

FEDERAÇÃO NACIONAL DE KARATÉ - PORTUGAL
SECTOR TÉCNICO - DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO
CENTRO DE FORMAÇÃO DE TREINADORES

BIOMECÂNICA

Abel A. Figueiredo
1998

Introdução

Neste documento de apoio aos treinadores de Karaté, no âmbito da temática do Treino Técnico, vamos procurar introduzir elementos de biomecânica que levem o treinador a compreender alguns princípios que regem as técnicas desportivas em geral e do Karaté em particular.

Fundamentalmente teremos duas grandes partes: numa primeira, abordaremos os elementos que vão acutilando a compreensão dos movimentos do karateca à luz das leis mecânicas; numa segunda parte atenderemos à abordagem pormenorizada de alguns princípios biomecânicos como modelos descritivos do comportamento motor do executante.

Iniciaremos por introduzir a biomecânica, situando a sua importância ao nível da gestão do treino desportivo, abordaremos os planos úteis à descrição dos movimentos para irmos referenciando o espaço em três dimensões essenciais, assim como introduziremos algumas noções matemáticas com realce para as trigonométricas, para finalizarmos com noções de mecânica ao nível da estática, cinemática e dinâmica.

Na segunda parte, desenvolveremos a explicação de alguns princípios do movimento decorrentes da interpretação de Hochmut (1973), como forma de introduzir a interpretação mecânica das técnicas de Karaté.

Introdução à Biomecânica

O agente de ensino e treino é um gestor de situações concretas (exercícios/tarefas) que objectivam tornar o agente de aprendizagem eficaz na resolução de determinado problema.

A análise da tarefa desportiva leva-nos a identificar alguns níveis de condicionantes. Para além das condicionantes socio-culturais, psicológicas, bioenergéticas, bioinformacionais e outras, queremos destacar as **condicionantes biomecânicas**.

A melhoria das prestações desportivas passa, necessariamente, por uma compreensão e utilização, cada vez mais rigorosa e precisa, de parâmetros biomecânicos. Por um lado essa utilização ajuda a perceber melhor o que acontece na produção motora, levando a um diagnóstico situacional importante a quem gere o treino em todos os níveis de prestação; por outro lado permite a dedução de consequências mecânicas importantes para a tarefa, principalmente com base na utilização de modelos biomecânicos.

No entanto, para situar o valor de conhecimentos simples ou complexos em biomecânica, é preciso ter em conta que a compreensão mais rigorosa do gesto desportivo não se reduz a uma simples aplicação das leis mecânicas que relacionam o movimento com a massa corporal, com o espaço percorrido e com o tempo gasto nesse percurso.

Teotónio Lima já em 1974 referia que "a biomecânica estuda os movimentos do homem do ponto de vista das leis mecânicas, tendo em consideração os conhecimentos de outros ramos da ciência - anatomia, fisiologia, pedagogia, psicologia e metodologia desportiva" (1974a, p. 6).

Só numa integração interdisciplinar e transdisciplinar das leis próprias de várias ciências biológicas e humanas, no estudo de um problema é que se reduz um pouco mais a sempre presente probabilidade de erro. Assim, o conhecimento técnico profundo da prestação desportiva necessita de dados da biomecânica como necessita de dados do controlo motor (condicionantes bioinformacionais), da fisiologia (condicionantes bioenergéticas), da psicologia (condicionantes psicológicas), etc.

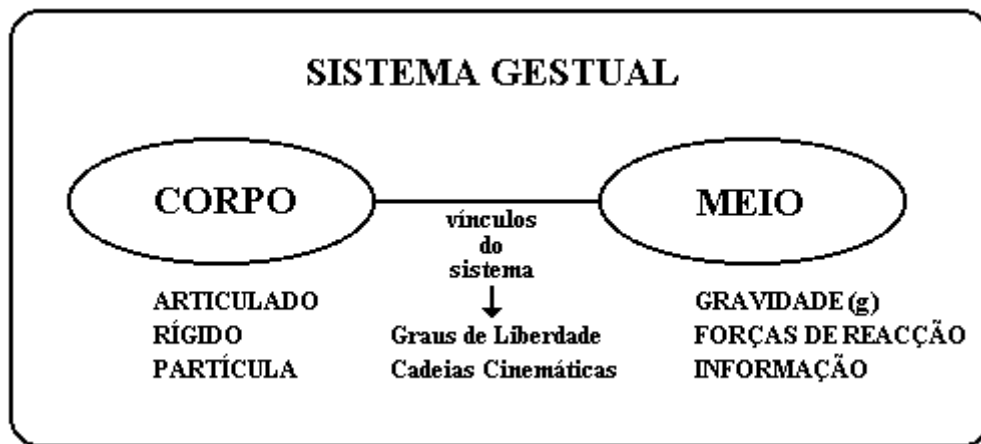
Fazer o elogio exclusivo das condicionantes biomecânicas é incorrer num reducionismo nefasto à gestão do treino desportivo. Deixar de o fazer é descurar um elemento importante na compreensão de qualquer prestação desportiva.

Um treinador experiente, vai, cada vez mais, consolidando os seus conhecimentos técnicos não à custa de um simples acumular de "modelos técnicos", numa espécie de "antologia técnica", mas sim, e principalmente, à custa de uma compreensão mais rigorosa e precisa dos princípios que gerem essas técnicas.

O objecto de estudo da Biomecânica é o **Sistema Gestual**. Este sistema é uma relação (mecânica) entre o corpo humano e o meio envolvente, sendo os pontos de contacto os *vínculos* do sistema.

A função geral do sistema gestual é a motricidade orientada e a nossa observação específica cai sobre a *produção motora* do sistema gestual e, neste caso específico, cairá sobre a **produção motora do karateca**.

É na observação rigorosa e com o maior grau de precisão possível da produção motora que os planos úteis à descrição dos movimentos se tornam importantes, tal como os conhecimentos da cinemática (velocidades, deslocamentos, acelerações, etc.).



Por outro lado, há todo um outro conjunto de conhecimentos que procuram as causas da produção motora, pelo que se concentram mais na dinâmica (forças) e em conceitos deduzidos como a localização dos centros de massa segmentares e da totalidade do corpo, como as relações intersegmentares na transferência de energia, etc.

Os modelos descritivos, como são os princípios biomecânicos do movimento, serão instrumentos auxiliares da compreensão da referida produção motora, já que integram os conhecimentos anteriormente referidos, podendo ainda ser valiosos instrumentos na criatividade e correcção das técnicas do karaté.

Noções Elementares

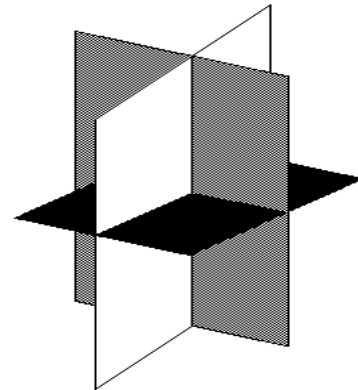
Planos Úteis à Descrição dos Movimentos

O referencial básico à descrição rigorosa e precisa dos movimentos articulares assenta na posição anatómico-descritiva.

A partir desta posição, referenciam-se os movimentos de flexão, extensão, abdução, adução, e rotação. Estes movimentos são feitos em planos, utilizando determinados eixos.

Planos:

- Plano Médio-Sagital: divide o corpo em parte esquerda e direita.
- Plano Horizontal: divide o corpo em parte superior e parte inferior.
- Plano Frontal: divide o corpo em parte anterior e posterior.



Eixos:

- Eixo Horizontal: para os movimentos no plano médio-sagital. Define essencialmente as flexões e extensões (aproximações e afastamentos intersegmentares).
- Eixo Vertical: para os movimentos no plano horizontal. Define essencialmente as rotações, supinações e pronações.
- Eixo Antero-Posterior: para os movimentos no plano frontal. Define essencialmente as abduções (afastamento do plano médio-sagital) e aduções (aproximação do plano médio-sagital) dos segmentos e as flexões laterais da cabeça e tronco.

Tipos de Sistemas Mecânicos

Basicamente são considerados três tipos de sistemas mecânicos:

- Tipo PARTÍCULA;
- Tipo RÍGIDO;
- Tipo ARTICULADO.

Num sistema mecânico do tipo Partícula, podemos identificar o centro de massa, o peso e as forças externas. Num sistema tipo Rígido, para além dos anteriores, poderemos identificar momentos (efeitos de rotação). Num sistema do tipo Articulado, como é o caso do Sistema Gestual, que normalmente se comporta como um conjunto de corpos rígidos (segmentos) articulados entre si, temos também o centro de massa (variável com a posição intersegmentar assumida), temos o peso, temos a actuação de forças externas e temos os momentos.

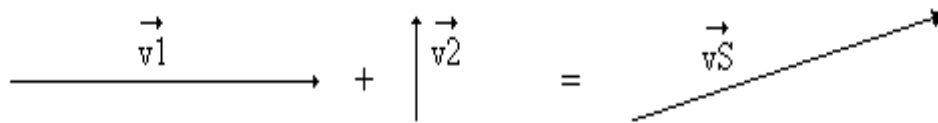
O sistema gestual, sendo normalmente representado como um sistema articulado, pode também ser representado como um sistema rígido ou articulado (exemplo: estudo da trajectória aérea).

Composição e Decomposição Vectorial

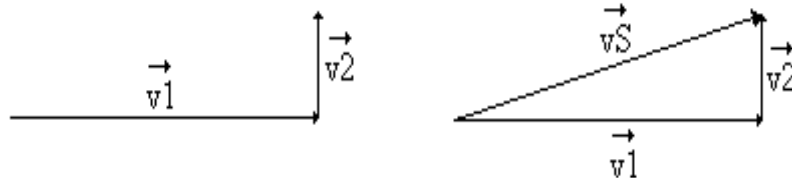
Um vector é a representação de uma grandeza física e tem um ponto de aplicação, uma direcção, um sentido e uma intensidade.

A representação de uma força ou da velocidade de um móvel é feita por um vector. Estas grandezas podem ser decompostas, somadas ou subtraídas.

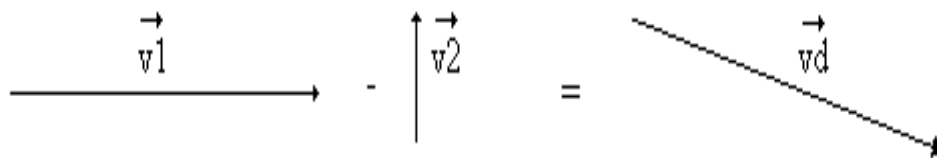
A soma de vectores é a seguinte:



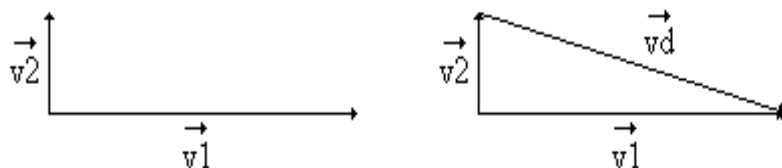
Para se obter aquele vector soma utiliza-se um processo denominado *regra do triângulo*, ou seja, une-se a origem do primeiro vector com a extremidade do segundo, depois deste ser colocado na extremidade do primeiro. Veja-se a seguinte figura:



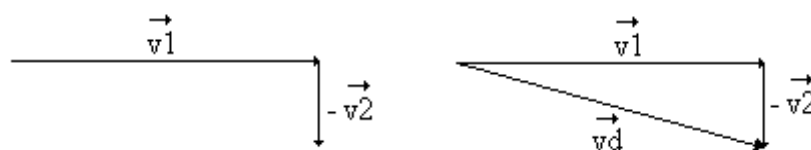
A diferença entre dois vectores calcula-se assim:



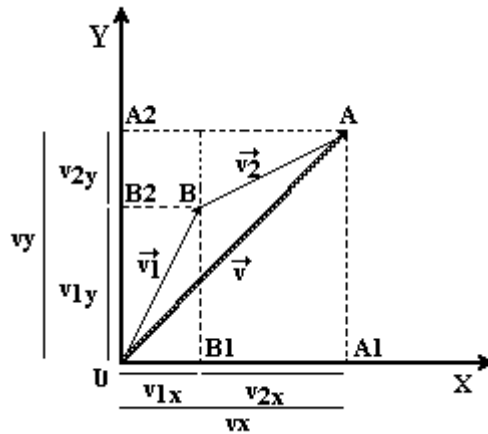
Para se obter esse vector diferença, colocam-se os vectores na mesma origem, conforme se mostra a seguir, e traça-se um vector resultante com origem na extremidade do vector subtrativo e extremidade na extremidade do vector aditivo.



Um outro modo, mais prático, consiste em adicionar ao vector aditivo o simétrico do vector subtrativo:



As expressões cartesianas da soma e da diferença de vectores baseiam-se na seguinte propriedade geral: a coordenada, em cada eixo, do vector soma é a soma algébrica das coordenadas, nesse mesmo eixo, dos vectores parcelas.



A análise da figura mostra que as componentes do vector soma são dadas por:

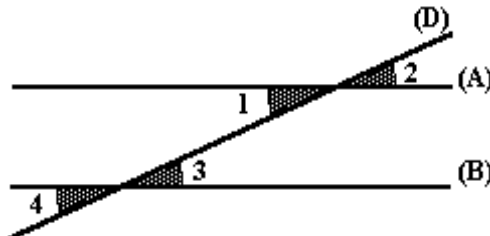
$$\begin{cases} v_x = v_{1x} + v_{2x} \\ v_y = v_{1y} + v_{2y} \end{cases}$$

Algumas Noções Matemáticas

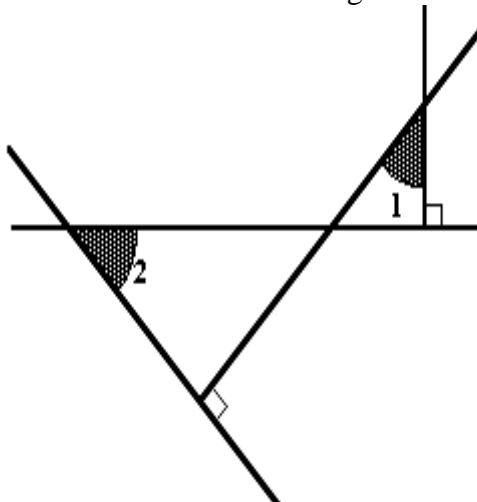
A Mecânica, ramo da Física, trata os problemas de forma analítica. Utiliza para tal fim a linguagem matemática, pelo que é conveniente abordar alguns elementos a conhecer.

Os teoremas matemáticos utilizados com maior frequência são os seguintes:

* Uma recta (D) que cruza duas rectas paralelas (A) e (B) determina quatro ângulos iguais.

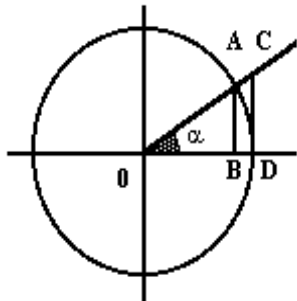


** Ângulos perpendiculares dois a dois são iguais.



*** Elementos de trigonometria: a trigonometria é um ramo da matemática e tem por objecto o cálculo dos elementos de um triângulo através do relacionamento dos ângulos e lados.

- Se considerarmos um círculo de raio igual à unidade, poderemos definir:



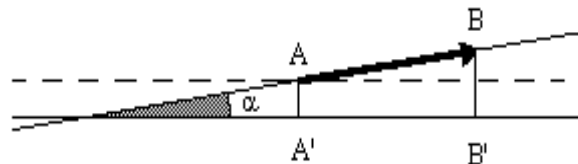
$$AB = \sin \alpha \text{ (leia-se } \textit{seno de alfa})$$

$$OB = \cos \alpha \text{ (leia-se } \textit{coseno de alfa})$$

$$CD = \operatorname{tg} \alpha \text{ (leia-se } \textit{tangente de alfa})$$

- Se projectarmos um vector \vec{AB} sobre uma recta (D), sendo α o ângulo entre o vector \vec{AB} e a recta (D), obtemos um segmento A'B'. Poderemos escrever:

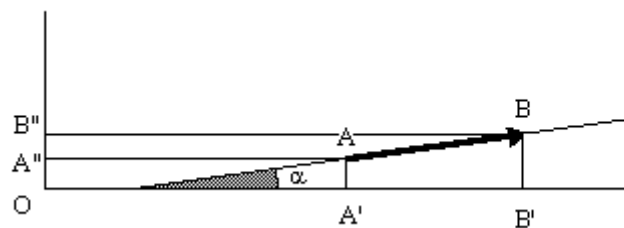
$$A'B' = AB \cos \alpha.$$



- Se projectarmos um vector \vec{AB} sobre dois eixos perpendiculares Ox e Oy, define-se:

$$A'B' = AB \cos \alpha$$

$$A''B'' = AB \sin \alpha$$



Alguns valores tabelados para determinar as funções *seno* e *coseno* de um ângulo dado:

ÂNGULOS	SENO	COSENO	ÂNGULOS	SENO	COSENO
0	0	1	50	0,7660	0,6423
5	0,0872	0,9962	55	0,8192	0,5736
10	0,1736	0,9848	60	0,8660	0,5000
15	0,2588	0,9659	65	0,9063	0,4226
20	0,3420	0,9397	70	0,9397	0,3420
25	0,4226	0,9063	75	0,9659	0,2588
30	0,5000	0,8660	80	0,9848	0,1736
35	0,5736	0,8192	85	0,9962	0,0872
40	0,6423	0,7660	90	1	0
45	0,7071	0,7071			

Elementos de Mecânica

Vamos abordar três partes: estática, cinemática e dinâmica.

Estática

Corresponde ao estudo das condições de equilíbrio de um corpo sólido, emergindo assim os conceitos de massa, centro de massa, peso, gravidade, centro de gravidade, polígono de sustentação e respectivas relações.

MASSA-PESO

A noção de massa de um corpo costuma ser confundida com a de peso. Efectivamente, num determinado lugar, o peso é proporcional à massa.

A massa de um corpo exprime as suas propriedades de inércia (como veremos na dinâmica). Ela permanece invariável em qualquer local, seja no Pólo ou no Equador, ao nível do mar ou em altitude, na terra ou na lua.

Todo o corpo material tem uma *massa* que corresponde ao somatório das massas de todos os seus pontos materiais.

$$M = m_1 + m_2 + \dots + m_n$$

sendo 1, 2, ..., n, os pontos materiais do sistema de partículas.

O *peso* de um corpo é de natureza diferente: corresponde à força exercida pela gravidade em determinado lugar. O coeficiente de intensidade da gravidade designa-se por *g*; mede-se em metros por segundo ao quadrado (m.s^{-2}).

Em Portugal: $g = 9,80 \text{ m.s}^{-2}$

No equador: $g = 9,78 \text{ m.s}^{-2}$

No pólo: $g = 9,83 \text{ m.s}^{-2}$

Na lua: $g = 1,7 \text{ m.s}^{-2}$

GRAVIDADE - CENTRO DE GRAVIDADE

O corpo humano, como tem uma massa, está permanentemente sobre influência da gravidade. Todas as suas partículas materiais sofrem a acção da gravidade e a força resultante dessa acção, o peso do corpo, representa-se normalmente no centro de massas.

O *centro de massas* é um ponto imaginário que representa o ponto médio de todas as partículas materiais do corpo. Para o caso de *n* pontos materiais, o centro de massas satisfaz a seguinte condição:

$$m_1.d_1 = m_2.d_2 = \dots = m_n.d_n$$

sendo d_1, d_2, \dots, d_n , as distâncias dos pontos materiais 1, 2, ..., n, ao centro de massas G.

Os pontos materiais 1, 2, ..., n, têm as massas m_1 , m_2 , ..., m_n .

Em termos rudimentares o centro de gravidade e o centro de massa são um único ponto, sendo este um conceito universal e o primeiro um conceito que se utiliza para realçar as situações em que a massa se encontra sujeita à acção da gravidade, sendo ambos um centro de forças paralelas.

O centro de gravidade pode não se situar dentro dos limites da matéria do corpo (caso da bola de basquetebol ou de um aro) e, nos corpos articulados, com as modificações das posições relativas dos segmentos, a sua posição varia (ao contrário dos corpos rígidos) já que se vão variando as distâncias relativas dos diferentes pontos materiais do sistema.

Quando um karateca salta para fazer um yokotobigeri ou um maetobigeri, embora não possa alterar a trajectória do seu centro de massa até novamente obter vínculos que o liguem ao meio, pode aproveitar os deslocamentos intersegmentares de forma rentável. Por exemplo, no maetobigeri, a subida do membro inferior não atacante, permite que a trajectória do pé atacante possa permanecer ao nível do atacante sem movimentos verticais não rentabilizadores das forças horizontais a transmitir.



Quando se salta, imprime-se uma certa aceleração ao centro de massa que, após a acção da força de impulsão, fica apenas sujeito à força da gravidade. Esta força vai fazer com que o movimento ascendente seja de aceleração negativa, até parar e iniciar um movimento de queda com aceleração positiva. O parar vertical do centro de gravidade é instantâneo, dando a noção de que não se para.

Nessa fase de transição entre a subida e a queda, se fizermos subir o centro de gravidade à custa da subida do membro inferior, e se o fizermos descer à custa da posterior extensão, obtemos uma "paragem" das ancas e da parte superior do tronco, o

que pode ser aproveitado de várias formas (maior precisão no impacto a causar com o pé atacante).

DETERMINAÇÃO DO CENTRO DE GRAVIDADE

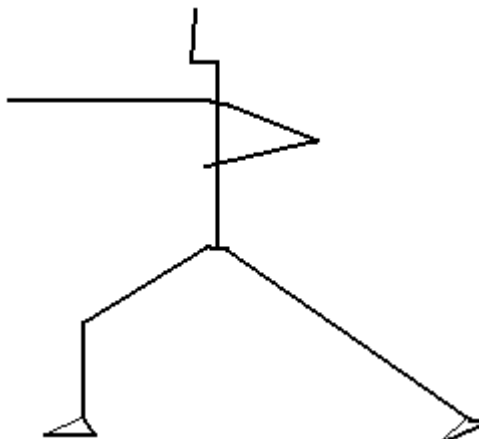
Cada segmento comporta-se como um corpo rígido, pelo que tem um centro de massa próprio que não varia a sua posição, no qual se representa a acção total das forças aplicadas nesse segmento. No quadro seguinte podemos observar qual a posição do centro de massas ou centro de gravidade segmentar (g), assim como a percentagem que em média esse segmento detém da massa de todo o corpo.

TABELA DE DEMPSTER

SEGMENTO	LOCALIZAÇÃO DE g	PERCENTAGEM DA MASSA (Valores de Massas Relativas)
CABEÇA	0.50 da 1ª cervical	7,9% (0.079)
TRONCO	0.45 da 1ª cervical	51,1% (0.511)
BRAÇO	0.436 da art. proximal	2,7% (0.027)
ANTEBRAÇO	0.436 da art. proximal	1,6% (0.016)
MÃO	0.506 da art. proximal	0,6% (0.006)
COXA	0.433 da art. proximal	9,7% (0.097)
PERNA	0.433 da art. proximal	4,5% (0.045)
PÉ	0.429 da art. proximal	1,4% (0.014)

A partir dos centros de gravidade segmentares (g_1 , g_2 , etc.), é possível determinar o centro de gravidade do corpo inteiro (G).

Um dos métodos de determinação do G (centro de gravidade) é o *método numérico de somação*.



Depois de fazer a representação gráfica, com identificação dos centros articulares e dos segmentos mais importantes, em primeiro lugar determinam-se e localizam-se os centros de gravidade de cada segmento: mede-se o segmento e multiplica-se pelo valor de localização dado na tabela, obtendo assim a medida do g à articulação referida (proximal).

Em segundo lugar, unem-se os g segmentares, 2 a 2, pela seguinte ordem:

1º - mão / antebraço

2º - pé / perna

3º - mão-antebraço / braço

4º - pé-perna / coxa

5º - cabeça / tronco

6º - membro superior direito / membro superior esquerdo

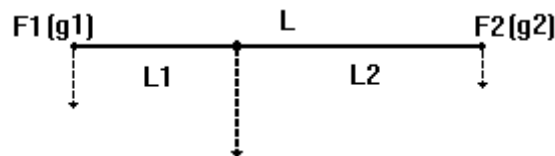
7º - membro inferior direito / membro inferior esquerdo

8º - cabeça-tronco / membros superiores

9º - membros inferiores / parte superior do corpo

Nessa união 2 a 2, vai-se aplicando a seguinte fórmula:

$$L1 = \frac{F2 \cdot L}{F1 + F2}$$



L - o comprimento do segmento de recta entre g1 e g2.

F1 e F2 - são os valores de massa relativa (Tabela de Dempster) para os respectivos centros de gravidade dos segmentos a que se referem.

L1 - a distância entre o g de F1 (g1) e o centro de gravidade que queremos achar (g1+g2).

CENTRO DE GRAVIDADE-POLÍGONO DE SUSTENTAÇÃO

O equilíbrio bipedal é essencial na maioria dos desportos. O estudo da relação estabelecida entre a posição do centro de gravidade (G) e o polígono de sustentação é um estudo importantíssimo para a compreensão das condições de equilíbrio e de desequilíbrio.

Na verdade, no karaté, o praticante deve manter as condições de equilíbrio entre o estável e o instável, ou seja, deve manter um equilíbrio potencializador de uma rápida entrada em movimento nas direcções pretendidas.

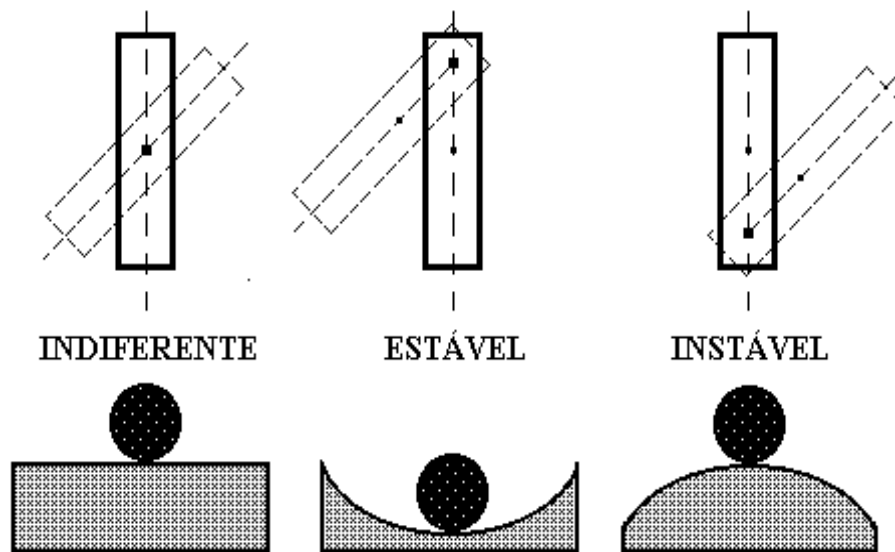
O equilíbrio pode ser indiferente quando, depois do movimento, o corpo fica novamente em repouso na nova posição.

O equilíbrio pode ser estável quando o corpo tende regressar à anterior posição de equilíbrio, principalmente devido à acção da gravidade.

O equilíbrio pode ser instável quando logo que haja um ligeiro deslocamento do centro de gravidade do corpo este tende a ocupar uma outra posição de equilíbrio.

A figura que a seguir se apresenta representa dois tipos de situações que evidenciam os três tipos de equilíbrio.

EQUILÍBRIO

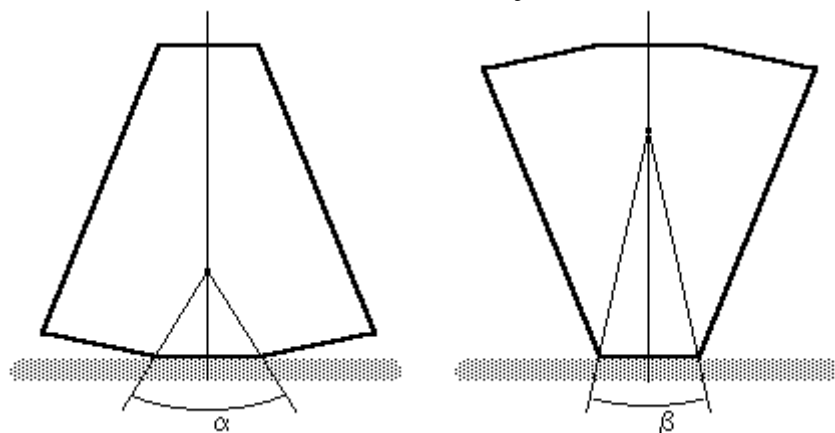


A ESTABILIDADE

A estabilidade está relacionada com diversos factores como:

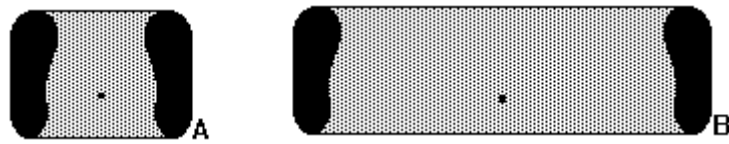
- Massa do corpo: quanto maior a massa, mais difícil é vencer a inércia.
- Altura do G: quanto mais alto estiver G, mais instável é o equilíbrio já que mais facilmente a linha de gravidade cai fora do polígono de sustentação.
- Polígono de sustentação: quanto maior for, mais estável é o equilíbrio já que mais dificilmente se coloca a linha de gravidade fora do polígono de sustentação.

Em relação à altura do centro de massa, torna-se evidente que dois corpos com a mesma massa, com o mesmo polígono de sustentação, variando apenas a altura do seu centro de massa (flectindo ou estendendo as pernas, por exemplo), têm diferentes estabilidades. Para tornar isto mais evidente, veja-se a figura seguinte que representa um corpo rígido com duas bases iguais, mas com diferente altura do centro de gravidade, mediante a escolha da base de sustentação.



Para os desequilibrar, ou seja, para fazer passar a linha de gravidade (perpendicular que passa pelo centro de gravidade) para fora dos limites do polígono de sustentação, tenho que fazer varrer um ângulo maior quando o G está mais baixo.

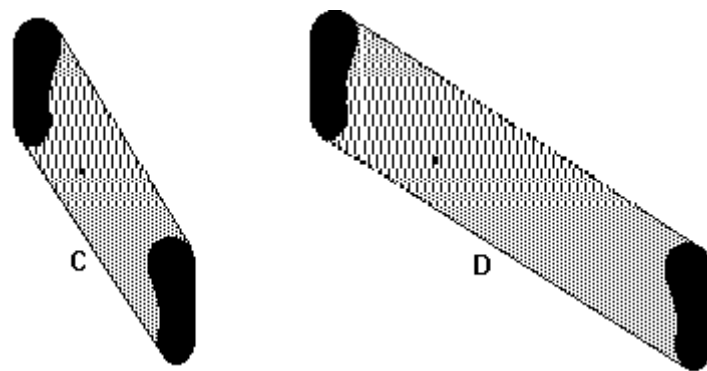
No que respeita às dimensões do polígono de sustentação, claro se torna que aquele ângulo aumentará com o aumento do polígono de sustentação, aumentando, assim, a estabilidade.



No desporto em geral, e no Karaté em particular, a estabilidade serve para potenciar a instabilidade.

A ESTABILIDADE NA MOVIMENTAÇÃO

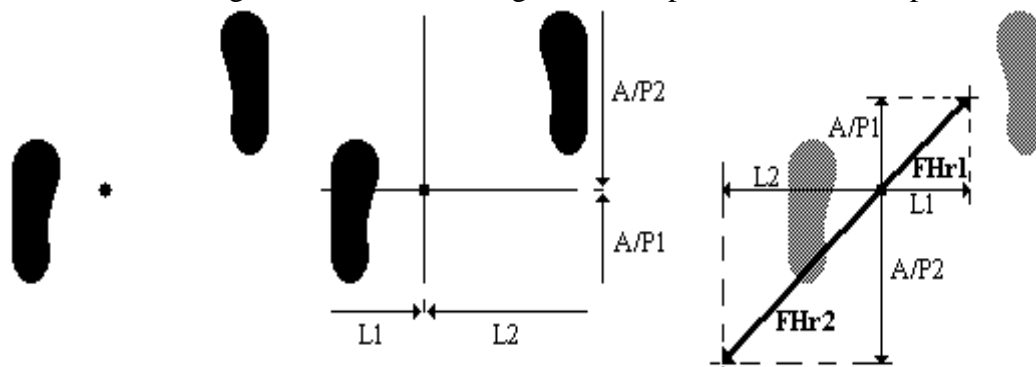
Quando o praticante em guarda baixa o seu centro de gravidade pela flexão dos joelhos e coxo-femorais, e aumenta o seu polígono de sustentação no sentido do movimento, o seu grande objectivo não é propriamente o "aumento da estabilidade" mas sim o de potenciar vínculos rentabilizadores de forças que o movam nos sentidos pretendidos, de acordo com o comportamento do seu adversário directo.



A gestão das componentes variará com os objectivos, sem nunca esquecer que o afastamento dos apoios nunca pode pôr em causa a manutenção de uma certo grau de flexão dos joelhos naturalmente rentabilizador de deslocamentos eficazes.

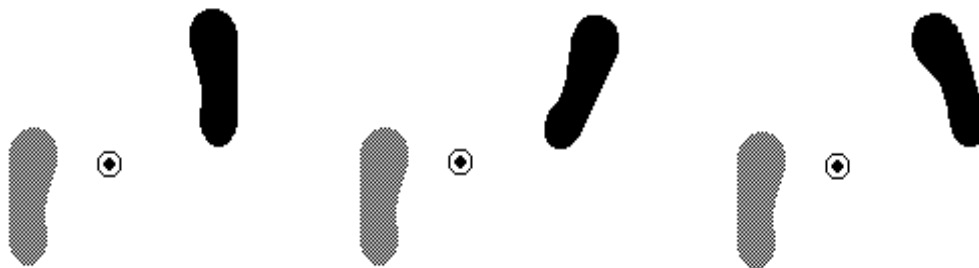
Assim, em geral, poderemos afirmar que quando o executante pretende potenciar o deslocamento para um determinado sentido, ele deve aproximar a linha de gravidade do apoio mais próximo do sentido para onde quer deslocar-se mais rapidamente.

Imaginemos uma situação em que do sanchin-dachi, e em combate de curta distância, se recua ligeiramente a linha de gravidade, aproximando-a do apoio de trás.



Neste exemplo é clara a maior facilidade com que o praticante se desloca para o lado esquerdo e para trás. Levantando o apoio esquerdo, potencia um deslocamento horizontal representado por FHR2

Outra variável que costuma ser identificada como importante à posição fundamental no sanchin-dachi respeita à rotação dos pés.

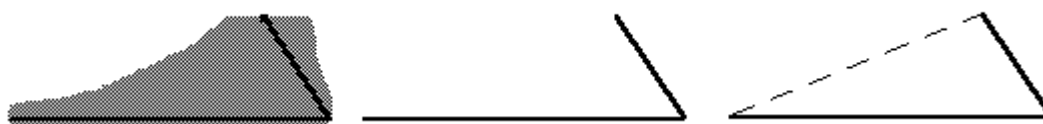


Estão aqui representadas três situações de exemplo. Preocupando-nos principalmente com o pé dianteiro, fundamental para os deslocamentos para trás, na primeira, os pé está paralelo, na segunda o pé está com uma rotação externa e na terceira o pé está com uma ligeira rotação interna.

Para compreender as vantagens e desvantagens de umas e de outras, vamos abordar a mecânica da articulação tálbio-társica.

Simplificando, o papel principal da articulação do tornozelo no vencer da inércia respeita à acção de plantar-flexão cuja reacção, pelo apoio da parte anterior e inferior do pé no solo, leva a um elevar do centro articular do tornozelo que se transmitirá ao joelho, daí à coxo-femural respectiva e daqui ao centro de gravidade.

O pé costuma ser representado assim:



Para o estudo deste caso particular há que ter em conta um outro centro articular, em torno do qual se obtém o movimento do centro articular do tornozelo que será o potencial percurso de aceleração da força parcelar a transmitir ao centro de gravidade do praticante:



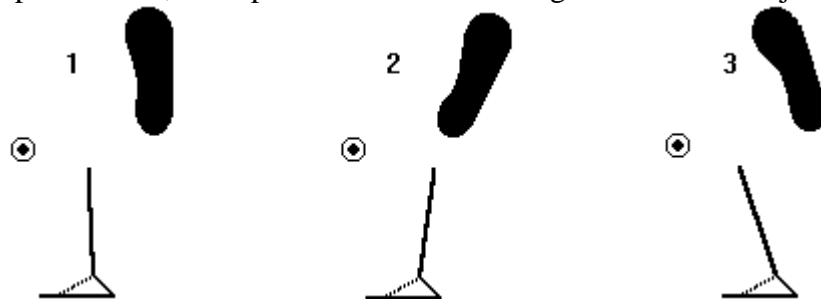
Como já fizemos notar, a transferência de energia faz-se, em primeira instância através do segmento perna, cuja posição relativa influenciará a grandeza daquela.

Observando atentamente a função mecânica do pé na transmissão de energia à perna, desde logo que uma primeira regra é a de que quanto maior o percurso de aceleração, maior será a força imprimida à perna.

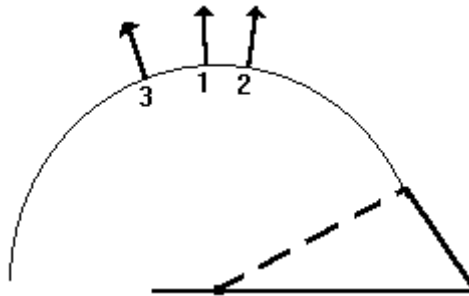
Uma outra questão refere-se ao aproveitamento dessa aceleração na aceleração parcial do joelho, o que tem a ver com o grau de flexão inicial entre a perna e o pé e o

que, do estudo das características anatómicas específicas, nos leva a estabelecer uma segunda regra geral: para maiores graus de força a transmitir ao centro de gravidade, quanto mais a ponta do pé se aproxima do cair da linha de gravidade, rodando internamente em torno do calcanhar, melhor.

Vejam-se os esquemas representativos do grau de flexão pé-perna nas três posições já apresentadas, onde permanece constante o grau de flexão do joelho:

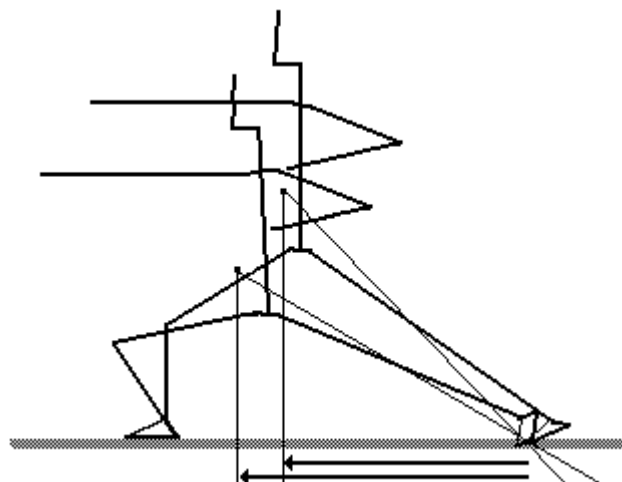


O percurso de aceleração torna-se evidentemente maior na situação de rotação interna sendo menor na situação de rotação externa, o que quer dizer que a primeira situação é mais rentável à modificação da quantidade de movimento inicial.



Esta regra, no entanto, perde toda a validade quando o objectivo da posição referida não permanece o de recuar o mais rapidamente possível, daí as nossas análises se centrarem no apoio dianteiro.

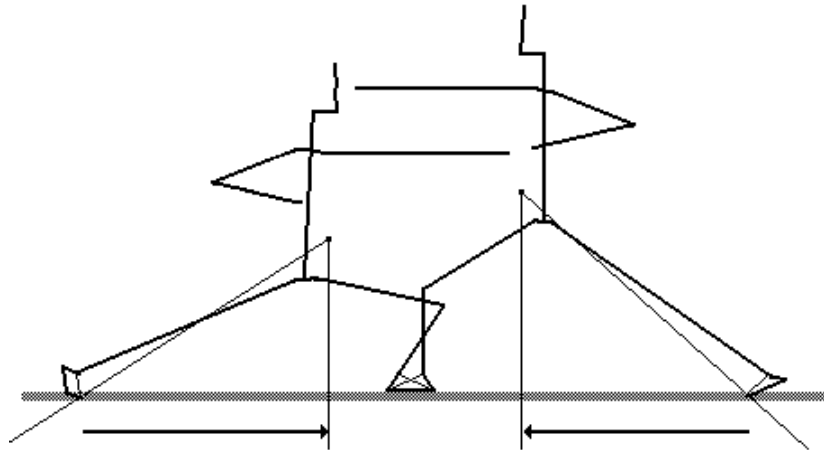
Fica o desafio para que os treinadores façam as restantes análises mecânicas, desde a questão da rotação do pé atrasado, passando pela questão da maior ou menor adução dos pés, o que leva à maior ou menor aproximação dos joelhos, etc.



Também em situação de ataque, quando baixa o seu G, aproximando normalmente a linha de gravidade do apoio mais perto do atacante, não se pretende

aumentar a estabilidade, bem pelo contrário, pela elevação do apoio da frente, neste caso, e pelo baixar do G, pretende-se aumentar a componente horizontal da força de reacção que se transmitirá ao G pela extensão coordenada do apoio de trás.

É uma situação claramente exemplificadora de que o equilíbrio bipedal, é potencializador de situações de instabilidade aproveitadas para os deslocamentos horizontais, ou seja, os deslocamentos em campo.

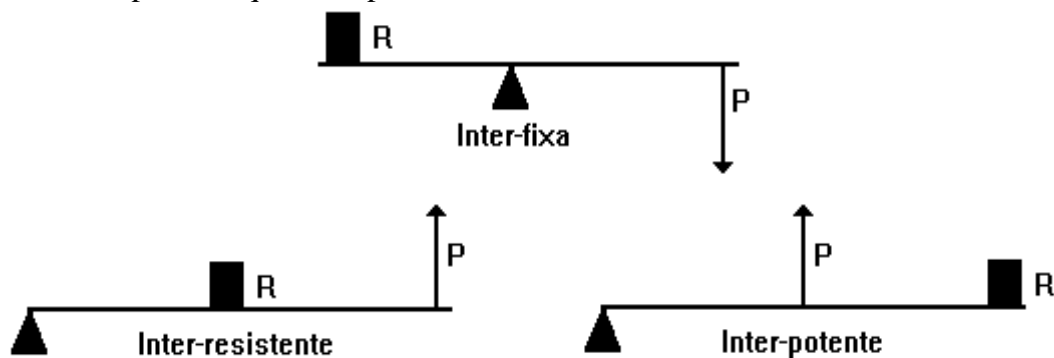


AS ALAVANCAS

Dado que o corpo humano é constituído por segmentos que são movidos por músculos de forma a rodarem em torno de centros articulares, é conveniente abordar as alavancas da mecânica clássica.

Basicamente temos três grandes tipos de alavancas:

- Inter-fixa: quando o fulcro se encontra entre a potência e a resistência;
- Inter-resistente: quando a resistência se situa entre o fulcro e a potência;
- Inter-potente: quando a potência se encontra entre a resistência e o fulcro.



Em função das disposições relativas dos braços das alavancas, de potência e de resistência, as alavancas podem ser definidas como:

- Alavancas de equilíbrio (quando os dois braços são iguais);
- Alavancas de força (quando o braço de potência é superior ao de resistência);

- Alavancas de velocidade (quando o braço de resistência é superior ao da potência).

Ainda em relação com as alavancas temos que ter presente a noção de que as roldanas (e os centros articulares podem funcionar como roldanas) podem ser fixas, levando à flexão de um segmento sobre um outro fixo, ou podem ser moveis, quando a contracção muscular faz com que o centro articular entre os segmentos em causa se mova (o joelho na impulsão vertical).

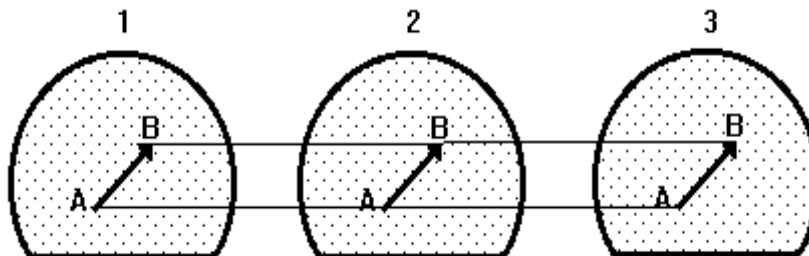
Cinemática

A cinemática tem por objecto a descrição dos movimentos dos sistemas materiais (corpo humano, engenhos, etc.), sem considerar as causas que os produzem. Utiliza conceitos como o espaço percorrido, o tempo gasto, mas já não procura entrar com o conceito de massa (o que acontece na cinética ou dinâmica).

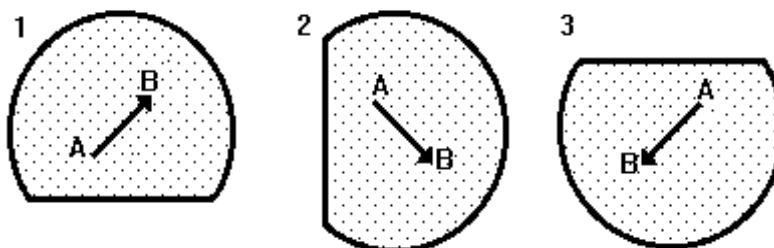
Um ponto A está em repouso em relação a B quando a relação espacial AB permanece invariável. No caso contrário, diz-se que A está em movimento em relação a B, o que quer dizer que A descreverá uma *trajectória* (curvilínea ou rectilínea).

TRANSLAÇÃO - ROTAÇÃO

Um corpo sólido é constituído por vários pontos materiais. Se um vector definido entre dois quaisquer pontos desse corpo A e B, com o movimento do sólido mantiver posições de equipolência (mesma direcção, sentido e intensidade), então estamos perante um movimento de *translação*.



Quando isso não acontece, quer dizer que os movimentos dos diferentes pontos materiais do corpo não são da mesma natureza, pelo que poderemos afirmar que o corpo está em movimento de *rotação*.



MOVIMENTO RECTILÍNEO

Uniforme

Um corpo que percorre um determinado espaço (s em metros) gasta um determinado tempo (t em segundos). Assim, o corpo pode percorrer 100 metros em 60 segundos, ou pode percorrer 100 metros em 10 segundos. Os percursos foram iguais mas no segundo caso fomos mais rápidos do que no primeiro.

A velocidade média (v_m em metros por segundo) é precisamente a relação entre o espaço percorrido e o tempo gasto nesse percurso.

$$v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \Leftrightarrow v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Se o intervalo de tempo vai sendo cada vez mais pequeno (tendente para zero), vamos obter aquilo que se denomina como *velocidade instantânea* (v_i), ou seja, podemos ir classificando a forma como o corpo percorre o espaço em diversos instantes, comparando, assim, as velocidades entre esses diversos instantes no mesmo percurso.

No movimento uniforme, a velocidade é constante e a fórmula dos espaços é a seguinte:

$$s = s_0 + v \cdot t$$

O s_0 (s zero) dá-nos o espaço inicial em que começámos a contar os tempos, e que poderá ser zero.

Na física, para descrever e medir a rapidez da mudança de posição de um móvel utilizamos a grandeza *velocidade*; para descrever e medir a rapidez do movimento sobre a trajectória costuma-se utilizar a grandeza *celeridade*. Em Biomecânica costuma-se utilizar o conceito de velocidade com as duas dimensões, mas mais no sentido do da celeridade. Assim, normalmente interessa-nos saber quanto tempo demorou o executante a fazer o percurso no campo (transição defesa-ataque) ou, tecnicamente, o percurso cinemático de um segmento (mão; pé; centro de gravidade; etc.).

Variado

Quando a velocidade instantânea não permanece constante, quer dizer que há aceleração.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

A lei das velocidades passa a ser:

$$v = v_0 + a \cdot t$$

Se o móvel parte do repouso v_0 é zero, pelo que fica $v=a \cdot t$.

A equação dos espaços passa a ser:

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Podemos dizer que, no movimento uniformemente variado, o espaço percorrido por um móvel, desde o ponto inicial ($s_0=0$), sem velocidade inicial ($v_0=0$), é proporcional ao quadrado do tempo gasto no percurso.

O movimento acelerado, em que a aceleração (a) é diferente de zero, pode ser movimento acelerado ($a>0$) ou retardado ($a<0$).

MOVIMENTO DE ROTAÇÃO

No sistema gestual a maioria dos movimentos, porque são segmentares, são movimentos de rotação, ou seja, movimentos em que se pode definir um eixo em torno do qual rodam partes ou a totalidade do corpo.

Para efeitos de estudo, podemos substituir o movimento de rotação de um corpo em torno de um eixo pelo movimento circular de um dos seus pontos materiais em torno desse mesmo eixo.

As grandezas cinemáticas do estudo do movimento de rotação são:

α - ângulo percorrido.

ω - velocidade angular.

γ - aceleração angular.

Há uma relação íntima entre as grandezas angulares e as grandezas lineares.

O espaço percorrido por um ponto do corpo em rotação é igual ao produto entre o ângulo varrido e o raio (distância entre o eixo de rotação e o ponto material a estudar).

$$\Delta s = \Delta \alpha (\text{rad}) \cdot r$$

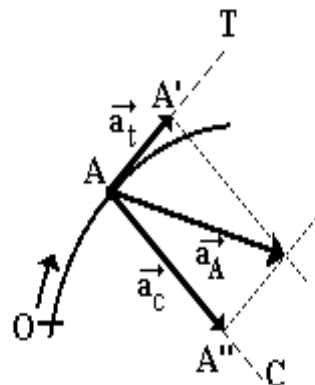
A velocidade linear, pode então ser relacionada com a velocidade angular:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Leftrightarrow v = \frac{\Delta \alpha \cdot r}{\Delta t} \Leftrightarrow v = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t} \cdot r$$

Ou seja:

$$v = \omega \cdot r$$

Quando o movimento de rotação não é uniforme, isto é, quando existe aceleração angular (γ), podemos, num ponto material do móvel em movimento de rotação, que não coincida com o eixo, definir uma aceleração linear. Dado que não se trata de uma aceleração num ponto em movimento rectilíneo, pode ser decomposta numa componente tangencial e numa componente centrípeta ou normal.



O vector \vec{a}_A (aceleração instantânea) representa a aceleração instantânea do móvel no instante A.

$$\vec{a}_A = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

A aceleração tangencial tem por valor algébrico:

$$a_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

A aceleração centrípeta ou normal, tem por módulo:

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

onde r representa a medida do *raio de curvatura* da trajectória no ponto a que se refere a aceleração. Este valor algébrico indica a *variação da direcção do vector velocidade*.

No movimento circular uniforme, só existe aceleração centrípeta, sendo:

$$a_c = \omega^2 . r$$

Quando tem que se relacionar a velocidade tangencial com parâmetros angulares:

$$\vec{a}_t = \vec{\gamma} . r$$

As equações horárias do movimento de rotação serão:

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \omega_0 + \gamma . t \\ \alpha &= \omega_0 . t + \frac{1}{2} . \gamma . t^2 \end{aligned} \right\} \omega^2 = \omega_0^2 + 2 . \gamma . \alpha$$

Dinâmica

A dinâmica estuda as forças que provocam o movimento.

AS LEIS FUNDAMENTAIS DA DINÂMICA

As leis de Newton são fundamentais para o estudo da dinâmica.

1ª - LEI DA INÉRCIA

Todo o corpo tem tendência para manter o seu estado de repouso ou de movimento de forma uniforme e rectilínea.

Evidencia-se assim o conceito de *inércia* como a tendência que os corpos materiais têm para manter o seu estado cinético, ou seja, a sua *quantidade de movimento*.

$$\vec{p} = m . \vec{v}$$

Trata-se de uma grandeza vectorial com a direcção e sentido da velocidade e com módulo igual ao produto da massa com a velocidade.

A quantidade de movimento de um sistema material formado por n pontos materiais é a soma das quantidades de movimento dos pontos que o constituem, sendo igual à do seu centro de massas, que por definição é um ponto de massa igual ao somatório das massas de todos os pontos materiais do sistema.

2ª - LEI FUNDAMENTAL

A taxa temporal da variação da quantidade de movimento de um corpo é igual à força que actua nesse corpo.

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{\Delta(m . \vec{v})}{\Delta t}$$

ou seja, com a massa constante:

$$\vec{F} = m . \vec{a}$$

3ª - LEI DA ACÇÃO-REACÇÃO

Para cada acção existe uma reacção de igual intensidade mas de sentido oposto.

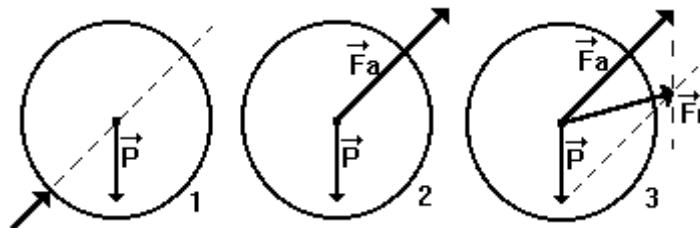
A reacção é uma consequência síncrona da acção.

$$|\vec{R}| = -|\vec{A}|$$

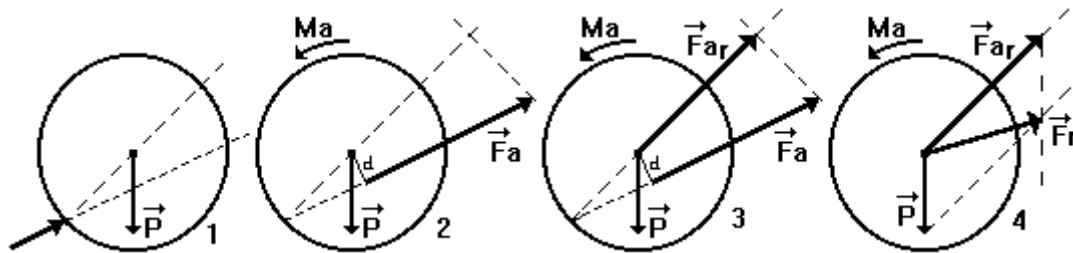
A lei da inércia é uma característica própria dos corpos materiais. Como não se vêem as forças, só se vêem as suas consequências, quando fazemos variar a posição do corpo de um sítio para outro (deslocamentos), é porque aplicámos uma força à Terra e esta, por ter maior massa que o nosso corpo, faz-nos deslocar.

A ACTUAÇÃO DE FORÇAS

Quando a resultante de um sistema de forças passa pelo centro de massa, não existe efeito de rotação.



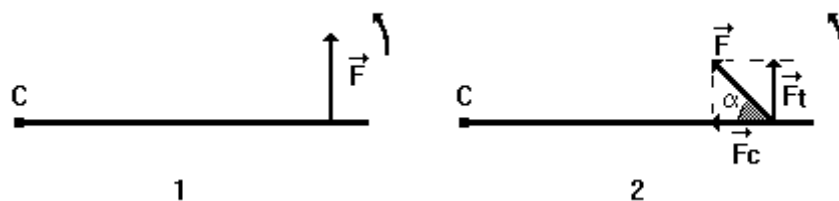
Quando não passa pelo centro de massa, existe esse efeito.



Assim, para além do efeito de translação resultante de F_r , temos um momento (efeito de rotação) que, sendo um vector com direcção perpendicular ao plano de rotação (coincidente com o eixo de rotação) e sentido dado pela regra da mão direita, tem o módulo:

$$|M_0| = |F| \cdot d \cdot \sin \alpha$$

Se o ângulo α entre o braço a mover e a direcção da força for de 90° , o seno de α será igual à unidade (situação 1), pelo que há um aproveitamento total da força no momento. Na situação 2 está representado um caso em que não há aproveitamento total da força aplicada; só se aproveita para o efeito de rotação a sua componente perpendicular ao braço móvel. Assim, há maior momento quando o ângulo é de 90° ($\sin=1$).



Por outro lado, quanto maior a distância entre o ponto de aplicação da força e o eixo de rotação, maior será o momento. Assim, para criar o mesmo momento, posso fazer menos força desde que afaste o seu ponto de aplicação do eixo de rotação.

MOMENTO DE INÉRCIA

Quando se quer modificar o estado cinético de um sistema, imprimindo-lhe movimento de rotação em torno de um eixo, esse sistema oferece uma resistência à alteração da sua velocidade angular. A essa resistência chamamos momento de inércia:

$$J = m.d^2$$

O estado cinético angular de um sistema de partículas materiais caracteriza-se pelo seu momento cinético ou momento angular:

$$\vec{M}_c = J.\vec{\omega}$$

Num sistema em que a soma dos momentos das forças exteriores é nula, há conservação do momento cinético, ou seja, mesmo sem forças exteriores posso modificar a velocidade angular com a diminuição do momento de inércia e vice-versa.

ENERGIA

Em termos dinâmicos gerais, poderemos afirmar que quando um corpo de massa m se desloca, a variação da energia cinética é igual à soma dos trabalhos realizados pelas forças externas.

Para um corpo em movimento de translação, a energia cinética em cada instante calcula-se assim:

$$Ec = \frac{1}{2}mv^2$$

(v é a velocidade do centro de gravidade)

Se o corpo está animado de um movimento circular, a sua energia cinética de rotação avalia-se:

$$Ec = \frac{1}{2}J\omega^2$$

(J é o momento de inércia do corpo em relação ao eixo de rotação)

Quando um corpo está a uma altura h do solo, ele está dotado de energia potencial:

$$Ep = mgh$$

(g representa a aceleração da gravidade)

A energia vem normalmente expressa em joules.

BIBLIOGRAFIA SUMÁRIA

- ABRANTES, João, GRAÇA, João P., "Biomecânica", in Glossário - Ciclo Básico - Ciências do Comportamento, C. Quebrada - Lisboa, ISEF-UTL, 1985/86, pp. 132-140.
- ABRANTES, João, GRAÇA, João P., Veloso, António (1985-89), Apontamentos das Disciplinas de Biomecânica e Biomecânica das Técnicas Desportivas - Licenciatura em Educação Física, Ramo de Desporto, C. Quebrada - Lisboa, ISEF-UTL [compilação de Abel A. Figueiredo].
- DADE, Jean-Claude (1986), "Éléments de Biomécanique", in: Mémento de l'Éducateur Sportif 2e Degré / Qualités Physiques et Sport, Paris, INSEP, pp. 25-40.
- HAY, James G., REID, J. Gavin, (1982), As Bases Anatômicas e Mecânicas do Movimento Humano, Rio de Janeiro, Prentice-Hall do Brasil, 1985, Tradução de Decio de Souza e Maria Olivia de Souza.
- HOCHMUTH, Gerhard, (1973) Biomechanica de los Movimientos Deportivos, Madrid, I.N.E.F.
- LIMA, Teotónio (1974a), "Técnica Individual", em: Cursos de Treinadores de Basquetebol, Federação Portuguesa de Basquetebol, Lisboa.
- LIMA, Teotónio (1974b), "Análise Técnico-Pedagógica do Lançamento em Suspensão do Basquetebol", em: Cursos de Treinadores de Basquetebol, Federação Portuguesa de Basquetebol, Lisboa.
- LUTTGENS, Kathryn, WELLS, Katharine (1982), "Fundamentos de Biomecânica", em: Kinesiologia - Bases Científicas del Movimiento Humano, 7ª Ed., Madrid, Saunders College Publishing, 2ª parte, pp. 281-692.
- PEREIRA, Celestino Marques (1953), "Portée Pédagogique de l'analyse Anatomique et Mécanique", em: Portée Pédagogique de l'Analyse de l'Exercice Physique, Bruxelas, Tese de Doutoramento - Extrait de la Revue de L'Education Physique (nºs 164-166), 3ª parte, pp. 55-117.
- PLAGENHOEF, S. (1971), Patterns of Human Motion: a Cinematographic Analysis; New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- THÉPAUT-MATHIEU, Chantalle; POUSSON, Michel (1986), "Les Facteurs Mécaniques, Déterminants de la Force Maximale", in: Mémento de l'Éducateur Sportif 2e Degré / Qualités Physiques et Sport, Paris, INSEP, pp. 17-24.
- VÁRIOS, Reprografias de documentos e estratos de documentos a incluir no Manual do Treinador de 2º Grau: BIOMECÂNICA.