



universidade de aveiro  
theoria poiesis praxis

# **MECÂNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL para ENGENHARIA AEROSPACIAL**

---

**2024/2025**

**Eficiência, malha, tempo de cálculo e  
qualidade da solução**

**V. A. F. Costa**

## Qualidade da malha

É difícil estabelecer, logo à partida, a qualidade da malha de cálculo para uma dada aplicação

Há alguns critérios a que a malha de cálculo deve obedecer

Dois desses critérios são o 'aspect ratio (relação entre comprimentos da malha associada a um vc) e o 'skewness ratio' (relação dos ângulos inerentes à malha associada a um vc e os valores ótimos desses ângulos)

Os softwares de CFD calculam esses fatores para uma dada malha, e indicam gamas de valores para esses fatores, e os quais devem ser respeitados

Há determinados tipos de vc que conduzem a melhores soluções para determinados problemas; cada caso é um caso

Fica, no entanto, por estabelecer um critério para ditar o grau de refinamento da malha numa dada região do domínio de cálculo

Há malhas fixas e há malhas adaptativas (que se vão ajustando)

## Independência da malha

Os métodos numéricos incluem aproximações, as quais estão intimamente relacionadas com a malha de cálculo usada

O grau de refinamento da malha não necessita ser o mesmo em todo o domínio de cálculo

Zonas com variações mais intensas (maiores gradientes) das variáveis dependentes necessitam de malhas espaciais mais finas

Uma primeira ideia do escoamento em causa ajuda a tomar decisões a este respeito

Partindo de uma malha de base, ir fazendo refinamentos sucessivos da malha (considerando malhas cada vez mais finas), e a partir de determinado grau de refinamento da malha deixa de haver variações perceptíveis na solução encontrada (consistência): essa é a situação em que pode dizer que se tem uma solução independente da malha (sendo que nunca o é!)

Nessas condições pode assumir-se que a malha é suficientemente fina onde necessita de o ser

# MECÂNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL para ENGENHARIA AEROSPACIAL

---

## Recursos de cálculo e tempo de cálculo

Malhas mais finas requerem mais recursos de cálculo e maior tempo de cálculo

Tomar decisão criteriosa sobre a malha necessária para ter uma solução ‘independente da malha’, e não ir além disso

A solução ‘independente da malha’ é algo de que não se deve prescindir

Pode ser necessário adequar os recursos de cálculo e o tempo de cálculo às necessidades para se ter a solução ‘independente da malha’

## Qualidade da solução

Todos esperamos, à partida, uma solução de grande qualidade

Serão os modelos físicos usados uma boa descrição da realidade?

Teremos bons valores das propriedades e coeficientes requeridos pelos modelos físicos?

Serão aceitáveis as aproximações introduzidas pelos modelos físicos?

## Qualidade da solução

Serão aceitáveis as aproximações introduzidas pelos modelos numéricos?

Será a malha usada suficientemente fina, onde o deve ser, para obter uma solução de qualidade?

Corresponderá a solução obtida a um nível de convergência suficientemente apertado?

Qual o nível de qualidade requerido para a solução?

Quais os custos e riscos associados a uma menor qualidade da solução?

É melhor ter uma solução que não ter solução nenhuma, ainda que conscientes das suas limitações; o ótimo é inimigo do bom!

Há métodos mais ou menos estruturados para avaliar a qualidade das soluções, mas ainda assim longe de dar respostas gerais a situações práticas variadas

...

# MECÂNICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL para ENGENHARIA AEROSPACIAL

---

## Validação das soluções numéricas

As soluções numéricas são, por natureza, apenas soluções aproximadas  
Não há, à partida, uma solução exata com a qual as comparar para aferir da sua qualidade

Comparação com resultados numéricos obtidos independentemente, e desejavelmente com soluções de software diferentes (ainda assim ver se se estão a comparar situações que possam ser comparadas; existe suficiente informação para aferir isso?)

Comparação com resultados experimentais (ainda assim ver se se estão a comparar situações que possam ser comparadas; existe suficiente informação para aferir isso?)

Há benchmarks para alguns problemas, alguns dos quais ‘standardizados’, que podem ser usados para validação das soluções numéricas

Intuição, experiência, ...

Nunca acreditar que uma solução que possa ser calculada existe necessariamente!