

# AVALIAÇÃO DA ENTROPIA DE CORREDORES UTILIZANDO SENSORES INERCIAIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

## *EVALUATION OF RUNNERS ENTROPY USING INERTIAL SENSORS: A SYSTEMATIC REVIEW*

Daiane Moura Costa<sup>1</sup>, Bruno Teixeira Goes<sup>2</sup> Ana Paula Quixadá<sup>3</sup>

1. Acadêmico do Curso de Fisioterapia da Bahiana – Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública, Bahia, Brasil. ORCID:0009-0008-2189-7722.
2. Fisioterapeuta, Doutor em Medicina e Saúde Humana pela Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública. ORCID:0000-0002-5782-6394.
3. Fisioterapeuta, Doutora em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia. ORCID: 0000-0002-7399-0645.

Autor para correspondência: daianecosta22.1@bahiana.edu.br

### RESUMO

**Introdução:** A corrida é um esporte muito praticado mundialmente com uma prevalência de lesões de 36,5%. As lesões têm sido vistas como um fenômeno complexo, sendo necessário ferramentas adequadas de avaliação como a entropia. O movimento da corrida pode ser medido com sensores inerciais e o sinal analisado com a entropia, porém a variação metodológica dos estudos dificulta comparabilidade e aplicação. **Objetivo:** Investigar a utilização de sensores inerciais na avaliação da entropia em corredores. **Métodos:** Revisão Sistemática, incluindo estudos transversais e observacionais prospectivos de confiabilidade, que abordam a análise de entropia na corrida com sensores inerciais em adultos corredores. As buscas foram realizadas nas bases PubMed, Web of Science, Scopus, Embase e no site connectedpapers.com. As variáveis coletadas foram as características do estudo incluindo os autores, ano de publicação, amostra, desenho de estudo; objetivos; métodos utilizados, superfície da corrida, instrumento utilizado, posicionamento do sensor, variável medida, tipo de entropia, parâmetros da análise da entropia e resultados da análise da entropia. O risco de viés foi feito pela Ferramenta de Avaliação Crítica do JBI- *Joanna Briggs Institute* para Estudos Transversais Analíticos. **Resultados:** Dos 425 artigos encontrados no total, foram incluídos 8 artigos de acordo com os critérios de elegibilidade, sendo 7 estudos transversais e 1 estudo observacional prospectivo de confiabilidade. A maioria incluiu homens e mulheres corredores com idade igual ou acima de 18 anos. Os estudos apresentaram protocolos heterogêneos, devido aos objetivos variados. A maioria realizou corrida na esteira, outras superfícies incluíram campo gramado, pista de atletismo e ao ar livre. O instrumento utilizado para a avaliação da entropia foram sensores inerciais, com posicionamentos variados predominando em lombar e pelve. A aceleração foi a variável mais analisada, nos eixos vertical, mediolateral e anteroposterior. A entropia amostral predominou e os parâmetros mais relatados foram  $m=2$  e  $r=0,2$ . O comportamento da entropia (aumento ou redução) variou entre as condições estudadas. A maioria dos estudos apresentou qualidade metodológica moderada. **Conclusão:** Predomina-se a heterogeneidade dentre os estudos incluídos em como a entropia é medida no contexto da

corrida, principalmente no posicionamento corporal dos sensores e definições de parâmetros, além de itens não relatados.

**Palavras-Chave:** Entropia, Corrida, Complexidade, Dinâmica não linear, Dispositivos eletrônicos Vestíveis.

## ABSTRACT

**Introduction:** Running is a widely practiced sport worldwide, with an injury prevalence of 36.5%. Injuries have been viewed as a complex phenomenon, requiring appropriate assessment tools such as entropy. Running movement can be measured using inertial sensors and analyzed through entropy; however, methodological variations among studies hinder comparability and practical application. **Objective:** To investigate the use of inertial sensors in the assessment of entropy in runners. **Methods:** A systematic review including cross-sectional and prospective observational reliability studies addressing entropy analysis in running using inertial sensors in adult runners. Searches were conducted in the PubMed, Web of Science, Scopus, Embase databases and on the website connectedpapers.com. The variables collected included study characteristics (authors, year of publication, sample, study design), objectives, methods, running surface, instrument used, sensor placement, measured variable, type of entropy, entropy analysis parameters, and entropy analysis results. Risk of bias was assessed using the Joanna Briggs Institute (JBI) Critical Appraisal Tool for Analytical Cross-Sectional Studies. **Results:** Of the 425 articles initially identified, 8 met the eligibility criteria, comprising 7 cross-sectional studies and 1 prospective observational reliability study. Most included male and female runners aged 18 years or older. The studies showed heterogeneous protocols due to varying objectives. Most assessments were performed on treadmills, while other surfaces included grass fields, athletics tracks, and outdoor environments. Inertial sensors were used for entropy evaluation, with diverse placements, mainly on the lumbar region and pelvis. Acceleration was the most analyzed variable, in the vertical, mediolateral, and anteroposterior axes. Sample entropy was predominant, with parameters most frequently reported as  $m = 2$  and  $r = 0.2$ . Entropy behavior (increase or decrease) varied across study conditions. Most studies presented moderate methodological quality. **Conclusion:** Considerable heterogeneity was observed among the included studies regarding how entropy is measured in the running context, mainly in sensor placement, parameter definitions, and unreported methodological details.

**Keywords:** Entropy, Running, Complexity, Nonlinear Dynamics, Wearable Electronic Devices

## 1. INTRODUÇÃO

A corrida é um dos esportes mais conhecidos e praticados em escala mundial, não sendo apenas estimado como um esporte de alto rendimento, como também, adotado por uma simples prática desportiva por indivíduos que buscam saúde e bem-estar, visto isso, por ser um esporte de fácil implementação, o número de corredores cresce de forma significativa nas últimas décadas (1). Por envolver múltiplos sistemas e adaptações contínuas, o movimento da corrida tem sido reconhecido como um fenômeno complexo, caracterizado por ajustes dinâmicos entre diferentes componentes biomecânicos e neuromusculares (2). Nesse contexto, compreender a organização e a variabilidade do movimento durante a corrida é essencial não apenas para otimizar o desempenho, mas também com o objetivo de reduzir o risco de lesões musculoesqueléticas, cuja prevalência entre corredores é estimada em 36,5% no Brasil (3).

Uma ferramenta utilizada para medir o sinal biológico de sistemas complexos é a entropia, uma medida não linear de rastreamento e avaliação de sinais biológicos (4–6). Estudos realizados em atletas de corrida, baseados na observação da entropia, conseguiram identificar o membro que teria histórico de lesão (7,8) e que a baixa entropia seria associada a menor adaptação da tarefa (9) sendo uma medida sensível para predição de lesões (10). Assim, tendo uma ferramenta que possibilite acompanhar e alertar os corredores sobre possíveis alterações nos sistemas que sejam um alerta à problemas de saúde, pode-se pensar em mais indivíduos encorajados a iniciar ou continuar a prática da corrida.

Pesquisas têm coletado e analisado registros do movimento nas atividades esportivas *indoor* e *outdoor*, a partir de tecnologias vestíveis utilizando sensores inerciais em diferentes partes do corpo, que acompanham o indivíduo ao longo de suas atividades esportivas (11) favorecendo a análise e coleta de dados de forma não invasiva, em tempo real e permitindo uma avaliação detalhada dos aspectos dinâmicos do movimento (12), além de ser possível fazer uma avaliação com registros a longo prazo, permitindo analisar a dinâmica do sistema ao longo do tempo, como medida de rastreamento (13) e com utilização de medidas não lineares, mais adequadas para avaliar um sistema complexo (5).

Diante da observação de estudos que abordam a avaliação e aplicação de métodos de análise não linear do movimento na corrida, vê-se que os artigos adotam variações nas abordagens metodológicas (4,14). São encontradas, diferentes utilizações dos sistemas de análise para quantificar e qualificar a dinâmica do movimento, como entropia amostral, (14,15) ,multiescalar,(4) e de controle (16) além de variações na escolha de variáveis

como velocidade da corrida, (4,14) intervalo da passada,(4,14) posicionamento e aplicação dos sensores inerciais (14,15). A diversidade desses métodos de análise e variáveis avaliadas criam uma falta de homogeneidade e dificultam a comparabilidade entre os estudos existentes, gerando um desafio na obtenção de conclusões sólidas e limitando a aplicabilidade dessas análises no contexto da corrida.

Considerando a ausência de métodos consistentes nas avaliações, surgem desafios que afetam tanto a qualidade da análise realizada por profissionais e pesquisadores, quanto o desejo de atletas e praticantes do esporte que requerem uma boa e eficaz análise, buscando a melhora do desempenho na corrida e prevenção de lesões, tornando crucial a busca por abordagens mais confiáveis e uniformes. Nesse contexto, é fundamental reconhecer a importância de realizar um mapeamento abrangente da literatura, buscando estudos existentes e proporcionando uma base sólida para novas pesquisas e influenciando no direcionamento da padronização de métodos e escolhas de parâmetros que podem fornecer melhores conclusões a respeito da análise de alterações nos sistemas e no movimento da corrida, contribuir para melhores perspectivas de abordagens práticas e clínicas além de promover o avanço da ciência do esporte. Portanto esse estudo tem como objetivo investigar a utilização de sensores inerciais na avaliação da entropia em corredores.

## **2. METODOLOGIA**

A revisão sistemática foi realizada de acordo com a lista de verificação PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis*) (17). O protocolo desta revisão foi registrado na Plataforma PROSPERO, com o registro nº CRD420251058738.

### **2.1 Critérios de Elegibilidade**

Foram selecionados os artigos que apresentaram a entropia como análise principal do sinal biológico. Utilizou-se a estratégia PICO (população: corredores, indicador: uso de sensores inerciais, outcome: avaliação da entropia). A população desses estudos foi composta por indivíduos adultos, maiores de 18 anos e praticantes de corrida. Foram incluídos estudos transversais e observacionais prospectivos de confiabilidade, primários, em inglês, português e espanhol, sem restrição quanto ao ano de publicação, que abordem a análise de entropia na corrida por meio de sensores inerciais.

### **2.2 Fontes de informação**

### *Bases de dados e pesquisa*

Pesquisas bibliográficas foram realizadas no PubMed, Embase, Web of Science e Scopus no intervalo de Maio a Junho de 2025. As palavras-chave utilizadas nas estratégias de busca foram as seguintes: Complexity, Entropy, Running, Run, Jogging, Runner, “Inertial Sensors” Wearable, “Wearable Electronic Devices”, “Wearable inertial sensors”, “Wearable Devices”. As estratégias de busca utilizadas em cada base de dados estão apresentadas em uma tabela.

**Quadro 1. Estratégias de busca por bases de dados, 2025.**

<b>PubMed</b>	<b>Embase</b>	<b>Web of Science</b>	<b>Scopus</b>
((Complexity OR Entropy) AND (Running OR run OR jogging OR Runner)) AND ("Inertial Sensors" OR "Wearable Electronic Devices" OR "Wearable inertial sensors" OR "Wearable Devices" OR "Wearable")	Complexity' OR 'entropy' AND ('Running' OR 'Run' OR 'Jogging' OR 'runner') AND ('Inertial Sensors' OR Wearable OR 'Wearable Electronic Devices' OR 'Wearable inertial sensors' OR 'Wearable Devices')	((ALL= (Complexity OR Entropy)) AND ALL= (Running OR Run OR Jogging OR Runner)) AND ALL= ("Inertial sensors" OR "Wearable electronic devices" OR "Wearable inertial sensors" OR wearable)	(TITLE-ABS-KEY (complexity OR entropy) AND TITLE-ABS-KEY (running OR run OR jogging OR runner ) AND TITLE-ABS-KEY ("Inertial sensors" OR "Wearable electronic devices" OR "Wearable inertial sensors" OR wearable))

### *Fontes de informação adicionais*

Após a seleção dos artigos, foi realizada uma busca manual nas referências dos artigos selecionados para identificar estudos relevantes não encontrados na busca das bases de dados. A inteligência artificial do site Connectedpapers.com (18) também foi utilizada como uma ferramenta de busca complementar, a fim de identificar estudos significativos para o estudo. Uma vez que a métrica da ferramenta é baseada em cocitação e acoplamento bibliográfico, a rede foi construída a partir do artigo mais recente encontrado nas bases de dados.

### **2.3 Seleção de estudo**

O processo de seleção das fontes de evidência incluídas foi conduzido por uma equipe de revisão previamente treinada, composta por dois revisores, selecionados por

deter conhecimento no campo do estudo, especialmente em análise do movimento e sistemas complexos, em caso de divergência um terceiro revisor poderia ser contactado.

A triagem e organização dos estudos foi realizada por meio da plataforma de seleção Rayyan (19). Todos os revisores realizaram de forma independente uma análise criteriosa e equitativa dos estudos, engajando-se posteriormente em discussões construtivas ou comparativas sobre as conclusões, visando assegurar uma triagem eficaz e consistente. O processo de seleção, foi realizado inicialmente com a definição das palavras chaves ideais para a busca, seguindo da realização da seleção dos artigos relevantes encontrados a partir da leitura dos títulos e dos resumos dos artigos e concluindo com uma leitura dos textos na íntegra, avaliando-os e selecionando os que estão dentro dos critérios de elegibilidade.

#### **2.4 Itens de dados**

Os artigos encontrados e incluídos e os dados de exclusão estão apresentados em um fluxograma. O mapeamento dos dados foi realizado de forma individual pelos revisores onde estão incluídos numa tabela e preenchida com as variáveis encontradas nos artigos, sendo esta utilizada para discussão dos resultados de forma interativa entre ambos. As variáveis incluídas na tabela são: Características do estudo incluindo os autores, ano de publicação, amostra, desenho de estudo; objetivos; métodos utilizados, superfície da corrida (esteira, chão, *trail*, asfalto), instrumento utilizado, posicionamento do sensor, variável medida, tipo de entropia, parâmetros da análise da entropia e resultados.

#### **2.5 Avaliação da qualidade metodológica e risco de viés**

Nesta revisão a avaliação da qualidade metodológica dos estudos e o risco de viés foi realizada através da ferramenta de avaliação crítica do JBI (*Joanna Briggs Institute*) para Estudos Transversais Analíticos (20) avaliando a clareza dos critérios de inclusão e descrição dos participantes dos estudos, confiabilidade na medição da exposição e desfechos, identificação de fatores de confusão e adequação da análise estatística por meio de três classificações, sim, não e pouco claro. A avaliação da qualidade foi apresentada em um quadro semáforo e complementada por uma síntese descritiva da análise crítica. Na avaliação geral, a qualidade metodológica foi categorizada como baixa, quando o estudo obteve até três respostas sim, moderada quando o estudo obteve de quatro a seis respostas sim e alta quando o estudo atingiu sete ou mais respostas sim (21).

## **2.6 Síntese dos resultados**

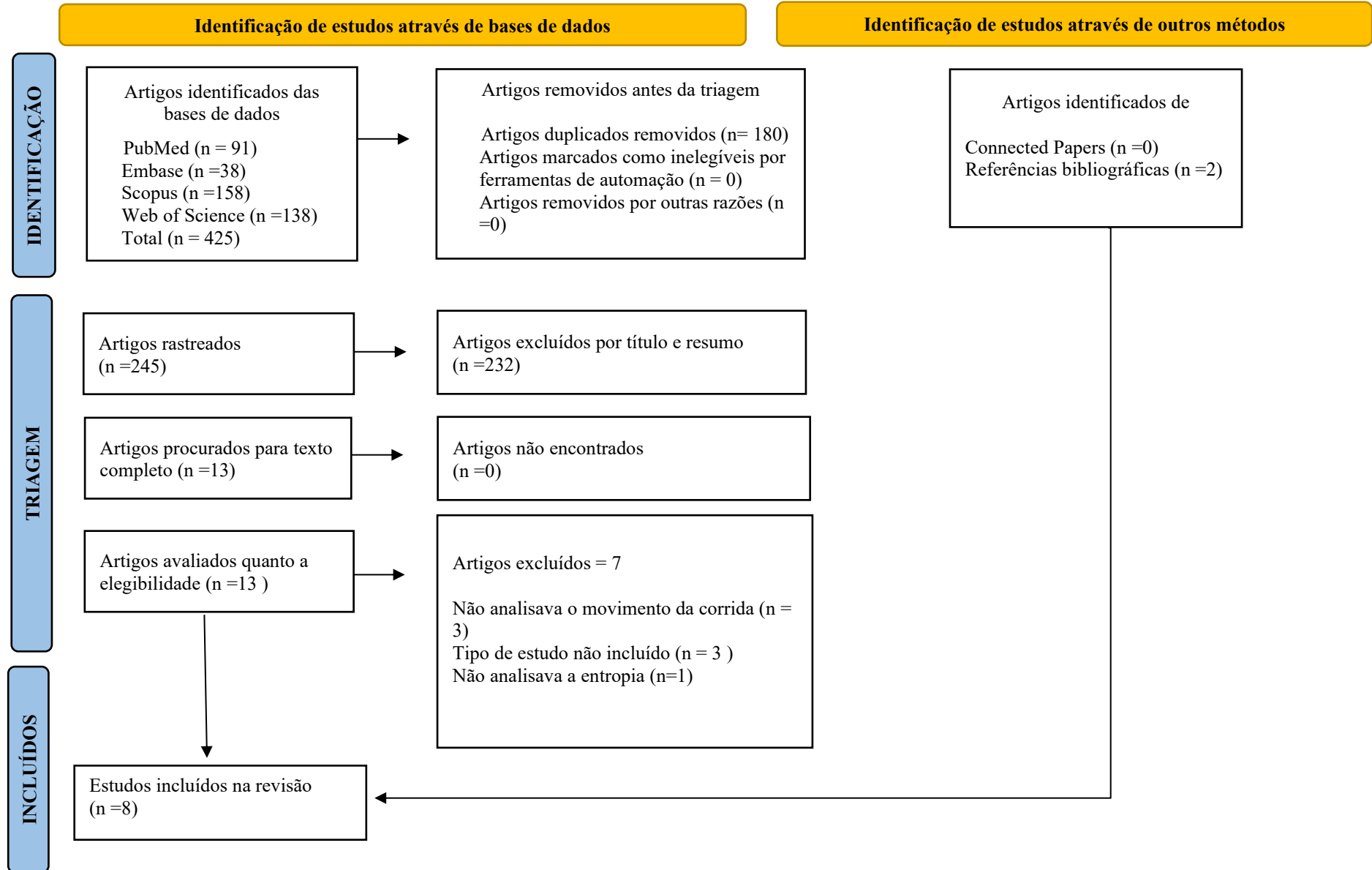
Os resultados estão apresentados em forma de tabela, agrupando os estudos e apresentando a forma de avaliação e os dados obtidos, além de descrever detalhadamente em formato narrativo os resultados encontrados nos estudos e cada variável.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Resultados da busca**

Um total de 425 artigos foram identificados nas bases de dados e 2 artigos da busca da lista de referências bibliográficas, 180 foram removidos por estarem duplicados. Após a triagem de acordo com os critérios de inclusão e exclusão, 8 artigos foram incluídos no estudo (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma PRISMA do processo de seleção dos artigos incluídos, 2025.



### 3.2 Características do estudo e participantes

Como observado na tabela 1, dos 8 estudos, 7 (87,50%)(16,22–27) são estudos observacionais transversais e 1 (12,50%) (28) é observacional prospectivo de confiabilidade. O período de publicação dos estudos incluídos é de 2009 a 2025. A maioria dos estudos incluíam homens e mulheres corredores (7 estudos - 87,5%) (22–28), e apenas 1 (12,5%) estudo incluiu apenas homens (16). Todos os estudos incluíram participantes com idade  $\geq 18$  anos. Em 62,5% dos estudos, as amostras variaram de 16 a 30 participantes (16,22–24,27,28) sendo o mínimo de participantes incluídos num estudo foi 3 (25) e o máximo 64 (26). Dos artigos que mencionaram o nível de corrida dos participantes (n=6, 75%), dois estudos incluíram somente corredores recreativos (24,28) um apenas corredores competitivos (16) e os outros corredores recreativos e competitivos (22).

### 3.3 Abordagens metodológicas dos estudos

O protocolo de coleta de dados se mostrou heterogêneo devido aos objetivos variados dos estudos, no entanto, apresentam algumas características em comum. A **tabela 1** resume os métodos utilizados no momento de registro de dados do movimento da corrida. Em relação à superfície da corrida, a maioria dos estudos (n=5, 62,5%) utilizou a esteira (16,22,24,27,28). Desses, 3 aplicaram uma inclinação de 1% para simular a corrida em asfalto (16,22,23). Outras superfícies incluíram corrida em um campo oval gramado(25), pista de atletismo de 400m (24) e ao ar livre ( trilha e rua) (26). Um estudo contemplou os dois ambientes ( ao ar livre e esteira) (27).

O posicionamento corporal dos sensores inerciais variou entre os estudos, com maior frequência no tronco (n=6,75%) e foco em região lombar. Um estudo posicionou o sensor apenas na pelve (entre as EIPS) (22), na lombar (interseção dos planos sagital e axial na parte posterior do corpo, alinhado com o topo da crista ilíaca) (16), na 3º vértebra lombar (23) e no tênis de corrida (26). Outros estudos utilizaram mais de um sensor em diferentes regiões em seus métodos. Um estudo usou na região de 3º e 5º vértebra lombar e na tíbia (24), outro posicionou os sensores nas laterais do joelho e do tornozelo (25), outro estudo usou os sensores sobre o sacro e no cadarço dos tênis de corrida (28) e outro estudo na 3º e 5º vértebras lombares (27). O instrumento utilizado para a avaliação da entropia de todos os estudos foram sensores inerciais, sendo dois estudos utilizando Unidades de Medida Inercial (IMU) (22,28), enquanto os outros 6 estudos utilizaram Acelerômetros Tri-axiais (16,23–27). A taxa de amostragem varia entre os estudos, sendo

de 100 Hz a 1125 Hz, embora 200 Hz tenha se repetido em dois estudos com autores diferentes (22,28).

Dentre as variáveis medidas nos estudos, a aceleração foi a mais analisada no contexto de entropia, aparecendo em 7 artigos (87,5%) (16,22–25,27,28). Nesses estudos, a aceleração foi medida nos três eixos principais: vertical (VT), mediolateral (ML) e anteroposterior (AP), e em alguns estudos ( $n=3$ , 37,5%) a aceleração resultante dos três eixos também foi medida (16,22,28). Um estudo mediu o tempo de contato de cada passo a partir dos dados do acelerômetro, criando uma série temporal do tempo do passo e a entropia foi medida a partir disso (26). Outras variáveis da marcha e parâmetros biomecânicos não medidos com a entropia foram analisados, de acordo com o objetivo da pesquisa, como medidas de  $Vo_2$  máximo (23), tempo de passada (28), comprimento da passada (26), regularidade do passo e passada, deslocamento médio (27).

O tipo de entropia predominante ( $n=5$ , 62,5%) é a Entropia Amostral (SampEn) (22–24,27,28) embora outros estudos utilizem a Entropia Máxima (25), a Entropia de Controle (16) e a Entropia Aproximada (ApEn) (26) na análise do movimento da corrida. Dentre os estudos apenas 2 (25%) relataram todos os parâmetros utilizados nas análises da entropia, o valor de  $m$ ,  $r$  e o tamanho da série temporal (23,27). Estes utilizaram  $m=2$  e  $r=0,2$ , e o tamanho da série variou entre 7115 (23) e de 2700 a 3300 (27). Os outros estudos, relataram um ou outro parâmetro utilizado. 1 estudo (37,5%) relatou somente o tamanho da série, sendo uma série de dados com no mínimo 3.400 pontos (22). Os que especificaram somente os valores de  $m$  e  $r$ , utilizaram  $m=2$  e  $r=0,2$  (24),  $m=2, 3, 4$  e  $r=0,10, 0,15, 0,20, 0,25, 0,30$  (28),  $m=2$  e  $r=0,1 \times SD$  dos dados de série temporal (26). Um estudo especificou somente o valor de  $r=0,5$  (16) e o estudo de Einicke *et al.*, 2018 (25) não relatou os parâmetros utilizados.

### **3.4 Resultados obtidos da entropia**

Os resultados expressam um comportamento da entropia variado, de acordo com as particularidades metodológicas de cada estudo, o aumento ou redução se mostra sensível a condições específicas como a fadiga e a presença de lesões. Dimmick *et al.*, 2022 (22) investigou alterações biomecânicas por fadiga na corrida, observou um aumento na entropia da aceleração vertical e resultante além da redução da aceleração mediolateral. Schütte *et al.*, 2018 (23) explorou a relação entre estabilidade dinâmica e economia da corrida, o resultado indica que a entropia amostral da aceleração mediolateral explica 2,0% adicionais da variação da economia da corrida, quando as

acelerações não foram filtradas. Em outro estudo, Schütte *et al.*,2018 (24) investigou a influência da fadiga da corrida e do Estresse Tibial Medial (MTSS) na carga e estabilidade dinâmica, encontrando uma redução da entropia amostral mediolateral no grupo com lesão a partir de 2km de corrida.

Einicke *et al.*,2018 (25) analisou o início da fadiga para investigar deterioração da dinâmica do joelho e tornozelo durante a corrida. O estudo demonstrou ser possível inferir a distância percorrida e a energia gasta por um corredor com um erro médio de 15%, observando que o início da fadiga parece ser mais distinto para corredores com maior massa corporal. Ben. D.M. Jones *et al.*,2025 (28) analisou a confiabilidade de medidas de variabilidade e identificou que as acelerações mediolateral e resultante exibiram confiabilidade relativa moderada a boa e as acelerações anteroposterior e vertical confiabilidade relativa baixa a moderada.

Alexandra F. DeJong Lempke *et al.*,2021 (26) observou que a entropia aproximada no grupo de corredores com dor na parte inferior da perna relacionada ao exercício físico (ERLLP) foi maior que no grupo de corredores saudáveis ao identificar características biomecânicas em corredores com ERLLP. Schütte *et al.*,2015 (27) ao observar desvios no movimento dinâmico do centro de massa por fadiga induzida pela corrida, identificou que a entropia amostral da aceleração anteroposterior aumentou significativamente. McGregor *et al.*, 2009 (16) utilizou a entropia para obter insights sobre restrições de controle presentes em corredores, identificando que no início durante a caminhada exibiu uma entropia de controle crescente até uma corrida de 8km/h. Durante a corrida, apresentou diminuição da entropia em todos os eixos (mediolateral, anteroposterior e vertical) e uma diminuição ainda maior na exaustão.

**Tabela 1. Principais aspectos dos estudos considerados para avaliação da entropia de corredores utilizando sensores inerciais, 2025.**

<b>Autor/Ano</b>	<b>Amostra</b>	<b>Objetivos/ Desenho de estudo</b>	<b>Método utilizado/ Superfície da corrida</b>	<b>Instrumento utilizado</b>	<b>Posicioname nto do sensor</b>	<b>Variável medida</b>	<b>Tipo de entropia</b>	<b>Parâmetros de análise da entropia</b>	<b>Resultado</b>
Hannah L. Dimmick <i>et al.</i> , 2022	Homens e mulheres entre 18 e 45 anos, corredores treinados de forma recreativa e competitiva  n =16	<b>Primário:</b> determinar a confiabilidade das características do IMU comumente derivadas e usadas para a detecção de alterações biomecânicas na fadiga da corrida em esteira. <b>Secundário:</b> determinar se os ajustes na velocidade de corrida em torno do limite do MLSS afetam	Todos os corredores realizaram o teste inicial para identificar a velocidade constante necessária para atingir o MLSS ( <i>Maximum Lactate Steady State</i> ). O protocolo utilizado para definir a velocidade foi o SRS ( <i>Self-Regulated Speed protocol</i> ). Foram realizadas em velocidades de esteira 5% acima da velocidade MLSS e 5%	<b>IMU tri-axial</b> (Blue Trident, Vicon)  <b>Taxa de amostragem</b> : 1125 Hz	Entre as EIPS com a borda superior do sensor posicionada em uma linha coincidente com o aspecto inferior da crista ilíaca	<b>Aceleração:</b> Nos eixos vertical, vt; mediolateral ml; Anteroposterior AP;  <b>Resultante</b> dos três eixos RES;	Entropia Amostral (SampEn)	<b>Parâmetros:</b> não relatados  <b>Tamanho da série:</b> Série de dados com no mínimo 3.400 pontos correspondendo a uma cadência de 180 passos por minuto, com abordagem baseada no ciclo de marcha	Efeitos da fadiga na corrida:  <b>Aceleração VT:</b> Aumento da entropia (p =0,001)  <b>Aceleração Resultante:</b> Aumento da SampEn (p=0,017)  <b>Aceleração ML:</b> Redução da SampEn ( p <0,001)  <b>Aceleração AP:</b> Sem alteração (p= 0,136)

		as medidas de confiabilidade	abaixo da velocidade MLSS.						
		<b>Desenho de estudo:</b> Estudo Transversal	<b>Superfície da corrida:</b> Esteira com inclinação de 1%						
Kurt H Schütte <i>et al.</i> , 2018	Homens e mulheres corredores recreacionais a moderadamente treinados, com idades entre 19 e 26 anos. Sem histórico de lesão por 6 meses antes do estudo  n=30	Testar a hipótese do custo da instabilidade e a relação entre a estabilidade dinâmica do tronco e a economia de corrida utilizando medidas derivadas de acelerometria tri-axial vestível em tronco  <b>Desenho de estudo:</b>	Teste incremental máximo realizado até a exaustão voluntária, com aquecimento de 4 minutos na velocidade inicial (2,22 ou 2,5 m/s) e aumento da velocidade: incrementos de 0,42 m/s a cada 4 minutos com pausa de 1 minuto entre os estágios até a exaustão voluntária.	<b>Acelerômetro tri-axial</b>  (Shimmer3, Dublin, Irlanda)  <b>Taxa de amostragem</b> : 1024 Hz	Sobre o processo espinhoso L3	<b>Estabilidade e dinâmica da corrida:</b>  <b>Aceleração:</b> Nos eixos vertical, mediolateral e anteroposterior  <b>Economia de corrida:</b> Medidas de VO2 máximo que não foram	Entropia Amostral (SampEn)	<b>Parâmetros:</b> m=2 r=0.2  <b>Tamanho da série:</b> 7115 amostras de aceleração (20 passos estabilizaram os valores de entropia num intervalo de tempo de 6.9 segundos)	A entropia amostral das acelerações do tronco ML, explicou 2,0% adicionais da economia de corrida ( $P < 0,05$ ) quando as acelerações foram deixadas sem filtragem.

		Estudo transversal	<b>Superfície da corrida:</b> Esteira com 1% de inclinação			analisadas através da Entropia.			
Kurt H Schütte <i>et al.</i> , 2018	Homens e mulheres corredores recreativos adultos jovens de 19 a 22 anos, com histórico de lesão de MTSS e sem qualquer histórico de lesão por sobrecarga.  n=30	Determinar a influência da fadiga da corrida ao ar livre e do MTSS na carga dinâmica e na estabilidade dinâmica derivadas da acelerometria do tronco e da tibia.  <b>Desenho de estudo:</b> Estudo transversal	Foi realizado aquecimento antes do início da coleta.  Os participantes realizaram uma corrida fatigante de esforço máximo contínuo de 3200 m. Tempos parciais por volta (n voltas = 8) foram registrados e usados para calcular as velocidades médias de corrida por volta.	<b>Acelerômetros triaxiais</b> (X50-2, Gulf Coast Data Concepts, MS)  <b>Taxa de amostragem</b> :  1024 Hz	<b>Para a medida de estabilidade dinâmica (entropia):</b>  Um segundo acelerômetro sobre o processo espinhoso L3-L5 da região lombar  <b>Para a medida de carga dinâmica:</b>  Um acelerômetro no aspecto	<b>Aceleração:</b> Nos eixos Vertical, Mediolateral, Anteroposterior	Entropia Amostral (SampEn)	<b>Parâmetros:</b> m=2 r=0.2  <b>Tamanho da série:</b> Não relatado	A entropia amostral mediolateral:  Redução significativa (p <0,05) do valor da entropia no grupo com lesão a partir de 2km.  Valor da entropia sem mudanças no grupo sem lesão (p >0,05).

					anteromedial da tibia direita, especificamente 0,08 m proximal ao maléolo medial.				
			<b>Avaliação da fadiga antes e após cada volta (n=8):</b> escala BORG de 6 a 20						
			<b>Superfície da corrida:</b> Pista de atletismo sintética de 400m						
Garry A. Einicke <i>et al.</i> , 2018	Homens e mulheres de 27 a 59 anos, autores do estudo, foram voluntários.  n=3	Calcular características biomecânicas a partir dos dados do sensor para classificar o início da fadiga e investigar a deterioração da dinâmica do joelho e tornozelo durante a corrida	Não foi realizado nenhum exercício de aquecimento.  Os pesquisadores correram 11 voltas - 5 km, por 25 minutos. A cada volta parava por alguns segundos para beber água.	<b>Acelerômetro triaxial</b> (MMA7260 QT)  <b>Taxa de amostragem</b> : 100hz	Laterais do joelho e tornozelo direitos	<b>Aceleração:</b> nos eixos X (mediolateral), Y (vertical), Z (anterior-posterior).	Entropia máxima	Taxa de entropia máxima	Foi possível inferir a distância percorrida e a energia gasta por um corredor com um erro médio de 15%

**Desenho de estudo:**

Estudo transversal

Etapa 1 de treinamento: O indivíduo corre duas ou mais vezes para as características serem calculadas e registradas.

Etapa 2 de classificação: O indivíduo corre novamente e suas características do acelerômetro são comparadas com as anteriores.

**Superfície da corrida:** Campo oval gramado

Ben. D.M. Jones <i>et al.</i> , 2025	Homens e mulheres, (idade $40.8 \pm 14.1$ ), corredores recreativos que correm $\geq 2$ vezes por semana, capazes de correr 10km, sem lesão musculoesquelética 3 meses anteriores.	Investigar a confiabilidade entre dias das medidas de variabilidade quando aplicadas a dois sinais de alta ordem medidos por um dispositivo vestível: tempos de passada, usando CV e DFA, e acelerações sacrais, usando entropia amostral.	Os participantes realizaram um aquecimento de 8 minutos em velocidade auto selecionada. Realizaram 6 testes em velocidades relativas à velocidade de preferência (VP) na distância de 5km: Teste 1- VP Teste 2 -75% da VP Teste 3 - 85% da VP Teste 4 - 95% da VP Testes 5 - 75% da VP e -5% de inclinação	<b>IMU RunScribe Blue plus™</b> (Scribe Labs, Moss Beach, CA, USA) <b>Taxa de amostragem</b> : 500 Hz <b>RunScribe Red</b> <b>Taxa de amostragem</b> : 200Hz	Suporte de cadaço nos tênis de corrida esquerdo e direito e na cintura sobre o sacro	<b>Tempo de passada:</b> DFA- $\alpha$ do tempo de passada <b>Entropia amostral:</b> Aceleração nos eixos mediolateral, antero-posterior, vertical. Resultante	Entropia Amostral (SampEn)	m = {2, 3, 4} r = {0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30} <b>Tamanho da série:</b> Não relatado	As acelerações sacrais vertical e resultante exibiram a maior regularidade para qualquer pareamento fixo de $m$ e $r$ . <b>As acelerações mediolateral e resultante</b> exibiram confiabilidade relativa moderada a boa para todas as combinações de $m$ e $r$ (ICC: 0.638 a 0.779 e ICC: 0.641 a 0.798, respectivamente) <b>Acelerações anteroposterior e vertical</b> exibiram confiabilidade relativa baixa a moderada para todas as
--------------------------------------	--	--	---	--	--	---	----------------------------	---	---

Teste 6 - 75% da VP e +5% de inclinação.

Tiveram de 2 a 10 min de recuperação entre os testes.

A coleta foi realizada até completar 550 passadas registradas, excluindo 15s no início e no fim. Os participantes retornaram 7 dias depois para repetir.

**Superfície da corrida:** Esteira

combinações de  $m$  e  $r$  (ICC: 0.491 a 0.593 e ICC: 0.420 a 0.610, respectivamente)

Alexandra F. DeJong	Homens e mulheres de 18 a 45 anos,	<b>Objetivo primário:</b> Identificar	Realizaram uma corrida ao ar livre por 2.688	<b>Acelerômetro triaxial</b> (RunScribe	Calcanhares do tênis de corrida	<b>Entropia Aproximada:</b>	Entropia aproximada	<b>Parâmetros:</b> $m = 2$ , $r = 0.1 \times SD$	A entropia aproximada no grupo ERLLP foi
---------------------	------------------------------------	---------------------------------------	--	---	---------------------------------	-----------------------------	---------------------	--	--

Lempke <i>et al.</i> , 2021	corredores ( $\geq 3x$ /semana), com dor anteromedial/lateral na perna (EVA 20–80 mm) e corredores saudáveis sem dor (grupo controle) $n=64$	características biomecânicas definidoras em corredores com ERLLP em comparação com corredores saudáveis durante períodos típicos de corrida ao ar livre. <b>Secundário:</b> Avaliar a variabilidade passo a passo das principais características biomecânicas comparando corredores com ERLLP a corredores saudáveis.	metros para calibração do sensor. Utilizaram os sensores cada vez que corresse por mais de uma semana, com o mesmo tênis, registrando todos os detalhes (data, duração, distância, ritmo, tipo de treino e nível de dor antes, durante e após a corrida)	<b>TM Plus</b> Sensors, Half Moon Bay, CA, USA)  <b>Taxa de amostragem</b> : 200 Hz	Tempo de contato - variabilidade do tempo de contato.	dos dados da série temporal  <b>Tamanho da série:</b> Não relatado	maior que no grupo saudável. (MD = 0,10; IC = 0,07, 0,13; F = 6,29, $p = 0,01$ ).  diferença média, intervalo de confiança e ritmo da passada
-----------------------------	--	--	--	---	---	--	---

**Final:**  
Identificar limiares de alterações

biomecânicas em corredores com ERLLP para gerar recomendações objetivas para intervenções de treinamento de marcha.

**Desenho de estudo:**

Estudo Transversal

Kurt H. Schütte <i>et al.</i> ,2015	Homens e mulheres corredores com idades entre 18 e 25 corresse pelo menos 10 km por semana e tivessem experiência variada, de iniciante a competitivo.	Detectar desvios no movimento dinâmico do centro de massa (CoM) devido à fadiga induzida pela corrida usando acelerometria	Teste em dois dias: dia 1 os participantes realizaram uma corrida de 3,2 km com esforço máximo em uma pista ao ar livre, com tempo cronometrado para determinar velocidade média individual	<b>Acelerômetro triaxial</b> (X16-2, Gulf Coast Data Concepts, MS) <b>Taxa de amostragem</b> : 400 Hz	Sobre o processo espinhoso L3-L5	<b>Entropia amostral:</b> Aceleração: Nos eixos vertical, mediolateral e anteroposterior.	Entropia amostral ( SampEn)	<b>Parâmetros:</b> m=2 e r=0,2  <b>Tamanho da série:</b> 20 passos consecutivos (sequência de dados típica entre 2700 a 3300 pontos de dados)	A entropia amostral das acelerações aumentou significativamente e na direção anteroposterior. p<0,001
-------------------------------------	--	--	---	---	----------------------------------	---	-----------------------------	---	---

n=20

de tronco  
triaxial.

**Desenho de  
estudo:**

Estudo  
Transversal

para ser usado  
como parâmetro  
de referência.

Dia 2: corrida  
até a exaustão na  
esteira, em  
velocidade  
equivalente à  
média da corrida  
do dia 1 ou  
quando o critério  
de término fosse  
alcançado  
(pontuação  
BORG de pelo  
menos 17/20)  
com tempo entre  
os dias de  
mínimo de 7  
dias, máximo de  
10 dias.

Participantes  
usaram calçado  
padronizado:

Asics Gel  
Landreth 7.

Analisando o  
Pré-fadiga  
(últimos 10s dos  
primeiros 2min)  
e Fadiga

(últimos 10s  
antes do  
término)  
**Superfície da  
corrida:**Pista ao  
ar livre e Esteira

Stephen J. McGregor <i>et al.</i> , 2009	Homens corredores da Divisão Intercolegial 1 da NCAA entre 19-24 anos. <b>n=7</b>	Utilizar a análise de EC do sinal HRA contínuo obtido em uma faixa de velocidades em corredores altamente treinados durante a locomção em esteira, em um esforço para obter insights sobre as restrições de controle presentes nesta população.	Realizaram dois testes com intervalo de no mínimo 6 dias entre eles, foi realizado exercícios contínuos e incrementais. Nos dois testes, os indivíduos permaneceram em pé por 2 minutos antes de caminhar para estabelecer uma medida basal para a determinação da EC. Iniciaram o teste com uma caminhada a 2km/h e a	<b>Acelerômetr o MEMS triaxial</b> (ADXL210, G-link Node Microstrain, Inc., VT. ) <b>Taxa de amostragem</b> : 625 Hz	Intersecção dos planos sagital e axial na parte posterior do corpo, alinhado com o topo da crista ilíaca	<b>Aceleração:</b> nos eixos Vertical, Mediolateral , Anteroposter ior <b>Resultante</b> dos três eixos RES;	Entropia de Controle	r= 0,5  m= não especificado  <b>Tamanho da série:</b> Não relatado	A entropia de controle diminuiu em todos os eixos ( VERT, ML e AP) com o aumento da velocidade.          Na exaustão a entropia de controle foi menor em todos os eixos (VERT, ML e AP) em relação ao início da corrida.
---	---	---	--	--	--	---	-------------------------	--	---

**Desenho de estudo:** velocidade foi aumentada em 2k/h a cada 2 minutos até a exaustão voluntária.

Estudo Transversal

Os indivíduos compareceram ao laboratório no dia do teste após se absterem de exercícios extenuantes, álcool e cafeína por 24 horas antes do dia do teste e jejuarem por 3 horas.

**Superfície da corrida:** Esteira com inclinação de 1%

**Legenda:** **EIPS:** Espinhas ilíacas posteriores superiores; **ERLLP:** Dor na parte inferior da perna relacionada ao exercício físico; **HRA:** Acelerômetro de Alta Resolução; **MLSS:**Maximal lactate steady state (Estado Estacionário Máximo de Lactato); **MTSS:** Síndrome do estresse tibial medial; **SRS:** Step-Ramp-Step.

### 3.3 Avaliação crítica do JBI

A maioria dos estudos apresentou qualidade metodológica moderada (22–24,27,28), dois foram considerados de baixa qualidade (16,25) e apenas um estudo foi classificado como de alta qualidade (26), (quadro 1). Na avaliação do quesito 1 (critérios de elegibilidade), sete artigos contemplaram este critério. Somente Einicke *et al.*, 201 (25) não. A descrição do processo de recrutamento como parte do Q2, foi contemplada nos estudos de Lempke *et al.*,2021(26), Schütte *et al.*,2015 (27) e McGregor *et al.*, 2009 (16). A clareza na descrição dos métodos de mensuração da exposição e sua padronização (Q3, Q4) foram observadas em 7 dos 8 estudos.(16,22–24,26–28). Um dos principais pontos de fragilidade metodológica foi a ausência de identificação e estratégias para controle dos fatores de confusão (Q5, Q6), sendo esse aspecto apresentado apenas no estudo de Lempke *et al.*,2021 (26). A mensuração dos desfechos de forma válida e confiável (Q7), apresentou variação entre os estudos, sendo a maioria classificado como “pouco claro” devido à falta de informações suficientes para uma avaliação mais precisa.

Cabe destacar nesse quesito que, o estudo de Hannah L. Dimmick *et al.*, 2022 (22) não filtrou os dados de aceleração, mantendo os sinais brutos para a criação de recursos e não descreveu de maneira clara os parâmetros específicos e necessários para o cálculo da entropia, assim como, os estudos de Schütte *et al.*,2018 (24) e Einicke *et al.*,2017(25). Esse quesito foi amplamente contemplado pelos estudos de Ben. D.M. Jones *et al.*,2025 (28), Lempke *et al.*,2021(26), Schütte *et al.*,2015 (27), McGregor *et al.*, 2009 (16). De maneira geral, a maioria dos estudos utilizou uma análise estatística adequada para os objetivos propostos, sendo estes os estudos de Dimmick *et al.*, 2022 (22), Schütte *et al.*,2018 (23), Schütte *et al.*,2017 (24), Jones *et al.*,2025 (28), Lempke *et al.*,2021(26) e Schütte *et al.*,2015 (27). Apenas os estudos de McGregor *et al.*, 2009 (16) e Einicke *et al.*,2018 (25) não contemplaram uma análise estatística adequada.

**Quadro 2. Apresentação por meio de gráfico em semáforo acerca da avaliação metodológica dos estudos inseridos, 2025.**

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	AValiação GERAL
Hannah L. Dimmick <i>et al.</i> , 2022									MODERADA
Kurt H Schütte <i>et al.</i> ,2018									MODERADA
Kurt H Schütte <i>et al.</i> ,2018									MODERADA
Garry A. Einicke <i>et al.</i> ,2018									BAIXA
Ben. D.M. Jones <i>et al.</i> ,2025									MODERADA
Alexandra F. DeJong Lempke <i>et al.</i> ,2021									ALTA
Kurt H. Schütte <i>et al.</i> ,2015									MODERADA
Stephen J. McGregor <i>et al.</i> , 2009									BAIXA

Q1: Os critérios de inclusão na amostra foram claramente definidos?

Q2: Os sujeitos do estudo e o cenário foram descritos em detalhes?

Q3: A exposição foi medida de forma válida e confiável?

Q4: Critérios objetivos e padronizados foram utilizados para mensuração da condição?

Q5: Fatores de confusão foram identificados?

Q6: Estratégias para lidar com fatores de confusão foram declaradas?

Q7: Os desfechos foram medidos de forma válida e confiável?

Q8: Foi utilizada análise estatística apropriada?

LEGENDA: SIM NÃO POUCO CLARO

#### 4. DISCUSSÃO

A entropia é uma medida reconhecida por sua relevância na análise do comportamento de sistemas dinâmicos (4,6,15,16,29), o qual pode ser medido através de sensores inerciais. Os estudos analisados nesta revisão apresentaram heterogeneidade metodológica (falta de padronização nas metodologias de coleta de dados e na análise das variáveis), dificultando a comparabilidade entre os estudos. Além disso, a entropia apresenta comportamento sensível ao movimento da corrida em diferentes condições, como fadiga, alterações biomecânicas e identificação de presença de lesões.

A entropia amostral (SampEn) foi a mais frequente entre as avaliações, refletindo a preferência por uma ferramenta recorrente na análise de sistemas complexos, em desfechos como equilíbrio postural e análises cinemáticas de captura tridimensional (4,5,8). Quando comparada à entropia aproximada (ApEn), a entropia amostral apresenta maior consistência e menor dependência do comprimento de dados, fornecendo uma avaliação mais precisa da regularidade das séries temporais, especialmente em amostras menores (29).

Em estudos de biomecânica, a dificuldade de obter grandes volumes de dados torna a SampEn adequada para análise de movimentos na corrida. A entropia multiescalar (MSE) embora mais indicada por avaliar o sinal em múltiplas escalas (6), não foi utilizada nos estudos encontrados, possivelmente devido ao tamanho extenso da série temporal necessária para essa análise (o artigo original do método relata um mínimo de 20000 pontos) ou por desconhecimento da medida. Recomenda-se que quando possível seja utilizada a MSE para as análises, mas se o tamanho da série temporal for pequeno, usar a SampEN (6).

A ausência do relato de parâmetros de entrada importantes utilizados para o cálculo da entropia foi evidenciada em alguns estudos. A entropia amostral (SampEn) e a entropia aproximada (ApEn) requerem três parâmetros de entrada para medir a regularidade de um sistema: o comprimento ou dimensão ( $m$ ), a tolerância ( $r$ ), e o tamanho da série temporal ( $N$ ). Estes influenciam diretamente a sensibilidade da entropia para detectar mudanças na estabilidade dinâmica do movimento (30,31). A ausência de padronização desses parâmetros compromete a reprodutibilidade e comparabilidade dos estudos. Esses dados são reconhecidos e utilizados na literatura e apesar de não existir uma diretriz a respeito dos valores a serem utilizados, existem recomendações em outras áreas para aplicação, sendo  $m=1$  ou  $2$ ,  $r$  entre  $0,1$  e  $0,25 \times$  o desvio padrão dos dados (30). Dessa forma, maior parte dos artigos que relataram os parâmetros, adotaram estes valores recomendados.

O ambiente e a superfície de corrida nos estudos variaram entre *indoor e outdoor*. Alguns optaram pela esteira, visando maior controle experimental, enquanto outros utilizaram o asfalto, ambiente habitual dos corredores. Comparações indicam que a corrida em esteira tende a gerar valores mais altos e maior variabilidade biomecânica em certos parâmetros quando comparada ao solo, ressaltando a importância de considerar a superfície ao investigar estabilidade dinâmica e entropia (32). Por impor velocidade constante e superfície uniforme, a esteira reduz a variabilidade da passada, resultando em menor entropia (movimento mais regular e previsível). Já a corrida outdoor, com velocidade auto-selecionada e adaptações a variações ambientais, aumenta a entropia (movimento menos regular e menos previsível), refletindo melhor as condições reais da corrida (33). Para minimizar essas diferenças, alguns estudos acrescentaram inclinação de 1% na esteira, aproximando as demandas metabólicas e biomecânicas das condições outdoor.

Uma limitação observada nos estudos foi o número reduzido de participantes e a variação no nível de treinamento, estando entre recreativos, competitivos, mistos ou não especificado. Essa diversidade pode afetar a interpretação dos resultados, já que o nível de corrida se relaciona a diferenças comportamentais, como resposta à fadiga, variabilidade da passada e cadência. Corredores recreativos tendem a maior irregularidade e menor economia do movimento, enquanto competitivos apresentam padrões mais estáveis e com menor variabilidade (34). Assim, em estudos sobre fadiga ou economia de corrida a mistura de níveis pode introduzir vieses e dificultar comparações. Já em pesquisas clínicas, como as que analisam dor ou lesões, o nível de corrida tem papel secundário frente ao fator clínico avaliado.

Os tipos de sensores inerciais apresentados foram a Unidade de Medida Inercial (IMU) e o Acelerômetro tri-axial, sendo este, o mais utilizado. Estes estudos restringiram a análise da entropia à aceleração linear nos eixos vertical, anteroposterior, mediolateral, a resultante dos três eixos e o tempo de contato, o que indica que os diferentes dispositivos foram utilizados de forma semelhante. Os acelerômetros triaxiais apresentam boa validade e confiabilidade na mensuração de padrões de movimento com aceleração, sendo amplamente utilizada devido a um menor custo e simplicidade operacional (35,36). O uso do acelerômetro limita a obtenção de informações mais complexas sobre o movimento, uma vez que não oferece medidas de rotação e orientação segmentar, nesse sentido, a IMU ao integrar o acelerômetro, giroscópio e em alguns casos, o magnetômetro, permite melhores estimativas, ampliando a validade da análise cinemática (37). Desta forma recomenda-se utilizar preferencialmente a IMU para análises do movimento.

A região mais utilizada para colocação dos sensores foi o tronco, especialmente a área sacral/lombar, por estar próxima ao centro de massa (CoM) e favorecer a mensuração das acelerações dinâmicas do corpo. Estudos com esse posicionamento dos sensores detectaram desvios no movimento do CoM decorrentes da fadiga induzida pela corrida (27). Sensores nas extremidades (tíbia, tornozelo e calçado) captam parâmetros de carga mecânica, picos de aceleração, tempo de contato e impacto relacionado a lesões por estresse. A combinação desses posicionamentos potencializa a análise da corrida, integrando controle postural global e demandas mecânicas localizadas (24).

Estudos apontam que o uso em extremidades apresenta alta variabilidade dos sinais por fatores intrínsecos e extrínsecos, comprometendo a confiabilidade dos dados. Hunter *et al.*, 2023, apontam que essa variação dificulta conclusões sólidas sobre a sensibilidade ideal das variáveis frente a mudanças como velocidade e fadiga (5). Assim, recomenda-se definir o posicionamento conforme o objetivo do estudo, utilizando regiões próximas ao centro de massa (tronco) para medidas globais e extremidades para avaliar sobrecarga mecânica. Protocolos combinados podem fornecer uma análise mais completa da biomecânica da corrida, integrando diferentes aspectos do movimento.

A escolha da frequência de amostragem é crucial nas análises biomecânicas. Os estudos incluídos mostraram ampla variação, de 100 Hz a 1125 Hz. Fernández-Valdés *et al.*, 2024, evidenciam que a frequência influencia diretamente os valores de entropia e aceleração: medições a 100 Hz apresentaram entropia amostral e aproximada maiores, com sinais mais irregulares e menos precisos que com 1000 Hz. Em esportes como a corrida, baixas frequências podem gerar erros interpretativos, reforçando a necessidade de padronização entre 250 Hz e 1000 Hz para garantir a precisão dos resultados da entropia (38).

Dentre as limitações identificadas, a busca restrita a quatro bases de dados pode ter reduzido a abrangência dos estudos encontrados. A ferramenta utilizada para a avaliação da qualidade metodológica escolhida (JBI) pode não ser totalmente adequada a estudos observacionais prospectivos de confiabilidade, devido a especificações desse desenho de estudo. A inclusão apenas de artigos em inglês, português e espanhol embora sejam os idiomas mais comuns na área, também constitui uma limitação. Os achados desta revisão destacam o potencial dos sensores inerciais e das medidas de entropia na análise da corrida e do movimento humano, reforçando a importância de metodologias padronizadas e reproduzíveis para aprimorar as avaliações biomecânicas, o monitoramento de desempenho e prevenção de lesões em corredores.

## 5. CONCLUSÃO

Esta revisão evidenciou que há bastante heterogeneidade metodológica entre as pesquisas realizadas, principalmente no posicionamento corporal dos sensores e definição de parâmetros, não havendo padronização dos valores de entrada do algoritmo de entropia, além da ausência da descrição dos parâmetros utilizados o que compromete comparabilidade nos estudos. A variável que se mostrou mais reprodutível foi o tipo de entropia, sendo a entropia amostral a mais frequentemente utilizada dentre os estudos. Além disso, a entropia, mensurada por meio de sensores inerciais, é uma medida sensível para capturar o comportamento dinâmico do movimento da corrida sob diferentes condições. A diversidade da amostra em relação ao nível de treinamento também mostrou ser uma limitação. A qualidade metodológica dos estudos foi moderada e os principais vieses foram a descrição inadequada do local, amostra e indicação e controle dos fatores de confusão. É importante ter diretrizes metodológicas para realização deste tipo de análise e o uso de checklists para relato apropriado dos parâmetros necessários para reprodutibilidade.

Apesar da variação metodológica observada nos estudos alguns padrões se mostraram mais consistentes e podem orientar a prática clínica e aos pesquisadores em futuras análises do movimento. O posicionamento dos sensores aplicado de acordo com o objetivo da avaliação decidindo entre extremidades ou região lombar, os parâmetros mais comuns foram  $m=1$  ou  $2$ ,  $r$  entre  $0,1$  e  $0,25$  x o desvio padrão dos dados, sendo estes os recomendados pela literatura. IMU mais adequada para análises mais detalhadas, a entropia amostral sendo a mais recorrente, a frequência (taxa de amostragem) dos sensores sendo recomendada entre 250–1000 Hz.

### **Contribuição dos autores**

DMC e APQ contribuíram para o conceito da revisão. DMC conduziu a busca, DMC, APQ e BTG realizaram a triagem dos estudos e avaliaram a qualidade metodológica e risco de viés dos estudos. DMC extraiu os dados com apoio de APQ. DMC, APQ e BTG analisaram os dados. DMC Redigiu a maior parte do texto com apoio, revisões e aprovação final de todos os autores.

### **Financiamento**

Esse trabalho contou com o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública (EBMSP) em Salvador- Bahia, Brasil.

### **Conflito de interesse**

Nenhum conflito de interesse foi relatado entre os autores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lopes AD, Junior LCH, Yeung SS, Costa LOP. What are the Main Running-Related Musculoskeletal Injuries? *Sports Med.* 2012;
2. Bittencourt NFN, Meeuwisse WH, Mendonça LD, Nettel-Aguirre A, Ocarino JM, Fonseca ST. Complex systems approach for sports injuries: moving from risk factor identification to injury pattern recognition—narrative review and new concept. *Br J Sports Med.* novembro de 2016;50(21):1309–14.
3. Borel WP, Elias Filho J, Diz JBM, Moreira PF, Veras PM, Catharino LL, et al. PREVALENCE OF INJURIES IN BRAZILIAN RECREATIONAL STREET RUNNERS: META-ANALYSIS. *Rev Bras Med Esporte.* abril de 2019;25(2):161–7.
4. Yentes JM, Raffalt PC. Entropy Analysis in Gait Research: Methodological Considerations and Recommendations. *Ann Biomed Eng.* março de 2021;49(3):979–90.
5. Hunter B, Karsten B, Greenhalgh A, Burnley M, Muniz-Pumares D. The Application of non-linear methods to quantify changes to movement dynamics during running: A scoping review. *J Sports Sci.* março de 2023;41(5):481–94.
6. Costa M, Goldberger AL, Peng CK. Multiscale entropy analysis of biological signals. *Phys Rev E.* 18 de fevereiro de 2005;71(2):021906.
7. Georgoulis AD, Moraiti C, Ristanis S, Stergiou N. A Novel Approach to Measure Variability in the Anterior Cruciate Ligament Deficient Knee During Walking: The Use of the Approximate Entropy in Orthopaedics. *J Clin Monit Comput.* 10 de abril de 2006;20(1):11–8.
8. Quirino J, Santos TRT, Okai-Nóbrega LA, De Araújo PA, Carvalho R, Ocarino JDM, et al. Runners with a history of injury have greater lower limb movement regularity than runners without a history of injury. *Sports Biomech.* 14 de junho de 2021;1–13.
9. Terada M, Bowker S, Thomas AC, Pietrosimone B, Hiller CE, Rice MS, et al. Alterations in stride-to-stride variability during walking in individuals with chronic ankle instability. *Hum Mov Sci.* abril de 2015;40:154–62.
10. Aquino MRC, Liddy JJ, Napoli CD, Fonseca ST, Van Emmerik REA, Busa MA. Changes to balance dynamics following a high-intensity run are associated with future injury occurrence in recreational runners. *Front Netw Physiol.* 21 de novembro de 2023;3:1227861.
11. Camomilla V, Bergamini E, Fantozzi S, Vannozzi G. Trends Supporting the In-Field Use of Wearable Inertial Sensors for Sport Performance Evaluation: A Systematic Review. *Sensors.* 15 de março de 2018;18(3):873.
12. Zhang M, Saeed R, Saeed S, Stankovski S, Zhang X. Wearable Technology and Applications: A Systematic Review.
13. Fonseca ST, Souza TR, Verhagen E, Van Emmerik R, Bittencourt NFN, Mendonça LDM, et al. Sports Injury Forecasting and Complexity: A Synergetic Approach. *Sports Med.* outubro de 2020;50(10):1757–70.
14. Hunter B, Greenhalgh A, Karsten B, Burnley M, Muniz-Pumares D. A non-linear analysis of running in the heavy and severe intensity domains. *Eur J Appl Physiol.* maio de 2021;121(5):1297–313.
15. Murray AM, Ryu JH, Sproule J, Turner AP, Graham-Smith P, Cardinale M. A Pilot Study Using Entropy as a Noninvasive Assessment of Running. *Int J Sports Physiol Perform.* setembro de 2017;12(8):1119–22.

16. McGregor SJ, Busa MA, Skufca J, Yaggie JA, Bollt EM. Control entropy identifies differential changes in complexity of walking and running gait patterns with increasing speed in highly trained runners. *Chaos Interdiscip J Nonlinear Sci*. 1º de junho de 2009;19(2):026109.
17. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 29 de março de 2021;n71.
18. Connected Papers | Find and explore academic papers [Internet]. [citado 10 de setembro de 2025]. Disponível em: <https://www.connectedpapers.com/>
19. Rayyan: AI-Powered Systematic Review Management Platform [Internet]. [citado 10 de setembro de 2025]. Disponível em: <https://www.rayyan.ai/>
20. Ferramentas de Avaliação Crítica JBI | JBI [Internet]. [citado 10 de setembro de 2025]. Disponível em: <https://jbi.global/critical-appraisal-tools>
21. SeTIC-UFSC. RISCO DE VIÉS EM REVISÕES SISTEMÁTICAS: GUIA PRÁTICO (COBE/UFSC) [Internet]. [citado 11 de setembro de 2025]. Disponível em: <https://guiariscodeviescobe.paginas.ufsc.br/capitulo-11-analise-da-qualidade-metodologica-de-estudos-observacionais-coorte-caso-controle-e-transversal-com-as-ferramentas-do-joanna-briggs-institute-jbi/>
22. Dimmick HL, Van Rassel CR, MacInnis MJ, Ferber R. Between-Day Reliability of Commonly Used IMU Features during a Fatiguing Run and the Effect of Speed. *Sensors*. 29 de maio de 2022;22(11):4129.
23. Schütte KH, Sackey S, Venter R, Vanwanseele B. Energy cost of running instability evaluated with wearable trunk accelerometry. *J Appl Physiol*. 1º de fevereiro de 2018;124(2):462–72.
24. Schütte KH, Seerden S, Venter R, Vanwanseele B. Influence of outdoor running fatigue and medial tibial stress syndrome on accelerometer-based loading and stability. *Gait Posture*. janeiro de 2018;59:222–8.
25. Einicke GA, Sabti HA, Thiel DV, Fernandez M. Maximum-Entropy-Rate Selection of Features for Classifying Changes in Knee and Ankle Dynamics During Running. *IEEE J Biomed Health Inform*. julho de 2018;22(4):1097–103.
26. DeJong Lempke AF, Hart JM, Hryvniak DJ, Rodu JS, Hertel J. Use of wearable sensors to identify biomechanical alterations in runners with Exercise-Related lower leg pain. *J Biomech*. setembro de 2021;126:110646.
27. Schütte KH, Maas EA, Exadaktylos V, Berckmans D, Venter RE, Vanwanseele B. Wireless Tri-Axial Trunk Accelerometry Detects Deviations in Dynamic Center of Mass Motion Due to Running-Induced Fatigue. Triche EW, organizador. *PLOS ONE*. 30 de outubro de 2015;10(10):e0141957.
28. Jones B, Wheat J, Middleton K, Carey D, Heller B. Reliability of running gait variability measures calculated from inertial measurement units. *J Biomech*. 2025;180:112515.
29. Richman JS, Moorman JR. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *Am J Physiol-Heart Circ Physiol*. 1º de junho de 2000;278(6):H2039–49.
30. Alcaraz R, Abásolo D, Hornero R, Rieta JJ. Optimal parameters study for sample entropy-based atrial fibrillation organization analysis. *Comput Methods Programs Biomed*. julho de 2010;99(1):124–32.
31. Restrepo JF, Schlotthauer G, Torres ME. Maximum approximate entropy and threshold: A new approach for regularity changes detection. *Phys Stat Mech Its Appl*. setembro de 2014;409:97–109.
32. DeJong Lempke AF, Audet AP, Wasserman MG, Melvin AC, Soldes K, Heithoff E, et al. Biomechanical differences and variability during sustained motorized treadmill running versus outdoor overground running using wearable sensors. *J Biomech*. janeiro de 2025;178:112443.

33. Lindsay TR, Noakes TD, McGregor SJ. Effect of Treadmill versus Overground Running on the Structure of Variability of Stride Timing. *Percept Mot Skills*. abril de 2014;118(2):331–46.
34. Nakayama Y, Kudo K, Ohtsuki T. Variability and fluctuation in running gait cycle of trained runners and non-runners. *Gait Posture*. março de 2010;31(3):331–5.
35. Ursel T, Olinski M. Displacement Estimation Based on Optical and Inertial Sensor Fusion. *Sensors*. 17 de fevereiro de 2021;21(4):1390.
36. Encarnación-Martínez A, Pérez-Soriano P, Sanchis-Sanchis R, García-Gallart A, Berenguer-Vidal R. Validity and Reliability of an Instrumented Treadmill with an Accelerometry System for Assessment of Spatio-Temporal Parameters and Impact Transmission. *Sensors*. 4 de março de 2021;21(5):1758.
37. Chow DHK, Tremblay L, Lam CY, Yeung AWY, Cheng WHW, Tse PTW. Comparison between Accelerometer and Gyroscope in Predicting Level-Ground Running Kinematics by Treadmill Running Kinematics Using a Single Wearable Sensor. *Sensors*. 6 de julho de 2021;21(14):4633.
38. Fernández-Valdés B, Jones B, Hendricks S, Weaving D, Ramirez-Lopez C, Whitehead S, et al. Comparison of Mean Values and Entropy in Accelerometry Time Series from Two Microtechnology Sensors Recorded at 100 vs. 1000 Hz During Cumulative Tackles in Young Elite Rugby League Players. *Sensors*. 11 de dezembro de 2024;24(24):7910.