

*Prof. Anna Carla Araujo
COPPE/UFRJ*

Introdução ao Planejamento de Experimentos

2015

Alguns slides foram apresentados pelo Prof. Dr. Shiv G. Kapoor da Universidade de Illinois em Urbana Champaign/EUA em seu curso em novembro de 2011 na COPPE/UFRJ.

Planejamento de Experimentos (DOE)

1. Experimentação Planejada – Conceitos

- + Porque é necessário realizar métodos estatísticos no Planejamento de Experimentos?
- + Alguns conceitos importantes no DOE (Blocagem, réplica, etc

2. Revisão de conceitos básicos de Estatística

- + Natureza da Variabilidade de Dados,
- + Caracterização e Representação dos Dados
- + Distribuição de Probabilidade
- + Distribuição Normal
- + Introdução do Conceito do Intervalo de Confiança

Planejamento de Experimentos (DOE)

3. Comparação de Experimentos

- + Comparação de duas médias
- + Múltiplas comparações
- + Efeitos de Variáveis de Entrada
- + Introdução à Analises de Variância (ANOVA)

Porque fazer o planejamento de experimentos?

1. A vida não é determinística, variabilidade é parte da ordem natural das coisas.

- A variação nos dados experimentais normalmente não é totalmente católica mas também não pode ser ignorada.

- É real, identificável e previsível estatisticamente.

Porque fazer o planejamento de experimentos?

2. Para identificar quais as variáveis tem potencial de significância para variar os dados, sozinhas ou combinadas com outros. E quais podem invalidar totalmente os resultados.
3. A natureza sequencial da experimentação e da iteratividade é fundamental para o trabalho experimental.
4. Porque o mundo é não-linear e conhecemos menos que imaginamos.
5. Os experimentos custam recursos e o tempo é sempre curto.

Porque fazer o planejamento de experimentos?

Conceitos guiam pessoas e pessoas guiam as técnicas!

É comum ouvirmos:

“Tudo o que ele disse tem lógica e provavelmente funciona perfeitamente para algumas pessoas, mas o meu problema específico simplesmente não segue esta abordagem e/ou não necessita dela.”

O que é a variabilidade?

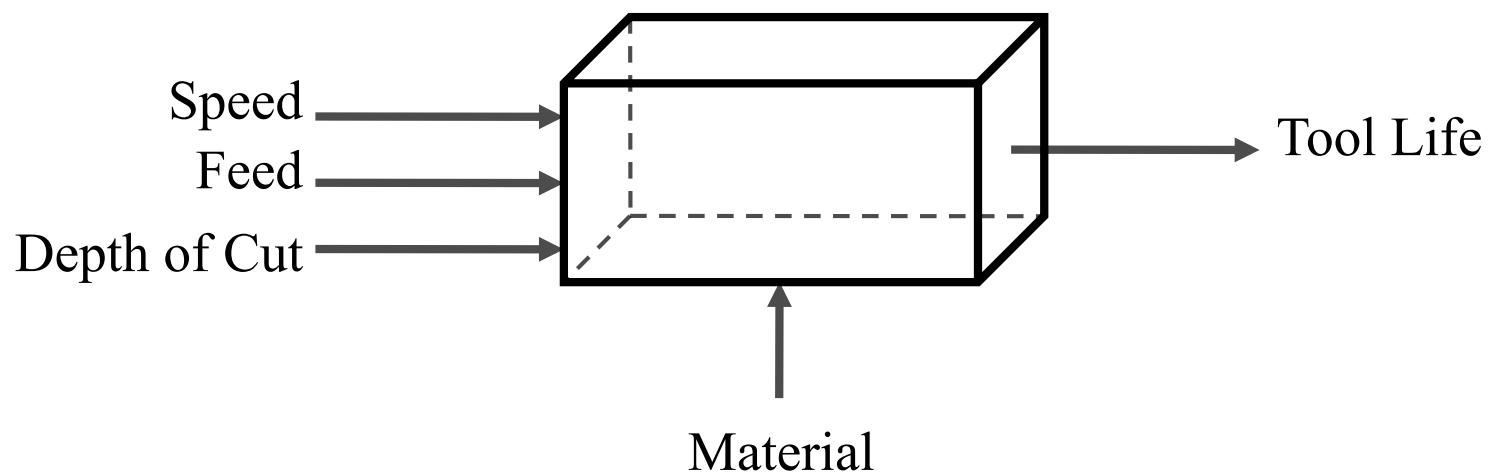
Temos três opções para realizar análise experimental:

- + Observar o fenômeno UMA VEZ e, a partir dela, fazer previsões sobre o objeto de estudo
- + Observar TODAS as saídas do processo/fenômeno (ou todas as peças) e então ter certeza que conhece o verdadeiro comportamento do processo
- + Observar uma PARTE das saídas de um processo/fenômeno/peças.

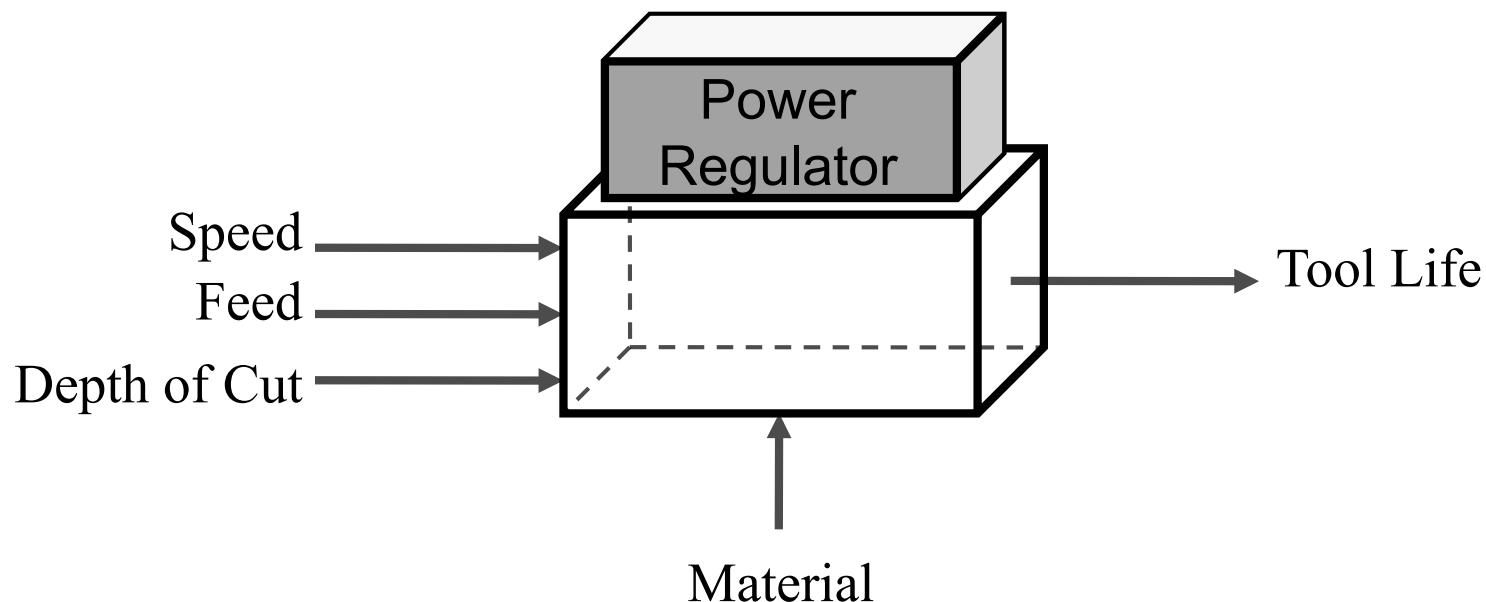
O que é a variabilidade?

Se eu disser “Estou interessada em saber qual a vida desta ferramenta. Por favor, me diga qual é. As condições de corte são X.”

Então você vai ao laboratório fazer experimentos.



- Você retorna e me diz que são 15 minutos.
- Então eu falo “Ok, vá novamente ao laboratório e faça outro teste. Quero ter certeza”
- Você retorna e diz “Desta vez foram 16.1 minutos. Mas eu notei que a potência da máquina oscilou um pouco. Se instalarmos um regulador de potência, podemos melhorar.”
- Ok, faça o que achar melhor.



- “Encontrei uma vida de 15.6 minutos. Este é o resultado verdadeiro.”
- E eu pergunto: “Voce acha que a máquina estava vibrando? Vamos tentar aumentar a rigidez e rodar novamente o teste?”
- Entao ele realizou novamente...
- e novamente.

O experimentador rodou testes com peças aleatorias, horas diferentes...

E os resultados foram...

Teste	Vida(min)	Teste	Vida (min)
1	15	7	15
2	15.6	8	16.7
3	16.2	9	16
4	16.5	10	16
5	16.2	11	16.7
6	16.5	12	16.8

A média foi de 16.1 min.

Esta é a vida real desta ferramenta?

Mas eu preciso saber ‘Eu tenho x% de confiança que a vida da ferramenta está em um certo intervalo’

Objetivo de um Experimento

+ Relacionar Entrada e Saída

Entrada
(Variáveis Conhecidas)

↓
Experimentos

Saída
(Resposta do Sistema)

- Planejamento de Experimentos

Facilitam e Viabilizam a Análise

- Resultados Conclusivos

Planejamento de Experimentos

Para otimizar e controlar o processo, uma série de questões lógicas podem ser feitas:

1. Quais das variáveis de uma lista de potenciais importantes variáveis eu quero estudar? Quais eu devo neutralizar para não influenciar?
2. Como, especificamente, estas variáveis tendem a influenciar os resultados?
3. Quais níveis destas variáveis tentem a otimizar o processo?
4. Qual a rotina de passos eu devo realizar para responder estas perguntas?

Classificação dos Problemas Experimentais

1. Comparação de Dados

objetivo: comparar elementos e selecionar os melhores ou mais adequados. Exemplo: Melhor material para determinada aplicação

2. Seleção de Variáveis

objetivo: selecionar um menor número de variáveis de uma sistema de múltiplas variáveis, identificando as mais elevadas.

3. Definição de Superfície de Resposta

objetivo: identificar os efeitos de um numero pequeno de variáveis sobre a resposta do sistema

Classificação dos Problemas Experimentais

4. Otimização do Sistema

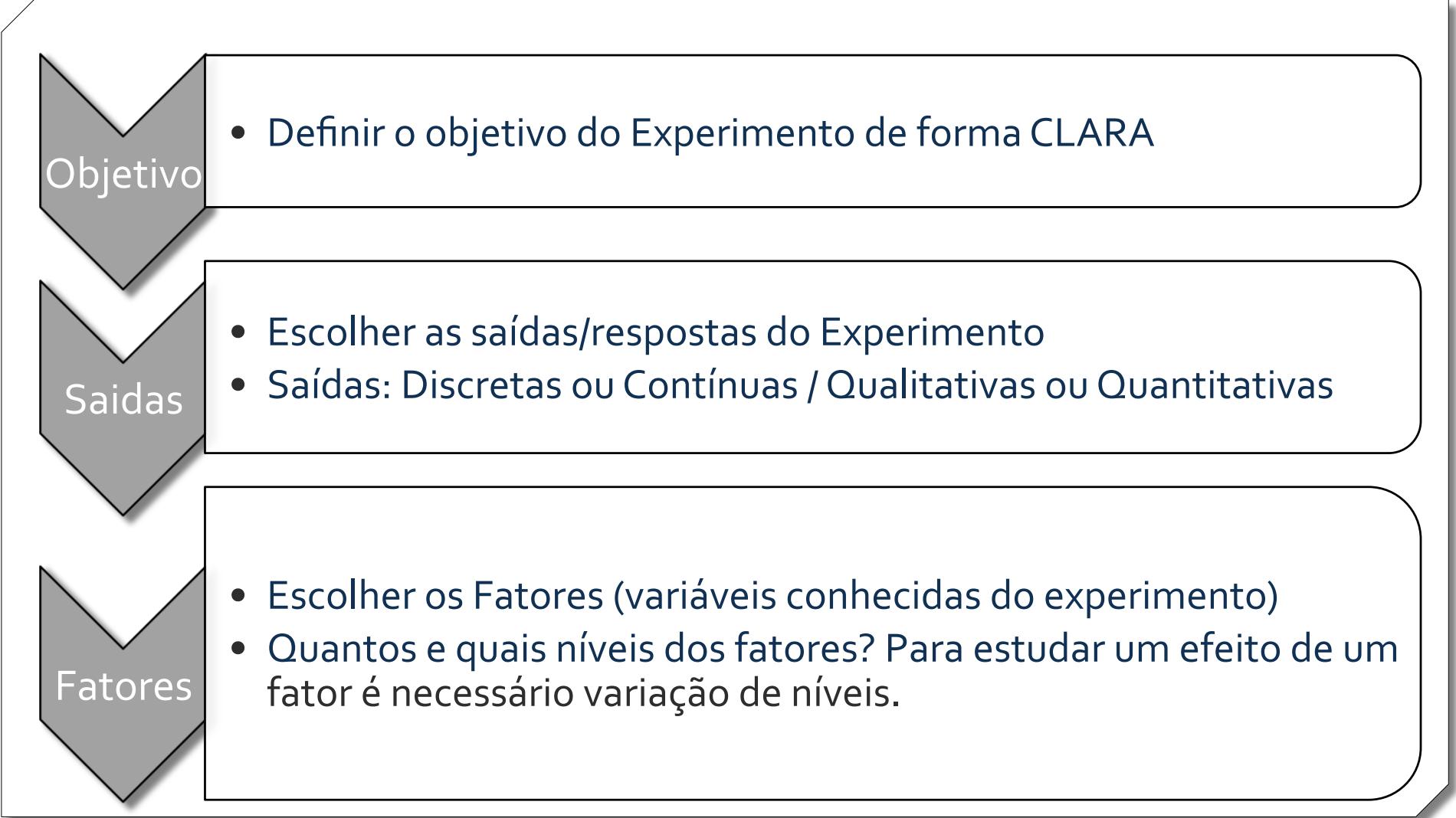
objetivo: otimizar o sistema completo e não apenas uma variável. Exemplo: encontrar a maior velocidade que dê o menor custo de um processo de usinagem.

5. Robustez do Sistema

objetivo: fazer com que o sistema seja robusto a prova de ruidos, variações não controladas.

Noradamente é alcançada escolhendo um fator de controle que faça o menos sensível a variação do ruído.

Abordagem Sistemática



Abordagem Sistemática

Exp.

- Realização de um procedimento experimental.

Exp

- Elaboração de um check list para acompanhar cada experimento.

Exp.

- Fotografar o experimento (posicoes de peças, cabos, etc)

Abordagem Sistemática

Exp.

- Testar o sistema de aquisição e os níveis escolhidos.

Exp

- Escolher um código para arquivos de dados que sejam reconhecidos facilmente. (bloquear para gravação)

Exp.

- Anotar todas as observações sobre o experimento.

Abordagem Sistemática

An.

- Análise dos Resultados (**)

Aj.

- Ajuste a um modelo ou avaliação numérica.

Exp.

- Declarar conclusões e realizar recomendações (fatores importantes, rever o objetivo do experimento, descrever etapas)

Réplicas e Aleatoriedade

Elementos Testados:

refere-se genericamente a um elemento que será experimentado como um material, um animal, pessoa, máquina, etc., que sofrerá o teste (tratamento)

Réplicas e Aleatoriedade

Replicação

- cada tratamento será aplicado a elementos de teste representativos da população de elementos a que as conclusões devem ser aplicadas.
Possibilita a estimativa da amplitude do erro experimental.

Qual a diferença entre réplica e repetição ?
Exemplo: Peso na balança

Réplicas e Randomização

Aleatoriedade (Randomização)

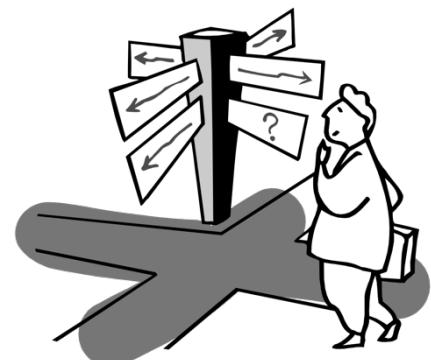
A ordem das unidades de tratamento deve ser planejada de forma a evitar erros provenientes de variáveis relacionadas à uma ordem lógica (por exemplo, o tempo, o desgaste, etc). Proteção a variáveis desprezadas.

Exemplo: Digitação de um mesmo tempo em dois teclados diferentes para comparar a facilidade de digitação.

Dificuldades experimentais e necessidade de tratamento estatístico

Três fontes de dificuldades confundem o experimentalista.

- Confusão da correlação causa-efeito.
- Complexidade dos efeitos variáveis
- Erro experimental



Erro experimental

Diferença entre o valor medido e o valor experimental, qual o experimentalista não descarta os dados por desconfiar da eficiência da medição.

Por exemplo: Se ocorre uma quebra de ferramenta, o experimentalista deve descartar os dados. A inclusão deste dado não seria um erro experimental, a menos que esteja sendo estudada a quebra da ferramenta.

Erro experimental

1. Composto de várias pequenos distúrbios na medida que individualmente tem pouco efeito, mas somados podem ser relevantes.
2. Quando somados, os erros podem aumentar a dispersão ou afastar do resultado ao ponto onde os efeitos reais das variáveis estão mascarados.
3. Composto de mais que erros de medida, não todos orientados à instrumentação. Um bom sistema de medida não pode contribuir com mais 10-15% do erro total.
4. Pode ser função de fontes conhecidas e desconhecidas.

Erro da Repetição/Réplica

Qual seria então a diferença do erro de repetição para o erro da réplica?

Qual é maior?

Erro de repetição – erro de leitura: falsa detecção de efeito.

Erro de réplica – erro de leitura + erro de variação do elemento.

Erro experimental

Incerteza: Possíveis valores de erros. Assim, comumente se usa avaliar a incerteza e não o erro propriamente dito. (análise de erros; prop.incert.)

ERROS:

- ❖ Fixos – causa leituras repetidas (Sistemático; erro de Bias).
- ❖ Grosseiros – facilmente identificados pelo experimentalista.
- ❖ Aleatórios – causado por flutuações do instrumento, do sistema de medida ou do elemento testado

Erros

- + Erro fixo (sistêmático) x Erro aleatório
- + Erro experimental x Incerteza?
 - + Erro experimental = Valor medido – Valor Experimental
 - + Erro grosseiro / Erro eventual – facilmente identificado como valor a ser descartado
 - + Incerteza = Amplitude que acomoda possíveis variações da grandeza medida (faixa onde o valor real se encontra)
 - + Incerteza do instrumento (primária)
 - + Propagação da incerteza primária (grandezas medidas indiretamente)
 - + Incerteza do parâmetro medido

Aquisição de Dados

- + Conversão Analógica-Digital
 - + Resolução = Faixa (amplitude) / bits
 - + Erro de saturação
 - + Amplificação x Calibração
- + Legibilidade de um instrumento
- + Acurácia (diferença entre a leitura e um valor conhecido)
- + Precisão (habilidade em produzir a leitura)
- + Sensibilidade x Linearidade/Distorção
- + Histerese e Medidas dinâmicas

Variáveis

- Qualitativas

Nominal (Material da Ferramenta, Fabricante)

Ordinal, pode ser classificada (P₁₀, P₂₀, P₃₀)

- Quantitativa

Contínua (Velocidade de corte)

Discreta (Número de dentes)

Fatores (Entradas Variáveis)

VARIÁVEIS DO EXPERIMENTO

- Qualitativos
Fornecedor, Cor, Material
Classificativa 0/1;
- Quantitativos
Avanço por dente; Rotação
Contínua ou Discreta
Classificativa -1/0/1

NÍVEIS DOS FATORES: VALORES USADOS

Saídas (Variáveis Analisadas)

- Qualitativos
 - Classificativa 0/1 (p.e. ok, não ok)
- Quantitativos
 - Contínua – Frequência da Aquisição (A/D)
 - Discreta – (Número de peças ok)
 - Classificativa -2/-1/0/1/2

Análise Estatística

1. Os experimentos podem ser explicados unicamente por causas aleatorias?
2. Quantos dados são necessários para relevar a existência de efeitos verdadeiros sem chance de erros?

Complexidade dos Efeitos

Seria ótimo que os efeitos de uma variável fossem lineares e aditivos, mas geralmente não é o caso!

Exemplo: efeitos da aspirina e café no tempo de resposta.

Aspirina – aumenta Δ ,
café – reduz 2Δ .

Será que se tomarmos uma aspirina e um copo de café, o tempo de reação reduz por 1Δ ? Ou será que aspirinas e 5 taças de café mantêm o tempo de reação constante? Linear?

É necessário planejar os experimentos para revelar os efeitos não lineares e interações entre os efeitos.

Teste de Significância

Na análise de resultados comparativos de experimentos, é necessário saber a grandeza do teste estatístico de interesse, por exemplo, a diferença na média dos resultados de dois métodos, a luz da variabilidade inerente do experimento.

- ▶ A pergunta que devemos fazer é: este resultado experimental (diferença) poderia ter sido obtido apenas por erros aleatórios ou mostra a real diferença entre os métodos?

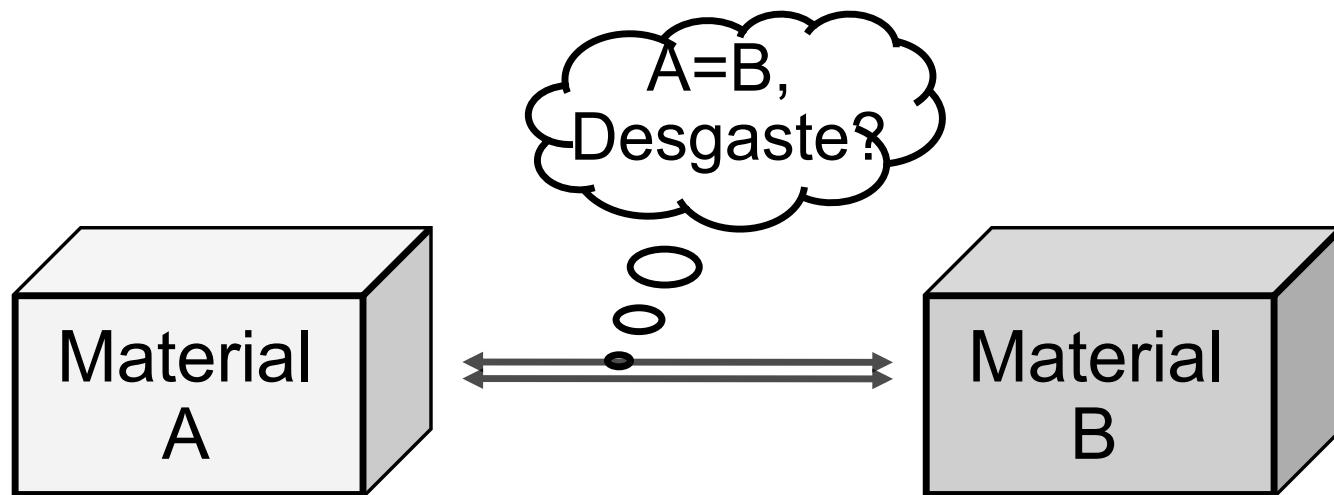
Para responder a esta pergunta, devemos medir o nível de chance (probabilidade) da variação.

E para isso realizamos réplicas e blocagem.

Blocagem (blocking)

Grupo de testes ou elementos homogêneos (lote, período de trabalho, fornecedor, etc.)

Exemplo: Dois materiais de ferramentas diferentes são testados para determinar se existe uma diferença das características do desgaste de cada uma.



Primeiro Planejamento de Experimentos:

- 20 ferramentas: 10 do material A e 10 do material B.
- 20 operadores de máquina foram escolhidos aleatoriamente, dadas as ferramentas, e e foi dito que usassem as ferramentas como normalmente fazem.

No final, uma média do desgaste de cada uma das 10 ferramentas de cada material.

A diferença entre as duas médias foi observada com teste estatístico de significância.

**Não houve diferença significativa! Porque?
Como solucionar o problema?
(Tempo para resposta)**

Blocagem (blocking)

- ▶ Dar a cada operador um par de ferramentas, uma do material A e outra do B.
- ▶ No final da usinagem, devemos medir o desgaste em cada ferramenta de cada operador e calcular a diferença de desgaste entre a medida de cada operador.
- ▶ Realizar a média destas diferenças em todos os operadores e fazer um teste de significância nestas diferenças.

A variação de operador para operador foi BLOQUEADA

Blocking X Randomização

Devemos Bloquear (e compor em blocos) o que sabemos que pode influenciar.

Devemos Randomizar o que não sabemos que pode influenciar!

Sumário

- Experimentos devem ser comparáveis.
- Devemos realizar réplicas genuinas para termos informação da medida dos erros.
- Quando apropriado, devemos realizar a blocagem para reduzir o erro e a randomização para dar homogeneidade e independência de variáveis.
- Os experimentos devem ser planejados para que se determinem os efeitos da interação entre os fatores.