

Investigação original

Marinus van Holst (m.holst@hccnet.nl), engenheiro mecânico na Holanda enviou-nos um estudo muito interessante sobre **Forças de Sustentação e de Arrasto na pá**. Marinus apresenta equações que relacionam as forças de sustentação e de arrasto com o ângulo para o ataque. Dado existirem dados experimentais, o modelo é, agora, mais fácil de desenvolver.

Desde a tese de Volker Nolte's, PhD, "Wie wird ein Ruderboot angetrieben?" ("Como é um barco de remo propulsionado?") a força de sustentação hidrodinâmica atraiu o interesse da família do remo. Para alguns, atingiu um estatuto mítico. A partir dos grupos de remo na internet, fica-se com a impressão que a sustentação é boa e o arrasto é mau. É compreensível pois o arrasto e a sustentação são termos utilizados na engenharia aeronáutica e, para um avião, a sustentação significa menos carga (bom) e o atrito significa consumo de combustível (mau). Muita investigação foi feita para desenvolver um aerofólio (uma asa) que produza apoio máximo e atrito mínimo. No remo, as coisas são diferentes: é importante percebermos o significado da sustentação e do arrasto mas a possibilidade de beneficiarmos (i.e., remar mais rápido) são muito limitadas.

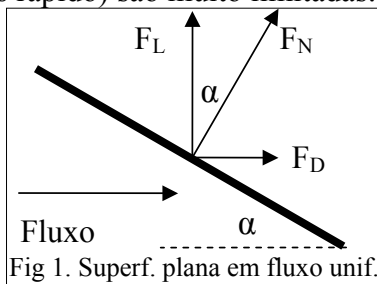


Fig 1. Superf. plana em fluxo unif.

Num fluxo, um corpo em movimento sofre uma força. Em geral, a direção da força não é a mesma que a do fluxo. Assim, a força pode ser representada com uma componente perpendicular à direção do fluxo, a força de sustentação, e a componente na direção do fluxo, a força de arrasto. (No caso do avião, o apoio significa "contra a gravidade" e daí o "lift"). A representação é um exercício geométrico, não físico, e a consequência é que a componente de arrasto produz trabalho e a de sustentação não. Tal tem uma tradução física: o trabalho (ou melhor, potência) pode ser calculado como um escalar ("ponto") produto do vector força e do vector velocidade. Quando o corpo exposto a um fluxo é uma superfície plana, considerando duas dimensões como na Fig 1, a força F_N é perpendicular à superfície (em todos os pontos, a força é a resultante da pressão em ambos os lados) e o ângulo α entre F_L e F_N é o mesmo que o ângulo entre a superfície e a direção

do fluxo, o ângulo de ataque α . Existe uma relação estrita entre a força de arrasto (D) e de sustentação (L):

$$F_D / F_L = \tan \alpha$$

Recentemente Caplan e Gardner (1) realizaram experiências para determinar as forças de sustentação e de arrasto numa superfície plana e numa pá big-blade. Os resultados foram expressos em coeficientes de sustentação e arrasto, C_L e C_D . As fórmulas são:

$$F_L = C_L 0.5 \rho v^2 A$$

$$F_D = C_D 0.5 \rho v^2 A$$

em que ρ é a densidade da água, v é a velocidade do fluxo e A é a área da pá. Os gráficos construídos são, muito aproximadamente, descritos por

$$C_D = 2C (\sin \alpha)^2$$

$$C_L = C \sin(2\alpha)$$

em que C é uma constante adimensional e representa a função da forma da superfície da pá. Tal confirma a relação:

$$F_D / F_L = C_D / C_L = \tan \alpha$$

Estas expressões não eram apresentadas em (1). Algumas pequenas diferenças foram encontradas entre a superfície plana e a big-blade mas, neste contexto, não são relevantes. Importante foi: a força da pá é perpendicular à superfície plana e perpendicular ao eixo da big-blade. Nenhuma força no plano (atrito) foi medida.

Estes resultados levam a uma formulação alternativa para as forças de sustentação, arrasto e coeficientes. A força normal na pá:

$$F_N = \sqrt{F_D^2 + F_L^2} \quad \text{e} \quad C_N = \sqrt{C_D^2 + C_L^2}$$

donde resulta,

$$C_N = 2C \sin \alpha + \sqrt{1 + (\cos \alpha)^2}$$

A potência desperdiçada na água pela pá, P_W , é parte da potência produzida pelo remador, aquece a água em vez de propulsionar o barco:

$$P_W = F_D v = F_N v \sin \alpha$$

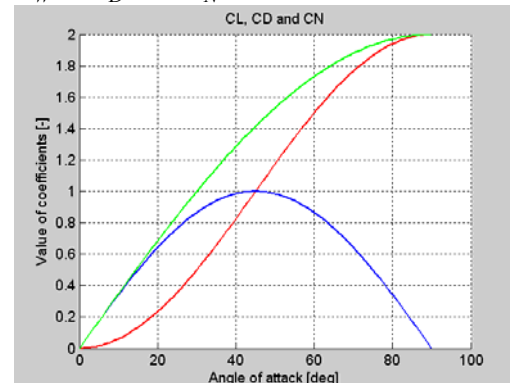


Fig 2 C_D - red; C_L - blue; C_N - green

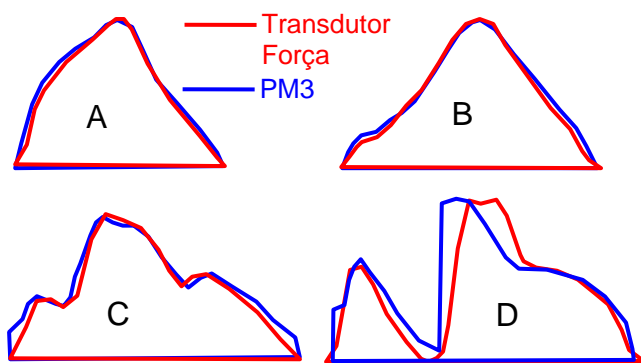
Referências:

1. Caplan N., Gardner T.N. 2007. A fluid dynamic investigation of the Big Blade and Macon oar blade designs in rowing propulsion. *Journal of Sports Sciences*, 25(6): 643-650.

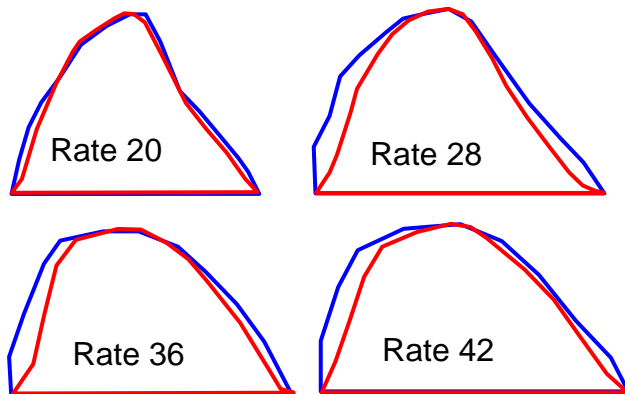
Q&R

Recebemos muitos comentários sobre a comparação das curvas de força no PM3. Estimuladas por dois comentários, apresentamos análises adicionais:

1. Scott Hamilton, engenheiro electrónico de produto da Concept2 Inc., aconselhou a actualização do firmware do monitor PM3. A última versão, 101, retirada do site www.Concept2.com, foi instalada no PM3. Scott deixou bem claro que o PM3 representa a curva de força no tempo. Reptimos a experiência no PM3 e no PC utilizando o mesmo método de vídeo (RBN 2008/04). A comparação mostrou uma melhor correspondência:



Apenas a curva D, com uma forma atípica, era diferente só que este tipo de curva, na prática, nunca é encontrada. Então, decidimos testar a correspondência a diferentes cadências:

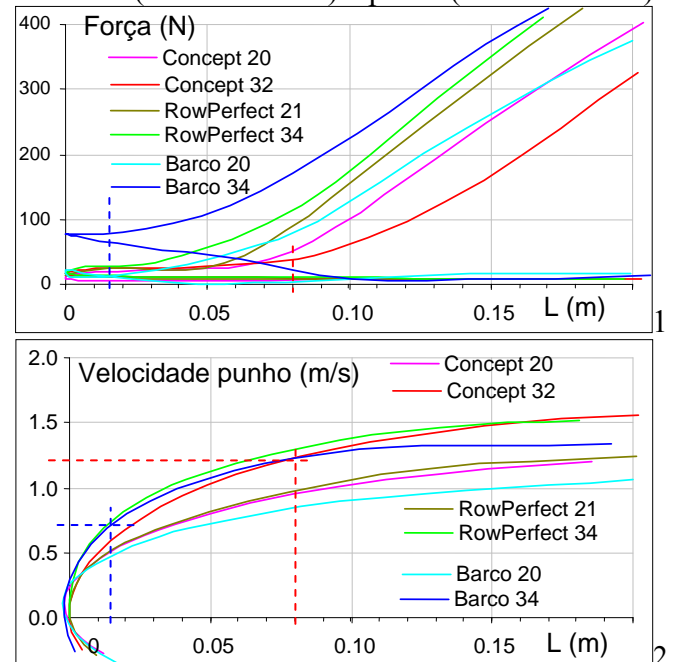


Vemos que a correspondência diminuiu com cadências mais elevadas.

2. Tivemos uma conversa interessante com o inventor do ergómetro RowPerfect, Cas Rekers, acerca da razão do escapamento da força/comprimento no ataque. Cas informou-me que o disparo do sinal é muito preciso e é desencadeado pela corrente em menos de ¼ mm. No entanto, no ataque, os rolamentos e a roda de inércia giram a uma velocidade elevada e, portanto, o carreto e a corrente têm de acelerar até essa velocidade para que o sensor seja activado. Concordámos em chamar à fase inicial do tempo motor “aceleração do punho” ou “distância de activação”. Durante esta

fase, a rotação do carreto é menor que a rotação da roda de inércia e o sensor não é activado; semelhante ao barco, a pá entra na água mas não propulsiona o barco. Tal significa que não há adição de energia à roda e que a força medida é muito pequena.

Para comparar o momento em que o carreto acelera com o do início da fase de propulsão na água, utilizámos, da nossa experiência em 2004, (RBN 2005/03, 1), os dados obtidos nos ergómetros Concept2, RowPerfect e num skiff, à cadência de treino (20-21rem/min) e prova (32-34rem/min):



Os gráficos mostram que a força tem um forte aumento quando a velocidade do punho varia entre os 0.7m/s no skiff e os 1.2m/s no Concept2 a 32rem/min. Na água e no RowPerfect, menos de 4cm são necessários para criar apoio, em comparação com os 7-8cm do Concept2 a 32 rem/min.

Em geral, o padrão da aceleração do punho no ataque é semelhante em ambos os ergómetros e na água porque depende mais da aceleração da massa do remador e do barco/sistema do que da aceleração da corrente/remo. Uma menor distância para o apoio aponta a diferença entre sistemas com massas móveis (barco e RowPerfect) e estacionários (Concept2). Mas, remar na água a cadências elevadas, tem uma marca distintiva: a inércia do remo que, à medida que o punho se desloca no sentido da popa antes do ataque, gera uma força no punho.

Referências

1. Kleshnev V. 2005. Comparison of on-water rowing with its simulation on Concept2 and Rowperfect machines. Scientific proceedings. XXII International Symposium on Biomechanics in Sports, Beijing. 130-133.

Contacto:

✉ . Dr. Valery Kleshnev, kleval@btinternet.com , www.biorow.com