

## **COMPARAÇÃO DE ATLETAS DO VOLEIBOL ATRAVÉS DA ANÁLISE CINEMÁTICA E DINÂMICA DE TRAJETÓRIAS DE BOLAS DE SAQUE**

### **COMPARISON OF VOLLEYBALL ATHLETES BY THE KINEMATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF THE SERVICE BALLS TRAJECTORIES**

Pedro Paulo Deprá\*  
René Brenzikofer\*\*

---

#### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é realizar uma comparação de atletas de voleibol através da análise cinemática e dinâmica de trajetórias de bolas de saque. A amostra é composta de 11 jogadores das categorias de base do voleibol e um da categoria adulto. Cada jogador realiza quatro tipos de saque. São executados e filmados 128 saques. Os lançamentos são selecionados, digitalizados e reconstruídos em 3D pelo método DLT. São calculados as velocidades e as acelerações da bola, o ângulo e altura inicial de lançamento e a altura a que a bola passa acima da rede, e estimados o coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) e o número de *Reynolds* ( $Re$ ) para cada saque. Quanto às variáveis cinemáticas observam-se melhores resultados do jogador de alto nível em relação aos demais jogadores. As diferenças entre as outras categorias de jogadores são menos aparentes e se diferenciam de saque para saque e de variável para variável. A distribuição dos saques na relação do coeficiente de arrasto e do número de *Reynolds* demonstra que os do tipo flutuante com suspensão das categorias de base se localizam na região de grande variação do coeficiente de arrasto.

**Palavras-chave:** Cinemática. Dinâmica. Biomecânica. Voleibol.

---

#### **INTRODUÇÃO**

No desporto coletivo de alto nível preparam-se atletas para construir jogadas eficientes, que sejam finalizadas com um ponto para a equipe. Em treino, as situações vivenciadas tentam refletir as situações de jogo e são planejadas a partir de aspectos imprescindíveis para o desenvolvimento das jogadas.

Duas linhas de condução podem ser identificadas em treinamentos: a do aspecto tático e a da eficiência individual.

A linha do aspecto tático traduz a organização do conjunto da equipe, ou seja, a organização interindividuos de jogadas que visam maximizar as chances de convergir ao lance finalizador.

A linha da eficiência individual diz respeito à contribuição do jogador na implementação das

jogadas. Essa contribuição passa, portanto, por um domínio individual dos fundamentos que caracterizam o desporto, o que exige do atleta não só um bom nível de qualidade física, mas também um excelente nível de execução do gesto motor.

Apesar de estas linhas serem observadas de forma conjunta numa partida, a eficiência individual é um fator condicionante para a eficiência do aspecto tático; destarte, na formação de uma equipe é natural considerá-la como um fator de seleção de jogadores. Mas, como essa eficiência pode ser avaliada?

No geral, a literatura esportiva mostra que essa eficiência tem sido avaliada através da medida da habilidade de execução de técnicas desportivas (FRENCH et al., 1995), de parâmetros fisiológicos (LACONI et al., 1998) e do desempenho em funções específicas de jogo

---

Departamento de Educação Física, UEM – Maringá / PR

\* \* Faculdade de Educação Física, UNICAMP – Campinas / SP.

que um atleta apresente durante competições, por exemplo, como relacionado pela Federação Internacional de Voleibol (FIVB, 2002).

No voleibol, que é objeto de análise desta pesquisa, ainda são poucos os trabalhos que se propõem a estudar a eficiência de atletas, em fundamentos específicos, entre categorias de acesso ao esporte (TEMPRADO et al., 1997).

Em princípio, a idade parece ser o único meio em uso para classificar o acesso de atletas nas diversas categorias. Outros trabalhos tendem a somente estudar atletas de alto nível (KAO et al., 1994; COLEMAN et al., 1993; HUAN et al. 1998, 2004).

Desta forma, propõe-se neste trabalho uma comparação da eficiência individual entre diferentes categorias de atletas do voleibol. O enfoque da análise é dado às variáveis mecânicas relacionadas às trajetórias das bolas de saque.

O saque, apesar de aparentemente ser uma situação bem controlada no jogo do voleibol, exige do atleta uma absoluta concentração. Existem condições rígidas que tendem a restringir as liberdades do sacador, tais como a geometria da quadra, a posição da rede e as regras do jogo.

A utilização de trajetórias neste tipo de análise mostra-se como uma alternativa importante para a avaliação da eficiência individual, pelo fato de a maioria das características das trajetórias das bolas estarem dependentes das ações motoras do atleta. No jogo de voleibol, a trajetória da bola de saque é o elo físico entre o sacador e o receptor.

As trajetórias de bola têm sido tratadas nas áreas das ciências exatas como um capítulo da mecânica clássica. Na literatura científica podemos identificar trabalhos abordando as trajetórias de bola, especificamente em esportes, com o objetivo de atribuir ao fenômeno uma explicação físico-matemática.

Fuchs (1991, parte I e II) aborda os aspectos teóricos e as aplicações das trajetórias de bola na atmosfera. Mehta (1985) trata da aerodinâmica de bolas em esportes e apresenta resultados experimentais advindos da análise de três modalidades: cricket, baseball e golf. De Mestre (1991) descreve os fundamentos matemáticos utilizados no estudo da trajetória de

projéteis (bolas) e apresenta exemplos de aplicação no esporte.

Neste trabalho objetivamos quantificar as variáveis cinemáticas e dinâmicas das trajetórias de bolas de saque de atletas de diferentes categorias e relacioná-las às *performances* dos atletas.

Apresenta-se a seguir a metodologia utilizada, com detalhamento dos modelos físico-matemáticos utilizados na quantificação das trajetórias, e os resultados e análises das variáveis mecânicas para cada categoria de atletas.

## METODOLOGIA

Esta pesquisa é caracterizada como descritiva. São considerados como pertencentes à população os atletas das cinco categorias que formam a base das seleções de voleibol da cidade de Maringá / Pr - Brasil.

A amostra é intencional, considerando o critério de "qualidade de execução" da técnica do saque, e composta por 12 jogadores do sexo masculino, sendo 3 mirins, 3 infantis, 3 infanto-juvenis, 2 juvenis e 1 jogador adulto de alto nível.

As categorias são definidas conforme a faixa etária e estão listadas abaixo: mirim: até 14 anos; infantil: de 14 a 15 anos; infanto-juvenil: de 15 a 16 anos; juvenil: acima de 16 anos. O atleta adulto atua em liga nacional de voleibol masculino.

Cada jogador das cinco categorias realiza quatro tipos de saque do jogo de voleibol: o saque por baixo, o saque flutuante, o saque flutuante com suspensão e o saque viagem.

São utilizadas para fins de análise somente as trajetórias de bola que são provenientes de saques, não tocam a rede e aterrissam na quadra adversária nos limites regulamentares.

São executados 128 saques numa quadra coberta, onde é montado, medido e calibrado o cenário experimental. Duas câmeras de vídeo registram simultaneamente as trajetórias, fornecendo assim duas seqüências estereoscópicas de imagens. A temperatura do ar e a sua umidade relativa foram medidas para uso posterior.

Os lançamentos são selecionados e as trajetórias digitalizadas e reconstruídas no espaço 3D por videogrametria, aplicando o

sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos (DVIDEO) apresentado em Barros et al. (1999) e Figueroa et al. (2003).

Desta forma, para cada lançamento obtêm-se as coordenadas que correspondem à posição da bola, no espaço tridimensional, na sua fase de vôo, a cada 1/30 de segundo.

Para a reconstrução 3D o sistema de referência cartesiano é definido pela calibração com as seguintes convenções: "X" horizontal na direção longitudinal da quadra e no sentido do lançamento, "Y" vertical para cima e "Z" ortogonal ao plano vertical (X,Y).

Para a análise esse sistema de referência é girado em torno do eixo vertical, para que a trajetória seja representada pelas novas coordenadas (x, y) da bola no plano vertical. Desta forma obtêm-se descrições das trajetórias que não dependem da direção do saque executado.

As coordenadas discretas da trajetória são transformadas em funções contínuas do tempo. Para isso, as coordenadas x(t) e y(t) de cada trajetória são ajustadas por um polinômio de 4º grau do tempo, P<sub>x</sub>(t) e P<sub>y</sub>(t).

O grau do polinômio utilizado resulta da análise da qualidade dos ajustes aplicando-se o método do *qui-quadrado reduzido* (VUOLO, 1992).

As variáveis cinemáticas quantificadas são: o tempo, que parametriza a trajetória, contado a partir da perda de contato com a mão do sacador e obtido através da frequência de amostragem das câmeras de vídeo; as posições, velocidades e acelerações da bola em função do tempo; o ângulo e a altura inicial de lançamento e a altura a que a bola passa acima da rede. As variáveis dinâmicas correspondem à interação entre a bola e o ar e são quantificadas pelo coeficiente de arrasto (C<sub>D</sub>) número de *Reynolds* (Re) para cada saque.

A altura inicial de lançamento é extraída da coordenada vertical y(0) da bola na trajetória no tempo t = 0.

Os componentes da velocidade (v<sub>x</sub> e v<sub>y</sub>) são calculados através das derivadas das coordenadas horizontais e verticais da bola em função do tempo.

$$v_x(t) = \frac{dP_x}{dt} ; \quad v_y(t) = \frac{dP_y}{dt}$$

Os componentes da aceleração (a<sub>x</sub> e a<sub>y</sub>) são obtidos através das derivadas dos componentes horizontais e verticais da velocidade em função do tempo.

$$a_x(t) = \frac{dv_x}{dt} ; \quad a_y(t) = \frac{dv_y}{dt}$$

A velocidade inicial da bola é obtida pelo módulo do vetor velocidade no tempo t = 0.

$$v(0) = \sqrt{v_x^2(0) + v_y^2(0)}$$

O ângulo inicial de lançamento é calculado através do arco co-seno da razão entre a velocidade horizontal e o módulo do vetor velocidade da bola.

$$\theta = \arccos \left( \frac{v_x(0)}{v(0)} \right)$$

Para o cálculo da altura a que a bola passa acima da rede, inicialmente realiza-se um ajuste polinomial do tempo em função da coordenada (X) da posição da bola e estima-se o tempo (t<sub>R</sub>) de sua passagem na rede. Após, usa-se o ajuste polinomial da coordenada vertical P<sub>y</sub>(t<sub>R</sub>) da bola no tempo t<sub>R</sub> e calcula-se y<sub>R</sub> na passagem da rede. O valor da altura a que a bola passa acima da rede é dado pela subtração da coordenada vertical (y<sub>R</sub>) pela altura oficial da rede (2,43 [m]).

Uma vez calculadas as velocidades e acelerações da bola, estimam-se as variáveis dinâmicas, isto é, os valores do *coeficiente de arrasto* (C<sub>D</sub>) e do *número de Reynolds* (Re) para cada saque, como resumido a seguir.

A movimentação da bola no ar pode ser descrita e explicada pelas leis da mecânica. Duas forças agem sobre ela, a força peso e a força de arrasto. O peso é constante e é exercido verticalmente no sentido de cima para baixo. A força de arrasto é variável e o seu módulo depende da velocidade relativa entre a bola e o ar e das características do meio fluido. Sua

direção é paralela e seu sentido é oposto à velocidade no instante considerado.

A magnitude da força de arrasto atuando numa esfera lisa de diâmetro  $D$  (área:  $A = \pi D^2 / 4$ ), se deslocando num fluido de densidade ( $\rho$ ) a uma velocidade ( $V$ ), é dada por  $F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A V^2$ .  $C_D$  é definido como coeficiente de arrasto. O seu valor depende significativamente do tipo de escoamento que o fluido realiza em torno da esfera. Para isso o *número de Reynolds* é o parâmetro adimensional indicado para caracterizar as velocidades de escoamento levando em conta o tamanho do objeto e as características do fluido. Para a esfera definida acima, o *número de Reynolds* é dado por:  $Re = \rho D V / \mu$ , sendo  $\mu$  o coeficiente de viscosidade do fluido.

Se medirmos com precisão as trajetórias de bolas de vôlei em função do tempo, poderemos deduzir suas velocidades e acelerações e, com as equações de Newton, calcular a força de arrasto e estimar o seu coeficiente  $C_D$  para cada lançamento.

Para obtermos a força de arrasto ( $F_D$ ) e o coeficiente de arrasto ( $C_D$ ), na trajetória de uma bola, elaboramos um modelo físico-matemático que analisa o movimento sob o ponto de vista da dinâmica no espaço.

Este modelo considera as duas forças atuantes, isto é, a força de arrasto  $F_D = ( \quad , \quad )$  e a força peso ( $0, -mg$ ). O movimento da bola é suposto ser de translação, sem rotação (spin), e acontecer no plano vertical ( $x, y$ ).

A força resultante passa a ter os componentes horizontal e vertical:

$$F_{D_x} = -\frac{1}{2} C_D \rho A V^2 \cos \theta$$

$$F_{D_y} = -mg - \frac{1}{2} C_D \rho A V^2 \sin \theta;$$

sendo  $\theta$  o ângulo entre a velocidade e o componente horizontal e “g” a aceleração da gravidade ( $9,80 \text{ [m.s}^{-2}\text{]}$ ).

Considerando as componentes horizontal e vertical da velocidade:  $v_x = V \cos \theta$  e

$$v_y = V \sin \theta$$

$$V^2 = v_x^2 + v_y^2$$

e aplicando a segunda lei de Newton, obtêm-se as equações

para os componentes horizontais ( $a_x$ ) e verticais ( $a_y$ ) da aceleração da bola:

$$a_x = -\frac{1}{2m} C_D \rho A v_x \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$a_y + g = -\frac{1}{2m} C_D \rho A v_y \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

Finalmente, somando-se o quadrado destas duas expressões e isolando-se  $C_D^2$ , obtêm-se:

$$C_D^2 = \frac{4m^2}{\rho^2 A^2} \frac{a_x^2 + (a_y + g)^2}{(v_x^2 + v_y^2)^2}$$

Conhecendo-se as velocidades e acelerações da bola, nas trajetórias, pode-se calcular o coeficiente de arrasto em cada saque. O conhecimento do  $C_D$  permite calcular a força de arrasto.

As variáveis apresentadas e quantificadas com esta metodologia permitem descrever e caracterizar as trajetórias das bolas de saque.

No caso das variáveis cinemáticas, a velocidade, o ângulo inicial de lançamento e a altura a que a bola passa acima da rede refletem a ação do jogador na execução da técnica. No caso da dinâmica, o coeficiente de arrasto em função do número de *Reynolds* permite avaliar a aerodinâmica da bola em virtude das condições iniciais de lançamento.

Percebe-se, pelo modelo físico-matemático apresentado, que a quantificação do coeficiente de arrasto depende das velocidades e acelerações da bola de voleibol. Portanto, existe o entendimento de que a habilidade de execução da técnica pode ser relacionada às variáveis mecânicas apresentadas.

Com a quantificação dessas variáveis cinemáticas e dinâmicas da bola, comparam-se as diferentes categorias de atletas e procuram-se possíveis relações de dependência.

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir apresentam-se através de gráficos os resultados das variáveis cinemáticas e dinâmicas

calculadas, evidenciando as categorias de acesso do voleibol e os tipos de saque executados.

As variáveis ângulo inicial de lançamento, altura a que a bola passa acima da rede e velocidade inicial da bola são apresentadas através das distribuições em quartis usando o “boxplot”. O traço desenhado dentro das caixas corresponde ao valor mediano da variável analisada. O comprimento do boxplot representa a heterogeneidade da categoria na variável representada e poder ser utilizado para comparação. Quanto menor o boxplot maior é a homogeneidade do grupo.

Nestas figuras, as informações apresentadas estão distribuídas em quatro grupos, ordenados por tipo de saque. A ordem dos saques é apresentada da seguinte maneira, da esquerda para a direita: saque por baixo, saque flutuante, saque flutuante com suspensão e saque viagem. Para cada tipo de saque apresentam-se os resultados das quatro categorias de base do voleibol e do atleta de alto nível. As categorias de base estão apresentadas na seguinte ordem, também da esquerda para a direita: mirim, infantil, infante-juvenil, juvenil. A caixa, com destaque preto, refere-se ao atleta de alto nível.

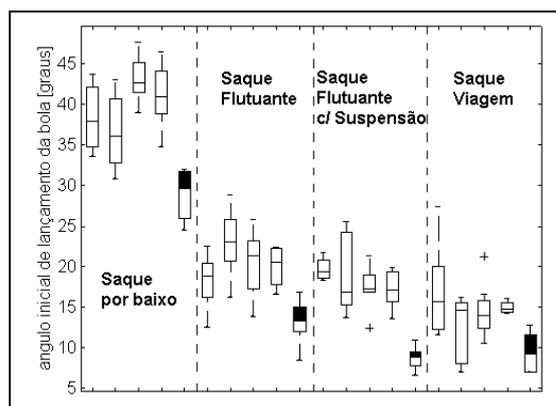
As variáveis altura inicial de lançamento, coeficiente de arrasto e número de *Reynolds* são apresentadas em gráficos bidimensionais. Essa representação releva as correlações entre as variáveis.

Vale lembrar que os critérios de validação das trajetórias de saque para análise, mencionadas na metodologia, fazem com que as diversas variáveis não sejam independentes.

No gráfico 1, apresentam-se os dados referentes ao ângulo inicial de lançamento da bola. Observa-se que existe uma tendência decrescente para o ângulo inicial em função do tipo de saque, na ordem apresentada. Quanto à distribuição dos ângulos entre categorias, nota-se que em todos os tipos de saque o jogador de alto nível lança a bola com um menor ângulo. Isto parece indicar uma qualificação técnica diferenciada em relação às outras categorias de base, pois se espera que com um menor ângulo de

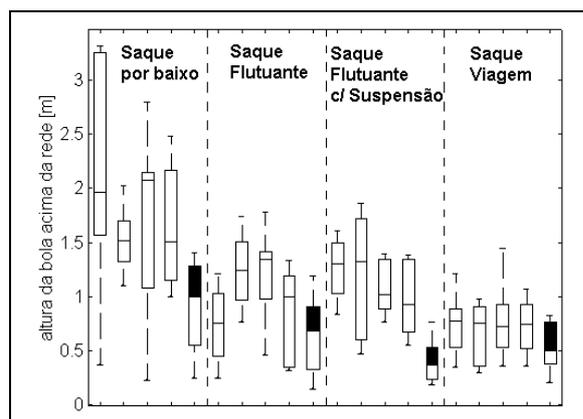
liberação a bola apresente uma trajetória mais tensa, passando mais perto da rede.

Dentre as outras categorias, observa-se que nos saques com suspensão (flutuante com suspensão e saque viagem), os atletas mirins apresentaram, nas trajetórias das bolas de seus saques, os maiores ângulos iniciais de lançamento.



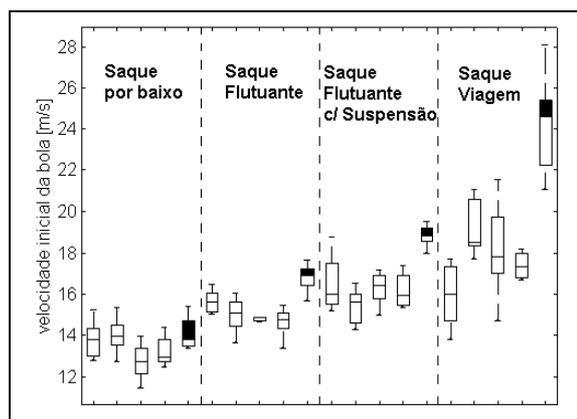
**Gráfico 1** - Distribuição do ângulo inicial de lançamento em relação a horizontal por tipo de saque e categoria de atleta. O boxplot com destaque em preto refere-se ao atleta de alto nível.

Com relação à altura a que a bola passa acima da rede, apresentam-se os resultados no gráfico 2 respeitando as mesmas convenções do gráfico 1. De início, observa-se novamente uma tendência decrescente em função do tipo de saque na ordem apresentada. Nota-se que o jogador de alto nível apresenta o menor valor, o que corrobora a maior qualificação técnica do atleta. No saque viagem, ressalta-se o fato de que as quatro categorias menores de jogadores apresentaram as medianas praticamente iguais. No entanto, nota-se ainda que os jogadores mirins voltaram a apresentar os maiores valores.



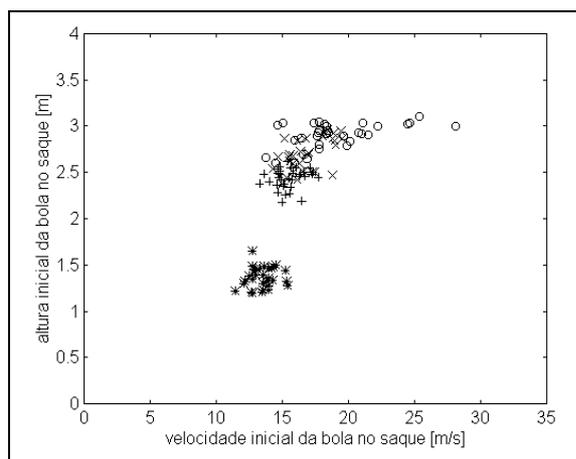
**Gráfico 2** - Distribuição da altura em que a bola passa acima da rede por tipo de saque e categoria de base. O boxplot com destaque em preto refere-se ao atleta de alto nível.

No gráfico 3 apresentam-se os dados referentes à velocidade inicial de lançamento da bola. Observa-se uma tendência crescente dos saques a partir do saque por baixo. Como esperado, o saque mais lento é o do tipo *por baixo*, enquanto o mais veloz é o do tipo *viagem*. Observando as características intercategorias verifica-se que, exceto no saque por baixo, o jogador de alto nível lança mais veloz em todos os outros três tipos de saque. O fato de não haver diferenças significativas, quanto à velocidade inicial, entre as categorias no saque *por baixo*, pode estar associado à própria característica do saque, que é menos ofensiva. No saque *viagem*, nota-se uma variabilidade da velocidade inicial maior que nos outros tipos de saque, em quase todas as categorias. Observa-se ainda, no saque *viagem*, que os jogadores mirins lançaram as bolas menos velozes, se comparados aos demais jogadores.



**Gráfico 3** - Distribuição da velocidade inicial de lançamento por tipo de saque e categoria de base. O boxplot com detalhe em preto refere-se ao atleta de alto nível.

A outra variável analisada é a altura inicial de lançamento. Essa variável descreve a posição da bola imediatamente após a perda de contato com a mão do jogador. Para representar estes e os próximos resultados; opta-se por gráficos bidimensionais tradicionais. Neste caso, apresentam-se no gráfico 4 os dados da altura inicial em função da velocidade inicial de lançamento de cada saque. Os resultados mostram que os saques parecem formar, no gráfico, agrupamentos de pontos caracterizando faixas de alturas e velocidades iniciais da bola. Estes agrupamentos podem ser mais bem visualizados no saque *por baixo*. Entre o saque flutuante e o flutuante com suspensão aparece uma transição contínua situada por volta de 2.5 [m]. O saque *viagem* apresenta uma região, no entanto ela é mais dispersa, se estendendo no sentido do eixo das velocidades. Nota-se que os saques que exigem suspensão apresentam uma variabilidade, em termos de altura inicial da bola, por volta de 0.3 [m].



**Gráfico 4** - Altura inicial da bola em função da velocidade inicial de lançamento. Símbolo: ‘\*’ Saque por baixo; ‘+’ Saque flutuante; ‘x’ Saque flutuante com suspensão e ‘o’ Saque viagem

Nas variáveis relativas à dinâmica das trajetórias aparece um fenômeno que interfere no comportamento da bola que, sendo bem explorado, pode corresponder a uma alternativa ofensiva de jogo. Este fenômeno é estudado na mecânica dos fluidos e é chamado de “crise de arrasto”.

A crise de arrasto diz respeito a uma mudança brusca da magnitude do Coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) (FROHLICH, 1984). Este fenômeno merece atenção, pois acontece também em outras modalidades desportivas que utilizam bolas e provoca alterações importantes em suas trajetórias.

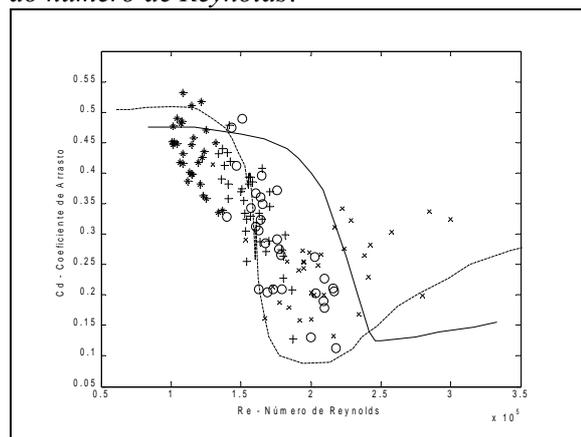
Na prática de jogo, este fenômeno pode causar ao atleta do time adversário um erro de recepção, quando este se depara repentinamente com uma trajetória de bola diferente daquela prevista após a execução do saque. Isto se deve à interação da bola com o ar e à sua velocidade relativa, entre outras características do meio fluido.

As variáveis dinâmicas estudadas nesses casos são o coeficiente e a força de arrasto aplicada sobre a bola. O valor do coeficiente de arrasto depende significativamente do tipo de escoamento que o fluido realiza em torno da bola.

Diferenciam-se três tipos de escoamento: o laminar, quando a velocidade envolvida é baixa, e dois regimes turbulentos, que aparecem a velocidades mais elevadas, como é o caso do voleibol. Além da velocidade, a forma e

tamanho do objeto e as características do fluido também afetam o tipo de escoamento. O número de *Reynolds* é o parâmetro adimensional indicado para caracterizar as velocidades de escoamento, levando em conta o tamanho do objeto e as características do fluido (BATCHELOR, 1967).

Na mecânica dos fluidos a literatura apresenta, para uma esfera lisa, os coeficientes de arrasto ( $C_D$ ) em função do número de *Reynolds* ( $Re$ ). Uma característica da função  $C_D$  ( $Re$ ) é a brusca queda de  $C_D$  na região de  $Re$  entre  $1 \cdot 10^5$  e  $3 \cdot 10^5$  (LANDAU; LIFSHITZ, 1993). Esta queda de  $C_D$ , de um fator 4 ou mais, localiza a região chamada de crise de arrasto e corresponde à transição entre os dois regimes turbulentos. O fenômeno é devido a uma forte mudança no tipo de turbulência gerado pelo escoamento no rastro da trajetória. No gráfico 5 apresenta-se o *coeficiente de arrasto em função do número de Reynolds*.



**Gráfico 5** - Coeficiente de Arrasto em função do Número de Reynolds. Símbolo: ‘\*’ Saque por baixo; ‘+’ Saque flutuante; ‘o’ Saque flutuante com suspensão e ‘x’ Saque viagem.

Neste gráfico observam-se duas curvas: uma em linha cheia, representando os dados da relação  $C_D \times Re$  para uma esfera lisa, e outra em linha tracejada, representando os dados da mesma relação para uma esfera rugosa (a rugosidade da superfície é aproximada a  $k/D = 150 \cdot 10^{-5}$ ;  $k$  = altura da rugosidade e  $D$  = diâmetro da esfera) (ACHENBACH, 1974; FROHLICH, 1984).

Nota-se que os dados acompanham toda a curva desenhada para uma esfera rugosa e se distribuem dentro da faixa correspondente à crise de arrasto. Estima-se que durante um jogo

a velocidade de uma bola de vôlei padrão, entre 5 e 30 m/s (KAO et al., 1994), imersa numa atmosfera comum, nos leva a um número de *Reynolds* entre  $0,8 \cdot 10^5$  e  $3,5 \cdot 10^5$ . Assim, o número de *Reynolds* das bolas em situação de jogo de voleibol fica perto da região de crise de arrasto e a força de arrasto correspondente varia, junto com  $C_D$ , de um lançamento para outro.

## CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos para as variáveis cinemáticas apresentadas nos gráficos 1 a 3, podem-se observar melhores resultados do jogador de alto nível em relação aos demais jogadores. Considerando-se as medianas das distribuições apresentadas, as velocidades iniciais de lançamento são maiores, as bolas passam mais perto da rede e os ângulos iniciais de lançamento são menores.

As diferenças entre as outras categorias de jogadores são menos aparentes e se diferenciam de saque para saque e de variável para variável. Não parece existir predomínio de uma categoria sobre a outra em relação às variáveis medidas.

Não obstante, quando se observa cada categoria isoladamente pode-se detectar uma heterogeneidade maior, principalmente em se tratando das variáveis; ângulo inicial de

lançamento e altura a que a bola passa acima da rede.

No gráfico 3 aparece um maior grau de homogeneidade na distribuição da velocidade inicial de lançamento da bola entre cada categoria e tipo de saque.

Aparentemente há indícios que o grau de habilidade de execução da técnica do saque é mais bem explicado pelas duas primeiras variáveis (ângulo inicial de lançamento e altura a que a bola passa acima da rede), pois estas são dependentes da maneira como o sacador executa o gesto técnico.

As outras relações de variáveis apresentadas, como, a altura inicial da bola no saque em função da velocidade inicial de lançamento e o coeficiente de arrasto em função do número de *Reynolds*, parecem mais bem aplicadas à caracterização dos tipos de saque do que propriamente à qualificação da execução das técnicas.

A metodologia deste trabalho mostra-se de possível utilização na caracterização e na comparação de trajetórias de bolas de saque. Desta forma, pode propiciar auxílio aos técnicos desportivos tanto no acompanhamento da aprendizagem quanto na análise da técnica do saque utilizada pelos atletas do voleibol.

---

## COMPARISON OF VOLLEYBALL ATHLETES BY THE KINEMATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF THE SERVICE BALLS TRAJECTORIES

### ABSTRACT

The aim of this study was to compare the volleyball athletes by the kinematic and dynamic analysis of the service balls trajectories. The sample comprised 11 players of the volleyball basic categories, and one of the adult category. Each player makes four types of services. 128 services are executed and video taped. The throws are selected, digitalized and 3D reconstructed by the DLT method. The velocity and acceleration of the ball, the initial throw angle and initial height, as well as the height that the balls reaches above the net are calculated, and the Drag Coefficient ( $C_D$ ) and Reynolds' Number (Re) for each service are estimated. Considering the kinematic variables, better results of the high level player in relation to the other players were observed. The differences between the other categories of players are less evident and are different from service to service and from variable to variable. The distribution of the services concerning the relation between the Drag Coefficient and Reynolds' Number shows that the floating with jump services of the basic categories are observed in the region of a wide range of the Drag Coefficient.

**Key words:** kinematic. Dynamic. Biomechanics. Volleyball..

---

## REFERÊNCIAS

- ACHENBACH, Elmar. The effects of surface roughness and tunnel blockage on the flow past spheres. **J. Fluid Mech.**, v. 65, part 1, p. 113-125, 1974.
- BARROS, Ricardo M. L.; BRENZIKOFER, René; LEITE, Neucimar; FIGUEROA, Pascual J. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica = Brazilian Journal of Biomedical Engineering**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1-2, p. jan./ago. 1999.
- BATCHELOR, G. K. **An introduction to fluid dynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1967.
- COLEMAN S. G. S.; BENHAM A. S.; NORTHCOTT S. R. A three-dimensional cinematographical analysis of the

- volleyball spike. **Journal of Sports Sciences**, Wallsall, v. 11, p. 295-302, 1993.
- DE MESTRE, N. **The mathematics of projectiles in sport**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. (Australian Mathematical Society Lecture Series, 6).
- FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE VOLLEYBALL. World League 2001. Best Scores. Final Round Stats. Disponível em:  
<[http://www.fivb.org/EN/Volleyball/Competitions/WorldLeague/2001/Stats/Best\\_Scorers.asp](http://www.fivb.org/EN/Volleyball/Competitions/WorldLeague/2001/Stats/Best_Scorers.asp)>. Acesso em: 27 maio 2002.
- FIGUEROA, P. J.; LEITE, N. J.; BARROS, R. M. L. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, Uppsala, v. 72, p.155-165, 2003.
- FRENCH, K.E.; SPURGEON, J. H.; NEVETT, M. E. Expert-novice differences in cognitive and skill execution components of youth baseball performance. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, San Diego, v. 66, n. 3, p. 194-201, 1995.
- FROHLICH, Cliff. Aerodynamic drag crisis and its possible effect on the flight of baseballs. **Am. J. Phys.**, Kalamazoo, v. 52, n. 4, p., Apr. 1984.
- FUCHS, P.M. Physical model, theoretical aspects and applications of the flight of a ball in the atmosphere. Part I: Modeling of Forces and Torque, and theoretical prospects. **Mathematical Methods in the Applied Sciences**, Stuttgart, v. 14, p. 447-460, 1991.
- FUCHS, P.M. Physical model, theoretical aspects and applications of the flight of a ball in the atmosphere. Part II: Theoretical aspects in the case of vertical angular frequency and applications. **Mathematical Methods in the Applied Sciences**, Stuttgart, v. 14, p. 461-481, 1991.
- HUAN, Chenfur; LIU, Gin-Chang; SHEU, Tai-Ken. A 3d analysis of the volleyball one-foot jump spike. In: XVI ISBS'98 - INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOMECHANICS IN SPORTS, Konstanz. Proceedings I. University of Konstanz, 1998. P. 196-1998.
- HUAN, Chenfur; LIU, Gin-Chang; SHEU, Tai-Ken. Kinematic analysis of the volleyball back row jump spike. Disponível em:  
<http://www.coachesinfo.com/category/volleyball/226/>. Acesso em: 15 dezembro 2004
- KAO, Shawn S.; SELLENS, Richard W.; STEVENSON, Joan M. A mathematical model for trajectory of a spike volleyball and its coaching application. **Journal of Applied Biomechanics**, Newark, v. 10, p. 95-109, 1994.
- LACONI, R.; MELIS, F.; CRISAFULLI, A.; SOLLAI, R.; LAI, C.; CONCU, A. Field test for mechanical efficiency evaluation in matching volleyball players. **Int. J. Sports Med.**, New York, v. 19, p. 52-55, 1998.
- LANDAU, L. D.; LIFSHITZ, E. M. **Fluid Mechanics**. Oxford: Pergamon Press, 1993.
- METHA, R. D. Aerodynamics of Sports Balls. **Am. Rev. Fluid Mech**, Palo Alto, v. 17, p. 151-89, 1985.
- TEMPRADO J.; DELLA-GRASTA M.; FARRELL M.; LAURENT M. A novice-expert comparison of (intra-limb) coordination subserving the volleyball serv. **Human Movement Science**, Amsterdam, v. 16, p. 653-676, 1997.
- VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria de erros**. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

Recebido em 20/06/04  
Revisado em 08/07/04  
Aceito em 30/08/04

---

**Endereço para correspondência:** Pedro Paulo Depr . Departamento de Educa o Física/UEM, Av. Colombo, 5790, CEP 87020-900, Maringá-PR.