



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

CINEMÁTICA DAS CORRIDAS:  
ROTEIRO DIDÁTICO PARA OS ALUNOS

José Luiz dos Santos

Material instrucional associado à dissertação  
“Cinemática das Corridas de Atletismo”,  
apresentada no Curso de Mestrado Profissional  
em Ensino de Física da Universidade Federal do  
Rio de Janeiro (2012).

# **Cinemática das Corridas:**

## **Roteiro Didático para os Alunos**

### **I. Introdução**

Muitas vezes nos perguntamos para que aprendemos isso ou aquilo. Ao menos nas aulas de física essa pergunta é muito comum. Não vemos conexão entre o que aprendemos e a sua respectiva utilidade ou aplicabilidade.

Ao iniciarmos os estudos da física, geralmente começamos com os conceitos fundamentais da cinemática, tais como referencial, repouso, movimento, posição deslocamento, instante de tempo, intervalo de tempo, velocidade média, aceleração média, etc. E a pergunta continua, “*para que aprendemos isso*”. Que tal respondê-la com um desafio: a cinemática pode nos ajudar a compreender melhor esportes como as corridas?

Pense nas seguintes questões:

- Qual a velocidade máxima que um ser humano pode atingir?
- A partir de que distância o desgaste físico diminui significativamente a velocidade de um atleta de corridas?
- Qual o tempo perdido na largada das corridas?
- Qual a prova que um atleta deve vencer para ser considerado o homem mais rápido do mundo?

Parece difícil relacionar essas questões aos conceitos estudados na física. Elas estão mais próximas da educação física do que da física (sem educação). Entretanto, essa relação existe e é muito instigante. Como veremos, usando algumas idéias simples de cinemática encontraremos respostas a todas as questões acima.

### **II. Um modelo cinemático para corridas**

Iniciaremos fazendo as seguintes hipóteses sobre uma corrida de velocidade:

- O atleta perde tempo na largada. Esse tempo  $T_L$  é perdido, principalmente, porque o atleta está inicialmente em repouso e necessita acelerar para atingir uma velocidade alta.

- Após a aceleração na largada, a velocidade do atleta fica constante durante o resto da prova. Chamaremos essa velocidade de ‘velocidade de cruzeiro’  $V(D)$ .

Com essas hipóteses, o atleta deve completar a corrida num tempo  $T$  dado por

$$T = D / V(D) + T_L \quad (1)$$

onde  $D$  é a distância da prova.

Vamos fazer uma última hipótese:

- A velocidade de cruzeiro depende da distância da prova. Quanto maior for a distância da prova  $D$ , menor será a velocidade de cruzeiro.

Assim, a velocidade de cruzeiro diminui com a distância da prova da seguinte maneira:

$$V(D) = V_0 / (1 + D / \lambda) \quad (2)$$

Os parâmetros  $V_0$  e  $\lambda$  têm significados importantes:

- $V_0$  é a velocidade máxima que o atleta pode atingir. Ela corresponde à velocidade de cruzeiro a pequenas distâncias ( $D \ll \lambda$ ), para as quais não há desgaste físico.
- $\lambda$  é a distância em que o desgaste físico se torna significativo para o atleta.

### III. Aplicação do modelo aos recordistas mundiais

Vamos aplicar o modelo a corridas com atletas de ponta (recordistas mundiais).

Para tanto vamos substituir (2) em (1), obtendo

$$T = a_2 D^2 + a_1 D + a_0 \quad (3)$$

onde  $a_2 = 1 / (\lambda V_0)$ ,  $a_1 = 1 / V_0$  e  $a_0 = T_L$ .

- Como exercício, obtenha a equação (3) e verifique as relações entre os coeficientes  $a_2$ ,  $a_1$  e  $a_0$  e os parâmetros  $T_L$ ,  $\lambda$  e  $V_0$ .

Para determinar os valores dessas constantes utilizaremos os dados oficiais das provas de 100, 200 e 400 metros rasos, dispostos na tabela 1.

D (m)	T (s)	Recordista	Veloc. média (m/s)
100	9,58	U. Bolt	10,44
200	19,19	U. Bolt	10,42
400	43,18	M. Johnson	9,26

Tabela 1: Recordes mundiais em provas masculinas de curta distância.

Substituindo os valores de  $D$  e  $T$  de cada prova na expressão (3), obtemos um sistema com três equações e três incógnitas. A solução dessas equações é

$$a_2 = 8,0 \times 10^{-5} \text{ s/m}^2,$$

$$a_1 = 0,0723 \text{ s/m},$$

$$a_0 = 1,56 \text{ s}.$$

Como  $\lambda = a_1/a_2$ ,  $V_0 = 1/a_1$  e  $T_L = a_0$ , temos finalmente que

$$V_0 = 13,8 \text{ m/s}, \quad \lambda = 909 \text{ m}, \quad T_L = 1,56 \text{ s}. \quad (4)$$

- Mais um exercício: monte e resolva o sistema de equações, obtendo os valores acima.

Analisando os valores obtidos em (4), encontramos respostas a três das questões iniciais que motivaram o nosso estudo:

- A velocidade máxima que um atleta poderia atingir hoje é da ordem de 14 m/s.
- A distância em que o desgaste físico se torna significativo é de aproximadamente 1000 m.
- O tempo gasto no processo da largada é de 1,6 m/s.

O modelo que desenvolvemos ainda pode nos revelar muitas coisas. Vamos ver algumas previsões que ele faz.

## IV. Previsões do modelo

### *Tempos em provas não-olímpicas*

O nosso modelo fornece uma relação entre os recordes  $T$  e as distâncias  $D$  de suas respectivas provas:

$$T = 8,10^{-5} D^2 + 0,0722 D + 1,56 \quad (5)$$

com  $T$  em segundos e  $D$  em metros,

Essa fórmula nos permite prever o resultado de provas não-tradicionais como as de 60, 150 e 300 metros. Na tabela 2 comparamos os recordes dessas provas com as previsões do modelo ( $T_{\text{mod}}$ ). Vemos que as discrepâncias são pequenas, um resultado significativo dada a simplicidade do modelo.

D (m)	T (s)	$T_{\text{mod}}$ (s)	Desvio percentual (%)
60	6,39	6,18	3%
150	14,35	14,19	1%
300	30,85	30,42	1%

Tabela 2. Comparação entre os recordes previstos pelo modelo ( $T_{\text{mod}}$ ) e os obtidos nas provas de 60, 150, e 300 m.

A figura 1 faz uma comparação gráfica desses resultados. A curva mostra a previsão do modelo (equação (5)) e os círculos representam os recordes das corridas não-olímpicas. Os losangos são as provas olímpicas que foram usadas para determinar os parâmetros do modelo. Vemos novamente que a previsão do modelo está muito próxima dos resultados nas pistas.

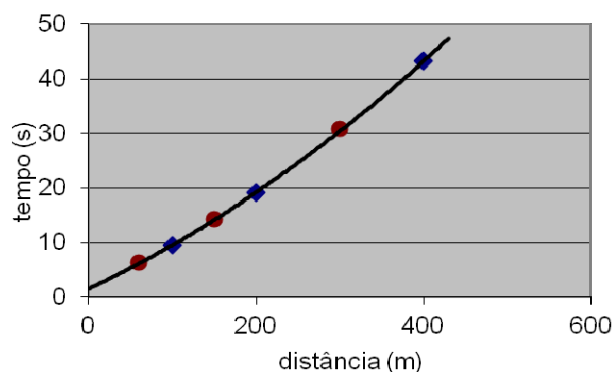


Figura 1. Previsão do modelo cinemático para diferentes distâncias. Os losangos são pontos utilizados para construir o modelo (provas oficiais) e os círculos representam as provas não-oficiais.

- Exercício: Estenda o gráfico da figura 1 para distâncias maiores e determine a partir de que ponto o modelo começa a distanciar-se dos resultados medidos nas competições. Explique por que o modelo não vale para distâncias grandes.

### *O homem mais rápido do mundo*

Qual a prova que um atleta deve vencer para ser considerado o homem mais rápido do mundo? A de 100 m ou 200 m rasos? Para responder a essa questão vamos construir um gráfico da velocidade média em função da distância. Utilizaremos a expressão (5) para construir uma tabela onde estão as distâncias  $D$  das provas, os respectivos tempos  $T$ , e as velocidades médias  $V_m = D/T$

Com base nessa tabela construímos o gráfico  $V_m \times D$  mostrado na figura 2.

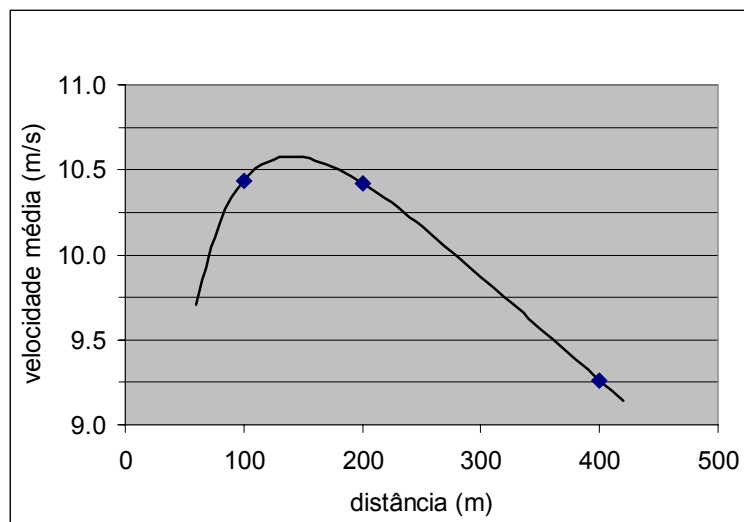


Figura 2. Gráfico das velocidades médias em função das distâncias

Ao analisar a figura 2 (ou a tabela que a gerou) observamos que a velocidade média passa por um máximo entre 100 e 200 m, ou seja, a prova mais rápida do atletismo não a de 100 m nem a de 200 m, cujas velocidades médias são 10,44 m/s e 10,42 m/s, respectivamente. Segundo o modelo, a prova mais rápida do atletismo seria a de 140 m, na qual a velocidade média seria maior que 10,5 m/s. Como essa prova não é corrida em nenhuma competição, a melhor substituta é a de 150 m. O recorde atual dos 150 m é de Usain Bolt, que correu a prova a uma velocidade média de 10,45 m/s. Embora esse resultado seja menor que a previsão do modelo, essa é a maior velocidade média já registrada numa prova de atletismo, o que confirma nossa previsão.

## V. Para os alunos realizarem

### *Mãos na massa*

Como sugestão, você pode aplicar o modelo a outras categorias de atletas, tais como recordistas mundiais femininas, sul-americanos, juvenis, etc. Você e seus colegas também podem medir os tempos uns dos outros em três distâncias diferentes, e determinar seus parâmetros de rendimento  $V_0$ ,  $\lambda$  e  $T_L$ . As distâncias podem ser menores que os 100-200-400 metros dos atletas de ponta.

Qualquer que seja sua escolha use os resultados para responder as questões abaixo (ou crie outras):

- Qual a velocidade máxima que pode ser alcançada?
- A partir de que distância o desgaste físico é significativo?
- Qual o tempo gasto na largada?