

**Revista Eletrônica**



# AeroDesign

**Magazine**

## Seção Artigos Técnicos



**Título do Artigo: Definição do número de Mach e sua aplicação no voo supersônico de aeronaves**

**Revista Eletrônica AeroDesign Magazine  
Volume 6 – Número 1 – 2014  
ISSN – 2177-5907**

# 2014

## Definição do número de Mach e sua aplicação no voo supersônico de aeronaves

**Renato Navarro Romancini**  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
[renato\\_romancini@hotmail.com](mailto:renato_romancini@hotmail.com)

**Luiz Eduardo Miranda José Rodrigues**  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
[luizaerodesign@gmail.com](mailto:luizaerodesign@gmail.com)

### Resumo

Esse artigo tem como objetivo definir o número de Mach e apresentar sua aplicação no voo supersônico das aeronaves.

### Palavras-chave

Número de Mach, Desempenho de Aviões, Voo Supersônico.

### 1 – Introdução

Nos séculos XIX e XX, ultrapassar a velocidade do som foi o desejo da grande maioria dos estudiosos da aeronáutica, mas para que isso ocorresse seriam necessários novos conceitos de aeronaves e avanço tecnológico. O presente artigo tem como objetivo apresentar a definição do número de Mach e sua aplicação no voo supersônico de aeronaves. A Figura 1, mostra uma aeronave no instante em que rompe a barreira do som.



Figura 1: Jato F/A-18F Super Hornet no instante em que rompe a barreira do som.

### 2 – Fundamentação Teórica

O número de Mach ( $M$ ) representa uma forma de se medir a velocidade de um avião em termos da relação entre a velocidade verdadeira da aeronave ( $V_V$ ) e a velocidade do som ( $a_\infty$ ) no mesmo nível de voo, conforme definido pela Equação (1) apresentada a seguir:

$$M = \frac{V_V}{a_\infty} \quad (1)$$

Um Mach ( $M$ ) possui a magnitude de 340,29 m/s (velocidade do som ao nível do mar na temperatura ambiente), sendo esta, considerada a velocidade mínima para que qualquer aeronave consiga ultrapassar a barreira do som, [1]. Atualmente a maior velocidade atingida dentro da atmosfera terrestre foi Mach 10, em experiências realizadas pela NASA com uma aeronave de combustível supersônica chamada “Scramjet X-43”.

Com o propósito de comparação física e para que possam ser feitas estimativas de velocidade e estudos em velocidades transônicas e supersônicas, os regimes de voo podem ser classificados em:

- Subsônico –  $M < 0,75$
- Transônico –  $0,75 < M < 1,2$
- Supersônico –  $1,2 < M < 5,0$
- Hipersônico –  $M > 5,0$

Por exemplo, o número de Mach 1 significa que a velocidade aerodinâmica é 100% da velocidade do som, assim como Mach 1,2 equivale a 120% da velocidade do som.

Quando a velocidade do objeto é suficientemente alta, os efeitos de compressibilidade se tornam importantes e o coeficiente de arrasto passa a depender do número de Mach, [2]. Se o número de Mach do escoamento é baixo, o coeficiente de arrasto é essencialmente independente de  $M$ . Na situação de  $M < 0,3$ , os efeitos de compressibilidade não são importantes. Por outro lado, para escoamentos com números de Mach altos, o coeficiente de arrasto pode ser fortemente dependente. A Figura 2, mostra a representação dos três regimes de voo citados.

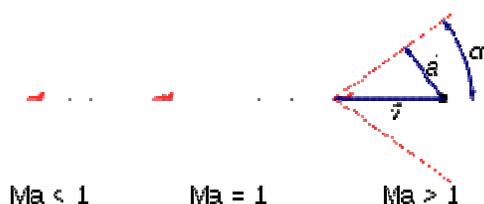


Figura 2: Representação simplificada dos regimes de voo, [2].

$M < 1$ : Aeronave e ondas de propagação em velocidade abaixo da velocidade do som.

$M = 1$ : Aeronave atinge a velocidade do som e uma onda de choque forma-se frente à mesma.

$M > 1$ : Aeronave passa da velocidade do som e as ondas de propagação não acompanham o deslocamento em tempo hábil.

Quando o avião alcança a velocidade sônica, segue-se um forte estrondo sonoro e a maior diferença de pressão passa para a frente da aeronave, [2]. Esta grande diferença de pressão é a chamada onda de choque, que se estende cauda para o nariz da aeronave com uma forma de cone, definindo o

chamado cone de Mach conforme mostrado na Figura 3.

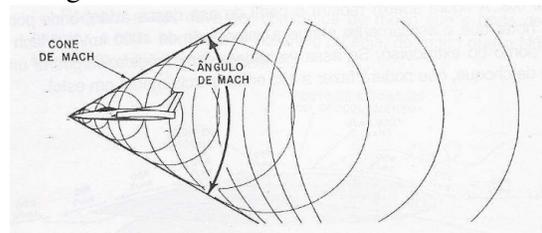


Figura 3: Representação do cone de Mach.

Em termos operacionais e de desempenho, a área de alta pressão se concentra nas bordas do cone e a área interna a ele possui uma baixa pressão, assim, é fundamental que toda a área de superfície da aeronave se mantenha na região interna do cone. Este é o motivo pelo qual as aeronaves a jato são mais compridas, menos largas e possuem nariz alongados.

Uma aeronave capaz de operar por longos períodos em velocidades supersônicas tem uma vantagem potencial sobre um projeto semelhante que voa a velocidades abaixo do limite do som pois a maior parte do arrasto de uma aeronave ocorre enquanto esta realiza seu voo com velocidades abaixo da velocidade do som. Ao se atingir a velocidade do som, o arrasto total diminui propiciando maior economia de combustível.

A fronteira entre os regimes de voo transônico e supersônico é definida pelo número de Mach crítico, que representa o número de Mach no qual em um único ponto da asa, a velocidade do vento relativo atinge Mach 1, e, nesta situação, formam-se as primeiras ondas de choque sobre a aeronave.

No momento em que uma aeronave ultrapassa a barreira do som, a transição ocorre de maneira suave para o piloto, que passa a não ouvir nenhum som à sua volta, entretanto, quando a velocidade decresce para o regime subsônico, ocorre o que é conhecido como estrondo sônico e uma expansão de níveis sonoros muito altos.



### 3 - Conclusões

O presente artigo relata de modo sucinto a definição do número de Mach. É importante a determinação da velocidade do voo para que sejam considerados os efeitos de compressibilidade do ar no momento do desenvolvimento da aeronave para que ela tenha um bom desempenho diante das variações atmosféricas presentes durante um voo.

### 4 - Referências

- [1] Tipler, Paul A.; Mosca, Gene - **Física :para cientistas e engenheiros** - Editora LTC - 6 ed
- [2] Raymer, Daniel P, 1916 - **Aircraft Design: a conceptual approach - volume 1** - 2. ed. - American Institute of Aeronautics and Astronautics. CIP