

ANÁLISE DAS FORÇAS DE SUSTENTAÇÃO NO MOVIMENTO DO PALMATEIO UTILIZANDO SIMULAÇÃO NUMÉRICA DIRETA

Autores: Jéssica Borges Posterari

Orientadora: Edith Beatriz Camaño Schettini

Colaboradores: Leandro Conceição Pinto

Atletas que nadam ou fazem nado sincronizado efetuam um movimento com as mãos chamado de Palmateio, que lhes permite se sustentar na água. As mãos realizam uma trajetória em forma de oito a fim de proporcionar sustentação ao corpo. O objetivo principal deste estudo foi, através de simulações computacionais, recriar o movimento de Palmateio. As forças hidrodinâmicas propulsivas de arrasto e sustentação são responsáveis pela sustentação e pelo deslocamento do corpo, sendo sua soma vetorial resultante denominada Força Resultante ou Força Propulsiva. Para representar a mão de um atleta, foi usada uma seção elíptica, que não sofreu variação de tamanho, representada nas simulações pelo Método de Fronteiras Imersas (IBM). A trajetória da mão segue um movimento em “oito” e foi variado o ângulo com que a mão gira no extremo da trajetória, chamado de ângulo de ataque. Para reproduzir o escoamento gerado pelo Palmateio mediante simulações, foi utilizada a técnica de Simulação Numérica Direta (DNS), implementada no código computacional Incompact3d. O escoamento em questão é caracterizado por ser bidimensional e incompressível. O número de Reynolds foi mantido constante e igual a 300 em todas as simulações. As equações utilizadas no código foram a de Navier-Stokes e a Equação da Continuidade, discretizadas por diferenças finitas em uma malha cartesiana de 361201 pontos (grade de 601×601 pontos). Foi utilizado o esquema temporal de Adams-Bashforth de segunda ordem e um esquema de diferenças finitas de sexta ordem, que discretizam espacialmente as equações e fornecem uma boa precisão numérica. Neste estudo, foram simulados trinta e quatro diferentes ângulos, os quais foram: 0°, 2.5°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 31°, 32°, 33°, 34°, 35°, 36°, 37°, 38°, 39°, 40°, 41°, 42°, 43°, 44°, 45°, 50°, 55°, 60°, 62°, 64°, 66°, 68°, 70°, 80° e 90°. Os dados obtidos foram analisados através dos coeficientes de sustentação e de arrasto, verificando diferentes variações da força propulsiva efetiva. Obteve-se a fórmula em função do ângulo de ataque para o movimento através da relação do giro da elipse com o tempo. Observou-se que a trajetória onde a força resultante apontou verticalmente para cima durante uma maior parte do tempo, foi com um ângulo de ataque de 66°. Nos menores ângulos, os vórtices concentram-se essencialmente na parte superior da elipse, dificultando seu movimento e diminuindo seu coeficiente de sustentação. À medida que o valor do ângulo aumenta, os vórtices passaram a se concentrar na parte inferior, gerando uma maior sustentação para a elipse, até o limite de 66°. Entre todas as esteiras de vórtices formadas, notam-se três comportamentos: esteiras horizontais, verticais e simétricas. Em muitos ângulos estes comportamentos confundem-se, o que dificulta dizer com clareza o motivo das variações nos coeficientes aerodinâmicos observados. Porém, se compararmos estes três tipos básicos de esteiras de vórtices, pode-se observar uma diferença a favor das esteiras de vórtices verticais. Quando o escoamento passa a adquirir certa simetria, as flutuações do coeficiente de sustentação tornam-se quase constantes e seu desvio padrão, quando comparado aos demais, torna-se pequeno.

Palavras chave: Palmateio, Sustentação, Simulação Numérica Direta, Esteira de Vórtices.