

# Introdução ao planejamento de experimentos

Terminologia, fatores e erros comuns na experimentação

André Gustavo dos Santos

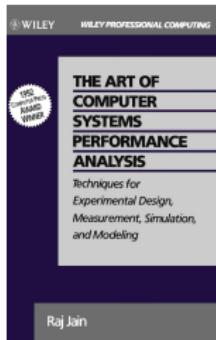
Departamento de Informática  
Universidade Federal de Viçosa

INF222 - 2022/2



## – Fonte do material

O conteúdo e as figuras são do livro texto da disciplina (cap. 16):



Jain, Raj.

The art of computer systems performance analysis:  
techniques for experimental design, measurement,  
simulation, and modeling.

John Wiley & Sons, 1990

# Tópicos da aula

1 Terminologia

2 Erros comuns

3 Tipos de projetos de experimentos

- Projeto simples
- Projeto com fatorial completo
- Projeto com fatorial fracionado

# Introdução

- O objetivo do planejamento de experimentos é obter o máximo de informação...
  - ... com o menor número de experimentos
- 
- Isso economiza esforço, tempo, custo de experimentação
  - Experimentos bem projetados são mais fáceis de serem analisados
  - Uma análise apropriada ajuda a separar os efeitos dos vários fatores que influenciam o desempenho
  - Ajuda ainda a determinar se um fator tem efeito significativo no desempenho ou se as diferenças observadas são simplesmente variações aleatórias causadas por erros de medição ou parâmetros não controlados

# Terminologia

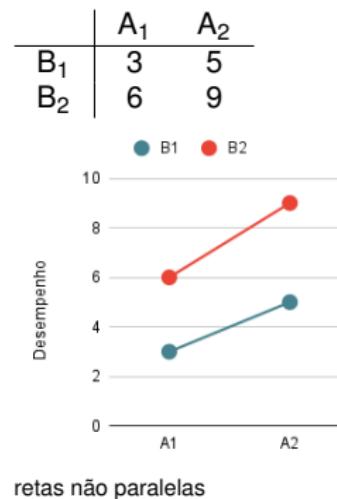
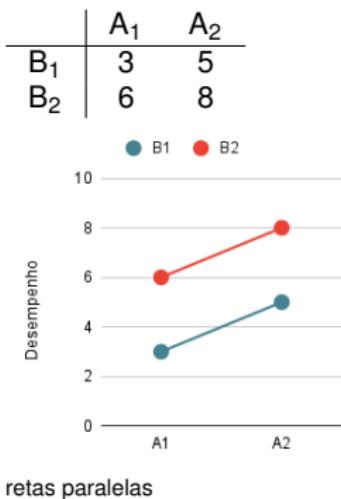
- **Variável resposta:** resultado de um experimento, o valor observado da medida
  - tempo de resposta, tarefas concluídas por unidade de tempo, etc
- **Fatores:** variáveis que afetam as variáveis de resposta, que podem ser controladas pelo “experimentador”
  - tamanho do cache, tamanho dos arquivos, tipo de processador, tempo de seek, etc
- **Níveis (tratamentos):** valores que um fator pode assumir
  - podem ser contínuos (ex.: tempo de seek), discretos (número de servidores) ou categóricos (tipo de processador, classe de algoritmo)

# Terminologia

- **Replicação:** repetir um experimento com os mesmos níveis dos fatores
  - fazer várias replicações ajuda a determinar o impacto do erro experimental (medidas estão sujeitas a variações aleatórias)
- **Interação:** dois fatores têm interação se o efeito de um depende do nível do outro (exemplo a seguir)

# Terminologia

- Exemplo com medidas de desempenho de dois sistemas com dois fatores
- no primeiro, o desempenho aumenta em 2 un. quando o nível do fator A muda de A<sub>1</sub> para A<sub>2</sub>, independente do nível do fator B (os fatores não têm interação)
- no segundo, aumenta 2 ou 3 un., dependendo do nível do fator B (têm interação)



# Erros comuns na experimentação

## Ignorar o erro experimental

- O resultado de uma observação é uma variável aleatória
- Cada vez que for observado pode ter um resultado ligeiramente diferente
- É importante isolar o efeito dos erros experimentais
- A variação causada pelo fator deve ser comparada com a causada por erros experimentais antes de tomar decisão sobre o fator (tem impacto significativo?)

## Parâmetros importantes não controlados (não são fatores)

- Apenas alguns parâmetros são controlados, os demais não são fatores
- Se o efeito dos não controlados for significativo, a conclusão pode ser errada

## Erros comuns na experimentação

### Não isolar os efeitos dos diferentes fatores

- Se vários fatores forem variados simultaneamente, pode não ser possível associar a mudança de desempenho a nenhum em particular
- Alguns tentam evitar isso com projetos muito simples, levando ao próximo erro

### Projetos de experimentos com um fator de cada vez

- Desperdício de recurso sem acrescentar muita informação
- Projetos apropriados de experimentos podem chegar a intervalos de confiança menores com o mesmo número de experimentos

## Erros comuns na experimentação

### Ignorar interações entre os fatores

- O efeito de um fator frequentemente depende do nível de outros fatores
- Tais interações não podem ser estimadas por projetos com um fator de cada vez

### Projetos com número excessivo de experimentos

- O número de experimentos depende do número de fatores e do número de níveis
- É melhor dividir o projeto em etapas com projetos menores que usar um enorme usando muitos fatores e níveis de uma vez só
- Numa primeira etapa, com poucos fatores e níveis, podemos descobrir fatores não significativos, que poderão ser desconsiderados nas etapas seguintes
- Isso ajuda a testar se as suposições e dados são adequados com pouco esforço
- Mais fatores e níveis podem ser adicionados aos poucos nas próximas etapas

# Projeto de experimentos

- Suponha  $k$  fatores, sendo o  $i$ -ésimo com  $n_i$  níveis

$$\begin{array}{c} (l_{1,1}, l_{1,2}, \dots, l_{1,n_1}) \\ \times \\ (l_{2,1}, l_{2,2}, \dots, l_{2,n_2}) \\ \times \\ \dots \\ \times \\ (l_{k,1}, l_{k,2}, \dots, l_{k,n_k}) \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{(fator 1)} \\ \\ \text{(fator 2)} \\ \\ \text{(fator } k\text{)} \end{array}$$

- Estudar o efeito de cada fator, a interação entre eles, os níveis mais adequados ...

# Tipos de projeto de experimentos

Há muitos tipos e variedades de projetos de experimentos; os mais usados são

- Projeto simples
- Projeto com fatorial completo
- Projeto com fatorial fracionado

# Projeto simples

- Começar com uma configuração típica

$$(l_{1,1}, l_{1,2}, \dots, l_{1,n_1}) \quad (\text{fator 1})$$

×

$$(l_{2,1}, l_{2,2}, \dots, l_{2,n_2}) \quad (\text{fator 2})$$

×

...

×

$$(l_{k,1}, l_{k,2}, \dots, l_{k,n_k}) \quad (\text{fator } k)$$

- E então variar um fator de cada vez

$$(l_{1,1}, l_{1,2}, \dots, l_{1,n_1}) \quad | \quad (l_{1,1}, l_{1,2}, \dots, l_{1,n_1}) \quad | \quad \dots \quad | \quad (l_{1,1}, l_{1,2}, \dots, l_{1,n_1})$$

×

×

×

$$(l_{2,1}, l_{2,2}, \dots, l_{2,n_2}) \quad | \quad (l_{2,1}, l_{2,2}, \dots, l_{2,n_2}) \quad | \quad \dots \quad | \quad (l_{2,1}, l_{2,2}, \dots, l_{2,n_2})$$

×

×

×

...

...

...

$$(l_{k,1}, l_{k,2}, \dots, l_{k,n_k}) \quad | \quad (l_{k,1}, l_{k,2}, \dots, l_{k,n_k}) \quad | \quad \dots \quad | \quad (l_{k,1}, l_{k,2}, \dots, l_{k,n_k})$$

×

×

×

# Projeto simples

- Começar com uma configuração típica e variar um fator de cada vez
- Para  $k$  fatores, com  $n_1, n_2, \dots, n_k$  níveis, o projeto simples requer  $n$  experimentos:

$$n = 1 + \sum_{i=1}^k (n_i - 1)$$

- O efeito de cada fator é testado separadamente
- Pode levar a conclusões erradas se houver interação entre eles
- E não é estatisticamente eficiente, requer mais esforço que o necessário

# Projeto com fatorial completo

- Testar todas as combinações possíveis de todos os níveis de todos os fatores

$$(l_{1,1}, l_{1,2}, \dots, l_{1,n_1}) \quad (\text{fator 1})$$

×

$$(l_{2,1}, l_{2,2}, \dots, l_{2,n_2}) \quad (\text{fator 2})$$

×

...

×

$$(l_{k,1}, l_{k,2}, \dots, l_{k,n_k}) \quad (\text{fator } k)$$

- Para  $k$  fatores, com  $n_1, n_2, \dots, n_k$  níveis, o projeto factorial requer  $n$  experimentos:

$$n = \prod_{i=1}^k (n_i)$$

- Podemos estudar o efeito de cada fator e suas interações
- Mas é um trabalho enorme! Exige muito esforço (tempo, custo)...
- Principalmente se os  $n_i$  forem grandes
- Lembrando-se ainda que podem ser necessárias muitas replicações

# Projeto com fatorial completo

Como reduzir o número de experimentos?

- reduzir o número de níveis de cada fator
  - reduzir o número de fatores
  - usar projetos com fatorial fracionado
- 
- A primeira alternativa geralmente é recomendada
  - Em alguns casos bastam 2 níveis de cada fator para determinar sua importância
  - Um projeto com fatorial completo nesse caso terá  $2^k$  experimentos (projeto  $2^k$ )
  - Determinando a importância de cada fator, podemos reduzir o número de fatores
  - Após reduzir substancialmente o número de fatores, testar mais níveis por fator
  - Um exemplo da última alternativa é mostrado a seguir (detalhes na próxima aula)

# Projeto com fatorial fracionado

- O número de experimentos do projeto fatorial completo pode ser muito grande
- Em alguns casos podemos usar uma fração desses experimentos

## Exemplo

Considere o problema de escolher uma máquina para um funcionário de uma empresa. Entre tantos fatores a empresa considera 4 mais importantes:

- Tipo de processador: simples, dual-core e quad-core
- Memória: 8, 16 e 32GB
- Tipo de tarefa: gerencial, científico, escritório
- Usuário: geral, estudante de computação, profissional de computação

Um projeto fatorial completo teria  $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$  experimentos.

# Projeto com fatorial fracionado

## Exemplo (cont...)

A tabela abaixo lista apenas 9 dos 81 experimentos.

Cada fator é usado três vezes em cada nível.

	Processador	Memória (GB)	Tarefa	Usuário
1	simples	8	gerencial	geral
2	simples	16	científico	estudante
3	simples	32	escritório	profissional
4	dual-core	8	científico	profissional
5	dual-core	16	escritório	geral
6	dual-core	32	gerencial	estudante
7	quad-core	8	escritório	estudante
8	quad-core	16	gerencial	profissional
9	quad-core	32	científico	geral

- Economiza esforço (tempo, custo) nos experimentos
- Mas obtém menos informação
- Algumas interações entre fatores podem não ser percebidas
- Se sabemos que algumas são insignificantes, isso não será um problema