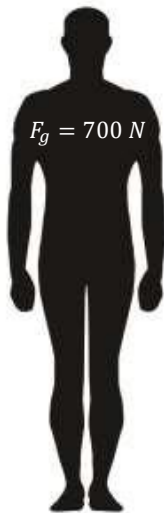


3. O movimento

Cap. 3 de Herman



Em pé em repouso:



$$F_g = 700 \text{ N}$$

$$F = 350 \text{ N} \quad F = 350 \text{ N}$$

$$F = 350 \text{ N}$$



$$F = 350 \text{ N}$$

$$A = 350 \text{ cm}^2$$

$$p = 2 \text{ N/cm}^2$$

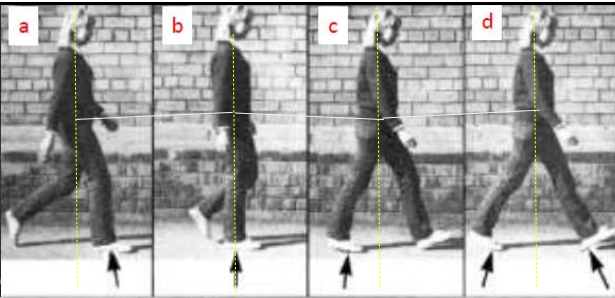
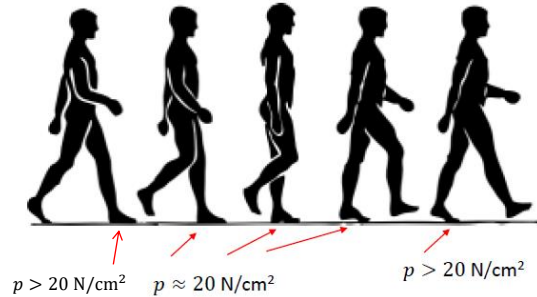
$$A_{\text{efetiva}} < 350 \text{ cm}^2$$



$$p \approx 10 \text{ N/cm}^2$$

Análise da Marcha (andar)

Durante a marcha picos de pressão podem atingir os 60 N/cm^2 (na fase de travagem ou aceleração).



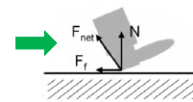
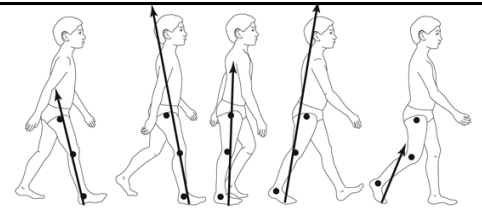
4 fases de um passo (pé direito):

(a) o pé direito desacelera horizontalmente o corpo (FS). O calcanhar é a parte do pé que inicia o contacto com o chão. O pé está á frente da vertical que passa pelo CM.

(b) o pé direito está firme no chão e está sob o CM. O CM sobe.

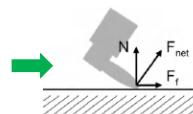
(c) O pé direito está atrás do CM. Maioritariamente é o dedo grande e a parte do pé por trás desse dedo grande que está em contacto com o solo. Inicia-se a fase de aceleração horizontal provocada pelo pé direito (TO).

(d) A parte frontal do pé direito propulsiona o corpo para a frente enquanto o pé esquerdo, ao tocar o solo, começa a provocar a desaceleração horizontal.



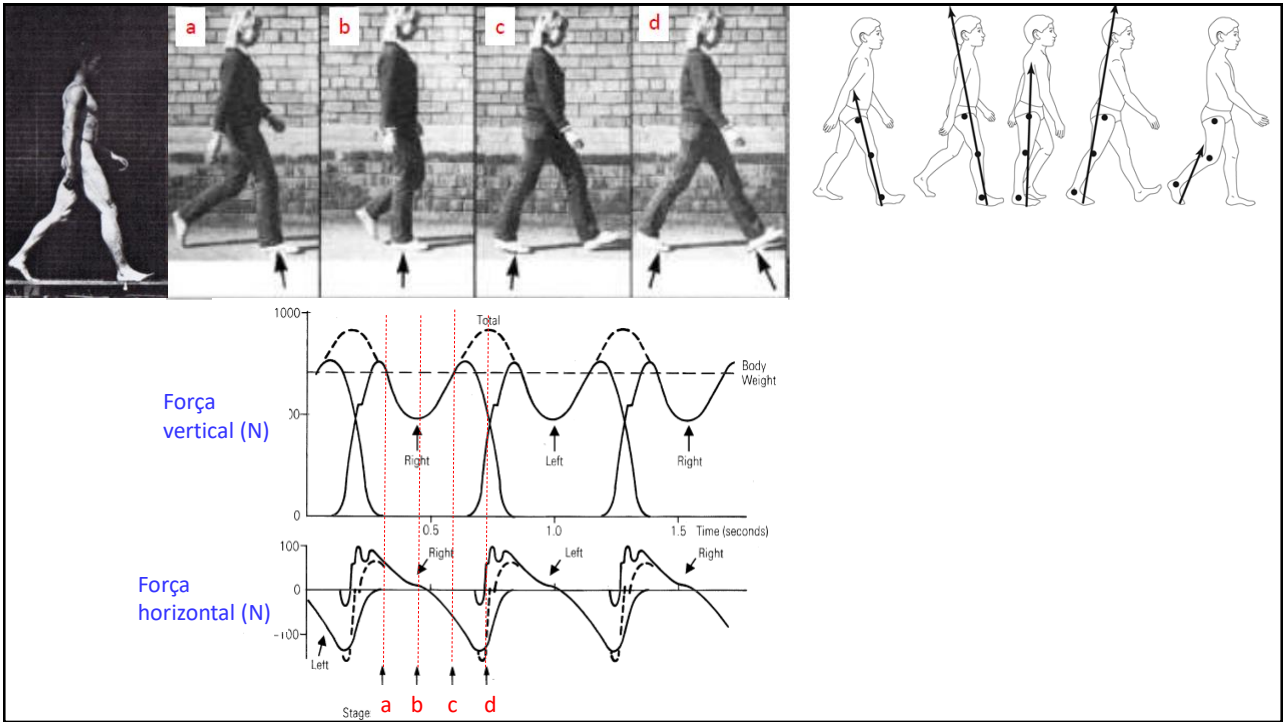
Pancada do calcanhar ou do pé (heel strike ou foot strike FS)

⇒ **pé** provoca **desaceleração** horizontal



Pé ou dedos do pé levantam (toe off ou foot off TO)

⇒ **pé** provoca **aceleração** horizontal

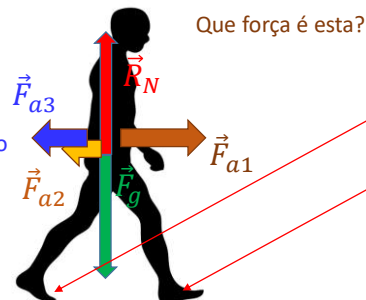


E neste processo do caminhar, o atrito é prejudicial ou benéfico?

Análise macroscópica

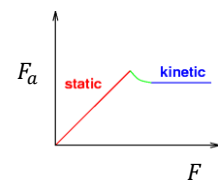
Mas há também o atrito de um corpo a mover-se num fluido.

$$F_{a3} = \frac{1}{2} c_d A \rho v^2$$

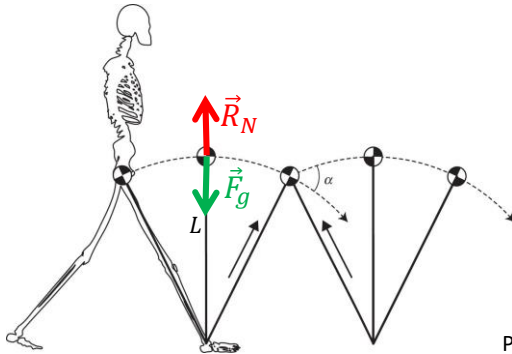


Atrito de escorregamento estático no TO (força periódica) $F_{a1} = \mu R_{N1}$

Atrito de escorregamento estático no FS (força periódica) $F_{a2} = \mu R_{N2}$



Análise do caminhar: modelo do pêndulo invertido



$$F_g - R_N = m \frac{v^2}{L}$$

Quando deixa de existir R_N ($R_N=0$), passa-se da marcha para a corrida.

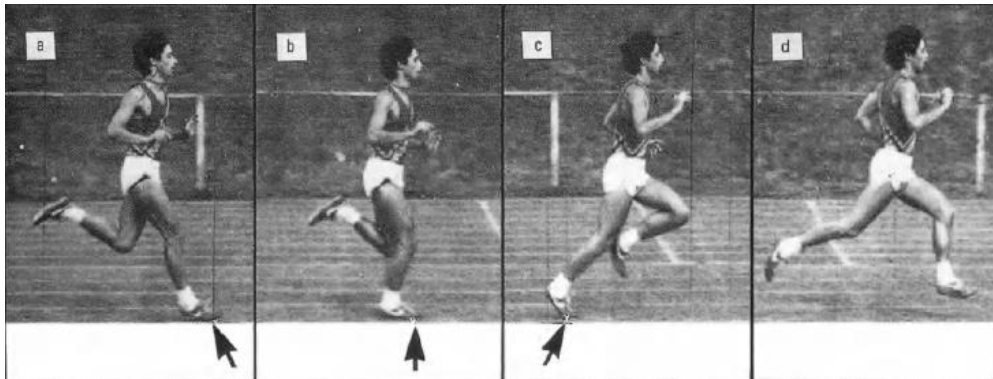
$$F_g = m \frac{v^2}{L} \quad mg = m \frac{v^2}{L}$$

Para manter o caminhar: $v \leq \sqrt{gL}$

Se $L = 0.9 \text{ m} \Rightarrow v_{\max} \approx 3 \text{ m/s}$:

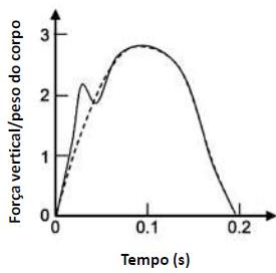
Como as crianças têm pernas menores (L menor) começam a correr a velocidades menores.

Análise do correr



4 fases de um passo (pé direito):

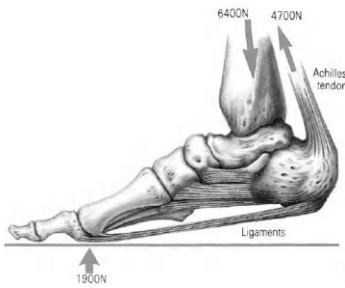
- (a) o pé direito desacelera o corpo. O calcanhar é a parte do pé que inicia o contacto com o chão.
- (b) o pé direito está no chão, o CM está baixo e a energia potencial gravítica é baixa.
- (c) O pé direito acelera o corpo.
- (d) Ambos os pés estão no ar (floating phase). O CM está mais elevado e a energia potencial gravítica é elevada.



A figura ilustra como varia a força vertical, em função do tempo, que um pé exerce no solo, numa passada de uma corrida tipo maratona (4.5 m/s).

A segunda figura representa as forças no pé numa corrida tipo maratona, para um atleta de 70 kg.

Neste caso a força máxima do solo sobre o pé é cerca de 2.7 vezes o peso do atleta. Num sprint, esta força pode atingir 3.6 vezes o peso.

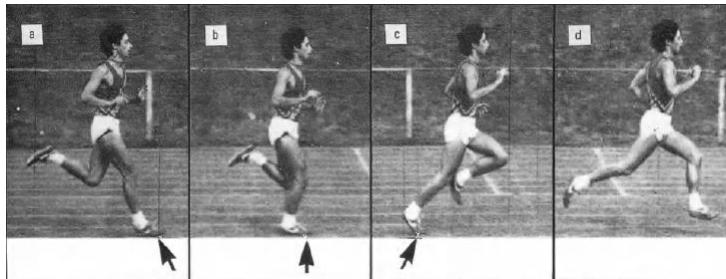


Durante este tipo de corrida, de cada vez que o atleta toca no chão há uma diminuição de energia cinética de cerca 100 J. Nem toda ela é perdida. (Para onde vai?)

Da que não se perde, acumula-se sob a forma de energia potencial elástica (músculos, tendões, ligamentos, ossos): ~35 J acumulam-se no tendão de Aquiles e recuperam-se ~93% (~32.6 J); 17 J acumulam-se no arqueamento do pé e recuperam-se ~80% (13.6 J). Isto dá perto de 50% recuperados (este valor não é consensual) e 50% dissipados.

Para manter uma velocidade “de cruzeiro” durante a corrida, a parte da energia que não é recuperada elasticamente tem de ser usada para reacelerar o corpo. (De onde vem essa energia?)

Checkpoint

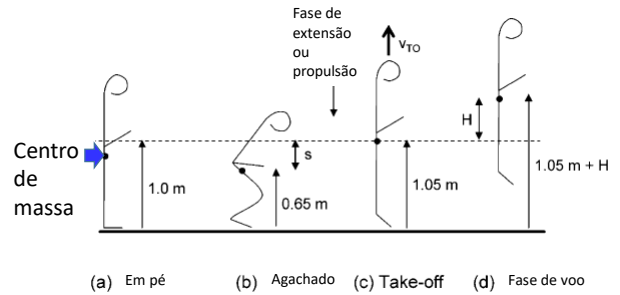
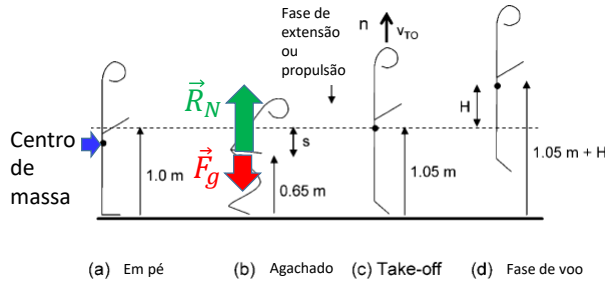


(a) Numa corrida, de cada vez que o pé pousa no solo (FS), a energia cinética diminui cerca de 100 J. Se estiver a correr com uma velocidade de 4.5 m/s, imediatamente antes da fase *a*, faça uma estimativa da sua velocidade imediatamente após a fase *a*? (entre em conta com a sua massa e despreze a velocidade vertical e a alteração de altura do CM.)

(b) Nestas condições, para manter a cadência da corrida, que energia deve ser fornecida pelo corpo, por passo, tendo em atenção que dos 100 J, 35 J foram acumulados elasticamente no tendão de Aquiles e destes recuperam-se 95% e que 17 J são acumulados elasticamente na curvatura da planta do pé, e que destes se recuperam 80%?

(c) Considere que o corredor dá 2 passos por segundo. Os músculos têm um rendimento de 20% na conversão em energia mecânica, qual a quantidade de energia que o corpo tem de fornecer durante 1 h, para manter esta cadência? Apresente o resultado em Kcal (1 cal = 4.1868 J)

Análise do salto vertical



Fase de propulsão

Fase de "voo" livre

$$W = \int_0^s (R_N - F_g) dz$$

$$\frac{1}{2}mv_{TO}^2 + mgh_0 = 0 + mg(h_0 + H) \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_{TO}^2 = mgH \Rightarrow H = \frac{v_{TO}^2}{2g}$$

$$W = (R_N - F_g)s = \frac{1}{2}mv_{TO}^2$$

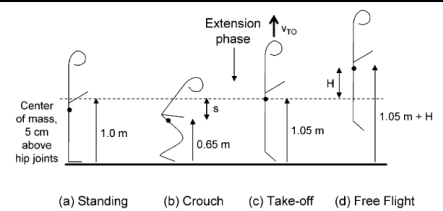
$$W = (R_N - F_g)s = mgH \Rightarrow H = \frac{(R_N - F_g)s}{mg}$$

Admitindo que na fase de lançamento, a aceleração ($a = \frac{R_N - F_g}{m}$) provocada pela resultante das forças é constante:

$$\left[\begin{array}{l} v_{TO} = 0 + a\Delta t \\ s = 0 + 0 + \frac{1}{2}a\Delta t^2 \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} v_{TO} = a\Delta t \\ s = \frac{1}{2}a\Delta t^2 \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} v_{TO} = a\Delta t \\ a\Delta t = \frac{2s}{\Delta t} \end{array} \right] \quad v_{TO} = \frac{2s}{\Delta t}$$

$$\text{Se: } H = \frac{v_{TO}^2}{2g} \Rightarrow H = \frac{2s^2}{g\Delta t^2}$$

Para a mesma "amplitude" de movimento das pernas (s), quanto menor o tempo gasto para o fazer, maior a altura atingida.



Fazer exercício 3 da folha 3 de problemas

Análise do salto em altura



Até 1968, as técnicas dominantes dos atletas de elite para realizar o salto em altura eram:

Técnica *straddle*



Salto de tesoura

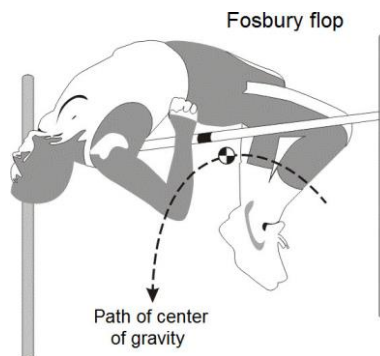
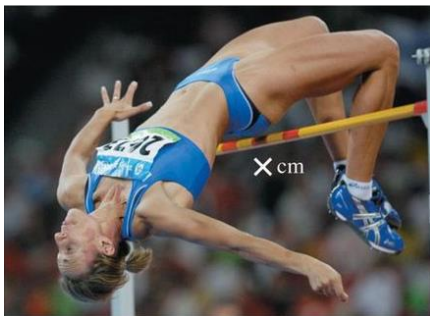


Enrolamento ocidental

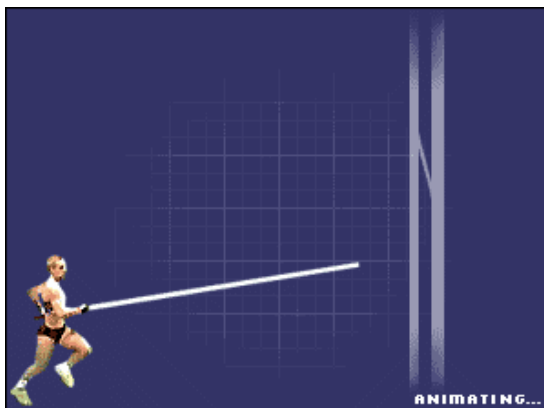


Nos jogos de verão de 1968 na cidade do México, Dick Fosbury revolucionou o salto em altura, através da técnica que ficou a ser conhecida como **Fosbury Flop**.

Esta técnica é tão melhor que as anteriores que todos os atletas de alta competição a praticam. Qual a vantagem do Fosbury flop?



O salto com vara



Numa análise, simples um saltador à vara transforma, numa primeira fase, a sua energia cinética em energia potencial gravítica e energia potencial elástica, mas no momento de passar a barra, a energia será maioritariamente energia potencial gravítica.

$$\frac{1}{2}mv^2 = mg\Delta h$$

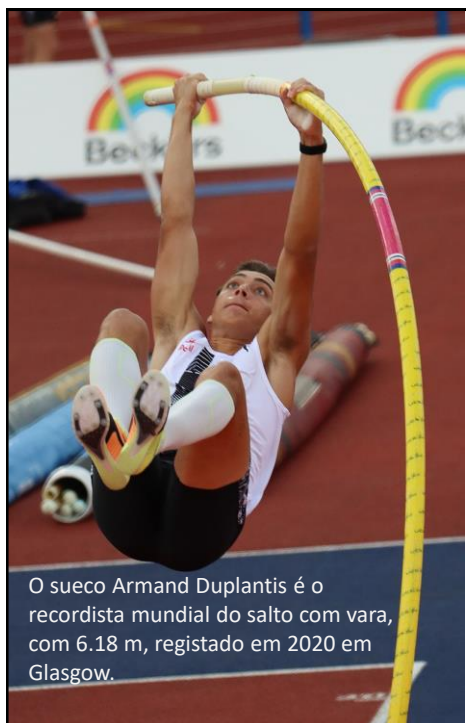
Se a conversão de energia for total, a máxima diferença de altura conseguida pelo atleta seria:

$$\Delta h = \frac{mv^2}{2g}$$

Um atleta masculino de elite consegue atingir uma velocidade de 9.5 m/s e 8.4 m/s, no caso feminino.

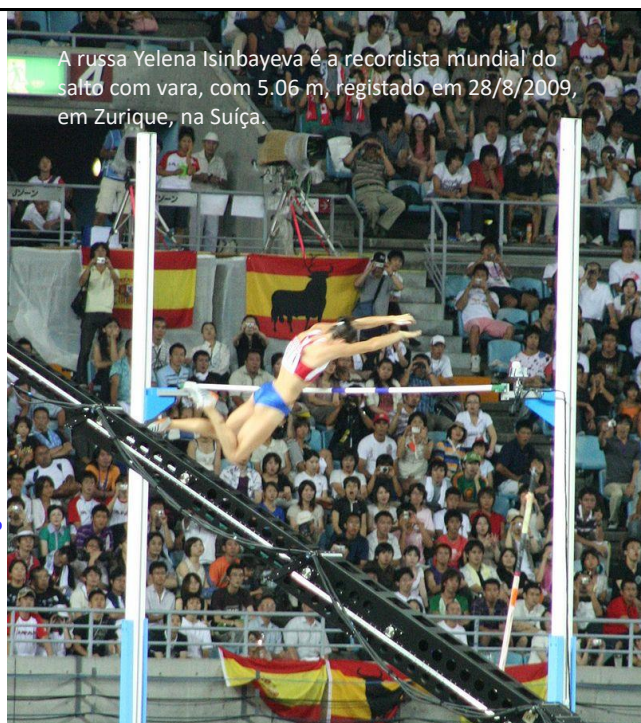
Como o centro de massa fica a cerca de 1 m de altura, relativamente ao solo, significa que os atletas de elite atingiriam $\Delta h = 4.5$ m ou $\Delta h = 3.5$ m, no caso masculino, ou feminino respetivamente. Se somarmos a altura do CM, daria $h = 5.5$ m ou $h = 4.5$ m, respetivamente.

E a componente horizontal da velocidade nunca é nula...



O sueco Armand Duplantis é o recordista mundial do salto com vara, com 6.18 m, registado em 2020 em Glasgow.

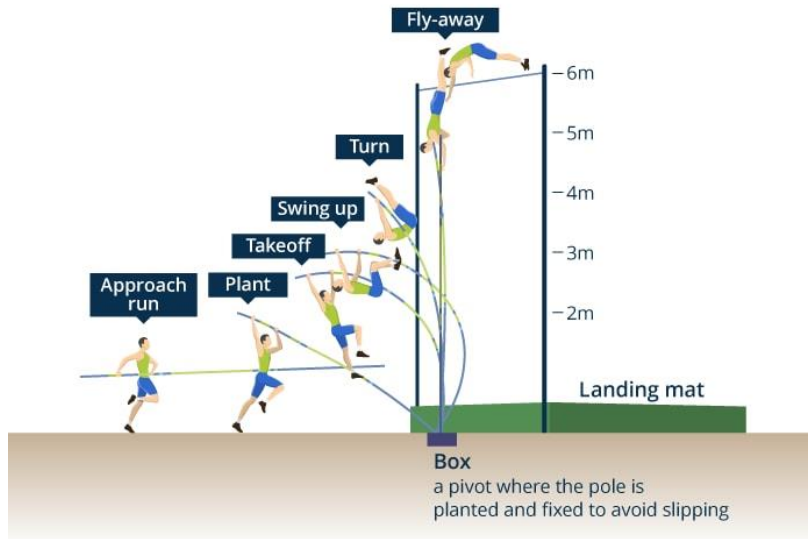
Como é possível?



A russa Yelena Isinbayeva é a recordista mundial do salto com vara, com 5.06 m, registado em 28/8/2009, em Zurique, na Suíça.

Um bom desempenho neste desporto, além da capacidade do atleta (em vários domínios) exige que o material da vara tenha características adequadas. Atualmente as varas são feitas de materiais sintetizados (fibra de carbono, fibra de vidro, ...)

Para realizar um bom salto, além de uma boa barra, o atleta tem de otimizar as diversas fases que da prova.



1 – Fase preparatória (Run up)

Na fase de corrida, o atleta segura a vara perto do corpo. A vara é matida numa posição quase vertical (porquê?)



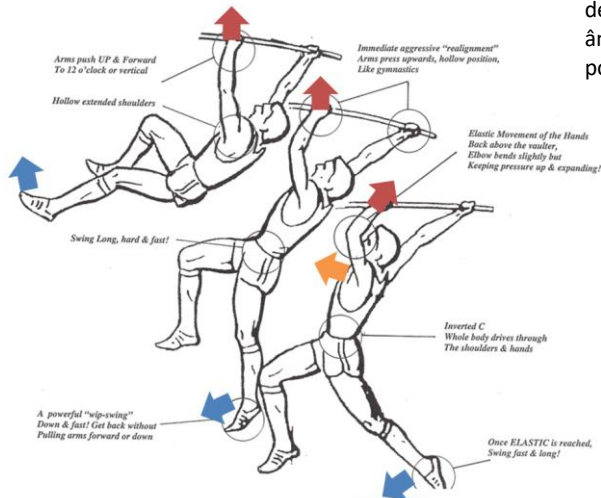
$$\tau = rF \sin \theta$$

Com a vara vertical, o momento do peso da barra é menor e o atleta despende uma força muscular menor para suportar a barra durante a corrida. Vai necessitar dessa energia numa fase posterior.

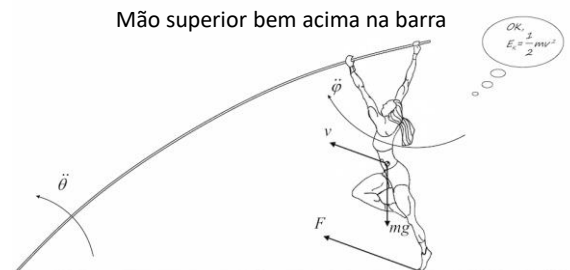
Quando se aproxima da caixa de salto, o atleta maximiza a sua velocidade, portanto a sua energia cinética, que vai ser útil para ser transferida para a fase seguinte do salto.

Corre-se numa posição relativamente elevada, sendo os últimos passos os mais rápidos.

2 – Fase de descolagem (Take-off)



Depois de baixar a vara para a encaixar na caixa, deve-se descolar do solo, a partir da posição mais elevada possível e o ângulo da vara com o solo deve ser o mais o mais elevado possível.



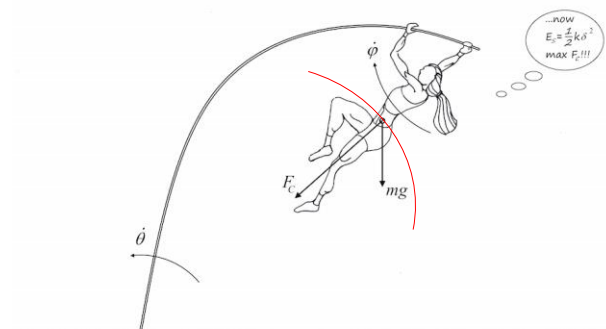
Saltar de modo idêntico ao que faria se fosse fazer salto em comprimento

3 – Deformação da vara e balanço (swing up and turn)

Nesta fase o atleta roda em torno dos pontos de fixação da mão na barra, gerando uma força centrípeta que provoca a deformação da barra

A barra acumula energia potencial elástica (que depende do material da barra e da deformação). Esta energia potencial elástica será transferida na fase seguinte.

O corpo vai rodando até as pernas e ancas ficarem acima da cabeça. O corpo também vai rodando no sentido longitudinal.



4 – Impulsionar e soltar (Fly away)

Quando a vara está na posição vertical, os braços são usados para impulsionar o corpo ainda mais para cima.

Quanto maior a velocidade imprimida pelo atleta nesta fase, mais energia potencial gravítica pode ser adquirida, somada à que já tinha anteriormente.

Este aumento de energia potencial gravítica permite ao saltador atingir alturas superiores. O “timing” deste movimento é crucial. Cedo demais, o atleta não chega à barra. Tarde demais, bate na barra.

