

SIMULAÇÕES DE DESEMPENHOS NO SALTO EM DISTÂNCIA

EVERTON, Adriana Nunes da Fonseca¹; CARVALHO JUNIOR, Sergio²; BRITO, Diogo de Freitas^{3,4,5}; BARRETO, Ana Cristina Lopes y Glória³; BRASIL, Roxana Macedo⁶; JUNIOR, Homero da Silva Nahum^{3,7}

Resumo

O objetivo foi desenvolver simulações de desempenho na disciplina salto em distância, considerando atletas homens nas classificações comum, elite e medalhista olímpico. As estimativas foram realizadas com a linguagem R 4.4.3. Os modelos demonstraram, mantida a ordem dos esportistas, a conquista das seguintes distâncias 1,58 m, 2,86 m e 6,31 m. Podendo, o medalhista alcançar 8,18 m, marca condizente com o pódio olímpico. Concluiu-se que as simulações seriam adequadas à compreensão e melhoria de desempenho dos atletas.

Palavras-chave: Desporto. Desempenho. Atleta. Física. Biomecânica.

Abstract

The objective was to develop performance simulations in the long jump discipline, considering male athletes in the common, elite, and Olympic medallist classifications. The estimates were performed using the R 4.4.3 programming language. The models demonstrated, maintaining the order of the athletes, the achievement of the following distances: 1.58 m, 2.86 m, and 6.31 m. The medallist could reach 8.18 m, a mark consistent with the Olympic podium. It was concluded that the simulations would be adequate for understanding and improving the athletes' performance.

Keywords: Sports. Performance. Athlete. Physics. Biomechanics.

Introdução

O movimento balístico ou oblíquo, densamente descrito pela mecânica newtoniana, combinaria o Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) no eixo horizontal e Movimento Uniformemente Variado (MUV) na vertical, resultando em trajetória parabólica quando um corpo (ou objeto) fosse lançado/arremessado ao ar, sobre ação da resistência desse e, predominantemente, da gravidade (Okuno, Caldas e Chow, 1986). Dessa forma, a trajetória

¹ Profissional de Educação Física da Adriana Nunes Consultoria de Corrida;

² Pesquisador convidado Bidesa;

³ Docentes do Curso de Educação Física do Centro Universitário Celso Lisboa;

⁴ Docente do Curso de Gestão Desportiva e do Lazer do Centro Universitário Celso Lisboa;

⁵ Consultor Iceberg Business Academy;

⁶ Docente Ph.D. em Educação Física;

⁷ Docente da Escola de Saúde da Universidade Cândido Mendes.

dependeria do ângulo de lançamento em relação à horizontal ($0^\circ < \theta < 90^\circ$); no MRU, o corpo se deslocaria em linha reta e com aceleração nula, portanto, a velocidade seria constante, culminando em tempos iguais para percorrer distâncias iguais; no MUV, a aceleração seria constante e não nula, logo, ocorreria mudanças graduais e constantes na velocidade no domínio tempo, assim, em tempos iguais, as distâncias percorridas seriam distintas, considerando o movimento balístico a aceleração seria a gravidade, a qual diminuiria a velocidade na subida e a aumentaria na descida; e o ponto mais alta da trajetória seria aquele no qual a velocidade vertical fosse nula, sem alteração da componente horizontal (Halliday, Resnick e Walker, 2012).

Os conceitos apresentados revelariam que o movimento balístico seria lugar-comum no contexto desportivo, o qual não recepcionaria modalidades de academia, portanto, modelos matemáticos, especificamente utilizando a função quadrática, permitiriam a análise de movimento, quantificando ângulo de lançamento, velocidade inicial e ponto ótimo de desempenho (Brancazio, 1985; De Mestre, 1990; Watkins, 2007). No basquete, o arremesso deveria ser, em geral, executado em $45,00^\circ \pm 2,00^\circ$ com altura suficiente para superar a defesa, pois, se for demasiada, a velocidade será excessiva pela maior força aplicada, comprometendo a precisão. Dado que o movimento de punho seria alterado ou a mão colocada atrás da bola e não embaixo, mitigando a consistência do arremesso e elevando a instabilidade mecânica. Além disso, aumentaria a margem de erro da distância, particularmente na fase descendente da bola, como consequência do ângulo entre 50° e 55° aplicado, o que aumentaria a velocidade vertical na descida, favorecendo o toque no aro e desvio para fora da cesta. No arremesso ideal, esse risco reduziria, também, com a aplicação de rotação para trás, essa reduziria a velocidade da bola na possibilidade de toque no aro, elevando a chance de marcação de pontos (Hamilton e Reinschmidt, 1997; Tran e Silverberg, 2008).

No futebol, o chute parabólico, também, teria requisitaria o ângulo de 45° , todavia, haveria dependência do ponto almejado pelo atleta e da velocidade inicial, essa seria de $20,50 \text{ m/s} \pm 1,50 \text{ m/s}$ ($73,80 \text{ km/h} \pm 5,40 \text{ km/h}$), podendo alcançar $27,78 \text{ m/s}$ ($100,00 \text{ km/h}$). Porque, os membros inferiores conseguiriam gerar de $50,00\%$ a $10,00\%$ mais força, comparativamente aos membros superiores, como consequência de maiores volumes e densidades musculares de quadríceps e glúteos em relação a bíceps, tríceps e deltoides. Evolutivamente, os membros inferiores se adaptaram para melhor sustentar o peso corporal e realizar atividades de elevado impacto, por exemplo, saltar e correr. Paralelamente, os

superiores foram desenvolvidos à versatilidade e motricidade fina, não obstante a menor força, deteriam maiores agilidade e precisão. Valeria considerar que, a execução de chute curvo alteraria a trajetória parabólica, pois o efeito Magnus se apresentaria, ou seja, o efeito giratório imposto à bola proporcionaria uma força lateral, levando a diferenças de velocidade e pressão do ar (fluido) em torno daquela, em outras palavras, o fluxo de ar seria mais rápido de um lado, curvando a trajetória significativamente (Carré *et al.*, 2002; Bray e Kerwin, 2003). Esse fenômeno seguiria o Princípio de Bernoulli, quanto mais rápido o fluxo do ar, menor a pressão, então, o giro da bola seria de um lado na direção do fluxo de ar, aumentando a velocidade desse, e do outro, contra, reduzindo a velocidade do fluido (Fernández, Aponte e Restrepo, 2015; Rosa, 2022). Isso ocorreria em modalidades como tênis (Ghisleni, 2015), tênis de mesa (Mendes e Teixeira, 2024), beisebol e golfe (Almeida e Silva, 2015), e voleibol (Junior, 2016), dentre outros.

Nas disciplinas de salto, especificamente, em altura e com vara, independentemente da trajetória de corrida, o objetivo mecânico seria maximizar a conversão da energia potencial cinética (horizontal = corrida $\rightarrow E_c = \frac{m.v^2}{2}$) em energia potencial gravitacional (vertical = altura $\rightarrow E_g = m.g.h$). A modalidade com vara haveria a contribuição da energia potencial elástica (dobra da vara $\rightarrow E_e = \frac{k.x^2}{2}$), na altura conquistada. Enquanto, na outra disciplina, essa possibilidade residiria no conjunto de tendões, cuja a magnitude disponibilizada tenderia à nulidade, por conseguinte, a contribuição seria insignificante (Linthorne, 2001; Arampatzis *et al.*, 2001). Em suma, a análise matemática instrumentalizaria equipe técnica e atleta, decompondo a complexidade mecânica requisitada, assim possibilitando ajustes para a melhoria de desempenho (Watkins, 2007). Tendo a tecnologia apresentada como rosa dos ventos, objetivou-se simular o desempenho na disciplina salto em distância.

Metodologia

Considerando atletas comum, elite (olímpico não medalhista) e medalhista olímpico, e tendo por base o movimento balístico, estimadas foram as variáveis impulso, velocidade inicial, componentes horizontal e vertical, altura máxima e distância horizontal. As simulações consideraram estatura, massa corporal e comprimento de membros inferiores (MMII) para homens (Quadro I), gerando um banco de dados com os resultados. Tomando

a aceleração da gravidade como $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Para tanto, utilizada foi a linguagem de programação R 4.4.3 (R Core Team, 2025).

Quadro I: Características Antropométricas dos Atletas.

Atleta	Massa Corporal, kg	Estatura, m	Comprimento MMII, m
Comum	77,90	1,87	0,96
Elite	75,00	1,85	1,00
Medalhista Olímpico	74,00	1,83	1,02

Fonte: Os Autores (2026).

Resultados e Discussão

Convencionou-se que o centro de massa, ponto geométrico da posição média da massa corporal, estaria localizado à 56,00% da estatura, dado que as simulações considerariam atletas masculinos (Cappello, Lafortuna e Minetti, 1991). Inicialmente, estabeleceu-se que o impulso (Impulso do Empurrão, Fase de Impulsão ou Fase de Chamada) dependeria do comprimento de membros inferiores, tempo de ação da força média, e da capacidade de produção força, o que determinaria a velocidade inicial (Amadio e Serrão, 2020). Essas suposições seriam razoáveis, dado que, comumente, quanto maior fosse a alavanca, maior seria o impulso proporcionado. O atleta comum teria o ângulo de decolagem de $20,00^\circ$, portanto, teria por desempenho as Velocidade Inicial = 4,91 m/s, Altura Máxima = 1,19 m, Tempo Total de Voo = 0,34 s e Distância Horizontal = 1,58 m (Quadro II), assumindo que a capacidade de gerar força e o tempo de ação da força seriam, respectivamente, 2,50x e $\Delta t = 0,20 \text{ s}$.

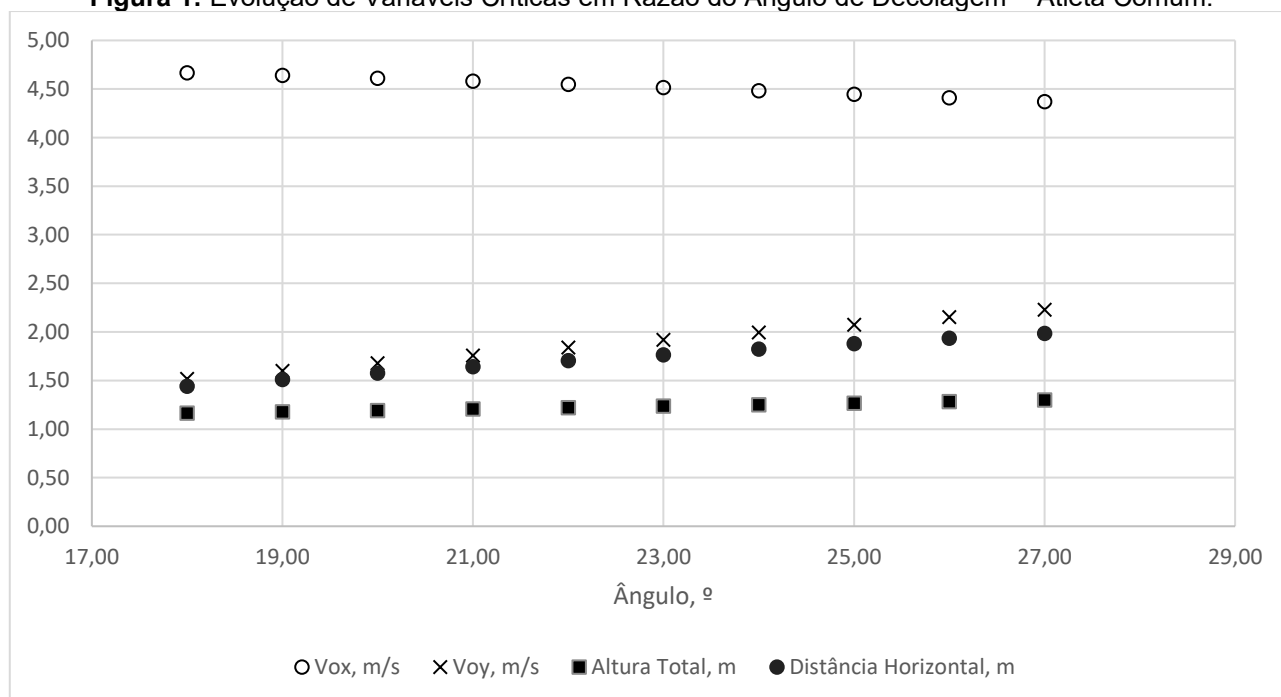
Atletas competitivos apresentariam velocidades iniciais entre 8,00 m/s e 10 m/s, e alturas de decolagens adequados, porque, se o ângulo de impulsão fosse insuficiente, o tempo de voo seria reduzido, diminuindo o alcance horizontal, geralmente, a angulação empregada estaria no intervalo de $18,00^\circ$ a $27,00^\circ$, desde que houvesse preservação da velocidade horizontal (Ritzdorf, 1998; Moura, Moura e Borin, 2005; Moura *et al.*, 2021). Para o atleta corrente, aquela variação angular representaria distâncias horizontais, aproximadamente, entre 1,44 m e 1,98 m, concomitantemente, a velocidades verticais de 1,52 m/s a 2,23 m/s (Figura 1). Em suma, o ajuste angular proporcionaria melhoria de 0,54 m no objetivo da modalidade, desde que os processos de prescrição e controle detivessem adequados planejamentos (Barbanti, 1997; Böhme e Castos, 2016; Dantas Filho, Costa e Santos, 2022; Junior, 2024).

Quadro II: Estimativas de Desempenho para o Atleta Comum.

Variável	Estimativa
Impulso, kg.m/s	$J = F_{média} \cdot \Delta t = (2,50 \cdot 77,90 \cdot 9,81) \cdot 0,20 \approx 382,10$
Velocidade inicial, m/s	$v_0 = \frac{J}{m} = \frac{382,10}{77,90} \approx 4,91$
Componente horizontal da velocidade, m/s	$v_{0x} = 4,91 \cdot \cos 20^\circ \approx 4,61$
Componente vertical da velocidade, m/s	$v_{0y} = 4,91 \cdot \sin 20^\circ \approx 1,68$
Altura parabólica (acima da decolagem), m	$h_{parábola} = \frac{v_{0y}^2}{2 \cdot g} \approx \frac{(1,68)^2}{2 \cdot 9,81} \approx 0,14$
Altura inicial do centro de massa, m	$h_{CM} = 0,56 \cdot 1,87 \approx 1,05$
Altura máxima do solo, m	$h_{máx} = h_{CM} + h_{parábola} \approx 1,05 + 0,14 = 1,19$
Tempo até o ápice, s	$t_{\uparrow} = \frac{v_{0y}}{g} \approx \frac{1,68}{9,81} \approx 0,17$
Tempo total de voo, s	$t_{total} = 2 \cdot t_{\uparrow} \approx 2 \cdot 0,17 \approx 0,34$
Distância horizontal, m	$d = v_{0x} \cdot t_{total} \approx 4,61 \cdot 0,34 \approx 1,58$

Fonte: Os Autores (2026).

Figura 1: Evolução de Variáveis Críticas em Razão do Ângulo de Decolagem – Atleta Comum.



Fonte: Os Autores (2026).

O atleta de elite, não medalhista olímpico, utilizaria 18° como ângulo de decolagem, conseguindo para a impulsão gerar força de, aproximadamente, 3,20x o próprio peso corporal, mantendo o efeito por cerca de 0,22 s. Isso resultaria em Velocidade Inicial = 6,91 m/s, Altura Máxima = 1,27 m, Tempo Total de Voo = 0,44 s e Distância Horizontal = 2,86 m (Quadro III). A comparação dos dois últimos Quadros explicitaria o impacto do treinamento

sistematizado em convergência aos respectivos princípios para iniciar, garantir e orientar as adaptações necessárias, o que, imperativamente, demandaria atenção à seleção do método de periodização (Roschel, Tricoli e Ugrinowitsch, 2011; Böhme e Castos, 2016; Wilmore, Costill e Kenney, 2021). Tais considerações formalizadas seriam nas observações da evolução da distância horizontal em razão do ajuste do ângulo de decolagem (Figura 2), esse quando de 18° restaria em 2,86 m, ao passo que aos 27°, a aterrissagem ocorreria em 3,93 m. No mesmo intervalo, a velocidade horizontal decairia 0,41 m/s ($\Delta V_{ox} \approx 6,15 - 6,57$ m/s), concorrentemente, aos aumentos na vertical e altura máxima, nessa ordem, de 1,00 m/s ($\Delta V_{oy} \approx 3,14 - 2,13$ m/s) e 0,27 m ($\Delta h_{max} \approx 1,54 - 1,27$ m). Esses achados ratificariam a análise biomecânica como prerrogativa para o refinamento do gesto motor, sobretudo no condizente ao ajuste sutil de determinado segmento (Hochmuth, 1967; Romuald e Alain, 2025).

Quadro III: Estimativas de Desempenho para o Atleta de Elite.

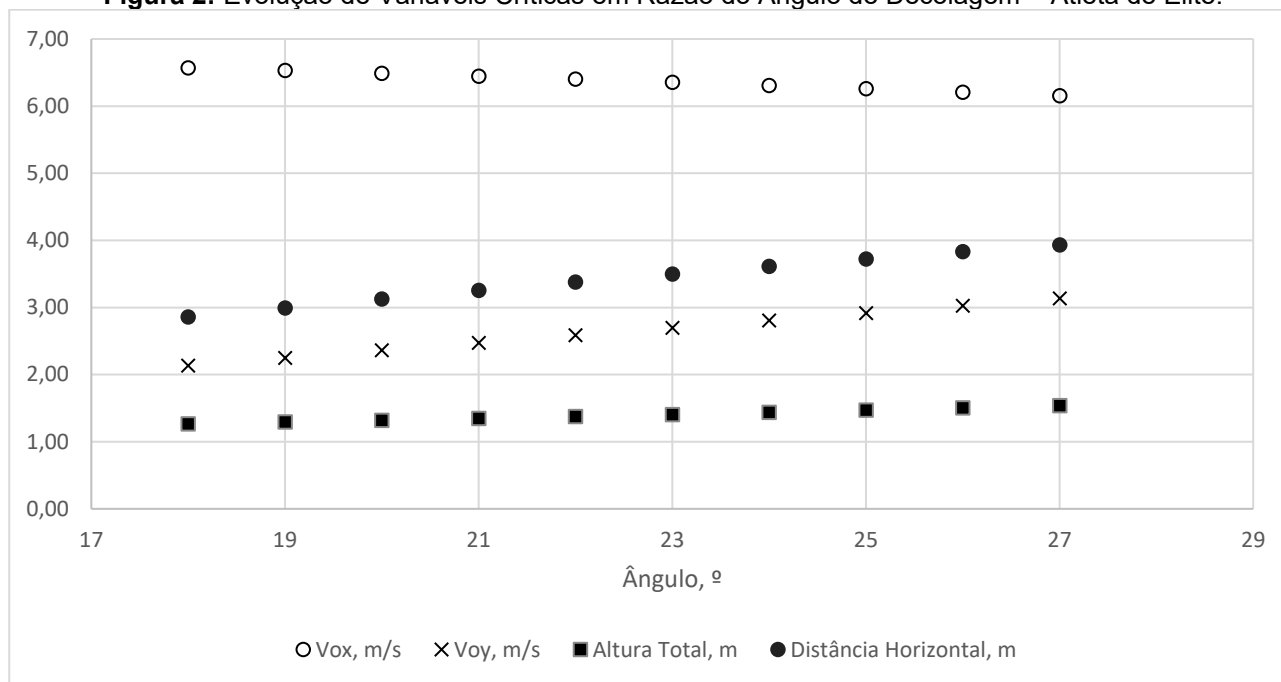
Variável	Estimativa
Impulso, kg.m/s	$J = (3,20 \cdot 75,00 \cdot 9,81) \cdot 0,22 \approx 517,97$
Velocidade inicial, m/s	$v_0 = \frac{517,97}{75,00} \approx 6,91$
Componente horizontal da velocidade, m/s	$v_{0x} = 6,91 \cdot \cos 18^\circ \approx 6,57$
Componente vertical da velocidade, m/s	$v_{0y} = 6,91 \cdot \sin 18^\circ \approx 2,13$
Altura parabólica (acima da decolagem), m	$h_{parábola} = \frac{(6,57)^2}{2 \cdot 9,81} \approx 0,23$
Altura inicial do centro de massa, m	$h_{CM} = 0,56 \cdot 1,87 \approx 1,04$
Altura máxima do solo, m	$h_{máx} = 1,04 + 0,23 = 1,27$
Tempo até o ápice, s	$t_{\uparrow} = \frac{2,13}{9,81} \approx 0,22$
Tempo total de voo, s	$t_{total} = 2 \cdot 0,22 \approx 0,44$
Distância horizontal, m	$d = 6,57 \cdot 0,44 \approx 2,86$

Fonte: Os Autores (2026).

O medalhista olímpico apresentava as menores estatura e massa corporal, associadas ao maior comprimento de membros inferiores (Quadro I), portanto, a princípio, detentor da maior alavanca, o que permitiria gerar superior módulo (magnitude ou intensidade) de força. De outra forma, considerando que o torque ($\tau = F \cdot d$) seria resultante do produto da força (F) pela distância (d) perpendicular ao eixo de rotação (Okuno, Caldas e Chow, 1986; Halliday, Resnick e Walker, 2012), pelas características antropométricas, esse atleta teria melhores resultados. Esses, particularmente, potencializados pela relação

entre o comprimento dos membros inferiores e a estatura e o comprimento de tronco (Tabela 1).

Figura 2: Evolução de Variáveis Críticas em Razão do Ângulo de Decolagem – Atleta de Elite.



Fonte: Os Autores (2026).

Valeria compreender que o centro de gravidade seria o ponto no qual a força peso atuaria, enquanto o centro de massa dependeria da distribuição da matéria do corpo. Esse conceito seria fundamental às estimativas de mecânica e movimento, enquanto o anterior determinaria equilíbrio e estabilidade. Consequência material, membros inferiores maiores em relação ao tronco aumentariam a instabilidade, porque o centro de gravidade estaria mais alto, mesmo que proporcionalmente, mais baixo do que na relação inversa de comprimento (tronco > membros inferiores). Logo, a linha de ação da gravidade poderia sair da base de apoio mais facilmente. As passadas mais largas na corrida de aproximação seriam favorecidas pelo comprimento das pernas e, também, pela maior altura do centro de massa, possibilitando elevação da velocidade. Então, no favorecimento da realização dos movimentos e na estabilidade reduzida, necessário seria maior refino do controle motor, especialmente, superior coordenação para manter 1) o equilíbrio ao longo da corrida, favorecendo a energia potencial cinética; 2) a impulsão, porque o centro de massa favoreceria a projeção horizontal, aumentando o alcance; 3) o controle e os ajustes durante o voo, aspectos facilitados pelo tronco menor. Isso conseguido seria pela ação estabilizadora dos membros superiores, pelos ajustes constantes de postura e precisa

ativação muscular (Gutiérrez Davila, 1998; Ballreich e Baumgartner, 1999; Stecchi, 2004. Grimshaw *et al.*, 2021).

Tabela 1: Relações entre Comprimento de Membros Inferiores e Estatura (MMII.100/Estatura) e Comprimento de Tronco (MMII/[Estatura – MMII]) dos Atletas.

Relações	Comum	Elite	Medalhista Olímpico
%MMII	51,55	54,05	55,74
Relação MMII/Tronco	1,06	1,18	1,26

Fonte: Os Autores (2026).

Associando os comentários realizados com a geração do quádruplo do peso corporal, força sustentada por 0,25 s e ângulo de decolagem de 20°, resultando em Velocidade Inicial = 9,81 m/s, Altura Máxima = 1,59 m, Tempo Total de Voo = 0,68 s e Distância Horizontal = 6,30 m (Quadro III). Refazendo o estudo angular, a velocidade horizontal diminuiria 0,59 m/s ($\Delta V_{ox} \approx 8,74 - 9,33$ m/s), os demais aumentariam, vertical e altura máxima, nessa ordem, de 1,42 m/s ($\Delta V_{oy} \approx 4,45 - 3,03$ m/s) e 0,54 m ($\Delta h_{max} \approx 2,04 - 1,49$ m). Todavia, o principal ganho residiria no objetivo, pois a distância horizontal apresentaria aumento de 2,17 m, partindo de 5,77 m aos 18° e alcançando 7,94 m aos 27° (Figura 3). Essa estimativa ainda estaria abaixo do cenário realista olímpico (o recorde seria de 8,90 m, conquistado por Bob Beamn na Cidade do México em 1968, 2.200 m de altitude e vento = +2,00 m/s; recorde mundial de 8,95 m, conquistado por Mike Powell em Tóquio em 1991, vento = +0,30 m/s), porque, a simulação foi conservadora, considerando o impulso médio simplificado (único) e ignorando a integração com a velocidade de aproximação, perda de velocidade horizontal na tábua, ângulo efetivo de decolagem, posição do centro de massa no movimento e mecânica de aterrissagem, por exemplo. Atletas de alto desempenho tenderiam a 1) manter o componente horizontal da velocidade elevado; e 2) utilizar a tábua para aumentar a velocidade vertical, alargando o tempo de voo e influenciando a distância horizontal conquistada (Ritzdorf, 1998).

À luz do favorecimento comparativo, a velocidade de aproximação foi fixada, $V_{ox} = 9,80$ m/s, e a força gerada para o impulso igual ao dobro do peso corporal de 2,00x, então criou-se os cenários (Quadro V): A) ângulo de decolagem como resultante dos componentes vertical e horizontal da velocidade; e B) ângulo efetivo de 20°. No primeiro caso, a distância alcançada, $d \approx 9,81$ m, não seria realista às características do atleta, porque, o impulso estimado elevou o ângulo de decolagem, $\theta = \arctan\left(\frac{v_{oy}}{v_{ox}}\right) \approx$

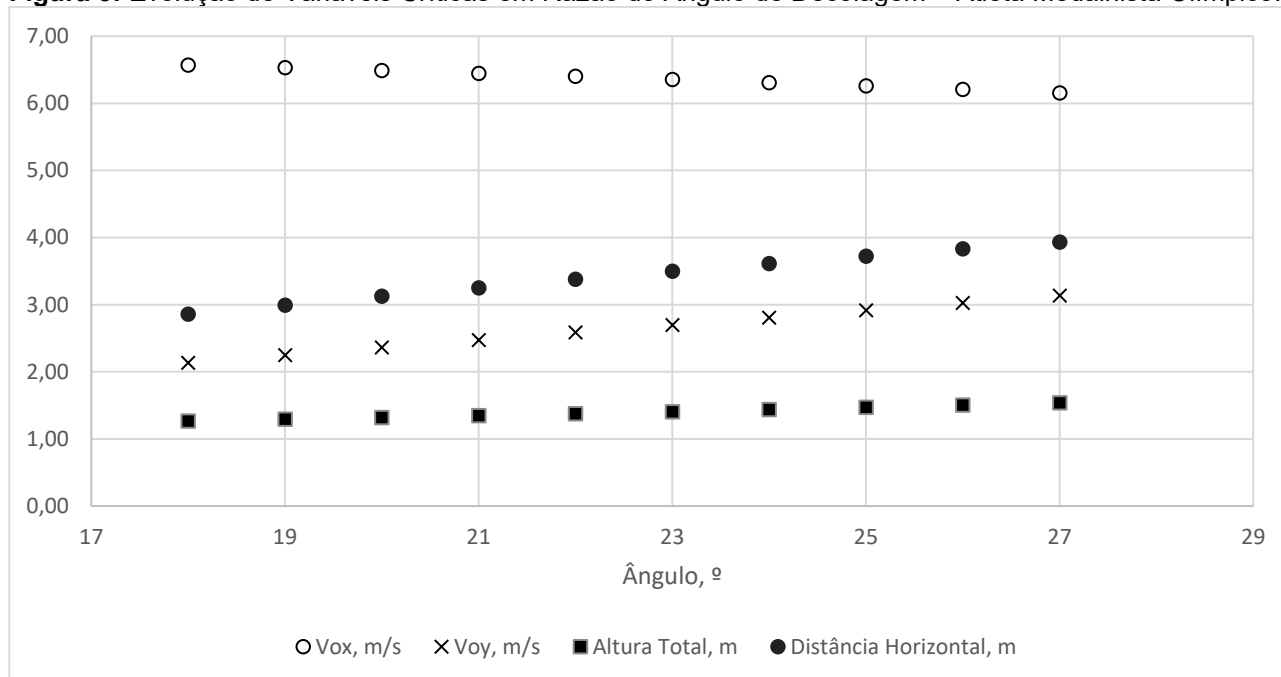
$\arctan\left(\frac{4,91}{9,80}\right) \approx \arctan(0,501) \approx 26,61^\circ$, como consequência da elevada velocidade horizontal, a qual multiplicaria a distância alcançada ($d = V_{ox} \cdot t_{total}$). Em situação real, o ângulo pertenceria ao intervalo $[16,00^\circ; 22,00^\circ]$, pois, sem demasiada perda de V_{ox} , elevar-se-ia V_{oy} .

Quadro IV: Estimativas de Desempenho para o Atleta Medalhista Olímpico.

Variável	Estimativa
Impulso, kg.m/s	$J = (4,00 \cdot 74,00 \cdot 9,81) \cdot 0,25 \approx 725,94$
Velocidade inicial, m/s	$v_0 = \frac{725,94}{74,00} \approx 9,81$
Componente horizontal da velocidade, m/s	$v_{0x} = 9,81 \cdot \cos 20^\circ \approx 9,22$
Componente vertical da velocidade, m/s	$v_{0y} = 9,81 \cdot \sin 20^\circ \approx 3,36$
Altura parabólica (acima da decolagem), m	$h_{parábola} = \frac{(3,36)^2}{2 \cdot 9,81} \approx 0,57$
Altura inicial do centro de massa, m	$h_{CM} = 0,56 \cdot 1,8, \approx 1,02$
Altura máxima do solo, m	$h_{máx} = 1,02 + 0,57 \approx 1,60$
Tempo até o ápice, s	$t_{\uparrow} = \frac{3,36}{9,81} \approx 0,34$
Tempo total de voo, s	$t_{total} = 2 \cdot 0,34 \approx 0,68$
Distância horizontal, m	$d = 9,22 \cdot 0,68 \approx 6,31$

Fonte: Os Autores (2026).

Figura 3: Evolução de Variáveis Críticas em Razão do Ângulo de Decolagem – Atleta Medalhista Olímpico.



Fonte: Os Autores (2026).

No Cenário B, a imposição de ângulo de 20°, determinou mudanças nas estimativas de: 1) componente vertical de velocidade, $v_{0y}^* = v_{0x} \cdot \tan 20^\circ = 9,8 \cdot 0,3640 \approx 3,57$ m/s; 2) impulsão, essa demonstrando dependência da variável anterior, $J_y^* = m \cdot v_{0y}^* = 74 \cdot 3,57 \approx 264,18$ N · s, alterando a estimativa da força média gerada pelo atleta, $F_{m\u00e9dia,y}^* = \frac{J_y^*}{\Delta t} = \frac{264,18}{0,25} \approx 1.056,72$ N, e gerando um fator vertical, Fator vertical = $\frac{F_{m\u00e9dia,y}^*}{m \cdot g} \approx \frac{1056,72}{725,94} \approx 1,46$ s. Isso culminou na perda de desempenho, $d \approx 7,13$ m < 9,81 m, mesmo com impulso, aproximadamente, triplicado. Habitualmente, valores elevados de determinado componente de velocidade seriam acompanhados por reduções no segundo, em razão disso, atletas ol\u00edmpicos tenderiam \u00e0 V_{0x} (m/s) $\in [9,50; 10,50]$. No caso em tela, mantendo $\theta = 20^\circ$ e assumindo, $V_{0x} = 10,50$ m/s, a velocidade vertical e o tempo de voo aumentaria, respectivamente, $v_{0y} = 10,5 \cdot \tan 20^\circ \approx 3,82$ m/s e $t_{total} \approx 2 \cdot 3,82/9,81 \approx 0,78$ s, tornando o desempenho condizente com o torneio ol\u00edmpico, $d \approx 10,5 \cdot 0,779 \approx 8,18$ m.

Quadro V: Estimativas de Desempenho para o Atleta Medalhista Ol\u00edmpico com Cen\u00e1rios de \u00c2ngulos.

Vari\u00e1vel	Cen\u00e1rio A	Cen\u00e1rio B
Impulso, kg.m/s	$J \approx 362,97$	$J \approx 1056,72$
Componente horizontal da velocidade, m/s	$v_{0x} = 9,80$	$v_{0x} = 9,80$
Componente vertical da velocidade, m/s	$v_{0y} \approx 4,91$	$v_{0y} \approx 3,57$
Altura parab\u00f3lica (acima da decolagem), m	$h_{par\u00e1bola} \approx 1,23$	$h_{par\u00e1bola} \approx 0,65$
Altura inicial do centro de massa, m	$h_{CM} \approx 1,02$	$h_{CM} \approx 1,02$
Altura m\u00e1xima do solo, m	$h_{m\u00e1x} \approx 2,25$	$h_{m\u00e1x} \approx 1,67$
Tempo at\u00e9 o \u00e1pice, s	$t_{\uparrow} \approx 0,50$	$t_{\uparrow} \approx 0,36$
Tempo total de voo, s	$t_{total} \approx 1,00$	$t_{total} \approx 0,73$
Dist\u00e2ncia horizontal, m	$d \approx 9,81$	$d \approx 7,13$

Fonte: Os Autores (2026).

Independentemente do n\u00edvel competitivo do atleta, o modelo de trajet\u00f3ria seria aplic\u00e1vel, $y(t) = h_{CM, \text{in\u00edcio}} + v_{0y} t - \frac{1}{2}gt^2, x(t) = v_{0x} t$, portanto, o treinamento deveria ser orientado pela fixa\u00e7\u00e3o de V_{0x} e melhoria de $d(\theta) = v_0 \cos \theta \cdot \frac{2v_0 \sin \theta}{g}$, compulsoriamente, respeitando a depend\u00eancia entre V_0 e θ , isto posto, poss\u00edveis aumentos no seno (θ), acarretariam redu\u00e7\u00f5es no cosseno(θ). Para atletas de elite, v\u00e1lido seria analisar \u00e0 V_{0x} (m/s) $\in [9,50; 10,50]$ e $\theta \in [16,00; 22,00^\circ]$, avaliando V_{0y} , $h_{m\u00e1x}$ e d .

Considerações Finais

Com o objetivo de compreender e melhorar o desempenho no salto em distância, a análise matemática do movimento balístico seria, particularmente, meritosa. Conforme demonstrado pelas simulações os parâmetros da trajetória guardariam correspondência às variáveis de desempenho atlético. Todavia, necessário seria aprimorar o modelo, incluindo a resistência do ar, força do vento e técnica do atleta, por exemplo, todas podendo influenciar o resultado da distância ou modificar a trajetória parabólica.

O estreito da relação entre matemática e ciências desportivas poderia revelar que, para a disciplina estuda, o desempenho atlético poderia ser melhor representado por parabolóide (\mathbb{R}^3) elíptico ou hiperbólico, ou hiperparabolóide (\mathbb{R}^n), hipersuperfície definida por relação quadrática. O emprego de visão computacional poderia fornecer a pormenorização de ajustes posturais nas distintas fases do salto em distância. Assim como, modelos de redes neurais convolucionais poderiam auxiliar o aprimoramento técnico. Em qualquer dos casos, a associação com o modelo matemático tenderia a proporcionar melhoria no desempenho.

Referências

- ALMEIDA, BSG; SILVA, RC. Aerodinâmica de bolas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 3505-1-3505-9, 2015.
- AMADIO, AC; SERRÃO, JC. (Eds.). **Biomecânica**: bases para a análise do movimento humano. São Paulo: Manole, 2020. (Essencial! Capítulos específicos sobre lançamentos e saltos).
- ARAMPATZIS, A *et al.* Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 11, n. 5, p. 355-364, 2001.
- BALLREICH, R; BAUMGARTNER, R. (Hrsg.). **Grundlagen der Biomechanik des Sports**. Stuttgart (Deutschland): Enke, 1999.
- BARBANTI, VJ. **Teoria e prática do treinamento esportivo**. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.
- BÖHME, MTS; CASTOS, FC. (Org.). **Esporte de alto rendimento**. São Paulo: Phorte, 2016.
- BRANCAZIO, PJ. **Sport science**: physical laws and optimum performance. New York (USA): Simon & Schuster, 1985.
- BRAY, K; KERWIN, DG. Modelling the flight of a soccer ball in a direct free kick. **Journal of Sports Sciences**, v. 21, n. 2, p. 75-85, 2003.
- CAPPELLO, A; LAFORTUNA, CL; MINETTI, AE. (a cura di). **Biomeccanica della locomozione umana**. Bologna (Italia): Patron, 1991.
- CARRÉ, MJ *et al.* The curve kick of a football I: impact with the foot. **Sports Engineering**, v. 5, n. 4, p. 183-192, 2002.

DANTAS FILHO, JS; COSTA, FHA; SANTOS, JDM. Análise comparativa da performance muscular entre atletas de atletismo. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, e29111528100, 2022.

DE MESTRE, N. **The mathematics of projectiles in sport**. Cambridge (UK): Cambridge University Press, 1990.

FERNÁNDEZ, J; APONTE, H; VEGA, M. Modelación matemática a través de fenómenos físicos. La proporcionalidad directa y el principio de Bernoulli. **Revista Colombiana de Matemática Educativa**, v. 1, n. 1, p. 348-352, 2015.

GHISLENI, LFP. **Sobre o movimento de uma bola de tênis**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Física) – Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS), 2015.

GRIMSHAW, P *et al.* **Biomécanique du sport et de l'exercice**. Louvain-la-Neuve (Belgique): De Boeck Supérieur, 2021.

GUTIÉRREZ DAVILA, M. **Biomecánica deportiva**. Madrid (España): Síntesis, 1998.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J. **Fundamentos de física - Volume 1 – Mecânica**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HAMILTON, GR; REINSCHMIDT, C. Optimal trajectory for the basketball free throw. **Journal of Sports Sciences**, v. 15, n. 5, p. 491-504, 1997.

HOCHMUTH, G. **Biomechanik sportlicher Bewegungen**. Frankfurt am Main (Deutschland): Verlag, 1967.

JUNIOR, NKM. Análise biomecânica e cinesiológica do saque “Jornada nas Estrelas”. **Revista Observatorio del Deporte**, v. 2, n. 3, p. 69-82, 2016.

JUNIOR, NKM. Periodização esportiva com pico de desempenho. Uma revisão sistemática. **Lecturas: Educación Física y Deportes**, v. 29, n. 312, p. 172-203, 2024.

LINTHORNE, NP. Analysis of standing vertical jumps using a force platform. **American Journal of Physics**, v. 69, n. 11, p. 1198-1204, 2001.

MENDES, AS; TEIXEIRA, RRP. Ensino de física e contextualização a partir dos esportes. **Cadernos de Educação Básica (CEB) Rio de Janeiro**, v. 8, n. 1, p. 121- 138, 2024.

MOURA, NA *et al.* Variáveis do treinamento e desempenho em competição de um jovem atleta do salto em distância-um relato de caso. **RBPFEEX - Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, v. 15, n. 95, p. 82-95, 2021.

MOURA, NA; MOURA, TFP; BORIN, JP. Buscando relações entre velocidade de abordagem e desempenho em saltos horizontais: estudo a partir de atletas de elite do troféu Brasil de atletismo 2003. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 13, n. 3, p. 17-22, 2005.

OKUNO, E; CALDAS, IL; CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra, 1986.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna (Austria): R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RITZDORF, W. (Hrsg.). **Leistungsfördernde Faktoren in den Sprint- und Sprungdisziplinen**. Köln (Deutschland): Sport und Buch Strauss, 1998.

ROMUALD, L; ALAIN, M. **Biomécanique**. Paris (France): Ellipses, 2025.

ROSA, AGC. **Estudo das Equações Diferenciais de Bernoulli e suas aplicações**. Monografia (Especialização em Matemática) – Coordenação de Especialização em Matemática. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Goiânia (GO), 2022.

ROSCHEL, H; TRICOLI, V; UGRINOWITSCH, C. Treinamento físico: considerações práticas e científicas. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 25, n. esp., p. 53-65, 2011

STECCHI, A. **Biomeccanica degli esercizi fisici**. Dalla preparazione atletica sportiva al fitness. Cesena (Italia): Erika, 2004.

TRAN, CM; SILVERBERG, LM. Optimal release conditions for the free throw in men's basketball. **Journal of Sports Sciences**, v. 26, n. 11, p. 1147-1155, 2008.

WATKINS, J. **An introduction to biomechanics of sport and exercise**. London (UK): Churchill Livingstone, 2007.

WILMORE, JH; COSTIL, DL; KENNEY, WL. **Physiologie du sport et de l'exercice**. Louvain-la-Neuve (Belgique): De Boeck Supérieur, 2021.