UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMACÃO DOCENTE
FÍSICA-LICENCIATURA

LEONARDO ALEXANDRE LIMA SILVA

# **Biomecânica da corrida humana:** Uma Proposta de modelagem no estudo de Física como ferramenta para uma ampliação do campo conceitual do aluno.

Caruaru-PE
2018

LEONARDO ALEXANDRE LIMA SILVA

# **Biomecânica da corrida humana:** Uma Proposta de modelagem no estudo de Física como ferramenta para uma ampliação do campo conceitual do aluno

Monografia de Graduação apresentada ao Curso de Física-Licenciatura do Núcleo de Formação Docente do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador

Prof. Dr. Sergio de Lemos Campello.

Núcleo Interdisciplinar de Ciências Exatas e Inovação Tecnológica

Universidade Federal de Pernambuco
Núcleo de Formação Docente – NFD

Caruaru-PE
2018

.

Catalogação na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

S586b Silva, Leonardo Alexandre Lima.
Biomecânica da corrida humana: Uma proposta de modelagem no estudo de Física como ferramenta para uma ampliação do campo conceitual do aluno. / Leonardo Alexandre Lima Silva. – 2018.
61 f. il. : 30 cm.

Orientador: Sergio de Lemos Campello.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura em Física, 2018.
Inclui Referências.

1. Vídeos educativos. 2. Força (Mecânica). 3. Centro de massa (Física). 4. Física – Estudo e ensino. I. Campello, Sergio de Lemos (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.) UFPE (CAA 2018-415)

**LEONARDO ALEXANDRE LIMA SILVA**

BIOMECÂNICA DA CORRIDA HUMANA: UMA PROPOSTA DE MODELAGEM NO ESTUDO DE FÍSICA COMO FERRAMENTA PARA UMA AMPLIAÇÃO DO CAMPO CONCEITUAL DO ALUNO

Este trabalho foi julgado adequado e aprovado para a obtenção de título de graduação em Física-Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste

Caruaru, 18 de setembro de 2018

_____

Profº. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos
Coordenador do curso de Física – Licenciatura

**BANCA EXAMINADORA:**

_____

Profº. Dr. Sérgio de Lemos Campello
Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste
**Orientador**

_____

Profº. Dr. Augusto César Lima Moreira
Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste
**Segundo Examinador**

_____

Profº. Dr. João Francisco Liberato de Freitas
Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste
**Terceiro Examinador**

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo propor um material didático para auxiliar e aprimorar o aprendizado sobre alguns conceitos da mecânica clássica. O aluno deve unir os conceitos aprendidos em aula com o mundo que o rodeia, fazendo uma reflexão conceitual do real com a Física. Neste trabalho foi elaborada uma modelagem através de um programa de edição de vídeo (Tracker), de um corredor, correndo da forma adequada e inadequada de acordo com a Biomecânica. É feito uma análise e discursão dos principais pontos e consequências da forma correta e incorreta da corrida, considerando os conceitos da mecânica clássica. Apresentando, em seguida, uma proposta de material didático para ser aplicado na sala de aula pelo professor após o término do assunto de mecânica no ensino médio. Esse material deve ser usado como uma ferramenta de fixação e reflexão do assunto abordado em sala, com a expectativa de despertar no aluno um ser mais crítico e rico conceitualmente.



**Palavras-Chave**: Vídeo análise. Forças. Centro de Massa. Modelos. Ensino.

**ABSTRACT**

The aims of this work is to propose a material to improve the learning about some concepts of classical mechanics. The student must link some concepts learned in class with the world that surrounds him, building a reflection of the phenomena with Physics. In this work, a model was elaborated through a video editing program (Tracker), of a runner, running in the appropriate and inadequate way according to Biomechanics. It was made an analysis and discussion of the main points and consequences of the correct and incorrect way of the race, considering the concepts of classical mechanics. We still presents a proposal of didactic material to be applied by the teacher in class-room after finishing the subject of mechanics in high school.

**Keywords**: Video analysis. Models. Teaching.

**SUMÁRIO**


**1 INTRODUÇÃO..... 8**

**2 REVISÃO DE ALGUNS CONCEITOS DA FÍSICA..... 10**

2.1 FORÇAS..... 10

2.1.2 Representação de forças: Diagrama de forças..... 11

2.1.1 Leis de Newton..... 15

2.1.2 Forças especiais que serão utilizadas neste trabalho..... 16

2.2 CENTRO DE GRAVIDADE..... 17

2.2.1 Método Analítico de Determinação do Centro de Gravidade..... 19

2.3 TORQUES..... 22

2.4 TEOREMA DO IMPULSO..... 24

2.5 MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO (MUV)..... 25

**3 CONHECENDO O TRACKER..... 26**

3.1 FUNCIONAMENTO DO TRACKER..... 26

3.2 TELA INICIAL DO TRACKER E COMANDOS BÁSICOS..... 27

**4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 31**

4.1 BIOMECÂNICA DO MOVIMENTO HUMANO..... 31

4.1.1 Andar..... 31

4.1.2 Corrida..... 32

4.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA CORRIDA COM A FÍSICA ENVOLVIDA..... 33

4.2.1 Física da corrida..... 33

4.2.2 Tipos de movimentos..... 33

4.2.3 Cinemática..... 34

4.2.4 Passada x Passo..... 36

4.2.5 Fase de apoio com o solo..... 37

4.2.6 Força de Reação do Solo (FRS)..... 39

**5 MODELAGEM..... 42**

5.1 MODELAGEM DIDÁTICO-CIENTÍFICA..... 43

**6 METODOLOGIA ADOTADA PARA A PROPOSTA..... 45**

6.1 FERRAMENTAS UTILIZADAS..... 45

6.2 CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL E TEÓRICO..... 46

6.2.1 Primeira parte..... 47

6.2.2 Corpo em movimento (corrida)..... 48

6.2.3 Segunda parte..... 51

6.2.4 Terceira parte (Pisada)..... 54

6.3 PROPOSTA DE APLICAÇÃO EM SALA DE AULA..... 57

**7 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 58**

**REFERÊNCIAS..... 59**

# 1 INTRODUÇÃO

A Física é uma das disciplinas que os alunos do ensino médio têm mais dificuldade de compreender seus conceitos. Tal cenário, criou um ambiente em que estudar Física é estudar uma matéria que não se compreende sua aplicação na vida real. A quantidade de formulas, ditas como absurdas, pioram ainda mais o ponto de vista em cima dessa área de estudo.

Expandir o aprendizado do Aluno no campo conceitual da Física é extremamente importante para o seu futuro pessoal e profissional. A modelagem é uma das ferramentas mais eficazes na ajuda ao entendimento de problemas, visto que os modelos estão em todas as áreas de estudos, ajudando o entendimento do mais simples até o mais complexo problema. A introdução de modelagem no processo ensino/aprendizagem tende a desmitificar a imagem malvista da Física pelos alunos, possibilitando uma melhor compreensão do seu conteúdo e contribuindo para o desenvolvimento cognitivo em geral. A modelagem facilita a construção de relações e significados, favorecendo a aprendizagem construtivista, podendo, também, elevar o nível do processo cognitivo, exigindo que os estudantes pensem num nível mais elevado, generalizando conceitos e relações. (VEIT E TEODORO ,2002).

Com o exposto acima, esse trabalho tem como objetivo principal propor um material que auxilie o professor na busca por uma ampliação no campo conceitual do aluno, para ser usado no conteúdo de mecânica clássica, aplicada na corrida. Esse material será criado a partir de uma modelagem, usando o programa Tracker como ferramenta para elaboração de exemplos, com imagens produzidas por uma câmera digital.

No capítulo 2 é apresentado uma revisão de alguns conceitos da Física. Abordando os principais conceitos que são usados na Biomecânica da corrida humana. No capítulo 3 são apresentados as principais funções do editor de vídeo, usado nesse trabalho, o software Tracker. O capítulo 4 traz a fundamentação teórica da Biomecânica do movimento humano, o qual é muito importante para o entendimento da construção conceitual. O capítulo 5, por sua vez, apresenta a fundamentação teórica da Modelagem didático-científica, para ter o entendimento da construção do material proposto.

No capítulo 6 será apresentada a metodologia do trabalho, apresentando as principais análises da mecânica clássica na corrida. O capítulo 6 traz também a proposta de um material didático para ser usado pelos professores em sala de aula após o fim do conteúdo de mecânica. Por fim, as considerações finais do trabalho e suas perspectivas estão apresentadas no capítulo 7.

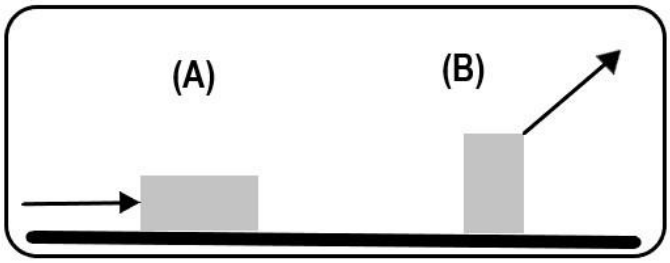
# 2 REVISÃO DE ALGUNS CONCEITOS DA FÍSICA

## 2.1 FORÇAS

### CONCEITO DE FORÇA

Se um corpo muda de alguma forma seu estado natural de movimento, como por exemplo, se um corpo estiver parado e entra em movimento, ou estava em movimento e foi freado, houve uma força resultante não nula aplicada sobre esse corpo. Segundo Okuno e Fratin (2003, pag.4), “o conceito de força está comumente associado a um empurrão (compressão) ou a um puxão (tração) ”, como se pode ver na figura 2.1. Essas forças podem produzir, parar ou modificar o movimento do corpo e podem também causar deformações.

**Figura 2.1**- (A) uma força empurra horizontalmente para a direita um objeto. (B) uma força puxa um objeto para a direita. Ela faz um ângulo ao redor de 45° com a horizontal**.**




Fonte: OKUNO; FRATIN, 2003.

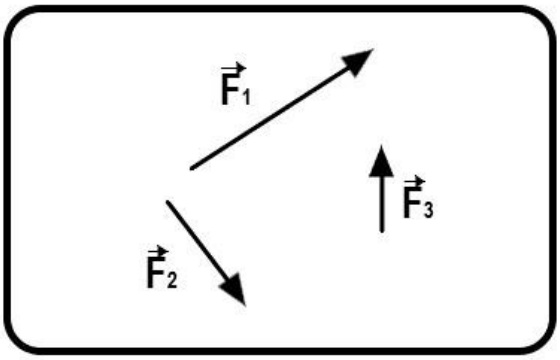
Quando uma pessoa empurra um objeto ele se desloca na direção e sentido da força resultante, e quando é puxado na mesma direção terá o sentido oposto a esse movimento. A unidade de força determinada pelo sistema internacional (SI) é o Newton (N).

Há forças de ação à distância conhecidas como forças de campo, nesses casos o corpo que exerce a força não está em contato com o corpo sobre o qual age. Como exemplo pode se citar: a força gravitacional; a elétrica e a magnética. Como nesse trabalho não será usado esse tipo de força não será aprofundado tal assunto.

### 2.1.2 Representação de forças: Diagrama de forças.

A força, por ser uma grandeza vetorial, pode ser representada vetorialmente. Na figura 2.2 estão representados três vetores força com módulo (comprimento=Intensidade), direção e sentido específicos.

**Figura 2.2** - Três vetores com intensidade, direção e sentido específicos.




Fonte: OKUNO; FRATIN, 2003.

**i. Força resultante**

Quando duas ou mais forças agem num corpo, é possível determinar uma força capaz de produzir o mesmo efeito que todas as forças atuando juntas, chamada força resultante. Para isso, devemos saber operar com grandezas vetoriais. Valem algumas observações:

- Existe o vetor oposto: $-\vec{F}$ é o vetor oposto de $\vec{F}$, com mesmo módulo (intensidade ou tamanho), mesma direção e sentido contrário;
- A multiplicação de um vetor $\vec{F}$ por um número real $n$ é um vetor $\vec{T}$, sendo $\vec{T} = n\vec{F}$, de módulo $T = nF$ com mesma direção de $\vec{F}$ e sentido que depende do sinal de $n$, isto é: se $n$ for positivo, $\vec{T}$ terá o mesmo sentido de $\vec{F}$, e o sentido será oposto se $n$ for negativo;
- Propriedade associativa;

$$\left(\vec{F}_1 + \vec{F}_2\right) + \vec{F}_3 = \vec{F}_1 + (\vec{F}_2 + \vec{F}_3);$$

- Propriedade comutativa:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_2 + \vec{F}_1;$$

- Um vetor pode ser projetado numa determinada direção utilizando-se as relações seno e cosseno do triângulo retângulo.

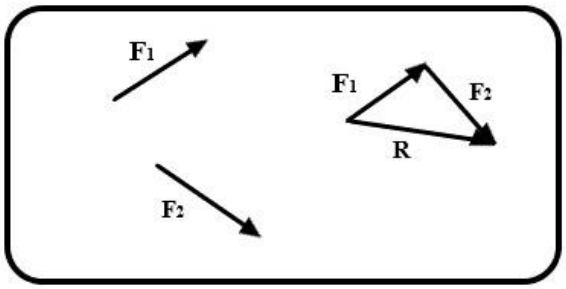
## ii. Adição de vetores

O vetor força $\vec{F}$ pode ser representado por **F** (em negrito e sem seta), e o módulo do vetor força **F** é F (sem negrito e sem seta). Existem quatro regras importantes na adição de forças. Utilizaremos o negrito daqui para frente.

### R1 - Regra do polígono

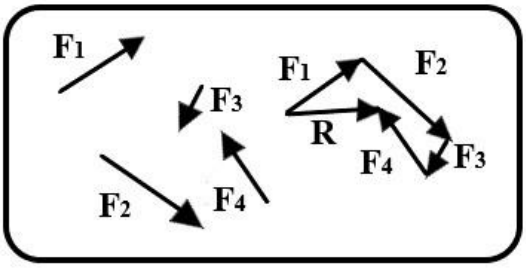
Se resume em transportar os vetores ligando uns aos outros. Deve-se manter sua direção e sentido. Essa ligação, tem que coincidir a origem de um com a extremidade do anterior. Um novo vetor resultara na soma dos vetores ligados, chamado de vetor soma ou ainda vetor resultante, sua seta estará ligada origem com origem do primeiro vetor e a ponta com a extremidade do segundo vetor. Observe a figura 2.3. Essa regra vale para vários vetores. (Figura 2.4).

**Figura 2.3** - Soma dos vetores $\boldsymbol{F_1}$ e $\boldsymbol{F_2}$, que dá resultante **R**, pelo método do polígono.




Fonte: OKUNO; FRATIN, 2003.

**Figura 2.4** - Soma dos vetores $F_1, F_2, F_3$ e $F_4$ , que dá resultante **R**, pelo método do polígono.

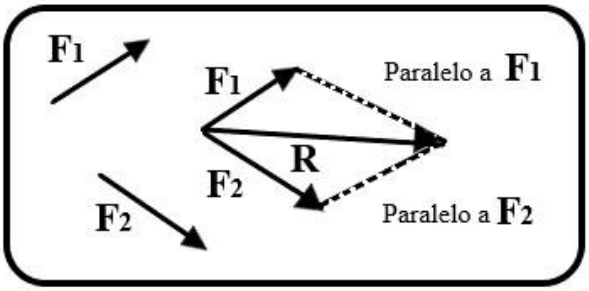



Fonte: OKUNO; FRATIN, 2003.

**R2 - Regra do paralelogramo.**

Diferente da regra do polígono, o paralelogramo consiste em unir os vetores por suas origens, em seguida fazer um seguimento de reta paralelo ao outro vetor formando um paralelogramo. A seta que vai das origens dos vetores e até o ponto onde o seguimento de retas se encontram é o vetor soma. Veja a figura 2.5.

**Figura 2.5** - Soma as forças $F_1$ e $F_2$ que dá resultante **R**, pelo método do paralelogramo.

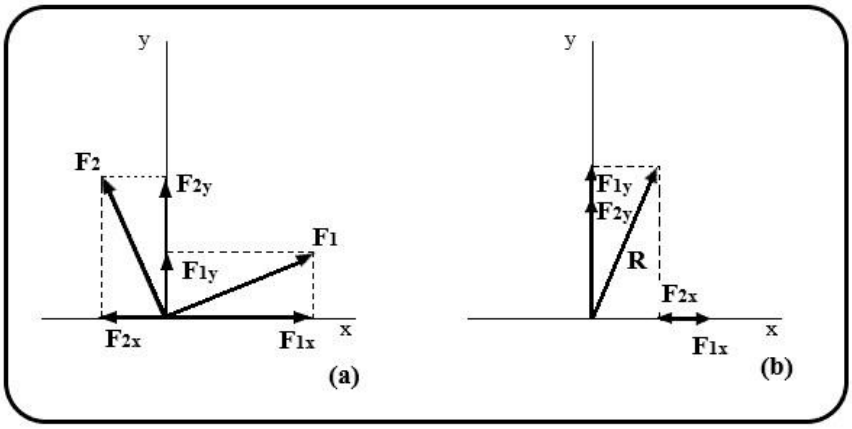



Fonte: OKUNO; FRATIN, 2003.

**R3 - Método das componentes**

Este método se resume na projeção vetorial em um sistema de coordenadas retangulares. A soma algébrica das componentes horizontais (eixo x) resulta no vetor soma de x, assim como, a soma das componentes verticais (eixo y) resulta no vetor soma y. Usando o Teorema de Pitágoras podemos descobrir o módulo do vetor soma, veja a figura 2.6.

**Figura 2.6** - (a) Soma dos vetores $\boldsymbol{F_1}$e $\boldsymbol{F_2}$ decomposto respectivamente em $\boldsymbol{F_{1x}}$e $\boldsymbol{F_{1y}}$ e $\boldsymbol{F_{2x}}$e $\boldsymbol{F_{2y}}$ pelo método das componentes. (b) Soma algébrica de $\boldsymbol{F_{1x}}$ com $\boldsymbol{F_{2x}}$ e $\boldsymbol{F_{2x}}$ com $\boldsymbol{F_{2\,y}}$ para obter a resultante **R**.

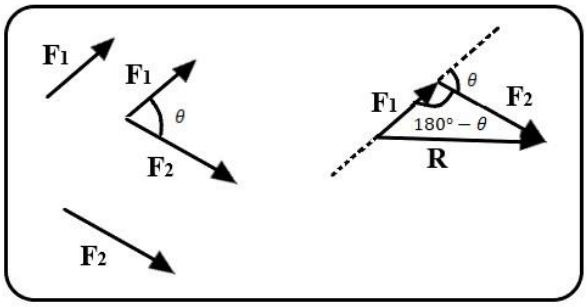



Fonte: OKUNO; FRATIN, 2003.

**R4 - Método algébrico**

Aplicando a Lei dos Cossenos no triangulo, formado pelas forças, podemos calcular o módulo do vetor soma. Observe a Figura 2.7.

**Figura 2.7** - Soma dos vetores com aplicação da lei dos cossenos.




Fonte: OKUNO; FRATIN, 2003.

$$R = \sqrt{{F_1}^2 + {F_2}^2 + 2F_1F_2\ Cos\ \theta}. \qquad (2.1)$$

$F_1$e $F_2$ são respectivamente os módulos das forças $\boldsymbol{F_1}$e $\boldsymbol{F_2}$ e $\theta$ é o ângulo entre as forças $\boldsymbol{F_1}$e $\boldsymbol{F_2}$ .(OKUNO; FRATIN, 2003).

### 2.1.1 Leis de Newton

#### Primeira Lei de Newton (Lei da Inercia)

Nenhum corpo será impedido de se manter em movimento se nenhuma força resultante agir sobre ele, do mesmo modo, estando tal corpo parado, ele não entrará em movimento se uma força resultante sobre ele não for atuada. Então, nota-se que essa lei implica em duas situações de equilíbrio: equilíbrio estático e equilíbrio dinâmico. Cuja a soma de todas as forças resultantes aplicadas a um corpo em equilíbrio é igual a zero.

#### Segunda Lei de Newton (Massa e Aceleração)

A ação de uma força resultante não nula sobre um corpo produz variação do vetor velocidade, ou seja, acarreta uma aceleração $\vec{a}$. Essa aceleração é proporcional à intensidade da força $\vec{F}$ resultante e inversamente proporcional à massa $m$ do corpo, ou seja: $\vec{a} = \vec{F}/m$ . Podemos então escrever que $\vec{F} = m.\vec{a}$. A unidade de velocidade no SI é (m/s) e, como a aceleração é dada pela razão $\Delta\vec{v}/\Delta t$ (isto é, variação da velocidade $\Delta\vec{v}$ no instante de tempo $\Delta t$), sua unidade no SI é (m/$S^2$). Portando, a unidade de força é ($Kg.m/S^2$), que recebe o nome especial de Newton (N) em homenagem ao "pai" da Mecânica Clássica, Isaac Newton, (1642-1727). (OKUNO; FRATIN, 2003).

#### Terceira Lei de Newton (Ação e Reação)

Se um corpo (A) exerce uma força sobre um outro corpo (B), esse corpo (B) também exerce uma força sobre o corpo (A) de mesmo módulo e mesma direção, ou seja, as forças entre dois corpos que estão interagindo são sempre iguais em módulos, na mesma direção, mas em sentidos opostos. Mais à frente veremos que a Terceira Lei de Newton será fundamental para o entendimento da força de reação do solo.

### 2.1.2 Forças especiais que serão utilizadas neste trabalho.

#### Força peso (Força Gravitacional)

Em todo o universo existe a força gravitacional, essa força irá depender, entre outras coisas, da densidade do corpo. O peso é a força com que um corpo é atraído pelo outro corpo. Naturalmente, somos atraídos pela força gravitacional da Terra, pois é nela em que estamos e é ela que nos atrai para seu centro. Então, o peso de um corpo, ou de qualquer objeto, é a força com que a Terra os atrai.

A direção e sentido da força peso são sempre apontados para o centro da Terra. O módulo da força peso *P* é então:

$$F(N) = P(N) = mg. \tag{2.2}$$

Onde *m* é massa do corpo medida em (kg), e *g* é a aceleração da gravidade. Essa aceleração pode variar à medida que nos afastamos do planeta Terra. Neste trabalho essa aceleração *g* será considerada como uma constante.

#### Força de contato ou de reação ou força normal de contato.

Quando uma pessoa está em pé sobre uma superfície, o corpo exerce uma força sobre essa mesma superfície, mesmo não sendo perceptível, ela se deforma e exerce uma força empurrando o corpo para cima. Essa força é perpendicular à superfície e é conhecida como força Normal $\vec{F}_N$.

#### Força de Atrito

Se pudermos aproximar a imagem de um sapato em contato com o solo, por exemplo, será visto uma interação dos átomos do sapato com os átomos da superfície que faz com que haja uma resistência ao movimento. A resistência é considerada como uma única força $\vec{F}$, que recebe o nome de força de atrito. Essa componente tangencial ( se a superfície não for regular) é paralela à superfície e aponta no sentido oposto ao do movimento (Figura 2.8).

**Figura 2.8** - Uma força $\vec{F}$ de atrito se opõe ao movimento de um corpo sobre uma superfície.

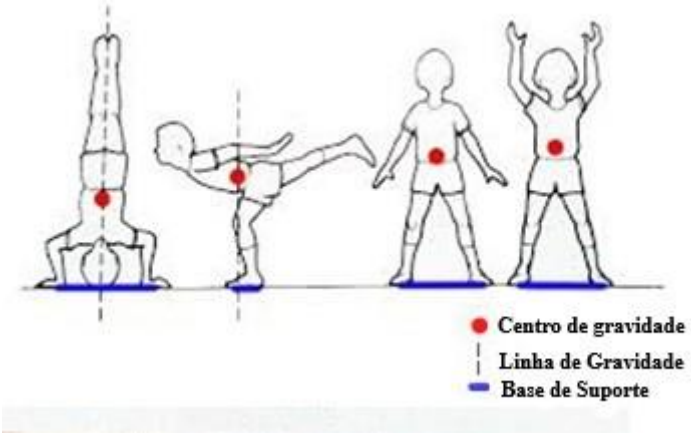
Fonte: curiosidadesfq.blogspot.com – Curiosidades físicas e químicas[1].

## 2.2 CENTRO DE GRAVIDADE.

Na Física, podemos considerar um corpo extenso sendo constituído pela soma de pedaços infinitesimais. O peso resultante desse corpo corresponderá à soma das forças peso que atuam em cada um desses pedaços. Existe um lugar onde podemos considerar aplicada a resultante das forças peso. Esse ponto é chamado de Centro de Gravidade, C.G. Tudo se passa como se toda a massa do corpo estivesse concentrada nesse ponto e, portanto, é ali onde atua a força peso resultante. Para corpos de forma regular e homogêneos o C.G. está em seu centro geométrico. Suspenso ou suportado por esse ponto ou por uma força cuja linha de ação passa por esse ponto, um objeto fica equilibrado. (OKUNO; FRATIN, 2003).

[1] Disponível em < http://curiosidadesfq.blogspot.com/2007/11/importncia-das-foras-de-atrito-quando.html >. Acessado em set.2018.

**Figura 2.9** - Ilustrações do corpo sujeito à ação de torque da força peso. Está representado o centro de gravidade C.M, a linha da Gravidade e a base de suporte.




Fonte: portfoliobiomecsupaim.blogspot.com - Portfólio de Biomecânica.[2]

A conclusão sobre a situação da figura 2.9 é obtida considerando-se que a força peso de cada corpo age no seu centro de gravidade e pode exercer um torque com relação ao ponto de apoio, visto como um eixo de rotação. Como a força peso é sempre vertical e dirigida para baixo (mais precisamente, para o centro da Terra), basta verificar se o braço da força peso é zero ou diferente de zero. Quando for diferente de zero há torque e, portanto, rotação. O sentido de giro poderá ser horário ou anti-horário. No caso em que a linha de ação da força peso passa pelo eixo de rotação, o braço da força peso é zero e, portanto, não há torque, e o corpo permanece na mesma posição em equilíbrio estático. Pois atua no ponto de apoio e por isso, tem braço de força nulo. No entanto, o apoio garante o equilíbrio com relação à translação, uma vez que a resultante das forças aplicadas constituídas pela força peso e normal é nula.

Uma observação importante com relação à posição do centro de gravidade é que ele pode estar localizado fora do corpo, visto que é uma função da distribuição da sua massa. Isso é mostrado na figura 2.10.

[2] Disponível em < http://portfoliobiomecsupaim.blogspot.com/2015/07/centro-de-gravidade-e-centro-de-massa.html>. Acesso em ago.2018.

**Figura 2.10** - Homem arqueado tem o seu centro de gravidade fora do seu corpo.

Fonte: instituto de física da UFRGS.[3]

Observa-se ainda que toda vez que o centro de gravidade estiver abaixo do ponto de apoio, consegue-se uma situação de grande estabilidade, pois o torque da força peso produz uma oscilação que amortecida, leva ao equilíbrio quando ocorre o alinhamento vertical entre o ponto de apoio e o centro de gravidade. A figura 2.11 mostra um pássaro de papel com as assas abertas, que se equilibra nas pontas de suas asas, o que desloca seu C.G para fora do corpo, logo abaixo do bico, mais ou menos na altura da base de ferro.

**Figura 2.11** - Pássaro equilibrista, com centro de gravidade abaixo do corpo dele.

Fonte: YouTube.com –Manual do Mundo[4].

### 2.2.1 Método Analítico de Determinação do Centro de Gravidade.

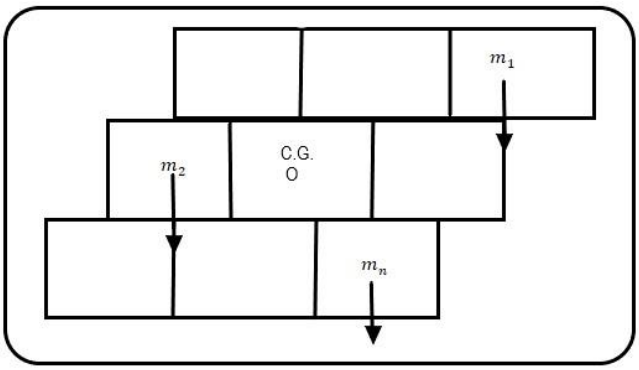
A figura 2.12 representa um corpo plano que pode ser imaginado como sendo constituído por um número muito grande de pequenos pedaços, que designaremos

[3] Disponível em < https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=centro-de-gravidade-do-corpo-humano>.Acessado em ago.2018.

[4] Disponível em< https://www.youtube.com/watch?v=IXLwmuUi53M> Acesso em ago.2018

por massas elementares. A massa total, *M*, corresponderá à soma das massas elementares $m_1, m_2$, etc., e , portanto, o peso resultante desse corpo, *P*, corresponderá à soma das forças peso que atuam em cada um desses pedaços. O centro de gravidade C.G., genérico está representado na figura 2.12.

**Figura 2.12** - Ilustração de um corpo extenso constituído por numerosas massas elementares. O peso resultante desse corpo atua no centro de gravidade, C.G., genérico representado na figura. As setas verticais orientadas para baixo representam os pesos elementares. Somente 3 delas estão desenhadas.




Fonte: OKUNO; FRATIN, 2003.

As relações matemáticas que descrevem massa e peso totais são dados por:

$$M = m_1 + m_2 + \ldots + m_n. \quad (2.3)$$

$$P = P_1 + P_2 + \ldots + P_n. \quad (2.4)$$

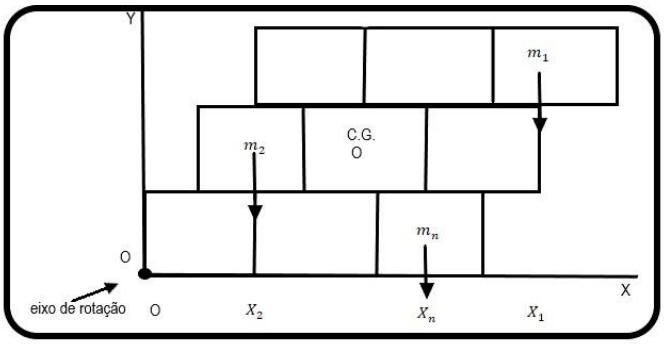
$$M_g = m_1 g + m_2 g + \ldots + m_n g. \quad (2.5)$$

Onde *g* é a aceleração da gravidade.

Busca-se agora determinar analiticamente as coordenadas do centro de gravidade. Para isso, vamos analisar a figura plana anterior definindo um ponto que corresponda à origem de um sistema de coordenadas (x, y). Além disso, vamos considerar que esse corpo esteja suspenso pela origem (0,0) do sistema de coordenadas, com o eixo *y* na vertical como mostra a figura 2.13.

Como no caso da análise pelo método prático, o corpo suspenso fica sujeito ao torque da força peso com relação à origem do sistema de coordenadas que no caso é também o eixo de rotação.

**Figura 2.13** - Ilustração de um corpo extenso constituído por numerosas massas elementares. Neste caso o eixo y está na vertical, na mesma direção dos vetores das forças pesos elementares e do peso resultante que atua no centro de gravidade, C.G., cujas coordenadas deseja-se determinar. As setas verticais orientadas para baixo representam os pesos elementares.




Fonte: OKUNO; FRATIN, 2003.

O torque resultante pode ser calculado a partir da soma de cada torque elementar, devido à ação da força peso em cada massa elementar ou a partir do torque da força peso resultante que atua no centro de gravidade, onde estaria concentrada toda a massa do corpo e cujas coordenadas queremos determinar. No caso da figura 2.13, os braços da força peso elementares com relação à origem do sistema de coordenadas corresponde à coordenada *x* de cada massa elementar.

As relações matemáticas que descrevem a igualdade entre o torque do peso total do corpo agindo no centro de gravidade e a soma dos torques dos pesos elementares sobre cada massa elementar são dadas por:

$$PX_{C.G} = P_1X_1 + P_2X_2 + \ldots P_nX_n. \tag{2.6}$$

Substituindo os pesos pelos produtos das massas pela aceleração da gravidade *g*.

$$MgX_{C.G} = m_1gX_1 + m_2gX_2 + \ldots m_ngX_n. \tag{2.7}$$

A coordenada $X_{C.G}$ do centro de gravidade é obtida, isolando-se na relação (2.7). Observa-se ainda que a aceleração da gravidade pode ser cancelada em ambos os lados dessa relação considerando-se constante seu valor local onde se encontra o corpo. Podemos escrever:

$$X_{C.G} = \frac{m_1X_1 + m_2X_2 + \ldots m_nX_n}{M}. \tag{2.8}$$

Analogamente determinamos as coordenadas $Y_{C.G}$ segue a mesma lógica, porém invertendo o eixo de coordenadas, assim obtemos:

$$Y_{C.G} = \frac{m_1 Y_1 + m_2 Y_2 + \ldots m_n Y_n}{M}. \tag{2.9}$$

Essas expressões só podem ser feitas por que o valor de *g* foi considerado constante, o que é verdade para corpos pequenos em comparação ao tamanho da Terra. Quando isso não for verdade o centro de gravidade não corresponde ao centro de massa.

Uma observação importante deve ser feita com relação à origem do sistema de coordenadas. Para a dedução das coordenadas do centro de massa colocamos a origem no eixo de rotação estipulado e baseamos nossa análise no torque da força peso. No entanto, as expressões matemáticas obtidas envolvem apenas as massas elementares e suas respectivas coordenadas, limitando-se assim à distribuição espacial da massa de um corpo. Assim sendo, é possível escolher uma origem qualquer para o sistema de coordenadas. Recomenda-se, então, que essa escolha seja feita de forma a simplificar os cálculos. (OKUNO; FRATIN, 2003).

## 2.3 Torques

Pela Segunda Lei de Newton, vimos que a força tende a alterar o movimento de um corpo. O torque, tende a fazer girar ou alterar o estado de rotação de um corpo. O torque se relaciona com a distância até o eixo de rotação, essa distância, que tem como vantagem a Mecânica da Alavanca, é chamada de *braço de alavanca*, que por sua vez, é a menor distância entre a força aplicada e o eixo de rotação. O torque é uma grandeza vetorial e é definido como o produto vetorial do braço de alavanca pela força aplicada a esse braço.

$$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F}. \tag{2.10}$$

Nesse trabalho, faremos uma convenção de sinais que possibilitará realizar somas algébricas, então o que nos interessa é o módulo de $\vec{\tau}$ que é dado pela expressão:

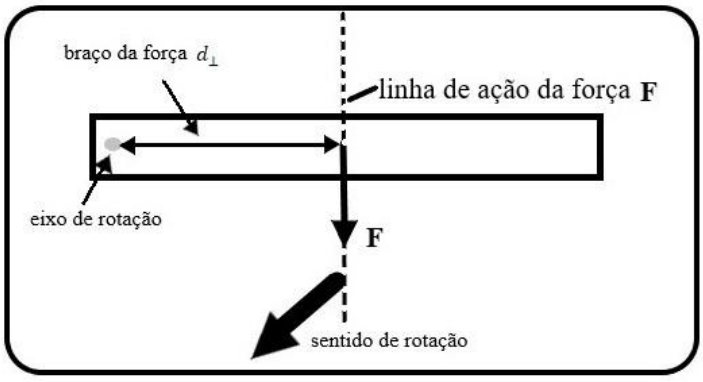
$$|\vec{\tau}| = dFsen\theta. \tag{2.11}$$

Em que $\theta$ é o ângulo entre força aplicada (F) e o braço de alavanca (d). A unidade de torque no sistema internacional (SI) é $(N.m)$. Admitimos (+) para o momento de força que leva à rotação de um corpo no sentido anti-horário e negativo (-) aquele que leva à rotação no sentido horário.

A figura 2.14 mostra um corpo sobre o qual é aplicada uma força $\boldsymbol{F}$, no meio do corpo. O eixo de rotação é uma linha imaginária perpendicular que atravessa a folha. O braço da força $d_\perp$ é perpendicular à linha de ação da força $\boldsymbol{F}$. O sentido da rotação é horário e o valor do torque $\tau = -Fd_\perp$. Se a força $\boldsymbol{F}$ for agora deslocada, em sentido contrário, com a seta pra cima no mesmo lugar e com a mesma intensidade, o que muda é o sentido de rotação que será anti-horário e o torque $\tau = +Fd_\perp$. Observa-se que sobre o eixo de rotação atua sempre uma força de reação ou de apoio. No entanto, como o braço dessa força é nulo, $d_\perp = 0$, não há torque, e portanto não provoca rotação.

Agora imagine que a figura 2.14 representa um corte transversal de uma porta, visto de cima e o eixo de rotação é o local das dobradiças e a força é aplicada para abrir a porta.

**Figura 2.14** - A força **F** é aplicada no centro de um corpo. Estão representados a linha de ação da força, o braço $d_\perp$ da força, assim como o eixo ou o polo em torno do qual o corpo pode girar. A seta indica o sentido de rotação.

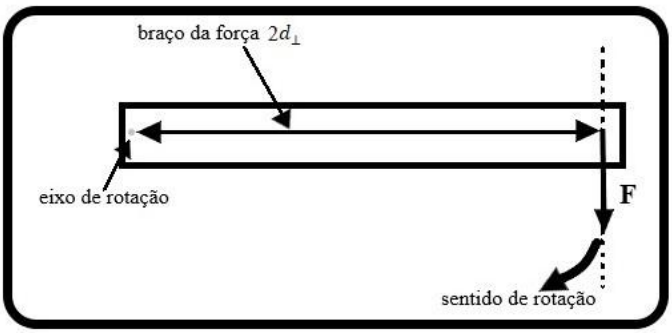



Fonte: OKUNO; FRATIN, 2003.

Se a força $\boldsymbol{F}$ de igual intensidade for agora aplicada na extremidade oposta ao eixo como mostra a figura 2.15, o torque se torna o dobro porque o braço da força fica

duas vezes maior que o da figura 2.14, $\tau = -F(2d_{\perp})$. Isto é, fica muito mais fácil girar a barra agora ao redor do eixo de rotação. É isso que fazemos instintivamente quando abrimos uma porta ou usamos a chave sextavada para desparafusar uma rosca. (OKUNO; FRATIN, 2003).

**Figura 2.15** - A força de igual intensidade que a da figura 2.14 é agora aplicada na extremidade da barra e o torque fica duas vezes maior que o da figura 2.14 porque o braço da força foi o dobro.




Fonte: OKUNO; FRATIN, 2003.

## 2.4 Teorema do impulso

A Segunda Lei de Newton aplicada a um corpo, nos leva ao Teorema do Impulso, que nada mais é, do que a variação da quantidade de movimento.

$$\vec{F}_R = m\vec{a}. \tag{2.12}$$

Como a aceleração $\vec{a}$ é dada por $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ ,temos;

$$\vec{F}_R = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t},$$

$$\vec{F}_R \Delta t = m\vec{v}_f - m\vec{v}_i. \tag{2.13}$$

Sendo o impulso $\vec{I} = \vec{F}.\Delta t$ e a quantidade de movimento $\vec{Q} = m\vec{v}$ logo:

$$\vec{I}_R = \vec{Q}_f - \vec{Q}_i. \tag{2.14}$$

O impulso da força resultante que atua sobre um corpo em um certo intervalo de tempo é igual a variação da quantidade de movimento do corpo no mesmo intervalo de tempo.

## 2.5 Movimento Uniformemente Variado (MUV)

Quando um corpo está sujeito a uma aceleração constante dizemos que ele está em um movimento uniformemente variado. Se sua aceleração é constante, implica que sua velocidade varia constantemente. Como exemplo temos a queda livre de um objeto.

A queda livre é o movimento de um corpo que, atraído pelo campo gravitacional da Terra, apresenta uma aceleração uniforme e uma trajetória retilínea, não considerando a resistência do ar (no vácuo) ou a ação de outras forças, a não ser a força peso.

Para queda livre é usado a Equação de Torricelli, o módulo da velocidade final ($v_f$) é então:

$$v_f{}^2 = v_i^2 + 2.\mathrm{g}.\Delta h. \tag{2.15}$$

Essa equação pode nos dizer a velocidade final com a qual o objeto chega ao solo. Uma bola que é abandonada de uma altura *h*, por exemplo, tem sua velocidade inicial igual a zero, logo:

$$v_i^2 = 0,$$

$$v_f{}^2 = 0 + 2.g.\Delta h,$$

$$v_f = \sqrt{2.g.\Delta h}. \tag{2.16}$$

Note que nesse caso a velocidade final, de queda da bola, não depende da massa.

# 3 CONHECENDO O TRACKER

O Tracker é um software gratuito, de código aberto que está em constante desenvolvimento pelos seus criadores e organizadores, nos Estados Unidos. Tem como objetivo auxiliar o ensino de Física, baseados em modelagem pelo uso do computador.

O software Tracker permite realizar a análise de vídeos, ou vídeo análise, quadro a quadro, com a vantagem de não exigir um grande número de cabos e circuitos eletrônicos. Além de poder fornecer uma quantidade maior de dados pode rastrear objetos fornecendo a posição, velocidade e aceleração sobrepondo gráficos e filtros de efeitos especiais, pontos de calibração, quadros de referência, perfis de linha para análise dos padrões de espectros e interferência, e modelos de partículas dinâmicas. (OLIVEIRA, 2014).

Para que o programa funcione na máquina é necessário instalar a plataforma Java, pois essa plataforma permite desenvolver aplicativos usando uma máquina virtual própria. O Tracker pode cumprir várias funções no processo de ensino aprendizagem, permitindo que os alunos acompanhem a evolução de grandezas físicas em tempo real, existindo a possibilidade de não estarem limitados a roteiros rigorosamente limitados e estruturados, permitindo a coleta de dados e a construção de gráficos a partir de dados observados (BEZERRA JR, 2012).

## 3.1 Funcionamento do Tracker

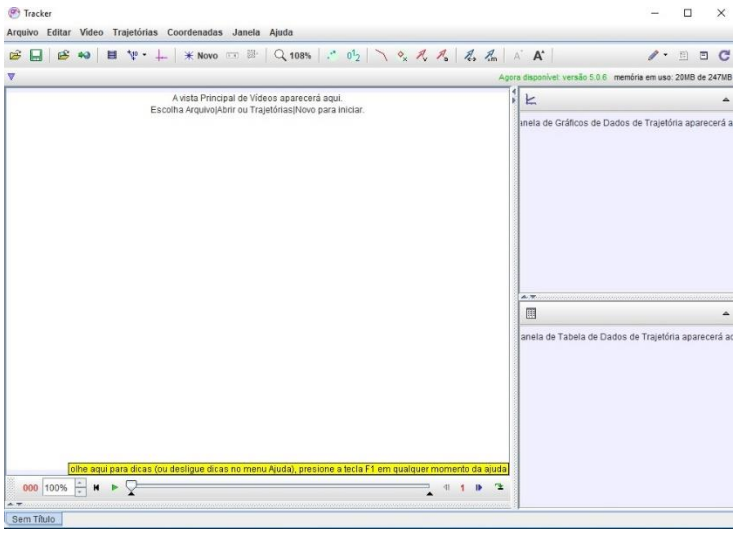
A ideia básica em relação ao uso do Tracker está em realizar filmagens de movimentos usando câmeras digitais. Esses movimentos, por sua vez, estando associados a alguma atividade experimental como, por exemplo, a queda de uma bolinha na sala de aula.

O Tracker é um programa leve, que pode ser rodado em qualquer computador da atualidade, ou até mesmo os mais antigos, essa é uma grande vantagem desse software. Sendo assim, em escolas que tem computadores antigos que não tem utilidade para outros fins, que necessitam de um processamento maior, por exemplo, podem ficar disponíveis apenas para o Tracker, podendo ser feito um laboratório de experimentos com essas máquinas usando apenas o programa.

## 3.2 Tela inicial do Tracker e comandos básicos

Depois de instalado na máquina, ao iniciar o programa, ele terá como tela a seguinte imagem (Figura 3.1):

**Figura 3.1** - Tela inicial do Tracker.




A tela inicial do programa, como mostrada na figura acima, apresenta na parte superior os seguintes elementos:

▪ Barra de Título: A barra de título tem o desenho como mostrado na figura abaixo e serve apenas para identificar o programa.

**Figura 3.2** - Barra de títulos do Tracker.

▪ Barra de Menu: A barra de menus permite abrir as opções principais dos menus.

**Figura 3.3** - Barra de Menus do Tracker.

▪ Barra de Ferramentas Padrão: nessa barra estão presentes os comandos mais utilizados do Tracker, conforme mostrado na figura abaixo:

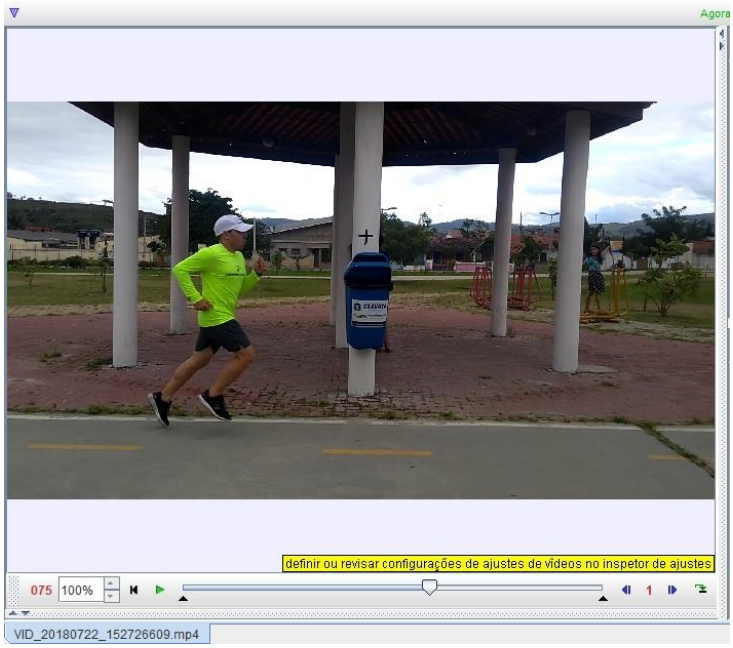
**Figura 3.4** - Barra de Ferramentas do Tracker.

De acordo com Oliveira (2014, pag.40):

> Essa barra apresenta as opções de abrir arquivo do Tracker e biblioteca de experimentos, salvar, delimitar os quadros de início e fim do vídeo, inserir ferramenta de medição, eixo de coordenadas, nova trajetória, exibir ou ocultar controle de trajetória, mostrar o auto Tracker (a marcação automática dos pontos), nível de aproximação do vídeo, traços e etiquetas de marcação e exibição dos vetores.

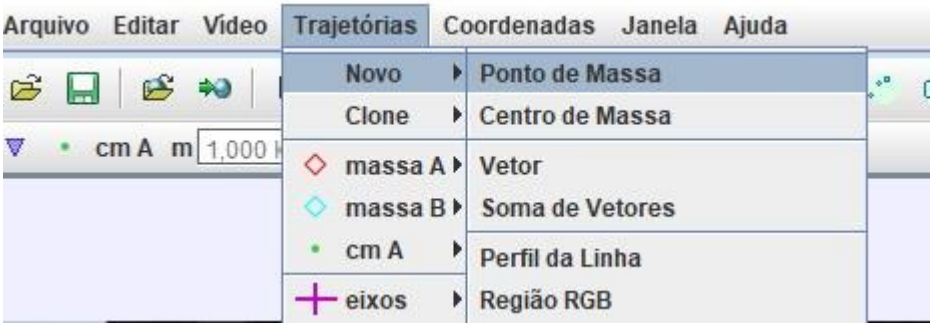
▪ Janela principal: é nessa janela onde podemos trabalhar com o vídeo como mostra a figura 3.5, abaixo, na parte inferior da tela temos a parte demarcada dos quadros do vídeo, que está em vermelho abaixo, um medidor de percentual da velocidade da reprodução, um botão que volta ao quadro demarcado como inicial, tecla play.

**Figura 3.5** - Janelas principal do Tracker.



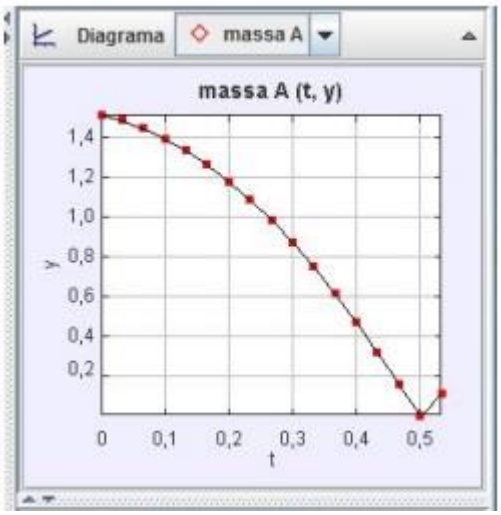
No Tracker, para visualizar o gráfico, e tabela da trajetória de um objeto, se utiliza a opções trajetórias, em seguida a opção nova e por último ponto de massa, Figura (3.6). O ponto de massa é o objeto que terá seu movimento analisado, após a marcação dos pontos. O movimento é interpretado pelo programa Tracker na forma de gráficos (Figura 3.7), e tabelas (Figura 3.8).

**Figura 3.6 –** Mostra a sequência para chegar na opção ponto de massa no Tracker.




A figura abaixo mostra um exemplo de um gráfico criado no Tracker usando um vídeo. É possível escolher as grandezas que serão exibidas.

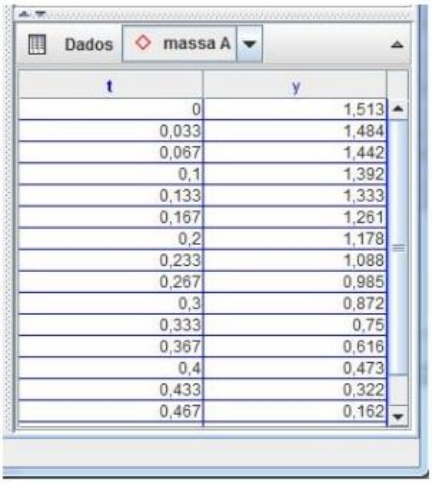
**Figura 3.7** - Visualizador de gráficos do Tracker.




Fonte: OLIVEIRA, 2014, pag. 41.

No visualizador de Tabelas (Figura 3.7), são exibidos os dados numéricos coletados na marcação dos pontos durante a vídeo análise.

**Figura 3.7** - Exemplo de visualizador de tabelas do Tracker.




Fonte: OLIVEIRA, 2014, pag. 42.

# 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 4.1 Biomecânica do movimento humano.

A Biomecânica estuda por meio dos conceitos da Física Clássica, todos os movimentos que estão presentes no ser humano: andar, correr, pular, comprimento da passada, frequência da passada, angulação do movimento, comportamento do centro de gravidade, e tudo de mais complexo que está associado ao movimento. Em outras palavras, a Biomecânica é a ciência responsável pelas mais diversas formas de análise do movimento humano.

No esporte, a Biomecânica tem por objetivo estudar o padrão de determinado exercício através de análises do movimento e da resultante de forças externas atuantes na prática em questão. Na corrida essas avaliações podem ocorrer em ambientes externos, como pista de atletismo, ou circuitos fechados, sendo realizada em esteira rolante, ou somente utilizando uma plataforma de força.

### 4.1.1 Andar

Andar consiste em um movimento na mesma direção do deslocamento e com o sentido para frente, são sequências alternadas, de apoio por um único membro em contato com o solo por vez e, em seguida, pelo outro membro, resultando assim, em um deslocamento constante do centro de gravidade. No movimento do andar, analisando o deslocamento do centro de gravidade do corpo, ocorre uma perda e uma recuperação do equilíbrio, sequencialmente, ou seja, andar é uma atividade passiva, dependendo da transferência do peso corporal acima do apoio. (BRUNIEIRA,1998).

O andar consiste em sete fases: contato inicial, resposta de carga, fase média, fase final, pré balanço, início do balanço, balanço médio, balanço final. Essas descrições de fases isoladas, ocorrem de forma ordenada e simultânea.

Considerando as sequências envolvidas, existirá sempre um apoio em contato com o solo, e por um pequeno intervalo de tempo em cada ciclo, os dois apoios estão em contato com o solo, ou seja, uma sequência de simples e duplo apoio. Existe uma fase em que um dos apoios não está em contato com o solo, fase esta denominada oscilação ou balanço.

De acordo com os estudos de Adelaar (1986), a fase de contato do apoio com o solo no andar corresponde a 65% do ciclo total, enquanto que a fase de oscilação é apenas 35% do total. O autor considerou o duplo apoio como fase de contato com o solo, por isso relatou em seus estudos duas fases, contato com o solo e oscilação.

### 4.1.2 Corrida

Quando uma pessoa passa a andar cada vez mais rápido, e aumentar seus passos até o limite do andar, sentirá que tem uma necessidade de dar pequenos saltos para que a velocidade aumente mais ainda. Nesse momento, a pessoa não mais terá o apoio de um dos pés ao mesmo tempo no chão, haverá aí, os saltos, que em certos momentos não terá mais contato do pé ao solo, conhecido como momento de voo ou fase aérea. Quando isso ocorrer, a pessoa passa do simples andar para o correr.

Para Martin & Sanderson, (2000, pag.16):

> A corrida corresponde a uma atividade motora altamente complexa que incorpora a ação de vários níveis do sistema nervoso, envolvendo a contribuição de grande parte dos músculos do corpo, o que requer acentuada coordenação da amplitude de movimento. Nesse sentido, mudanças na frequência e amplitude de passada exigem concomitantes alterações nos níveis de alongamento-encurtamento muscular, bem como na taxa de forca desenvolvida.

Para Brunieira (1998), o correr envolve sequências alternadas de apoio e não apoio, sendo que a fase de apoio ocorre quando existe contato com o solo e a fase de não apoio, ou fase de flutuação, quando os apoios estão no ar. A fase de apoio é inversamente proporcional à velocidade, isto é, o tempo de apoio é diferente para cada velocidade, à medida que a velocidade aumenta e o tempo de apoio diminui. Com este aumento de velocidade, diminui também a fase de duplo apoio característica do andar e surge a fase de flutuação na corrida.

Nos últimos anos o número de corredores amadores vem aumentando bastante, pois a corrida é uma modalidade de atividade física que vem se popularizando cada vez mais. Atualmente, a procura pela corrida pode estar motivada pela possibilidade de melhora do desempenho esportivo ou da saúde. Isso porque a corrida pro-

move diversos benefícios ao indivíduo, tais como: o aumento da resistência respiratória, a redução da pressão arterial, até mesmo para estar preparado para futuros testes de aptidão físicas que alguns concursos públicos exigem.

Além de todos os benefícios falado a cima, para praticar a corrida não é necessário um grande investimento, visto que, qualquer pessoa pode correr em locais públicos, com a roupa que quiser, descalço ou não, sem precisar se associar a um local específico, com treinadores profissionais.

## 4.2 Fundamentação teórica da corrida com a Física envolvida.

### 4.2.1 Física da corrida.

A seguir será mostrada algumas definições importantes para o entendimento dos próximos capítulos.

**Frequência de passada**

Na Física frequência é o número de eventos por unidade de tempo. A frequência de passada é considerado o número de passos realizado por segundo.

**Amplitude de passo**

É a distância entre o primeiro contato do pé com o solo e o primeiro contato realizado no passo subsequente.

**Tempo aéreo**

A fase aérea ocorre apenas na corrida, é o momento em que nenhum dos pés estão em contato com o solo, por sua vez, o tempo aéreo é o intervalo de tempo em que não há contato dos pés como o solo.

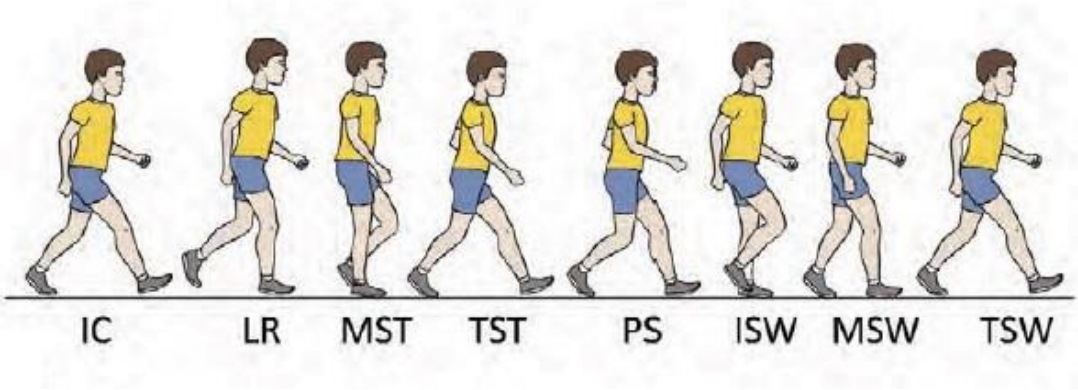
### 4.2.2 Tipos de movimentos

A partir da Mecânica Clássica sabe-se que os movimentos se dividem em translação, angulares ou de rotação, e combinações destes. Quando todas as partes de um corpo se movem na mesma distância ou direção ao mesmo tempo, chamamos de movimento de translação. A aplicação de uma força no centro de massa de um corpo de qualquer dimensão faz todos os pontos desse objeto se deslocarem na mesma

direção com a mesma magnitude, constituindo o movimento de translação. Ele pode ser linear retilíneo (quando a direção não é modificada) ou curvilíneo (quando a direção muda constantemente).

O movimento humano, em sua maioria, é resultado de uma combinação de duas formas de movimento: o de translação o de rotação, e nesse caso, são considerados como movimentos combinados. Se observamos no plano lateral, uma pessoa andando, veremos que o centro de massa CM apresenta um deslocamento que pode ser considerado linear (Figura 4.1).

**Figura 4.1** - Legenda: IC = contato inicial; LR = resposta de carga; MST = fase média; TST = fase final; PS = pré“ balanço”; IS = início do “balanço”; MSW = “balanço” médio; TSW = “balanço” final.




Fonte: NOVACHEK, 1998.

### 4.2.3 Cinemática

Na Biomecânica a cinemática é a área responsável por calcular a posição do deslocamento, da velocidade e da aceleração do corpo em função do tempo. Ou seja, seu principal foco é a descrição de como um corpo se move. Para uma corrida, então, a cinemática inclui o tempo, o comprimento do passo, frequência e largura da passada. Vejamos a seguir os mais importantes.

**Velocidade**

Naturalmente sabemos que existem pessoas mais velozes que outras, espécies de animais mais velozes que outros. Essa variação depende de vários fatores genéticos e motores de cada espécie.

Ao se avaliar a velocidade média de um indivíduo, determina-se o quanto esse corpo se move em um determinado período de tempo; por exemplo, dado um velocista que corre 100 metros em 10 segundos, a velocidade da corrida é determinada pela divisão da distância percorrida (100m) pelo tempo que o atleta levou para percorrer a prova (10s). Nesse exemplo, dividindo-se os 100 metros de corrida por 10 segundos, é possível concluir que a velocidade:

$$\text{Velocidade média} = \frac{100m}{10s} = 10m/s$$

Ou seja;

$$v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}\,. \tag{4.1}$$

Onde $v_m$ é a velocidade média, $\Delta S$ variação da distância e $\Delta t$ a variação do tempo.

De acordo com Mcginnis, (2002, pag.17):

> A velocidade de corrida de um atleta depende da combinação de dois fatores: (1) amplitude de passada e (2) frequência de passada. Desta forma, a amplitude de passada e determinada pela soma do deslocamento horizontal do corredor durante a fase de apoio da passada (quando o atleta está em contato com o solo) e o seu deslocamento horizontal na fase de voo da passada (quando o atleta não está em contato com o solo). Já a frequência de passada corresponde ao número de passadas por unidade de tempo, e é determinada pelo tempo gasto para concluir uma passada.

Em relação ao aumento da velocidade na corrida, até hoje, ainda, não há um consenso de qual é o mais eficiente, a amplitude ou a frequência. Porém Bus (2003), em seus estudos comparando corredores de diferentes faixas etárias, encontrou uma redução da velocidade para indivíduos mais velhos, a qual era acompanhada por similar redução na amplitude de passada e aumento da frequência de passada. Isso sugere que a velocidade é mais influenciada pela amplitude de passada do que pela frequência de passada.

**Aceleração**

Acima foi mencionado, que espécies de animais se deslocam com velocidades diferentes, e que algumas pessoas são mais velozes que outras por razões diversas. Além disso, independente da distância percorrida sempre a velocidade média irá variar ao longo do percurso. Sendo assim, essa variação indica que há uma aceleração variando a velocidade em função do tempo.

De forma análoga ao cálculo da velocidade, tem-se, para o cálculo da aceleração média, o produto da velocidade em função do tempo:

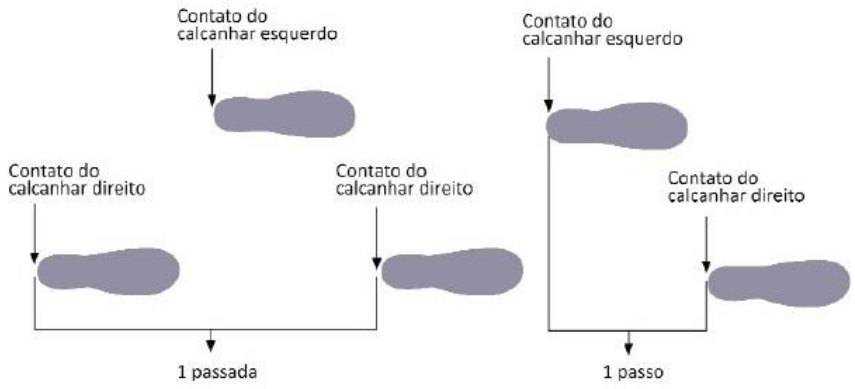
$$\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}\,. \tag{4.2}$$

Tanto a velocidade quanto a aceleração possuem como unidades de medida usual, respectivamente, a relação de metros por segundo ($m/s$) e metros por segundo ao quadrado ($m/s^2$).

### 4.2.4 Passada x Passo

O evento em que o pé sai do solo até o momento em que ele toca novamente foi definido como a passada. O passo, sendo a metade da passada que se inicia no contato de um dos pés com o solo e termina no contato do pé contrário no solo (Figura 4.2).

**Figura 4.2** - Representação dos parâmetros de análise da passada e do passo.




Fonte: HAMILL et al, 1999.

E comum ver corredores com passos rápidos, e outros com passos mais lentos. O que se acredita é que quanto mais alta a pessoa, maior será sua passada e menor sua frequência. Do mesmo modo as pessoas mais baixas, com uma amplitude menor e maior frequência nos passos, tal fato foi o que autores (como Hay 1981) destacaram: há evidências de que indivíduos mais altos atingiriam maior amplitude de passada, bem como menor frequência de passada. Já Bus (2003), não encontrou quaisquer correlações entre o tamanho de membros inferiores com a amplitude de passada.

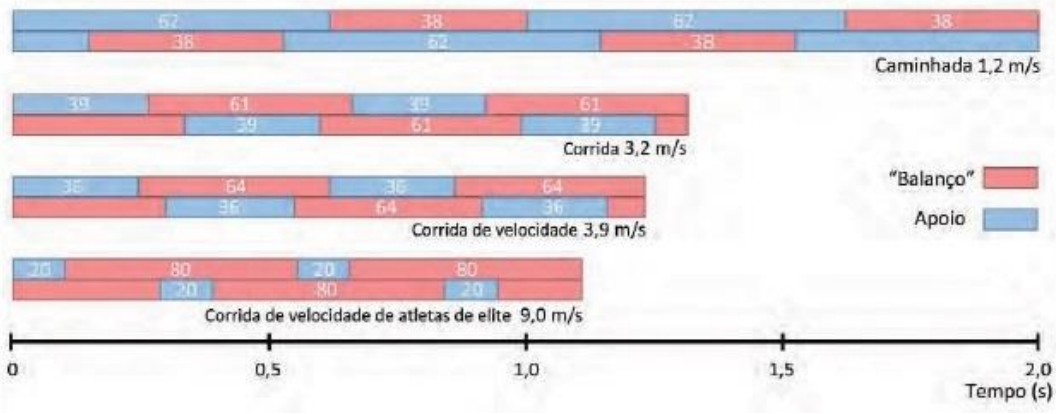
### 4.2.5 Fase de apoio com o solo

Outro conceito importante no ato de correr é a fase de apoio, a qual se dá sempre que um dos pés está em contato com o solo. Sendo assim, a fase de não apoio, mais conhecida como fase de voo ou aérea, ocorre quando não há nenhum contato com o solo. É importante ressaltar que, o tempo de apoio é diferente para cada velocidade, ou seja, a fase de apoio é inversamente proporcional à velocidade, como mostra a figura 4.3.

Com o passar dos anos foram feitos diversos experimentos na intenção de provar a relação da velocidade com o tempo de contato com o solo. Foi verificado que: conforme é aumentada a velocidade de corrida, o tempo de contato som o solo diminui, foi observado também, uma redução de todas as fases de apoio dos membros inferiores, e um acréscimo na fase aérea.

Isso pode explicar por que a corrida mais lenta possibilita que o corredor fique mais tempo em contato com o solo e, consequentemente, menos tempo na fase aérea. Sendo assim, a corrida que exige uma maior velocidade, o corredor passará menos tempo de contato com o solo, e mais tempo na fase de Voo. Conforme mostra a figura 4.3 a seguir:

**Figura 4.3** – Gráfico mostrando a relação de velocidade com o tempo de contato e tempo de balanço (aéreo).

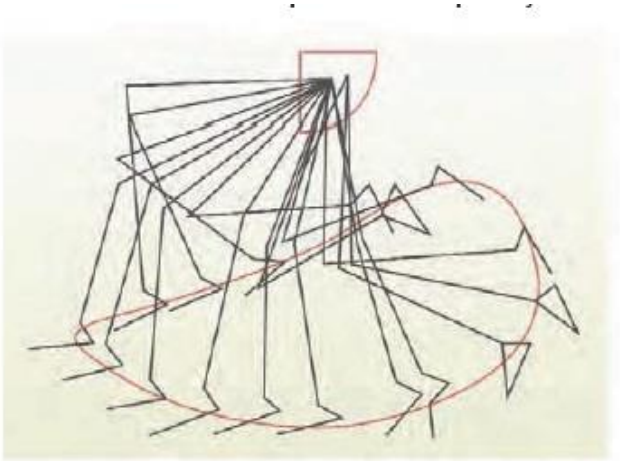



Fonte: NOVACHECK, 1998.

Na figura 4.3 a barra azul representa o tempo de contato com o solo (apoio), a barra vermelha a fase aérea (balanço). Notamos que, quanto maior a velocidade menor fica a barra azul e maior a barra vermelha, o que indica que a velocidade é diretamente proporcional a variação do tempo de balanço e, inversamente proporcional ao tempo de contato com o solo.

A velocidade de corrida promove alterações não apenas na duração das fases, mas também na forma como elas acontecem. Por exemplo, nas corridas de velocidade a fase de apoio é executada apenas com o terço anterior do pé, como mostra a figura 4.4, a seguir:

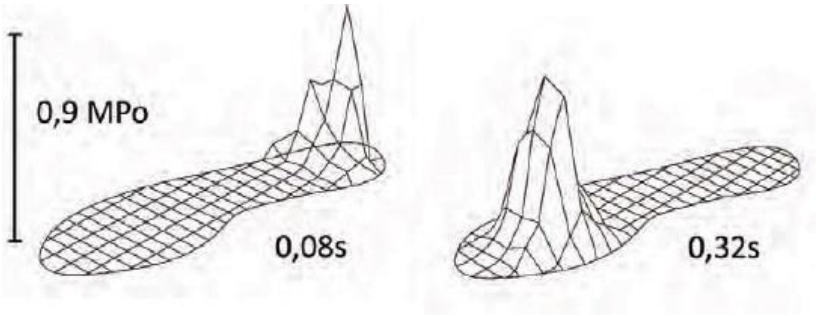
**Figura 4.4** - Padrão da fase de apoio e recuperação da corrida.



Fonte: Adaptado de IAAF, 2009.

Por outro lado, nas corridas de grandes distâncias, o padrão de distribuição muda, o contato inicial é pelo calcanhar, e percorre toda a planta do pé até chegar na ponta, como mostra a figura 4.5.

**Figura 4.5** - Mostra o tempo em que o calcanhar e a ponta do pé se mantem em contato com o solo para corredores de longa distância.




Fonte: NOVACHECK, 1998.

### 4.2.6 Força de Reação do Solo (FRS)

A força de reação do solo (FRS) está diretamente ligada com a Terceira Lei do Movimento de Newton, já comentada no capítulo 2. Quando uma pessoa corre, a cada pisada ela exerce uma força no chão. O chão, por sua vez, de acordo com a Terceira Lei de Newton, exerce uma força de igual magnitude e em direção contrária a essa pisada, o que provoca o deslocamento do corpo no sentido da corrida. Essa força é conhecida como Força de Reação do Solo. Conforme mostram as figuras 4.6 e 4.7, a seguir:

**Figura 4.6** - Representação da ação e da reação na corrida.

Fonte: Vale, UNESCO, 2013, Pag. 19.

**Figura 4.7** – Representação vetorial da força de reação do solo durante a fase de apoio.

Fonte: AMADIO, 1997.

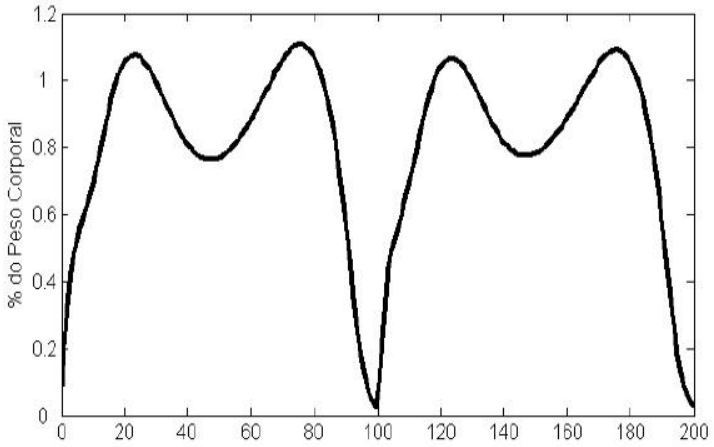
Na figura 4.6 a força de reação do solo (seta amarela) está na mesma direção do movimento, acelerando, olhemos agora com mais detalhe na representação vetorial.

Na figura 4.7 é representado o diagrama vetorial da força reação do solo em relação ao deslocamento do ponto de aplicação da força resultante no plano sagital. Essa visualização vetorial da força de reação do solo caracteriza a aceleração do centro de gravidade na direção do movimento.

A força de reação do solo está relacionada com duas componentes, a componente da força de atrito e, a força normal do pé que está apoiado no solo. A soma dessas duas componentes resulta no vetor soma, esse vetor é a (FRS). A componente vertical, a normal, se estando o corpo em repouso ela se acomoda ao peso. “Para reiterar a importância deste componente vertical, em um salto, ela pode ser de 11 vezes, ou mais, o peso corporal, variando em função da altura de onde o corpo caiu em contato com solo” (Hamill & Knutzen, 2012). Outro efeito é o de absorção e impulsão, no qual acontece durante o tempo de apoio, graficamente resulta em uma curva característica do componente vertical da força em função do tempo possui dois picos e um vale.

O primeiro pico, observado durante a primeira metade do período de apoio e caracteriza parte do apoio quando a perna está recebendo o peso corporal, logo após o contato do pé com o solo. O segundo pico é observado no final do período de apoio e representa a propulsão do (antepé) à frente, para iniciar o próximo passo. (ORTIZ, 2010), (Figura 4.8).

**Figura 4.8 -** FRS média de 30 sujeitos normais, normalizada pelo peso corporal. No eixo x, o trecho entre 0 e 100 representa o membro inferior direito e entre 201 e 200 o membro inferior esquerdo.



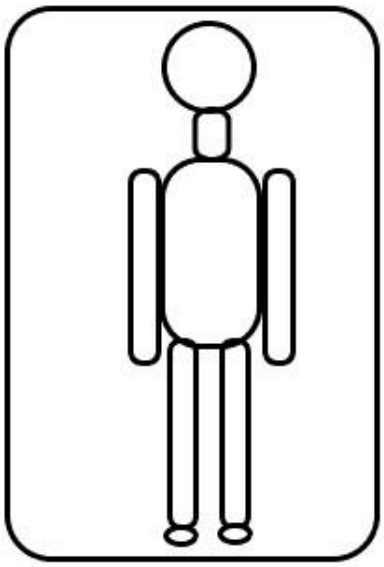

Fonte: MUNIZ, 2008.

O vale entre os dois picos corresponde à etapa de balanço do pé não apoiado ao solo, sendo que o valor mínimo ocorre quando o pé se encontra na posição plana em relação ao solo, no período de apoio simples.

# 5 MODELAGEM.

Modelagem é a arte de criar ou gerar modelos, e modelos é tudo aquilo que usamos para representar algo como exemplo olhe a figura 5.1. Nela modelamos uma pessoa em pé e parada com os braços na lateral do corpo. Na imagem conseguimos identificar que é uma pessoa pelas características como: um círculo com dois seguimentos de retas abaixo dele. Olhando, dá para identificar que é uma cabeça e, um pescoço, assim como, os braços e pernas, ou seja, na figura tem uma série de características de uma pessoa real que faz com que nós o identifiquemos. Então o modelo conceitual serve para representar algo real. Pode ser um modelo simples como a Figura 5.1 e, pode ser um modelo completo, com várias características importantes (BASSANEZI, 2002).

**Figura 5.1** - Modelo simples de uma pessoa.



Um modelo é normalmente uma simplificação do mundo real ou alguma forma conveniente de trabalhar com este mundo, mas as características essenciais a serem estudadas no mundo real devem aparecer no modelo, de modo que o seu comportamento seja igual ou semelhante aquele do sistema modelado.

Sobre o modelo matemático, ele consiste de um conjunto de equações que representam de uma forma quantitativa, as hipóteses que foram usadas na construção do modelo, as quais se apoiam sobre o sistema real. Tais equações são resolvidas

em função de alguns valores conhecidos ou previstos pelo modelo real e podem ser testadas através da comparação com os dados conhecidos ou previstos com as medidas realizadas no mundo real. (SODRE, 2007).

## 5.1 Modelagem Didático-científica

É muito comum ver em escolas professores tradicionais que apenas repassam o que está escrito nos livros, sem ao menos questionar a importância de ter o conhecimento de determinado assunto, ou o porquê de saber determinado conceito e, de como usar determinada equação. Isso evidencia a forma como uma significativa parcela dos estudantes interpreta a disciplina de Física: um punhado de teorias com pouca ou nenhuma conexão com a realidade. Identificar fatores que explicam tal situação não é tarefa complicada. O ensino de Física tem sido frequentemente pautado pela resolução de problemas acadêmicos que fazem referência exclusivamente a eventos e objetos já idealizados, nos quais são desprezados diversos aspectos da complexidade característica dos eventos reais. (HEIDEMANN; ARAUJO; VEIT, 2016)

Fica evidente, portanto, que um dos fatores de muitos alunos não saberem como resolver questões que envolvem o seu dia a dia é reflexo da forma com que lhe é “passado” o processo de ensino-aprendizagem na aula. Não conseguindo idealizar conceitos, leis e princípios relacionado a várias áreas da Física, deixando assim, uma lacuna no ensino. Uma solução para esse problema pode ser a modelagem.

Para VERGNAUD, 1996, modelagem didático-científica pode ser compreendida como um instrumento teórico metodológico que orienta as ações do sujeito em situação quando ele, de alguma forma, precisa modelar situações físicas no contexto educacional. Ele ainda comenta que, um dos problemas do ensino é desenvolver ao mesmo tempo a forma operatória do conhecimento, isto é, o saber-fazer, e a forma predicativa do conhecimento, isto é, o saber explicitar os objetos e suas propriedades.

Quando uma pessoa se depara com um problema em que é necessário sua simplificação, envolvendo eventos reais, ela encontra respaldo na modelagem científica, na medida em que esses esquemas são invariantes frente a uma classe de situações de modelagem e compreendem conhecimentos especificamente relacionados com o processo de modelagem científica, ou seja, conceitos e teoremas que possibilitam que

o indivíduo reconheça os elementos pertinentes das situações que envolvem a construção, o uso e a validação de modelos científicos.

Brandão, Araujo e Veit (2011, pag.511) em sua tese fala sobre modelagem científica na concepção de Mario Bunge.

> De acordo com Bunge, os dois principais sentidos que devem ser considerados para o termo modelo, nas Ciências Fatuais da natureza e do homem, são: "o modelo enquanto representação esquemática de um objeto concreto e o modelo enquanto teoria relativa a esta idealização" (Ibid., p. 30). O primeiro sentido define o que Bunge denomina de objeto-modelo de um objeto (ou evento) concreto. O segundo sentido resume o que o autor entende por modelo teórico. Esse conceito, cujo referente direto é o objeto-modelo que lhe deu origem, é concebido como um sistema hipotético-dedutivo específico e deve ser representado por um conjunto de hipóteses e expressas de preferência em linguagem matemática.

O Quadro 5.1, inspirado em Bunge, ilustra o processo de modelagem de algumas situações de interesse em Física.

**Quadro 5.1 –** Situações e construtos envolvidos no processo de modelagem em Física, na concepção de Bunge (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2008a).

| Situação a ser modelada | Objeto-modelo | Teoria geral | Modelo teórico |
|---|---|---|---|
| Escoamento da água no interior de uma tubulação | Fluido contínuo sem viscosidade | Mecânica dos Fluidos | Modelo de fluido ideal |
| | Fluido contínuo com viscosidade | | Modelo de fluido viscoso |
| Certa quantidade de gás contida num recipiente fechado | Sistema de partículas, termicamente isolado, que interagem via colisões perfeitamente elásticas | Mecânica Estatística e Mecânica Clássica | Modelo de gás ideal clássico |
| | | Mecânica Estatística e Mecânica Quântica | Modelo de gás ideal quântico |
| Comportamento da matéria em nível microscópico | Sistema planetário | Mecânica Clássica e Eletromagnetismo | Modelo atômico de Rutherford |

Fonte: BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2008a.

Como se pode ver pelo Quadro 5.1, em Física, existem tantos modelos conceituais quantas forem as idealizações e os objetivos a serem almejados. Com isso, são muitos os modelos teóricos para representar a realidade. A construção de modelos teóricos é uma atividade de criação que depende, entre outras coisas, do tipo de conhecimento disponível sobre o sistema físico, sem falar das idiossincrasias (habilidades e preferências intelectuais) do cientista.

# 6 METODOLOGIA ADOTADA PARA A PROPOSTA.

Neste capítulo é mostrada a metodologia que foi utilizada para modelagem de uma situação real, de um corredor, destinada aos alunos do ensino de Física no ensino médio. Utilizando o programa de medição de grandezas em vídeo, Tracker, foi possível determinar aproximadamente, as variáveis $\Delta h$ , $\Delta t$ as quais são respectivamente a variação da posição do centro de massa no eixo vertical e o tempo de contato do pé com o solo e capturas de imagens.

## 6.1 Ferramentas utilizadas

Utilizando uma câmera de celular, foram capturadas imagens de um voluntário no parque de uma cidade. Esse voluntário (corredor), correu de diversas maneiras, adotadas como corretas e incorretas, segundo a Biomecânica, fundamentada no capítulo 4. Com o auxílio do Tracker, usando a ferramenta chamada “Fita de calibração” (Figura 6.1), obtemos a medida, em metros, como referência para determinar outras variáveis. Como é conhecida a altura do corredor, $1{,}60\ m$, com o tênis, foi usado essa medida como calibração para as outras. (Figura 6.2).

**Figura 6.1** - Mostra o Menu e a opção onde se seleciona a fita de calibração do programa.

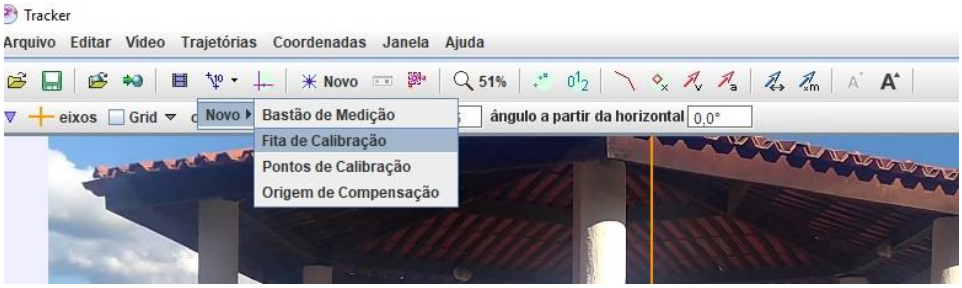
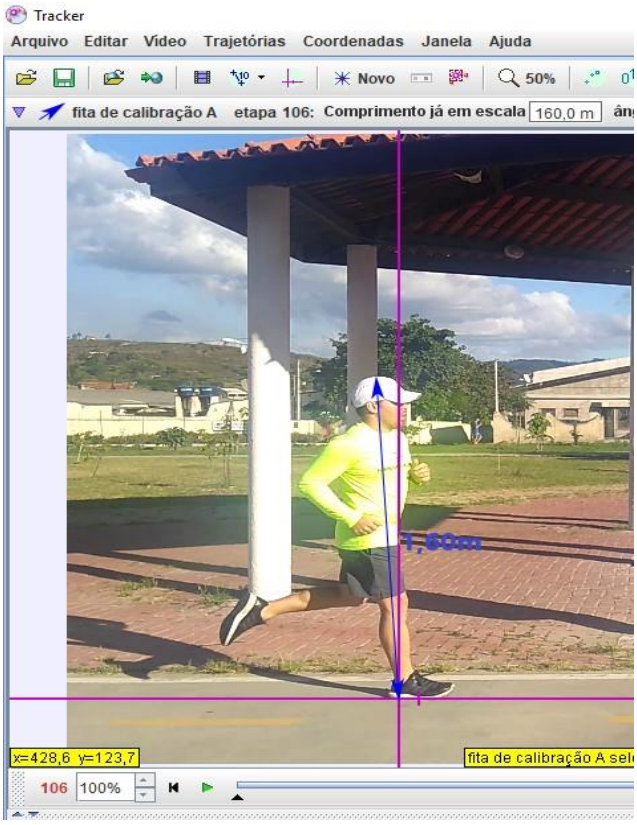


**Figura 6.2** - Exibindo a fita de calibração com o referencial de altura.




Agora que calibramos uma altura padrão no programa podemos estimar aproximadamente os valores da variação $\Delta h$ do deslocamento do centro de massa no eixo vertical, um dado que será muito importante à frente. Utilizando a opção de reproduzir o vídeo quadro a quadro, foi possível determinar a duração do tempo $\Delta t$ de contato com o solo, dado também importante para outros cálculos à frente. Vale a pena ressaltar que todos esses dados são aproximados.

## 6.2 Construção do modelo conceitual e teórico

Essa construção foi dividida em três partes: a primeira parte fala sobre a força de reação do solo com a Terceira Lei de Newton. A segunda parte fala sobre, torque e centro de massa. A terceira parte fala de atrito, decomposição de forças e aceleração.

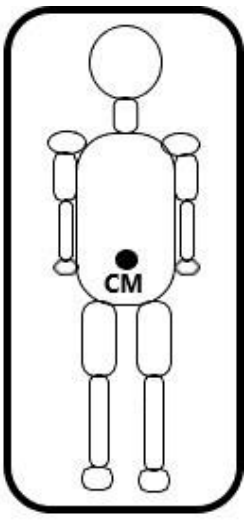
### 6.2.1 Primeira parte

É feito uma comparação da força de contado com o solo em cada pé, em três exemplos: o primeiro de um homem parado, em pé, com os braços pendentes ao lado do corpo; o segundo de um homem correndo da maneira considerada mais correta pela Biomecânica; o terceiro, do mesmo homem correndo, porém com uma variação maior no deslocamento do seu centro de massa na vertical.

**Exemplo 6.1**

Na figura 6.3, é mostrado um modelo de um homem onde os pés foram modelados como um ponto de apoio único (um pequeno círculo) por conveniência.

**Figura 6.3** - Homem em posição ereta com braços pendentes ao lado do corpo.




Para calcular a força que cada pé ($P_d$ , $P_e$) está suportando foi usado a formula (2.2), considerando que a massa do modelo é de $70\ kg$ e a aceleração da gravidade sendo $9{,}81\ m/s^2$, a sua força peso total é de aproximadamente $686{,}7\ N$. Além disso, é considerado que, no modelo do exemplo 1, a força peso é distribuída igualmente para ambas as pernas. Sendo assim, podemos concluir que em situação de repouso com os dois pés no chão a força em que cada pé exerce no solo é de $343{,}4\ N$. Nesse exemplo, a força é distribuída igualmente para ambos os pés, o que já era esperado.

### 6.2.2 Corpo em movimento (corrida)

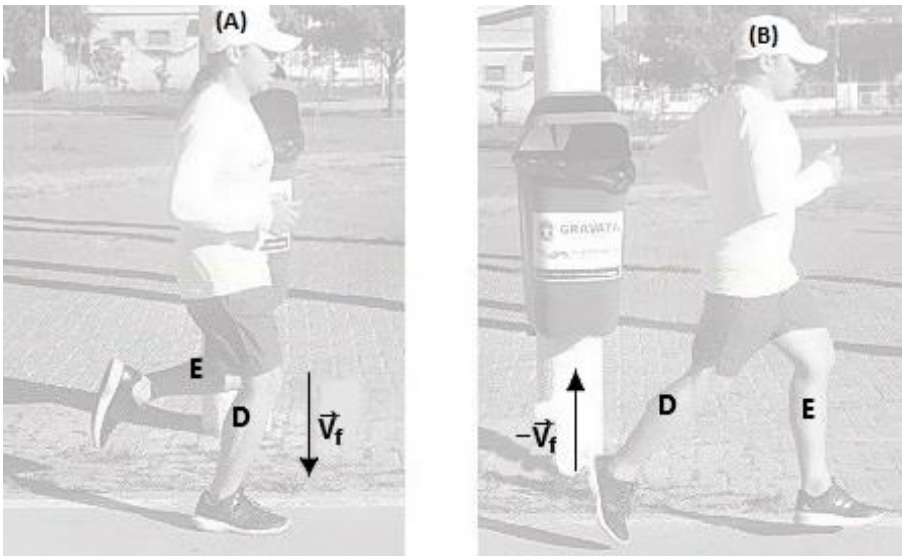
**Exemplo 6.2**

Na figura 6.4 vemos dois momentos de um homem correndo corretamente. No primeiro momento (fase de apoio), considerando o eixo vertical para cima como positivo, seu centro de massa se encontra na parte mais baixa verticalmente durante o movimento de correr, no segundo momento (fase aérea), vemos que o centro de massa é deslocado no sentido positivo do eixo vertical. Nesse momento é onde ocorre a variação de altura máxima do centro de massa do corredor. Dessa forma, usando o programa Tracker e adotando a posição do centro de massa inicial (momento1) como referência, medimos $\Delta h = 0{,}077\ m$.

**Figura 6.4** – Mostra o momento mínimo e máximo da variação da altura do centro de massa em uma corrida correta.

Seguindo o modelo do exemplo 6.2, foi assumido que no momento em que o pé direito (D) sai do solo impulsionando o corpo com uma velocidade $\vec{v}_i$ , (Figura 6.5B),esse pé tem a mesma velocidade vertical $\vec{v}_f$ com que o pé direito (D) atinge o solo, (Figura 6.5A), porém com sentido oposto.

**Figura 6.5** - Mostra dois momentos A e B. O sentido da velocidade é representado pelo vetor velocidade, no pé de entrada e, pé de saída.




Substituindo $\vec{v}_i$ por $-\vec{v}_f$ na equação (2.13), temos:

$$\vec{F}\Delta t = m\vec{v}_f - m(-\vec{v}_f)\text{, resulta:}$$

$$\vec{F}\Delta t = 2m\vec{v}_f. \tag{6.1}$$

Continuando, após o corpo atingir a altura máxima, consideramos que o corpo faz um movimento de queda livre. Assim, podemos usar o MUV, (seção 2.5), e utilizar a equação da velocidade final (2.16).

Substituindo (2.16) em (6.1), temos:

$$F = \frac{2.m.\sqrt{2.g.\Delta h}}{\Delta t}. \tag{6.2}$$

Onde *m* é a massa total do corpo, *g* e a aceleração da gravidade, $\Delta$h a variação do deslocamento vertical do centro de massa e $\Delta$t é o intervalo de tempo em que o pé se mantém em contato com o solo (tempo de apoio). Esse tempo, também foi determinado pelo programa Tracker através do quadro a quadro.

$$\Delta t = 0{,}11\ (s).$$

Considerando que o corredor tem $70\,kg$ e que a aceleração da gravidade nesse local é de $9{,}81\,m/s^2$ podemos substituir os valores na equação (6.2) e calcular a força de contato do pé com o solo:

$$F = \frac{2.70\sqrt{2.9{,}81.0{,}077}}{0{,}11} \cong 1563{,}6\ \ (N)$$

Diferente do exemplo 1, no qual a força de contato com o solo em cada pé era de $343{,}4\,N$, nesse, a força em cada pé é aproximadamente $4{,}5$ vezes maior. Além dos saltos, um dos motivos, desse aumento da força de contato se dá pelo peso do corredor se concentrar em apenas um pé por vez. O corredor está suportando equivalente a $2{,}3$ vezes o peso do seu corpo, em cada pé.

**Exemplo 6.3**

Nesse exemplo, representado pela figura 6.6, é notório que o corredor está com uma variação maior no centro de massa na vertical $\Delta h = 0{,}15m$, usando a mesma massa, aceleração da gravidade e tempo, foi calculado a força de contato com o solo para esse exemplo usando a formula (6.2), Logo:

$$F = \frac{2.70\sqrt{2.9{,}81.0{,}15}}{0{,}11} \cong 2182\ \ (N)$$

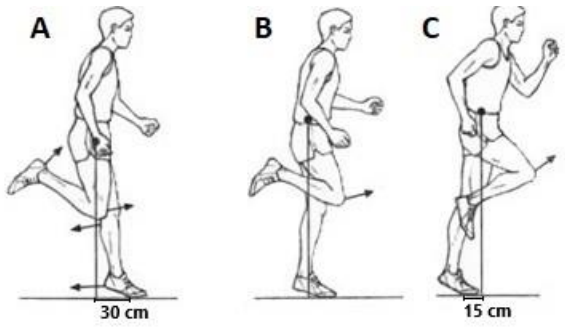
**Figura 6.6** - Mostra o corredor correndo da maneira incorreta, dando saltos, e tendo como resultado uma variação maior no deslocamento do centro de massa.

Conclui-se que a força de contato aumentou significativamente, haja vista que, a força de contato é proporcional a $\Delta h$. Nesse exemplo, a força com a qual o corredor toca no solo é de $3{,}1$ vezes o seu peso.

### 6.2.3 Segunda parte

A inclinação do corpo no momento da corrida pode favorecer ou prejudicar o movimento. Essa inclinação muda a posição do centro de gravidade do corpo. A figura 6.7 mostra corretamente as três fases da corrida: a de suporte, impulsão e recuperação ou aérea.

**Figura 6.7** - As três fases da corrida, A=Suporte, B=Impulsão, C=Recuperação ou Aérea.




Fonte: profespfernando – Consultoria educacional[5]

Na figura 6.7(A) está representada a fase de suporte. No início do instante do contato do pé com o solo, este (pé) deve estar à frente, aproximadamente 30 cm, do ponto diretamente abaixo do centro de massa (CM). Esta é a fase mais curta, entre as três, e termina quando o CM é deslocado para frente do pé em contato com o solo. Na figura 6.7(B) a fase de impulsão ocorre imediatamente após o término da fase de suporte, a fase de impulsão inicia e continua até os pés abandonarem o chão aproximadamente 15 cm, bem atrás do CM. Por último a figura 6.7(C), fase de recuperação ou aérea, inicia quando os dedos do pé na fase de impulsão abandonam o chão, atrás do CM, e termina quando o mesmo pé, volta a tocar o solo à frente do CM, para iniciar, novamente, a fase de suporte.

[5] Disponível em < https://sites.google.com/site/profespfernando/aulas/aeset/atletismo/aula-3--corridas-aspectos-anatomo-funcionais >. Acesso em ago.2018.

**Exemplo 6.4**

Antes fizemos uma análise da força de contado dos pés com o solo. Agora com esse exemplo vamos analisar o torque em que o corpo está sujeito durante a corrida. Representado pela figura 6.8, o exemplo consiste em um homem correndo com a postura inadequada para a Biomecânica da corrida.

**Figura 6.8** - Homem correndo com a postura errada, com o tronco inclinado para trás.

No exemplo 6.4 o corredor ao inclinar o corpo para trás aumenta a distância do centro de massa até a normal do pé de entrada, observe que a distância agora é de $40\ cm$, $10\ cm$ a mais do máximo recomendado.

Usando a equação 2.4 podemos calcular o torque em que o corpo desse exemplo está sujeito, $|\vec{\tau}| = dFsen\theta$, onde $d$ é o módulo da distância do centro de massa até a normal, e $F$ o módulo da força peso, como $\theta = 90^{\circ}$ ,temos que, $sen90^{\circ} = 1$. Ficando apenas:

$$\tau = d \cdot F \tag{6.3}$$

Onde $\tau$ é o módulo do vetor torque. Considerando o CM como a origem do sistema, $d = 0,4\ \ m$, $F = mg = 686,7\ \ N$ substituindo os valores em (6.3) temos:

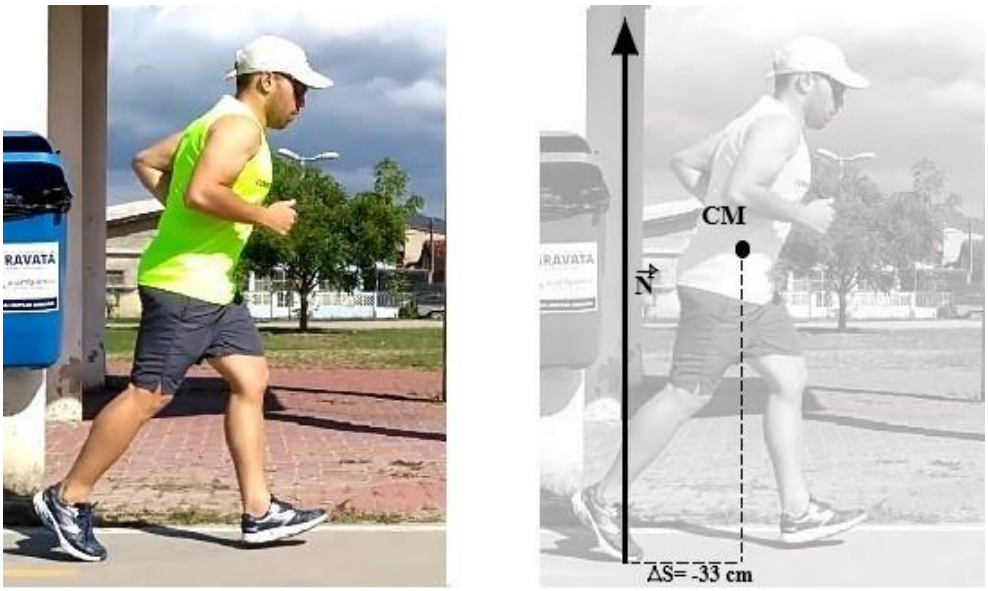
$$\tau = 0,4.686,7 = 274,7 \quad N \cdot m$$

O valor do módulo do torque $\tau$ no exemplo 6.8, foi de $274,7\ N \cdot m$, no capítulo 2, foi admitido que o valor positivo (+) do módulo do torque $\tau$, leva à rotação do corpo no sentido anti-horário , sentido esse, contrário ao movimento do corredor. Esse torque deve ser equilibrado com outro torque de sentido contrário produzido por força muscular, ou seja, quanto maior a inclinação do corpo para trás, maior deve ser a força muscular para manter o equilíbrio. Além disso, a cada pisada, o corredor precisa fazer um maior esforço para trazer o corpo à frente, diferente da figura 6.7(a). Esse tipo de postura força ao corredor aterrissar sempre com o calcanhar, o que prejudica a dinâmica da corrida e pode causar lesões.

**Exemplo 6.5**

Nesse exemplo representado pela figura 6.9, o corredor está com o tronco à frente do CM, essa postura é considerada como correta para a Biomecânica da corrida.

**Figura 6.9** – Homem correndo com a postura correta, com o tronco inclinado para frente.




Calculando agora o torque no exemplo 6.5, usando as mesmas condições do exemplo 6.4 temos:

$$\tau = -0,33 \cdot 686,7 = -226,6 \quad N \cdot m$$

Observe que no exemplo 6.5 o valor do modulo do torque $\tau$ foi de $-226,6\ N \cdot m$ ,no capítulo 2, foi admitido que o valor negativo (-) do módulo do torque $\tau$, leva à rotação do corpo no sentido horário, um torque a favor do movimento. Esse torque é o ideal para corrida, pois em toda fase, o tronco deve ser projetado a agir à frente do CM e os membros inferiores atrás do CM. Aumentando o comprimento de passada, aumentando, consequentemente, a força exercida pela perna agindo atrás do CM, aumenta-se a projeção do corpo à frente e a velocidade linear de corrida. Durante toda a fase de impulsão o corredor deve ter a sensação de empurrar o chão para trás.

.

### 6.2.4 Terceira parte (Pisada)

Observando a figura 6.10, supondo que um corredor está tendo seu movimento acelerado a cada pisada, e o outro o seu movimento freado. A diferença entre os dois está nas componentes vetoriais da força normal com a força de atrito que resulta no vetor força de reação do solo (FRS). A direção e sentido do vetor resultante FRS determina a aceleração e desaceleração do movimento.

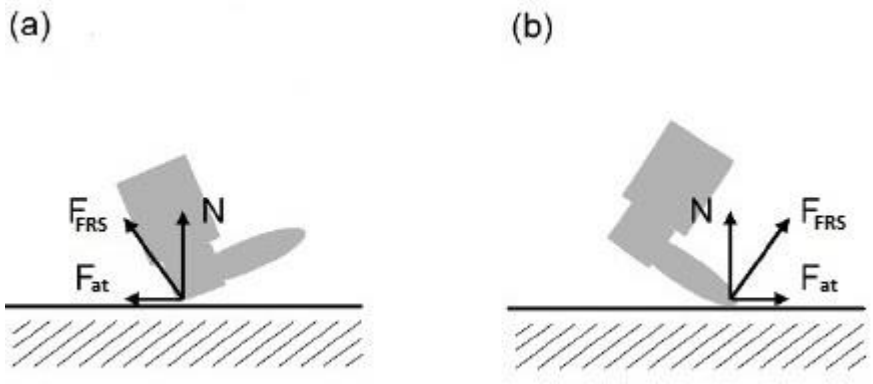
**Figura 6.10** - Dois corredores com diferentes aterrisagens.

Fonte: fquirinotriathlon.blogspot.com[6]

[6] Disponível em < http://fquirinotriathlon.blogspot.com/2010/09/pisa-direito-po.html >. Acesso em ago.2018.

Olhemos agora com mais atenção a figura 6.11 que mostra a decomposição de força nos dois tipos de pisadas.

**Figura 6.11 -** (a) Estágio de contato do calcanhar e desaceleração do pé e (b) estágio de contato com a frente do pé e aceleração do movimento.




Fonte: Herman 2008, pag.109.

Olhando para a figura 6.11(a) observa-se que o contato inicial se dá pelo calcanhar, com o membro inferior inclinado para trás, sentido contrário ao movimento. Nessa situação o pé tenderá a (arrastar) o solo, deslizar para frente, e por isso a força de atrito se opõe a esse movimento, resultando em uma força de reação do solo contrário ao movimento do corredor, ou seja, desacelerando a cada pisada.

Aterrissar com o calcanhar pode trazer vários problemas sérios aos membros inferiores do corpo humano, o mais comum é conhecido popularmente como Canelite, a Síndrome da Tensão Tibial Medial (STTM). Vimos no exemplo 3 que o solo exerce uma força de 3,1 vezes o peso do corredor, essa força, deve ser absorvida da maneira correta, ou o corredor terá sérias consequências. Note que na figura 6.11(A), o vetor FRS está na mesma direção da Tíbia (canela), forçando-a absorver todo o impacto da pisada. Esses repetidos impactos é o que provoca a STTM, a qual trata-se de uma inflamação que acomete a região do osso da canela, a tíbia, e sofrem micro rompimentos. (biosom.com.br)[7].

Diferente do que é visto na figura 6.11(a), na figura 6.11(b) o contato inicial se dá pela parte da frente do pé (antepé), os membros inferiores inclinados no sentido do movimento. Assim, a força que o corredor coloca ao ter o primeiro contato no solo

[7] Disponível em < https://biosom.com.br/blog/saude/canelite/ >. Acessado em set.2018.

é para trás, contrário ao movimento. Logo a força de atrito se opõe a essa força empurrando o corpo do corredor para frente, sentido do movimento. Movimento sempre acelerado e progressivo, conforme ilustra na figura 6.12.

**Figura 6.12 -** Atleta Olímpico Usain Bolt, aterrissando com a frente do pé.

Fonte: YouTube.com - Nicholas Eckett[8].

A figura 6.7 Mostra o corredor, recordista olímpico dos $100\ m$ e $200\ m$, Usain Bolt, aterrissando com a parte da frente do pé em uma competição. Essa imagem ilustra bem como deve ser o pé de entrada de um corredor, com a parte da frente, o antepé. Esse tipo de pisada é mais comum em corredores velocistas, isso por que em longas distância se torna mais difícil manter a aterrissagem com a parte da frente do pé, como já foi abordado no capítulo 4. O mais importante é que evita lesões do tipo comentado na figura 6.11(a).

[8] Disponível em < https://www.youtube.com/watch?v=PH-3cHxXAK0 >. Acessado em set.2018.

## 6.3 Proposta de aplicação em sala de aula

Depois do fim do assunto de mecânica peça para os alunos imaginarem uma pessoa parada e outra pessoa correndo. Em seguida, anotar em seus cadernos quais forças estão agindo no homem parado e no homem correndo. Deixe-os à vontade, levarem para casa, essas perguntas, e trazerem na próxima aula para ser discutida entre eles.

Na próxima aula peça para que os alunos identifiquem as Três Leis de Newton na corrida e expliquem o seu ponto de vista. Um próximo passo é pedir que a partir do que foi visto em aula, usando os conceitos de MUV e o Teorema do Impulso, os alunos tentem chegar até a expressão da força de contato do pé com o solo $F = 2.m.\frac{\sqrt{2.g.\Delta h}}{\Delta T}$, de um corredor, e discutam o conceito de cada variável: o tempo de contato com o solo $\Delta T$ , por que quanto menor o tempo de contato maior é a força de reação do solo. É muito importante que nessa fase o professor use o Tracker ou um programa similar para demonstrar visualmente o movimento da corrida e seus efeitos, podendo assim observar junto com os alunos o $\Delta h$ do centro de massa, que é diretamente proporcional à força. Uma ótima discursão, também.

Em um outro momento o professor deve mostrar um vídeo ou imagem com as três fases da corrida fase de suporte, impulsão, aérea. No fim do vídeo passe como atividade as seguintes perguntas para os alunos – qual grandeza física principal está relacionada com a inclinação do tronco do corredor. Qual o sentido de rotação que o torque exerce sobre o corpo, quando o corredor está com o tronco inclinado para frente e quando está inclinado para trás.

Em um último momento o professor pode mostrar uma imagem aos alunos igual similar à figura 6.11, porém sem esta decomposta. Deve fazer as seguintes perguntas, em qual das imagens há uma aceleração e uma desaceleração, mostre o sentido da força de atrito em cada caso, e em seguida ache a direção e sentido da FRS decomposta entre o atrito e a normal, justificando conceitualmente a consequência dessa FRS em cada situação.

# 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo trazer uma proposta de material didático para ser aplicado no ensino médio, para que os alunos se identifiquem com o conteúdo da Física, por meio da modelagem, com o intuito de faze-los expandir as suas capacidades conceituais desfocando das fórmulas decorativas em suas bases da aprendizagem.

A ideia de inclusão de estratégias capaz de promover um ensino com foco no processo de modelagem didáticas, exige uma boa reflexão sobre a participação dos estudantes e professores de Ciências com ferramentas que propiciem a reflexão sobre os propósitos no trabalho mencionados. Com isso, o Tracker torna-se de suma importância para uma análise visual do evento físico, de forma que o próprio aluno possa usar o programa para fazer suas próprias edições de imagens e pesquisas a partir delas.

Esse trabalho pode servir de base para outros trabalhos futuros, para sua complementação, com análise posterior à aplicação do material didático nele proposto. Esse material pode ter uma ampla complementação com a concepção espontânea dos alunos, usando as respostas das perguntas de Mecânica Clássica relacionadas com a corrida. Além disso, há interdisciplinaridade envolvida com a Educação Física, porém não foi o foco do trabalho.

Fica evidente que essa proposta apresentada pode ser expandida para diversas áreas de conhecimentos, tanto no conteúdo principal que é a Física, quanto para o conteúdo de contextualização como a corrida. Nesse trabalho fica a expectativa de uma maior orientação dos professores em seus alunos, usando como ferramenta didática essa proposta, tornando-os um ser mais crítico e evoluído conceitualmente, que é de extrema importância para os futuros acadêmicos.

# REFERÊNCIAS

ADELAAR, R.S. **The practical biomechanics of running.** The American Journal of Sports Medicine, v.6, n.14, p.497-500,1986.

ALCANTARA, Cristina Porto Alves. **Análise cinemática e cinética dos membros inferiores na corrida em adultos e idosos.** 2013. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Educação Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BASSANEZI, Rodney Carlos. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática.** 3. ed. Campinas: Contexto, 2002. 380 p.

BRANDÃO, Rafael Vasques; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. **A modelagem científica vista como um campo conceitual** DOI: 10.5007/2175-7941.2011v28n3p507. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, [s.l.], v. 28, n. 3, p.507-545, 15 dez. 2011. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

BEZERRA JR, Arandi G.; DE OLIVEIRA, Leonardo P.; LENZ, Jorge A.; SAAVEDRA FILHO, Nestor. **Vídeo análise com o software livre *Tracker* no laboratório didático de Física: movimento parabólico e segunda lei de Newton**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, p. 469-490, 2012.

BUS, S. A. **Ground reaction forces and kinematics in distance running in older-aged men**. Medicine & Science in Sports and Exercise**,** Baltimore, v.35, n.7, p.1167-1175, 2003.

FINATTO, Paula. **Efeitos de um treinamento de pilates sobre variáveis fisiológicas e biomecânicas da corrida.** 2015. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Educação Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

FUNDAÇÃO VALE (Brasil). Unesco (Ed.). **Biomecânica do movimento humano.** 9. ed. Brasília: Fundação Vale, 2013. 36 p.

HALLIDAY; RESNICK. **Fundamentos de física:** Mecânica. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 349 p.

Hamill, J. Knutzen, K. (2012). **Bases biomecânicas do movimento humano**. 3. ed. Barueri. São Paulo. Editora Manole.

HEIDEMANN, Leonardo Albuquerque; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. **Modelagem didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física**,** [s.l.], v. 33, n. 1, p.3-32, 25 abr. 2016. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p3.

Mario Bunge: **físico, filósofo y defensor de la ciencia**. Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, Buenos Aires, v. 4, p.1-9, julio. 2009.

Martin PE, Sanderson, DJ. **Biomechanics of walking and running**. In: Exercise and Sport Science. Philadelphia: Lippincot Willians & Wilkins, 2000.

Mcginnis PM. **Biomecânica do Esporte e Exercício**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

OKUNO, Emico; FRATIN, Luciano. **Desvendando a Física do Corpo Humano:** Biomecânica. Barueri: Manole, 2003. 202 p.

OLIVEIRA, Fábio Anastácio de. **Uso e divulgação do software livre tracker em aulas de física do ensino médio.** 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Formação Científica, Educacional e Tecnológica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Cap. 8.

ORTIZ, Carlos Alirio Lozano. **Classificação da força de reação do solo durante a marcha de sujeitos com fratura de membro inferior.** 2010. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Centro de Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Cap. 7.

SILVA, Sarah Regina Dias da; FRAGA, Carina Helena Wasem; GONÇALVES, Mauro. **Efeito da fadiga muscular na biomecânica da corrida: uma revisão**. Motriz, Rio Claro, v. 13, n. 3, p.225-235, set. 2017.

SOARES, Tania Socorro Amorim. **Análise cinética da corrida em maratonistas com calçado tradicional, minimalista e descalço.** 2015. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Educação Física, Faculdade de Desporto, Porto, 2015.

SODRE, Ulysses. **Modelos matemáticos.** Londrina: Uel, 2007. 26 p. VERGNAUD, G. **Teoria dos Campos Conceituais**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA DO RIO DE JANEIRO, 1, 1993, Rio de Janeiro. **Anais...**, 1993. p. 1-26.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D.. **Modelagem no Ensino: Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física, [s.l.], v. 24, n. 2, p.87-96, jun. 2002. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172002000200003.