantes antes e após o esforço, sem diferenças relevantes.

Esses resultados sugerem que, do ponto de vista estabilométrico, a corrida de meia maratona não provocou alterações significativas no controle postural estático das participantes.

Isso pode indicar a presença de mecanismos compensatórios eficazes para manutenção da estabilidade postural, mesmo após esforço prolongado.

Tabela 10 - Análise comparativa das variáveis de estabilometria antes e depois da corrida de meia maratona.

Variáveis	Antes da corrida		Depois da corrida		d de Cohen	P
	média	±dp	média	±dp		
Comprimento	312.45	88.64	301.57	69.72	0,12	0,686
Área	124.33	96.75	106.47	75.31	0,15	0,618
L/S	4.37	3,21	4,74	3,82	-0.08	0,798
Vel. Med Q	9.54	2,72	9,16	2,15	0,14	0,644
Vel. Lateral	7,58	2,33	7,04	1,79	0,22	0,463
Vel. Anterior	5.71	1,82	5,78	1,57	-0.04	0,896
X Lateral	2,33	0.99	2,45	1,54	-0.06	0,83
Y Anterior	3,14	2,16	2,94	1.95	0,07	0,814

±dp = desvio-padrão.



## 12 DISCUSSÃO

Estudos anteriores relataram que a assimetria da postura do pé está associada à estabilidade durante a posição estática (Z. Chen et al., 2020) (26), e os pés assimétricos de arco alto têm carga assimétrica dos membros e altura dos ombros durante a posição em pé (Wozniacka et al., 2019) (27). A mudança na postura do pé induzida pela corrida de longa distância foi demonstrada em estudos anteriores. Diferente do trabalho de Cowley e Marsden relataram que a postura do pé mudou para uma posição mais pronada no pé esquerdo, somente após uma meia maratona em comparação com a pré-corrida. O presente estudo teve uma porcentagem de alteração funcional maior no pé esquerdo, não sendo específico para a pronação do pé (Cowley & Marsden, 2013) (28).

Fukano et al. relataram que o arco longitudinal medial diminuiu e a altura dorsal aumentou imediatamente após uma maratona completa, e o volume do pé aumentou 1 dia após a maratona (29). As corredoras apresentaram uma diminuição significativas na altura do navicular direito em ambas as posições e em sua diferença, ocorrendo também diminuição nas medidas do lado esquerdo não sendo significantes. Tendência semelhante de queda na altura do arco do pé demonstrada por Cowley & Marsden, 2013; Fukano et al., 2018, após corridas de longa distância em reposta a carga impostas nos pés.

O presente estudo constatou que a assimetria da razão de altura do arco aumentou após a meia maratona completa, e a altura natural e a razão de altura do arco diminuíram após a maratona completa. Esses achados são consistentes com estudos anteriores que relataram aumento da assimetria e redução da altura do arco plantar após corrida prolongada. A assimetria da altura do navicular tendeu a aumentar; não atingiu significância estatística no lado esquerdo; no entanto, apresentou um efeito de tamanho médio. Resultados semelhantes encontrados por Fukano et al, 2021.

Os resultados da Tabela 4 demonstraram que, apesar da ausência de diferenças estatisticamente significativas, houve uma redução nos valores de algumas variáveis biomecânicas pós-corrida. Esse achado sugere que as corredoras apresentaram um controle eficiente da estabilidade e da distribuição da pressão plantar mesmo após o esforço prolongado, o que pode ser interpretado como um indicativo de bom condicionamento físico. Estudos prévios indicam que atletas treinados exibem menores variações no deslocamento do COP e na pressão plantar devido a uma melhor ativação neuromuscular e adaptação proprioceptiva (30,31)(Paillard, 2012; Federolf et al., 2013). Além disso, a redução dos valores sem

significância estatística reforça a hipótese de que as corredoras possuíam uma estratégia biomecânica eficiente para minimizar os impactos da fadiga, evitando compensações posturais que poderiam aumentar o risco de lesões (32)(Moreno-Pérez et al., 2021).

Apesar da relevância dos achados, este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. O tamanho amostral reduzido ( $n = 12$ ) limita a generalização dos resultados, embora o delineamento experimental intraindivíduo e o uso de medidas com alta sensibilidade biomecânica contribuam para a confiabilidade interna. Além disso, variáveis externas como o tipo de terreno, temperatura ambiente, tempo e ritmo da corrida não foram controladas com rigor, o que pode ter influenciado a resposta biomecânica individual. Recomenda-se que estudos futuros incluam amostras maiores, estratificação por nível de experiência dos corredores, bem como o monitoramento de parâmetros ambientais e do esforço percebido, a fim de aprofundar a compreensão sobre os efeitos agudos da corrida prolongada sobre a estrutura e função dos pés.

### 13 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicam que a corrida de meia maratona promove alterações biomecânicas significativas nos pés de mulheres adultas, mesmo na ausência de modificações no controle postural estático. Observou-se uma redução significativa na altura do navicular direito em apoio bipodal, sugerindo queda do arco longitudinal medial, possivelmente relacionada à fadiga estrutural. Além disso, houve aumento significativo da pressão máxima estática bipodal e da pressão média dinâmica no pé esquerdo, indicando maior sobrecarga plantar e possível assimetria funcional durante o apoio.

A análise de concordância nas classificações do tipo de pé e de pisada revelou baixa consistência entre os momentos pré e pós-corrida, com mudanças relevantes na distribuição de pés cavos e planos, além de variações expressivas nos padrões de pisada, especialmente no pé direito. Tais alterações sugerem que a corrida prolongada interfere agudamente na morfologia e na função plantar.

Por outro lado, as variáveis estabilométricas não apresentaram diferenças significativas, sugerindo a preservação do controle postural estático mesmo após o esforço. Isso pode indicar a presença de mecanismos compensatórios eficientes entre as corredoras avaliadas.

Esses achados têm implicações importantes para a prevenção de lesões, o monitoramento da fadiga e o planejamento de estratégias de recuperação. Recomenda-se a realização de estudos com maior amostra e avaliação longitudinal para melhor compreensão das adaptações biomecânicas e posturais provocadas por corridas de longa distância.

## 14 REFERÊNCIAS

1. de Araujo MK, Baeza RM, Zalada SRB, Alves PBR, de Mattos CA. Injuries among amateur runners. *Rev Bras Ortop* (Sao Paulo). 2015;50(5):537–40.
2. Anbarian M, Esmaeili H. Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in novice runners with different foot types. *Gait Posture*. 2016 Jul 1;48:52–6.
3. Hamzavi B, Esmaeili H. Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in runners with different strike types. *Gait Posture*. 2021 Jul;88:132–7.
4. Johnson CD, Tenforde AS, Outerleys J, Reilly J, Davis IS. Impact-Related Ground Reaction Forces Are More Strongly Associated With Some Running Injuries Than Others. *Am J Sports Med*. 2020 Oct;48(12):3072–80.
5. Calvi M, Grasso D, Sollami G, Lamantea S, Gatta T, Gnesutta A, et al. Coxa pedis: can calcaneal pronation angle be considered a predictive sign of medial plantar arch overload? *Radiol Med*. 2024 Jun;129(6):925–33.
6. Schayer Sabino G, Casas Rocha I, Queiroz Guimarães C, Alessandro de Alcântara M, Carvalho Felício Fisioterapeuta da Propulsão D, da Propulsão F, et al. 2012 abr/jun. *Fisioter Mov*. 25(2):301–9.
7. Fukano M, Nakagawa K, Inami T, Higashihara A, Iizuka S, Narita T, et al. Increase in foot arch asymmetry after full marathon completion. *J Sports Sci*. 2021 Nov;39(21):2468–74.
8. Newell T, Simon J, Docherty CL. Arch-Taping Techniques for Altering Navicular Height and Plantar Pressures During Activity. *J Athl Train*. 2015 Aug;50(8):825–32.
9. Okamura K, Hasegawa M, Ikeda T, Fukuda K, Egawa K, Kanai S. Classification of medial longitudinal arch kinematics during running and characteristics of foot muscle morphology in novice runners with pronated foot. *Gait Posture*. 2022 Mar;93:20–5.
10. Zhang X, Wang W, Chen G, Ji A, Song Y. Effects of standing and walking on plantar pressure distribution in recreational runners before and after long-distance running. *J Biomech*. 2021 Dec 2;129.
11. Hazzaa WA, Hottenrott L, Kamal MA, Mattes K. The Influence of General and Local Muscle Fatigue on Kinematics and Plantar Pressure Distribution during Running: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports* (Basel). 2023 Dec 6;11(12).
12. MANUAL DO USUÁRIO SOFTWARE S-PLATE Uso • Instalação Ficha técnica [Internet]. Available from: [www.podaly.com.br](http://www.podaly.com.br)

13. Ricardo Becerro de Bengoa Vallejo MELIJZST. Reliability and Repeatability of the Portable EPS-Platform Digital Pressure-Plate System. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2013 May;103(3):197–203.
14. Hughes J, Pratt L, Linge K, Clark P, Klenerman L. Reliability of pressure measurements: the EM ED F system. *Clinical Biomechanics*. 1991 Feb;6(1):14–8.
15. Nagel A, Fernholz F, Kibele C, Rosenbaum D. Long distance running increases plantar pressures beneath the metatarsal heads. A barefoot walking investigation of 200 marathon runners. *Gait Posture*. 2008 Jan;27(1):152–5.
16. Comparison of three methods for obtaining plantar pressures in nonpathologic subjects. *J Am Podiatr Med Assoc*. 1994 Oct;84(10):499–504.
17. Cavanagh PR, Rodgers MM. The arch index: A useful measure from footprints. *J Biomech*. 1987 Jan;20(5):547–51.
18. McCrory JL, Young MJ, Boulton AJM, Cavanagh PR. Arch index as a predictor of arch height. *The Foot*. 1997 Jun;7(2):79–81.
19. Menz HB, Munteanu SE. Validity of 3 Clinical Techniques for the Measurement of Static Foot Posture in Older People. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2005 Aug;35(8):479–86.
20. Menz HB, Dufour AB, Riskowski JL, Hillstrom HJ, Hannan MT. Foot posture, foot function and low back pain: The Framingham Foot Study. *Rheumatology (United Kingdom)*. 2013 Dec;52(12):2275–82.
21. Song J, Hillstrom H, Secord D, Levitt J. Foot type biomechanics. comparison of planus and rectus foot types. *J Am Podiatr Med Assoc*. 1996 Jan 1;86(1):16–23.
22. Brody DM. Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner. . ;13(3):- . . *Orthop Clin North Am*. 1982 Jul;13(3):541–58.
23. Sell KE, Verity TM, Worrell TW, Pease BJ, Wigglesworth J. Two Measurement Techniques for Assessing Subtalar Joint Position: A Reliability Study. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1994 Mar;19(3):162–7.
24. Beckett ME, Massie DL, Douglas Bowers AK, Stoll DA. Incidence of Hyperpronation in the ACL Injured Knee: A Clinical Perspective.
25. Elveru RA, Rothstein JM, Lamb RL. Goniometric Reliability in a Clinical Setting. *Phys Ther*. 1988 May 1;68(5):672–7.
26. Chen Z, Shen Z, Ye X, Wu J, Wu H, Xu X. Association between Foot Posture Asymmetry and Static Stability in Patients with Knee Osteoarthritis: A Case-Control Study. *Biomed Res Int*. 2020;2020:1890917.

27. Woźniacka R, Oleksy Ł, Jankowicz-Szymańska A, Mika A, Kielnar R, Stolarczyk A. The association between high-arched feet, plantar pressure distribution and body posture in young women. *Sci Rep*. 2019 Nov 20;9(1):17187.
28. Cowley E, Marsden J. The effects of prolonged running on foot posture: A repeated measures study of half marathon runners using the foot posture index and navicular height. *J Foot Ankle Res*. 2013 May 24;6(1).
29. Fukano M, Inami T, Nakagawa K, Narita T, Iso S. Foot posture alteration and recovery following a full marathon run. *Eur J Sport Sci*. 2018 Nov 23;18(10):1338–45.
30. Bercovitz T, Herman A, Solomonow-Avnon D, Wolf A, Kodesh E. Plantar pressure modifications in experienced runners following an exhaustive run. *Sports Biomech*. 2022 Nov;21(10):1189–99.
31. Zhang X, Schütte KH, Vanwanseele B. Foot muscle morphology is related to center of pressure sway and control mechanisms during single-leg standing. *Gait Posture*. 2017 Sep;57:52–6.
32. Plesek J, Hamill J, Burda M, Elavsky S, Skypala J, Urbaczka J, et al. Running Distance and Biomechanical Risk Factors for Plantar Fasciitis: A One-Year Prospective 4HAIE Cohort Study. *Med Sci Sports Exerc*. 2024 Dec 4;

**15 CAPÍTULO 3 - EFEITOS DE DIFERENTES DISTANCIAS DE CORRIDA NA PRESSÃO PLANTAR E ESTABILIDADE POSTURAL: UMA ANÁLISE PRÉ E PÓS-EXERCÍCIO**

## 15 INTRODUÇÃO

A corrida de rua é uma prática amplamente difundida e reconhecida pelos benefícios à saúde, mas também está associada a alta incidência de lesões musculoesqueléticas nos membros inferiores (1–3). Essas lesões decorrem de fatores multifatoriais, entre eles, o comportamento do pé durante a corrida, que envolve ajustes contínuos na distribuição das pressões plantares e na morfologia do arco longitudinal medial. Apesar do avanço dos métodos de avaliação, ainda há escassez de estudos que integrem de forma simultânea as respostas plantares, estruturais e posturais decorrentes de diferentes distâncias de corrida, especialmente em corredores amadores — um grupo que apresenta ampla variabilidade biomecânica e pouca adaptação fisiológica à fadiga (5–7).

A avaliação da pressão plantar fornece informações sobre a interação do pé com o solo e sobre o padrão de distribuição das forças de reação, enquanto a análise da morfologia do arco plantar, obtida por meio do teste da queda do navicular (TQN), permite identificar modificações estruturais associadas à fadiga e ao esforço prolongado (12,13,15). Paralelamente, a análise do controle postural, mensurada por variáveis do centro de pressão (COP), reflete a capacidade do sistema neuromuscular de manter a estabilidade frente às demandas de impacto repetitivo impostas pela corrida (8,14). A integração dessas abordagens oferece uma perspectiva abrangente sobre as adaptações funcionais do sistema plantar e sobre os ajustes posturais decorrentes de diferentes distâncias de corrida.

Assim, este estudo teve como objetivo analisar as adaptações biomecânicas agudas da pressão plantar, da morfologia do arco longitudinal medial e do controle postural em corredores amadores após corridas de 5 km, 10 km e 15 km. A hipótese é que a distância da corrida modula as respostas biomecânicas, de modo que corridas curtas (5 km) promovem ajustes bilaterais estabilizadores, enquanto distâncias intermediárias (10–15 km) resultam em respostas mais localizadas e assimétricas, associadas à fadiga e redistribuição de cargas.



## **16 MÉTODOS**

### **16.1 DESENHO DO ESTUDO**

Trata-se de um estudo transversal, pré-pós, com grupos independentes formados conforme a distância percorrida (5 km, 10 km e 15 km). As avaliações biomecânicas foram realizadas antes e até 10 minutos após a corrida, permitindo identificar as adaptações agudas induzidas pelo esforço.

### **16.2 AMOSTRA**

Participaram corredores amadores recrutados por conveniência, de ambos os sexos, com experiência mínima de um ano em corridas de rua e ausência de lesões musculoesqueléticas nos seis meses anteriores. Todos assinaram termo de consentimento livre e esclarecido, e o protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Maranhão, sob parecer nº 6.619.255 e (CAAE nº 72626323.0.0000.5087). O cálculo amostral post hoc indicou poder estatístico superior a 0,80 para detectar efeitos de tamanho médio ( $d = 0,4$ ,  $\alpha = 0,05$ ) nas variáveis principais, confirmando a adequação do número de participantes.

### 16.3 PROCEDIMENTOS

As coletas realizadas no local de seus treinos RT corrida e performance, CTP3 Corrida -Triathlon-Fortalecimento, MKR treinamento desportivo e NM assessoria de corrida. Antes e até 10 minutos após cada corrida. As análises de pressão plantar foram realizadas em uma plataforma baropodométrica S-Plate® (Medicapteurs, França), capaz de registrar parâmetros estáticos e dinâmicos de pressão e área plantar a 100 Hz. O sistema apresenta alta confiabilidade intra-e interavaliador para medidas de área, pressão média e máxima (16).

Na condição estática, os participantes permaneceram descalços em posição bipodal, braços relaxados ao lado do corpo, durante 10s. Na condição dinâmica, executaram uma passada completa (heel-strike → toe-off) com cada pé. O controle postural foi avaliado na mesma plataforma, em apoio bipodal de 30 s, quantificando o comprimento da trajetória (path length), a velocidade média do centro de pressão (COP velocity) e a área da elipse de 95 % de confiança.

A morfologia do arco longitudinal medial foi avaliada pelo teste da queda do navicular (TQN) descrito por (15), medindo-se a diferença entre as posições sentada e em pé.

#### 2.4 Desfechos

Foram definidos como desfechos primários:

1. Área plantar estática,
2. Pressão máxima dinâmica,
3. Path length e COP velocity (controle postural), e
4. Altura do navicular (TQN).

As demais variáveis baropodométricas (pressão média, área dinâmica, índices IA e CPEI) foram tratadas como desfechos secundários.

## 17 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis foram testadas quanto à normalidade pelo teste de Shapiro–Wilk. As comparações entre os momentos pré e pós-corrida foram realizadas por meio do teste t pareado ou do teste de Wilcoxon, conforme a distribuição dos dados. O tamanho de efeito (d de Cohen) foi calculado para cada variável para interpretar a magnitude das diferenças observadas. Considerando o caráter exploratório do estudo e a natureza fisiológica das respostas analisadas, não foi aplicada correção para múltiplas comparações. As análises foram realizadas no software R (versão 4.x) e GraphPad Prism 10, adotando-se nível de significância de  $\alpha = 0,05$ .

## 18 RESULTADOS

A amostra foi composta por 61 corredores amadores, majoritariamente do sexo feminino (67,2 %), com idade média de  $33,1 \pm 7,4$  anos, IMC de  $25,0 \pm 3,1$  kg/m<sup>2</sup> e distribuição proporcional entre as distâncias de 5 km (47,5 %), 10 km (41,0 %) e 15 km (11,5 %).

Tabela 11 - Caracterização da amostra incluída no estudo.

Variáveis	média	±DP	n	(%)
Sexo				
Feminino			41	(67,2)
Masculino			20	(32,8)
Peso (em kg)	68,6	11,8		
Altura (em m)	1,65	0,08		
IMC (em kg/m <sup>2</sup> )	25,0	3,1		
Distância percorrida (em km)				
5 km			29	(47,5)
10 km			25	(41,0)
15 km			7	(11,5)

±DP = desvio-padrão.

De modo geral, a corrida promoveu alterações consistentes nas variáveis baropodométricas e posturográficas, com predomínio de efeitos de pequena a moderada magnitude, enquanto as variáveis morfológicas do arco plantar apresentaram respostas mais discretas. As mudanças mais frequentes ocorreram nas variáveis relacionadas à área de contato plantar e à estabilidade postural, ao passo que as pressões plantares mostraram comportamento mais heterogêneo entre as distâncias analisadas. A Tabela 12 apresenta uma visão sintética da direção e magnitude dessas alterações no total da amostra.

Tabela 12 - Direção e magnitude das alterações nas variáveis baropodométricas e posturográficas no total da amostra após a corrida.

Variáveis	Direção da alteração (pós-corrida)	Significância estatística	Magnitude do efeito (d de Cohen)
Área total de contato plantar	↑	$p < 0,05$	Pequeno a moderado
Área de contato do pé esquerdo	↑	$p < 0,05$	Pequeno
Área de contato do pé direito	↑	$p < 0,05$	Pequeno a moderado
Pressão média plantar	↓	$p < 0,05$	Pequeno
Pressão máxima plantar	↓	ns	Trivial
Área dinâmica do pé esquerdo	↑	$p < 0,05$	Pequeno
Área dinâmica do pé direito	↑	$p < 0,05$	Pequeno a moderado
Comprimento da trajetória do CoP	↓	$p < 0,01$	Pequeno a moderado
Velocidade média do CoP	↓	$p < 0,01$	Pequeno a moderado
Área da elipse estabilográfica	↑	$p < 0,05$	Pequeno

Direção das alterações refere-se à comparação entre os momentos pós- e pré-corrida.

$p < 0,05$  indica diferença estatisticamente significativa; ns = não significativo.

A magnitude do efeito foi interpretada de acordo com o  $d$  de Cohen: pequeno ( $0,2 \leq d < 0,5$ ), moderado ( $0,5 \leq d < 0,8$ ) e grande ( $d \geq 0,8$ ).

CoP = centro de pressão.

## 18.1 RESULTADOS NO TOTAL DA AMOSTRA

No total da amostra, observou-se aumento da área total de contato plantar após a corrida, acompanhado por ampliação da área tanto do pé esquerdo quanto do pé direito, com tamanhos de efeito classificados entre pequenos e moderados (Tabela 13). Concomitantemente, verificou-se redução da pressão média plantar, enquanto a pressão máxima não apresentou diferenças estatisticamente significativas no conjunto da amostra. Em condição dinâmica, houve aumento

da área de contato plantar em ambos os pés, especialmente no pé direito, com magnitudes de efeito pequenas a moderadas.

Na avaliação posturográfica, os resultados indicaram redução significativa do comprimento da trajetória e da velocidade média do centro de pressão, com efeitos pequenos a moderados, sugerindo alterações consistentes no comportamento estabilográfico após a corrida. Em contraste, a área da elipse estabilográfica apresentou aumento discreto, embora estatisticamente significativo, caracterizando um padrão de resposta distinto das demais variáveis de estabilidade (Tabela 13).

## **18.2 RESULTADOS SEGUNDO A DISTÂNCIA PERCORRIDA**

### **Grupo 5 km**

Entre os corredores do grupo de 5 km, observaram-se respostas mais consistentes e distribuídas entre as variáveis analisadas (Tabela 13). Em posição estática, houve aumento significativo da área total de contato plantar, particularmente no pé esquerdo, acompanhado por redução da pressão média plantar, com efeitos predominantemente pequenos a moderados. Em condição dinâmica, destacou-se o aumento da área de contato do pé direito e a redução da pressão máxima dinâmica, ambas com magnitudes de efeito moderadas.

Na avaliação posturográfica, os corredores de 5 km apresentaram redução significativa do comprimento da trajetória e da velocidade média do centro de pressão, inclusive no plano látero-lateral, com efeitos moderados. As demais variáveis estabilográficas não apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

### **Grupo 10 km**

No grupo de 10 km, as alterações observadas foram mais localizadas e assimétricas (Tabela 13). Em posição estática, verificou-se aumento significativo da área de contato do pé direito, enquanto as demais variáveis de área e pressão não apresentaram diferenças relevantes. Em condição dinâmica, observou-se redução significativa da pressão máxima do pé esquerdo, com efeito moderado, sem alterações concomitantes na área de contato plantar.

As variáveis posturográficas não apresentaram diferenças estatisticamente significativas após a corrida, embora tenha sido identificada tendência de aumento da área da elipse estabilográfica, com magnitude de efeito pequena.

### Grupo 15 km

No grupo de 15 km, as respostas foram mais sutis e predominantemente unilaterais (Tabela 3). Em condição dinâmica, observou-se aumento significativo da área de contato do pé esquerdo, com efeito moderado. As demais variáveis baropodométricas, tanto estáticas quanto dinâmicas, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

Na avaliação posturográfica, não foram identificadas diferenças significativas nas variáveis analisadas, embora tenham sido observadas tendências de aumento da área da elipse estabilográfica e de deslocamento lateral do centro de pressão, com efeitos pequenos.

Tabela 13 - Principais diferenças pré-pós nas variáveis biomecânicas segundo a distância (valores reais).

Variáveis	5 km d	10 km d	15 km d	5 km p	10 km p	15 km p	5 km $\Delta$ (pós-pré)	10 km $\Delta$ (pós-pré)
<b>Grupo 10 km</b>								
<b>Em posição estática bipodal</b>								
Comprimento da trajetória percorrida pelo centro de impulso (mm)	0.510	0.180	0.510	0.005	0.300	0.171	-20.000	-14.000
Velocidade média quadrática	0.520	0.190	0.520	0.004	0.282	0.175	-0.600	-0.450
Pressão máxima dinâmica (g/cm <sup>2</sup> )	0.110	0.090	0.110	0.525	0.599	0.430	-	1890.000
TQN (mm)							56.000	
							-0.115	-0.100
Área total dos pés (g/cm <sup>2</sup> )	0.400	0.260	0.400	0.023	0.147	0.312	5.600	2.800

$\Delta$  = pós – pré; d = Cohen's d; valores positivos indicam aumento.

Área em cm<sup>2</sup>, pressão em g/cm<sup>2</sup>, Comprimento da trajetória percorrida pelo centro de impulso: Velocidade média quadrática em mm/s, TQN em mm.

## 18.3 ALTURA DO NAVICULAR

A análise da **altura do navicular**, realizada nas posições sentada e bipodal, não evidenciou **alterações significativas pré-pós-corrida** em nenhum dos grupos analisados (Tabela 14). As comparações entre as distâncias percorridas também não revelaram diferenças

significativas, indicando **estabilidade morfológica do arco plantar** frente ao esforço agudo, independentemente da distância.

Tabela 14 - Análise comparativa antes e após a corrida da altura do navicular na posição sentada e bipodal de acordo com a distância percorrida.

Altura do navicular	Corrida				P
	Antes		Após		
	média	±DP	média	±DP	
Total da amostra					
Pé direito na posição sentada	3,44	0,61	3,46	0,56	0,668
Pé direito na posição bipodal (em pé)	2,97	0,65	2,86	0,59	0,015*
Pé esquerdo na posição sentada	3,37	0,69	3,29	0,56	0,220
Pé esquerdo na posição bipodal (em pé)	2,81	0,70	2,70	0,66	0,076
Corrida 5 km					
Pé direito na posição sentada	3,51	0,59	3,55	0,52	0,572
Pé direito na posição bipodal (em pé)	3,02	0,63	2,89	0,63	0,050
Pé esquerdo na posição sentada	3,55	0,68	3,44	0,58	0,237
Pé esquerdo na posição bipodal (em pé)	2,94	0,71	2,84	0,74	0,223
Corrida 10 km					
Pé direito na posição sentada	3,35	0,59	3,36	0,48	0,829
Pé direito na posição bipodal (em pé)	2,88	0,64	2,80	0,53	0,254
Pé esquerdo na posição sentada	3,19	0,69	3,15	0,49	0,694
Pé esquerdo na posição bipodal (em pé)	2,65	0,73	2,53	0,57	0,284
Corrida 15 km					
Pé direito na posição sentada	3,50	0,77	3,46	0,89	0,769
Pé direito na posição bipodal (em pé)	3,06	0,86	2,94	0,63	0,419
Pé esquerdo na posição sentada	3,46	0,89	3,24	0,65	0,257
Pé esquerdo na posição bipodal (em pé)	2,94	0,63	2,83	0,42	0,436

±DP = desvio-padrão. \*Diferenças estatisticamente significantes ( $P < 0,05$ ). Teste t pareado ou Wilcoxon.

#### 18.4 ASSIMETRIAS ENTRE OS PÉS

A avaliação das **assimetrias entre os pés** revelou **diferenças significativas entre o pé direito e o esquerdo** em diversas variáveis (Tabela 15). Observou-se **maior altura do navicular no pé direito**, tanto antes quanto após a corrida, nas posições sentada e bipodal, com efeitos pequenos a moderados. Em condição estática e dinâmica, o pé direito apresentou **maior área de contato plantar e maiores pressões**, com tamanhos de efeito variando de moderados a grandes em algumas variáveis. Essas assimetrias permaneceram após a corrida, indicando



**padrão consistente de predominância funcional entre os pés**, independentemente da distância percorrida.

Tabela 15 - Avaliação de assimetrias entre pés (direito versus esquerdo).

Variáveis (pé direito versus pé esquerdo)	t	gl	P	Efeito d de Cohen	Interpretação
Altura do navicular					
Pé na posição sentada pré-corrida (direito/esquerdo)	1,152	102	0,254	0,1487	Pequeno
Pé na posição bipodal pré-corrida (direito/esquerdo)	2,75	102	0,008*	0,355	Pequeno-Moderado
Pé na posição sentada pós-corrida (direito/esquerdo)	3,184	102	0,002*	0,4145	Moderado
Pé na posição bipodal pós-corrida (direito/esquerdo)	2,882	102	0,006*	0,3752	Pequeno-Moderado
Em posição estática bipodal					
Área total do pé pré-corrida (direito/esquerdo)	-2,75	102	0,008*	-0,355	Pequeno-Moderado
Área total do pé pós-corrida (direito/esquerdo)	-4,74	102	<0,001*	-0,611	Moderado
Pressão máxima dos pés pré-corrida (direito/esquerdo)	5,93	102	<0,001*	0,765	Grande
Pressão máxima dos pés pós-corrida (direito/esquerdo)	4,38	102	<0,001*	0,566	Moderado
Em posição dinâmica					
Área total do pé pré-corrida (direito/esquerdo)	-7,41	102	<0,001*	-0,957	Grande
Área total do pé pós-corrida (direito/esquerdo)	-8,6	102	<0,001*	-1,119	Grande
Pressão máxima do pé pré-corrida (direito/esquerdo)	-1,82	102	0,074	-0,234	Pequeno
Pressão máxima do pé pós-corrida (direito/esquerdo)	-2,13	102	0,037*	-0,278	Pequeno
Pressão média do pé pré-corrida (direito/esquerdo)	-2,9	102	0,005*	-0,374	Pequeno-Moderado
Pressão média do pé pós-corrida (direito/esquerdo)	-3,93	102	<0,001*	-0,512	Moderado

Teste t pareado. gl = n – 1 (103 – 1 = 102). \*p\* < 0,05 indica diferença estatisticamente significativa. Tamanho do efeito (d de Cohen): pequeno ( $0,2 \leq d < 0,5$ ), moderado ( $0,5 \leq d < 0,8$ ), grande ( $d \geq 0,8$ ). Valores positivos indicam predominância do pé direito; valores negativos, predominância do pé esquerdo.

## 19 DISCUSSÃO

Os achados deste estudo demonstram que a corrida promove adaptações biomecânicas agudas detectáveis por meio da baropodometria e da posturografia, com tamanhos de efeito predominantemente pequenos a moderados. No total da amostra, observou-se aumento da área de contato plantar e redução das pressões médias e máximas após o exercício, comportamento compatível com mecanismos já descritos em situações de aquecimento tecidual, menor rigidez musculotendínea e redistribuição imediata das cargas plantares durante a fadiga inicial (5–8). Estudos prévios mostram que a ampliação da superfície de contato pode reduzir picos de pressão, especialmente após esforços repetidos, favorecendo maior dissipação das forças de reação ao solo (5,8).

As respostas posturográficas reforçam a presença de ajustes neuromusculares rápidos. Houve redução significativa do comprimento da trajetória e da velocidade do centro de pressão, achados que sugerem melhora aguda do controle postural, possivelmente mediada pela maior eficiência proprioceptiva após esforços de curta duração, como descrito em investigações similares (6,8,13). Em contrapartida, o aumento discreto da área da elipse estabilográfica pode indicar uma oscilação postural levemente ampliada, porém controlada, estratégia interpretada como mecanismo compensatório de baixo custo energético em condições de esforço prolongado(8,13).

A análise estratificada por distância revelou padrões distintos de adaptação. No grupo de 5 km, observaram-se efeitos moderados em variáveis baropodométricas e posturográficas, reforçando que esforços curtos tendem a favorecer ajustes bilaterais e simétricos, sem induzir fadiga substancial. Esse comportamento é compatível com estudos que mostram que a corrida de curta duração pode melhorar temporariamente a sensibilidade proprioceptiva e otimizar a dinâmica do arco plantar(6,8). Em contraste, no grupo de 10 km as respostas foram mais assimétricas, com alterações significativas unilaterais tanto na área de contato quanto na pressão dinâmica, indicando influência da dominância lateral e da sobrecarga unilateral durante o esforço — fenômeno previamente descrito nas análises de assimetria de arco e pressão plantar (10,12).

No grupo de 15 km, as adaptações foram mais sutis e unilaterais, com aumento significativo apenas na área dinâmica do pé esquerdo. Tendências de aumento da área estabilográfica e de deslocamento anterior e lateral do centro de pressão sugerem modificações

no controle motor fino associadas à fadiga prolongada, corroborando achados de estudos que demonstraram redução da rigidez do arco e alterações morfológicas após corridas de longa distância (12,13,20). Esse conjunto de respostas indica que corredores expostos a esforços mais longos recorrem a ajustes compensatórios para manter a estabilidade, ainda que com menor eficiência global.

A análise das assimetrias evidenciou predomínio funcional do pé direito, refletido em maior altura do arco plantar, área de contato e pressões plantares. A literatura mostra que assimetrias estruturais e funcionais são comuns em corredores e influenciam tanto a estratégia de distribuição de cargas quanto a suscetibilidade a padrões específicos de sobrecarga (21). Nossos achados reforçam que a dominância lateral não é modificada de forma aguda pelo esforço, mas modula a maneira como cada membro responde às diferentes distâncias percorridas.

Além dos efeitos observados nas variáveis baropodométricas e posturográficas, os tamanhos de efeito calculados em nosso estudo fornecem informações adicionais sobre a magnitude real das adaptações induzidas pela corrida. Mesmo quando as diferenças foram estatisticamente significativas, em muitos casos a magnitude dos efeitos foi pequena, sugerindo que as respostas são sutis, ainda que consistentes. Em contrapartida, efeitos moderados foram identificados principalmente no grupo de 5 km e nas assimetrias entre os pés, reforçando que ajustes funcionais podem ocorrer de maneira mais pronunciada quando a demanda mecânica ainda não ultrapassa o limiar da fadiga prolongada. Estudos prévios destacam que alterações pequenas, mas sistemáticas, no arco plantar e na distribuição das pressões podem ter importância clínica ao longo do tempo, influenciando tanto a eficiência mecânica quanto o risco de lesões por sobrecarga (7,8,21).

Esses achados também têm implicações práticas relevantes para a prescrição de treinamento e a prevenção de lesões em corredores amadores. A identificação de padrões distintos de resposta de acordo com a distância percorrida indica que intervenções específicas podem ser necessárias conforme o perfil do corredor. Por exemplo, corredores de 5 km parecem se beneficiar de maior estabilidade pós-exercício, enquanto os de 10 e 15 km apresentam sinais de assimetria acentuada e ajustes compensatórios, possivelmente associados à fadiga acumulada. Essa diferenciação pode ser útil para estratégias individualizadas de fortalecimento do arco plantar, treino proprioceptivo e modulação de volume e intensidade. A literatura aponta que a atenção antecipada a assimetrias funcionais e alterações sutis na estabilidade pode reduzir a incidência de lesões relacionadas à corrida, especialmente entre praticantes amadores expostos a cargas repetidas (3,21).

Em conjunto, os resultados indicam que as respostas biomecânicas à corrida são moduladas pela distância percorrida, com padrões estabilizadores mais evidentes em esforços curtos, e comportamentos assimétricos e compensatórios em corridas intermediárias e longas. A ausência de alterações significativas na morfologia do pé e no tipo de pisada reforça que adaptações estruturais não ocorrem de modo imediato, ao contrário das respostas funcionais observadas. Esses achados ressaltam a relevância da baropodometria e da posturografia como ferramentas sensíveis para avaliar as respostas agudas ao exercício, contribuindo para estratégias de prevenção de lesões, controle de fadiga e prescrição individualizada de treinamento em corredores amadores.

## 20 CONCLUSÃO

As diferentes distâncias de corrida influenciaram de modo distinto as respostas plantares e posturais em corredores amadores. Corridas de 5 km promoveram ajustes bilaterais estabilizadores, refletindo melhor controle neuromuscular, enquanto corridas de 10 e 15 km desencadearam respostas assimétricas e compensatórias associadas à fadiga e maior exigência do pé dominante. As alterações morfológicas do arco plantar foram discretas e transitórias, restritas à condição de apoio pleno. Em conjunto, os resultados confirmam a hipótese de que a distância modula as adaptações biomecânicas agudas, ampliando a compreensão das respostas do sistema plantar à carga e oferecendo subsídios práticos para o planejamento de treinos e prevenção de lesões em corredores amadores.

## 21 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Oliveira GM, Lopes AD, Hespanhol L. Are there really many runners out there? Is the proportion of runners increasing over time? A population-based 12-year repeated cross-sectional study with 625,460 Brazilians. *J Sci Med Sport*. junho de 2021;24(6):585–91.
2. van Poppel D, Scholten-Peeters GGM, van Middelkoop M, Verhagen AP. Prevalence, incidence and course of lower extremity injuries in runners during a 12-month follow-up period. *Scand J Med Sci Sports*. 19 de dezembro de 2014;24(6):943–9.
3. Hulme A, Nielsen RO, Timpka T, Verhagen E, Finch C. Risk and Protective Factors for Middle- and Long-Distance Running-Related Injury. *Sports Medicine*. 27 de maio de 2017;47(5):869–86.
4. Nagel A, Fernholz F, Kibele C, Rosenbaum D. Long distance running increases plantar pressures beneath the metatarsal heads. A barefoot walking investigation of 200 marathon runners. *Gait Posture*. janeiro de 2008;27(1):152–5.
5. Hamzavi B, Esmaeili H. Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in runners with different strike types. *Gait Posture*. julho de 2021;88:132–7.
6. Weist R, Eils E, Rosenbaum D. The Influence of Muscle Fatigue on Electromyogram and Plantar Pressure Patterns as an Explanation for the Incidence of Metatarsal Stress Fractures. *Am J Sports Med*. 30 de dezembro de 2004;32(8):1893–8.
7. Brody DM. Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner. . ;13(3):- . . *Orthop Clin North Am*. julho de 1982;13(3):541–58.
8. Fukano M, Nakagawa K, Inami T, Higashihara A, Iizuka S, Narita T, et al. Increase in foot arch asymmetry after full marathon completion. *J Sports Sci*. 2021;39(21):2468–74.
9. Shiotani H, Mizokuchi T, Yamashita R, Naito M, Kawakami Y. Acute effects of long-distance running on mechanical and morphological properties of the human plantar fascia. *Scand J Med Sci Sports*. 20 de agosto de 2020;30(8):1360–8.
10. Bercovitz T, Herman A, Solomonow-Avnon D, Wolf A, Kodesh E. Plantar pressure modifications in experienced runners following an exhaustive run. *Sports Biomech*. 2022;21(10):1189–99.
11. Ren W, Wang Y, Yan Z, Chu Z, Yang F, Jan YK, et al. Adaptive Changes in Longitudinal Arch During Long-distance Running. *Int J Sports Med*. 31 de julho de 2024;

12. Izquierdo-Renau M, Pérez-Soriano P, Ribas-García V, Queralta A. Intra and intersession repeatability and reliability of the S-Plate® pressure platform. *Gait Posture*. 1o de fevereiro de 2017;52:224–6.
13. Williams DSB, Tierney RN, Butler RJ. Increased Medial Longitudinal Arch Mobility, Lower Extremity Kinematics, and Ground Reaction Forces in High-Arched Runners. *J Athl Train*. 1o de junho de 2014;49(3):290–6.
14. Ren W, Wang Y, Yan Z, Chu Z, Yang F, Jan YK, et al. Adaptive Changes in Longitudinal Arch During Long-distance Running. *Int J Sports Med*. dezembro de 2024;45(14):1091–8.
15. Vannatta CN, Heinert BL, Kernozek TW. Biomechanical risk factors for running-related injury differ by sample population: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Biomechanics*. maio de 2020;75:104991.

## **22 CONCLUSÃO GERAL**

### **22.1 RESPOSTA À QUESTÃO DE PESQUISA**

Esta tese teve como propósito investigar as adaptações biomecânicas agudas da pressão plantar, da morfologia do arco longitudinal medial e do controle postural em corredores amadores submetidos a corridas de diferentes distâncias.

Os resultados integrados dos três estudos confirmam a hipótese central de que a distância da corrida influencia de forma progressiva e diferenciada o comportamento plantar e postural, com respostas biomecânicas que variam em magnitude e simetria conforme o volume do esforço.

Corridas curtas, como as de 5 km, promoveram ajustes bilaterais sutis e estabilizadores, enquanto distâncias intermediárias (10–15 km) induziram redistribuições localizadas de pressão e leve aumento da área plantar. Já a corrida longa (21 km) provocou alterações estruturais mais evidentes, incluindo redução temporária da altura do navicular, ampliação da área de contato plantar e aumento compensatório das oscilações posturais.

Esses achados demonstram que a progressão da distância de corrida modula tanto a função quanto a morfologia plantar, confirmando que os pés respondem de maneira adaptativa às demandas mecânicas impostas pelo esforço.

### **22.2 SUMÁRIO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS**

O primeiro artigo, publicado na Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano, evidenciou que corridas de 5 km, 10 km e 15 km resultam em redistribuição regional das pressões plantares, sem modificações significativas no tipo de pé ou no padrão de pisada. Observou-se aumento da área de contato e leve redução das pressões médias, sugerindo ajustes funcionais de amortecimento.



O segundo artigo, aceito na Human Movement Science, demonstrou que a meia-maratona (21 km) gera modificações estruturais transitórias, caracterizadas por leve queda do navicular e aumento da área plantar, mas sem prejuízo do controle postural. Esses resultados indicam que, mesmo diante da fadiga, o sistema neuromuscular mantém a capacidade de estabilização por meio de estratégias compensatórias.

O terceiro estudo, desenvolvido especificamente para esta tese, confirmou e ampliou essas observações, mostrando que a combinação da baropodometria (S-Plate®), do teste da queda do navicular e da estabilometria permite identificar padrões consistentes de adaptação à fadiga induzida por diferentes distâncias. Os achados reforçam a ideia de que a resposta biomecânica à corrida é multifatorial e depende da interação entre distância, carga mecânica e simetria funcional.

### **22.3 DISCUSSÃO DA CONTRIBUIÇÃO**

Esta tese oferece uma contribuição original ao integrar variáveis estruturais (morfologia do arco), funcionais (pressão plantar) e posturais (estabilidade corporal) em um único modelo analítico, aplicando metodologias complementares e validadas (baropodometria, TQN e análise estabilográfica).

A abordagem adotada amplia o entendimento sobre como a distância de corrida influencia as adaptações plantares e posturais em corredores amadores, uma população pouco estudada na literatura comparada à de atletas de elite.

Além disso, a tese propõe um modelo metodológico reproduzível para análise biomecânica de corrida, evidenciando o potencial da plataforma S-Plate® e do TQN como ferramentas integradas para avaliação do comportamento plantar antes e após o exercício.

## **22.4 IMPLICAÇÕES DO TRABALHO**

Do ponto de vista prático, os resultados auxiliam profissionais da área de Educação Física, Fisioterapia e Biomecânica a compreender como diferentes volumes de corrida afetam a estabilidade e a distribuição de cargas no pé, permitindo ajustar o treinamento e prevenir lesões relacionadas à sobrecarga plantar.

Do ponto de vista teórico, os achados reforçam o conceito de que o sistema plantar é dinâmico e adaptativo, respondendo à fadiga de maneira funcional e compensatória. A interação entre área de contato, altura do arco e oscilação do centro de pressão mostra-se um indicador sensível para a detecção precoce de desequilíbrios mecânicos.

Por fim, do ponto de vista metodológico, o trabalho valida uma abordagem integrada de análise biomecânica aplicável em contextos laboratoriais e de campo, fortalecendo o uso combinado de medidas estáticas, dinâmicas e posturais em pesquisas sobre corrida.

## **22.5 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

Futuras investigações devem explorar amostras maiores e diversificadas, incluindo diferentes faixas etárias, níveis de experiência e padrões de pisada.

Estudos longitudinais poderiam avaliar adaptações crônicas resultantes de programas de treinamento, enquanto abordagens com modelagem cinemática tridimensional e eletromiografia poderiam aprofundar a compreensão dos mecanismos neuromusculares associados às alterações plantares observadas.

Recomenda-se também o uso de análises assimétricas e preditivas para investigar o papel do pé dominante e sua influência no risco de lesões durante esforços prolongados.

## 22.6 CONCLUSÃO FINAL

Em síntese, esta tese confirma que a distância percorrida é um modulador determinante das respostas biomecânicas e posturais em corredores amadores, validando a hipótese de adaptação funcional progressiva do pé diante do esforço físico.

A integração dos três estudos oferece uma visão holística do comportamento plantar e postural, conectando as dimensões estrutural, funcional e neuromecânica do movimento humano.

Dessa forma, o trabalho cumpre plenamente seus objetivos e contribui para o avanço da biomecânica aplicada à corrida, estabelecendo bases sólidas para novas abordagens de avaliação e intervenção na prevenção de lesões e na otimização do desempenho.

## 23 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Oliveira GM, Lopes AD, Hespanhol L. Are there really many runners out there? Is the proportion of runners increasing over time? A population-based 12-year repeated cross-sectional study with 625,460 Brazilians. *J Sci Med Sport*. junho de 2021;24(6):585–91.
2. van Poppel D, Scholten-Peeters GGM, van Middelkoop M, Verhagen AP. Prevalence, incidence and course of lower extremity injuries in runners during a 12-month follow-up period. *Scand J Med Sci Sports*. 19 de dezembro de 2014;24(6):943–9.
3. Hulme A, Nielsen RO, Timpka T, Verhagen E, Finch C. Risk and Protective Factors for Middle- and Long-Distance Running-Related Injury. *Sports Medicine*. 27 de maio de 2017;47(5):869–86.
4. Correia CK, Machado JM, Dominski FH, de Castro MP, de Brito Fontana H, Ruschel C. Risk factors for running-related injuries: An umbrella systematic review. *J Sport Health Sci*. novembro de 2024;13(6):793–804.
5. Nagel A, Fernholz F, Kibele C, Rosenbaum D. Long distance running increases plantar pressures beneath the metatarsal heads. A barefoot walking investigation of 200 marathon runners. *Gait Posture*. janeiro de 2008;27(1):152–5.
6. Hamzavi B, Esmaeili H. Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in runners with different strike types. *Gait Posture*. julho de 2021;88:132–7.
7. Weist R, Eils E, Rosenbaum D. The Influence of Muscle Fatigue on Electromyogram and Plantar Pressure Patterns as an Explanation for the Incidence of Metatarsal Stress Fractures. *Am J Sports Med*. 30 de dezembro de 2004;32(8):1893–8.
8. Bercovitz T, Herman A, Solomonow-Avnon D, Wolf A, Kodesh E. Plantar pressure modifications in experienced runners following an exhaustive run. *Sports Biomech*. 2022;21(10):1189–99.
9. Hawrylak A, Matner P, Demidaś A, Barczyk-Pawelec K, Demczuk-Włodarczyk E. Static and dynamic plantar pressure distribution in amateur marathon runners. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 1o de janeiro de 2019;76–81.
10. Williams DSB, Tierney RN, Butler RJ. Increased Medial Longitudinal Arch Mobility, Lower Extremity Kinematics, and Ground Reaction Forces in High-Arched Runners. *J Athl Train*. 1o de junho de 2014;49(3):290–6.
11. Wei Z, Li JX, Fu W, Wang L. Plantar load characteristics among runners with different strike patterns during preferred speed. *J Exerc Sci Fit*. maio de 2020;18(2):89–93.

12. Fukano M, Nakagawa K, Inami T, Higashihara A, Iizuka S, Narita T, et al. Increase in foot arch asymmetry after full marathon completion. *J Sports Sci.* 2021;39(21):2468–74.
13. Shiotani H, Mizokuchi T, Yamashita R, Naito M, Kawakami Y. Acute effects of long-distance running on mechanical and morphological properties of the human plantar fascia. *Scand J Med Sci Sports.* 20 de agosto de 2020;30(8):1360–8.
14. Ren W, Wang Y, Yan Z, Chu Z, Yang F, Jan YK, et al. Adaptive Changes in Longitudinal Arch During Long-distance Running. *Int J Sports Med.* 31 de julho de 2024;
15. Brody DM. Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner. . ;13(3):- . . *Orthop Clin North Am.* julho de 1982;13(3):541–58.
16. Izquierdo-Renau M, Pérez-Soriano P, Ribas-García V, Queralt A. Intra and intersession repeatability and reliability of the S-Plate® pressure platform. *Gait Posture.* 1o de fevereiro de 2017;52:224–6.
17. Cavanagh PR, Rodgers MM. The arch index: A useful measure from footprints. *J Biomech.* janeiro de 1987;20(5):547–51.
18. Mateus GAS, Assumpção CO, Cabido CET, Veneroso CE, Oliveira SFM, Fermino RC, et al. Effect of Fatigue and Graded Running on Kinematics and Kinetics Parameters in Triathletes. *Int J Sports Med.* 17 de agosto de 2022;43(09):797–803.
19. Mo S, Lu F, Li C, Zhao H. Effects of 10 KM run on foot morphology and bilateral symmetry in male recreational runners. *Front Bioeng Biotechnol.* 2024;12.

## 24 APÊNDICE I - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Convidamos a Senhora a participar voluntariamente do projeto de pesquisa “Efeitos da Corrida de Rua na Pressão Plantar ”, de responsabilidade do Fisioterapeuta e aluno de Doutorado, André Costa Tenorio de Britto e sob a orientação do Professor do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação Física Jake do Carmo. O projeto consiste na avaliação da pressão plantar de corredores com objetivo de investigar e determinar se a prática da corrida de rua provoca um aumento agudo na pressão plantar.

A sua participação se dará por meio de uma visita do pesquisador aos locais de treinos (assessorias esportivas), da cidade de São Luis do Maranhão, para realização de avaliações antropométricas e pressão plantar, com duração aproximada de 90 minutos.

Para participar da pesquisa, o(a) Senhor(a) receberá todos os esclarecimentos necessários antes e no decorrer do projeto e lhe asseguramos que seu nome não aparecerá, sendo mantido o mais rigoroso sigilo/privacidade pela omissão de quaisquer informações que permitam identificá-la. Os resultados da pesquisa serão divulgados somente em forma de publicações/apresentações em jornais, revistas ou congressos científicos, sendo garantido o total sigilo de todos os participantes.

Vale ressaltar que todos os procedimentos são seguros, com riscos inerentes à própria prática da atividade física tais como quedas e lesões da corrida. Para minimizar os riscos, todas as avaliações serão acompanhadas por equipe de profissionais habilitados para prestar atendimento e orientação adequada em caso de qualquer necessidade.

Durante todo o projeto é garantida a interrupção imediata em qualquer fase das avaliações, podendo interromper a sua participação na pesquisa, sem qualquer penalização, a qualquer momento. Solicitamos que no dia anterior às avaliações, o Senhor não participe de nenhuma prática de atividade física. Caso, no entanto, tenha o interesse ou a necessidade de realizar alguma prática de exercício nesse dia, torna-se importante que seja comunicado para o pesquisador responsável, que em hipótese alguma irá proibi-lo nesse sentido, sendo reagendadas a visita ao laboratório se ainda for do interesse do participante. É garantido também a qualquer tempo que a Senhora entre em contato com pesquisador responsável por qualquer motivo, seja por telefone ou mensagem, inclusive utilizando chamada a cobrar.

Com a assinatura desse termo, a Senhora declare ter compreendido as condições da pesquisa, concordando assim em participar e autorizando o uso dos resultados das avaliações, bem como de outros dados necessários para a pesquisa. Da mesma forma manifesta ciência de ter recebido uma via deste termo e tendo lido e esclarecido todas as suas dúvidas. A sua participação na presente pesquisa, está sendo feita pelo simples interesse de colaborar voluntariamente para o progresso do conhecimento científico, e dessa forma, a Senhora declara estar ciente de que sua participação é voluntária, sem qualquer compensação ou remuneração.

São Luis, MA, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_.

_____	_____
—	—
Avaliado	Nome e assinatura do pesquisador

Pesquisador responsável: Prof. MSc André Costa Tenorio de Britto

Endereço: LAMH – Faculdade de Educação Física - UNB - DF

Telefones: (61) 3107-2502/98169-1335 (98) 991006774 E-mail:

andre.britto@ufma.br

Este será submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade federal do