

Planejamento de Experimentos:

Primeiras idéias, importância e impacto

Cristiano Ferraz, PhD

Departamento de Estatística - UFPE

Email: cferraz@de.ufpe.br

Primeiras idéias...

O grande objetivo de toda ciência é cobrir o maior número possível de fatos empíricos por dedução lógica, à partir do menor número possível de hipóteses ou axiomas...

Einstein

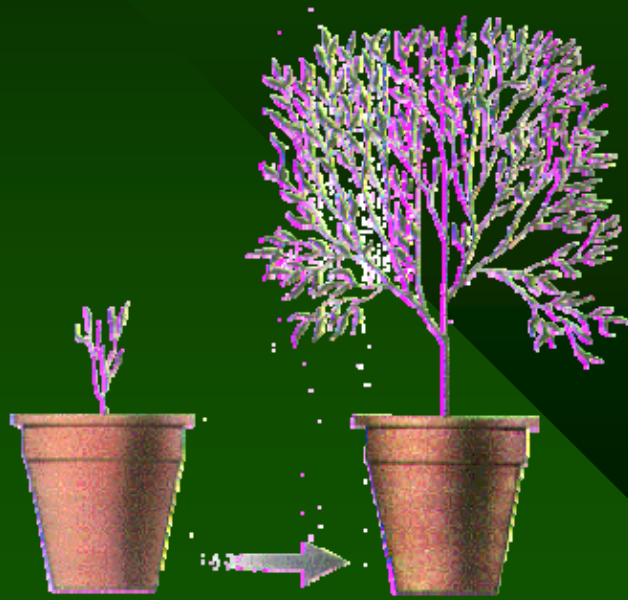
Primeiras idéias: aprendendo através da experimentação

- Muito do que sabemos hoje devemos ao aprendizado através de experimentos
- Vejamos, por exemplo, os primeiros passos dados para elucidar o que hoje se conhece bem como FOTOSÍNTESE
- Dois experimentos: um do século XVII e outro, do século XVIII...

Plantas se alimentam de solo?

O experimento do médico alemão Jan-Baptista van Helmont (1580-1644):

Figura 1.



Antes:

Solo: 90 Kg

Árvore: 2,25 Kg

Depois:

Solo: 89,9 Kg

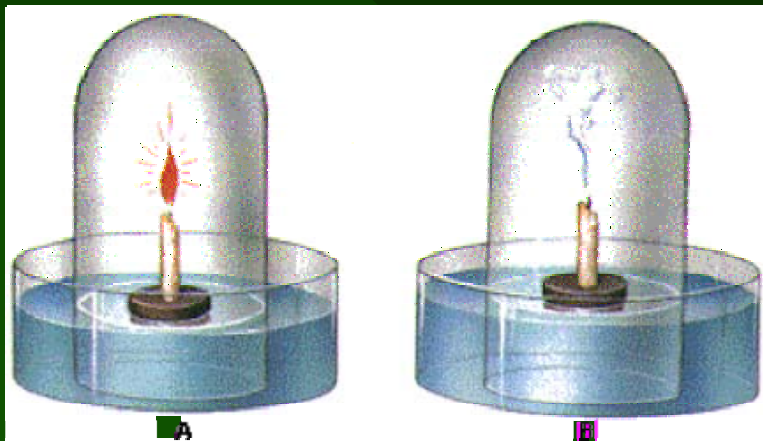
Árvore: 76,1 Kg

Plantas “purificam” o ar?

Os experimentos do químico inglês Joseph Priestley (1733-1804):

Experimento 1

Figura 2.



Antes:

Vela acesa

Depois:

Vela apagada

Plantas “purificam” o ar?

Os experimentos do químico inglês Joseph Priestley (1733-1804):

Experimento 2

Figura 3.



Antes:

Vela acesa

Depois:

Vela acesa

Plantas “purificam” o ar?

Os experimentos do químico inglês Joseph Priestley (1733-1804):

Experimento 3

Figura 4.



Antes:

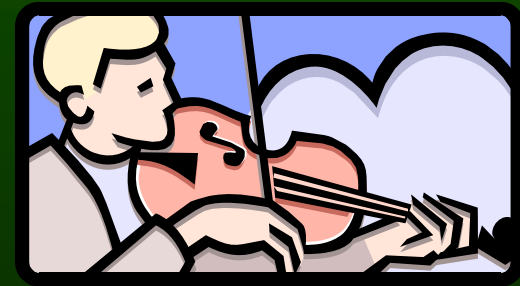
Rato morto

Depois:

Rato vivo

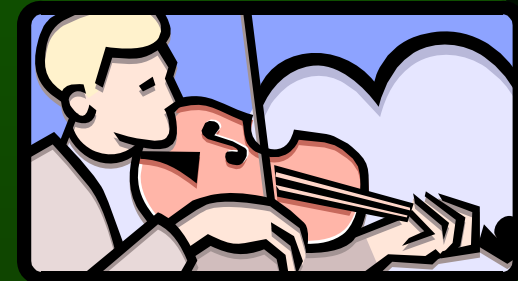
Um outro tipo de experimento...

- Objetivo: comparar o efeito do uso de música ambiente nas salas de trabalho de programadores



- Ao todo, 12 programadores participaram do experimento, cada um em uma sala
- 4 deles foram sorteados para ouvir música clássica em suas salas,
- 4 deles foram sorteados para ouvir música popular brasileira em suas salas, e
- 4 deles foram sorteados para não ter música ambiente

Um outro tipo de experimento...

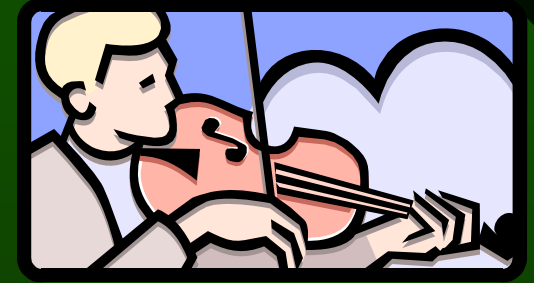


Resultado hipotético 1:

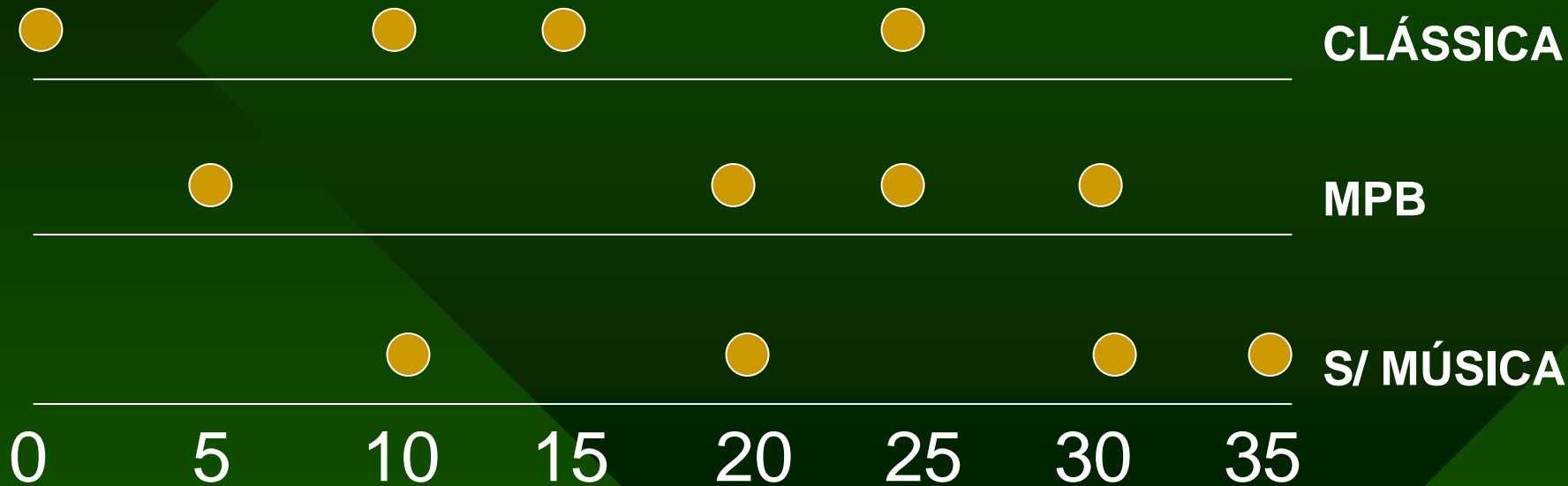


número de falhas nos programas desenvolvidos em uma semana de trabalho

Um outro tipo de experimento...



Resultado hipotético 2:



número de falhas nos programas desenvolvidos em uma semana de trabalho

EXPERIMENTO?

Definição:

Um experimento pode ser definido como um conjunto de procedimentos destinados a coletar evidência contra uma hipótese formulada.

Tipos de experimentos:

- Experimentos absolutos
- Experimentos comparativos

Planejamento estatístico de experimentos...

- Experimentos comparativos
 - Motivação histórica: agricultura
 - O legado de R. A. Fisher



Exemplos de questões investigadas por experimentos planejados:

- Vitamina C ajuda a prevenir resfriado?
- A variedade de milho “B”, modificada geneticamente, é mais produtiva que a variedade “A”?
- Qual dieta para gado leiteiro resulta em maior produção de leite?

Exemplos de questões investigadas por experimentos planejados:

- Qual linguagem de programação é mais eficiente para produzir determinado software?
- Qual, dentre softwares concorrentes, o que apresenta melhor qualidade?
- Qual formulação de banho deve ser preferida na fabricação de circuitos integrados?

Noções básicas

- FATOR
 - Níveis de um fator

Exemplos:

Fator A: linguagem de programação

Níveis do Fator A:
C++, JAVA

Fator B: sistema operacional

Níveis do Fator B:
Linux, Windows

Noções básicas

- TRATAMENTO

Exemplos:

Experimento 1: comparação de linguagens de programação

Tratamentos:

1. C++

2. JAVA

Noções básicas

- TRATAMENTO

Exemplos:

Experimento 2: comparação de estratégias de desenvolvimento de software

Tratamentos:

1. C++ em Linux

2. JAVA em Linux

3. JAVA em Windows

4. JAVA em Windows

Noções básicas

- FATOR DE RUÍDO

Exemplo:

Nos experimentos 1 e 2, o nível de experiência do programador pode ser considerado um fator de ruído

Um caso pra pensar...

- Imagine um experimento para comparar dois métodos de programação, com respeito ao tempo decorrido até que um certo protocolo tenha sido completo...



Método A

→ 120 min



125 min ←



Método B

Noções básicas

- UNIDADE EXPERIMENTAL
- REPLICAÇÃO
- ERRO EXPERIMENTAL



Esquema básico das fontes de variações de um experimento

Observação = Efeito do plano experimental
+ Efeito do tratamento
+ Efeito do erro experimental



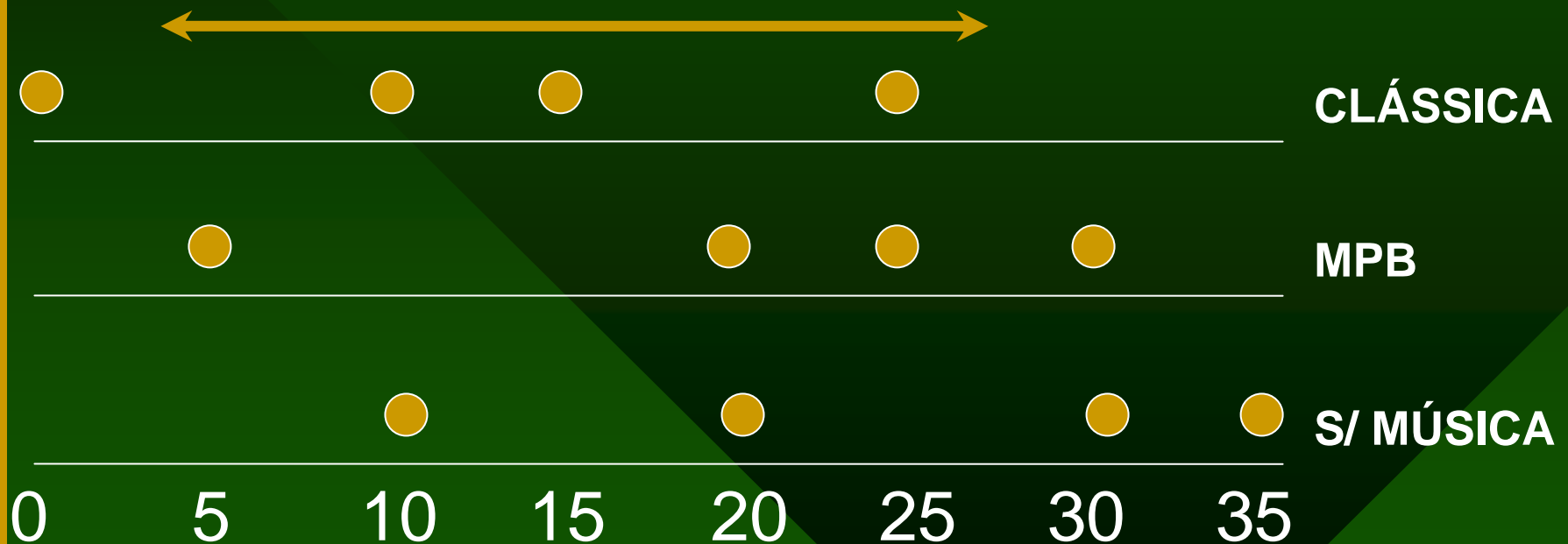
O plano experimental completamente aleatorizado

- Comparar t tratamentos
- Disponíveis rt unidades experimentais
- Cada u.e. tem a mesma chance de receber um determinado tratamento
- Cada tratamento é aplicado em r unidades experimentais

O plano experimental completamente aleatorizado: idéia da análise

O experimento da música revisto:

Variação “dentro” dos tratamentos

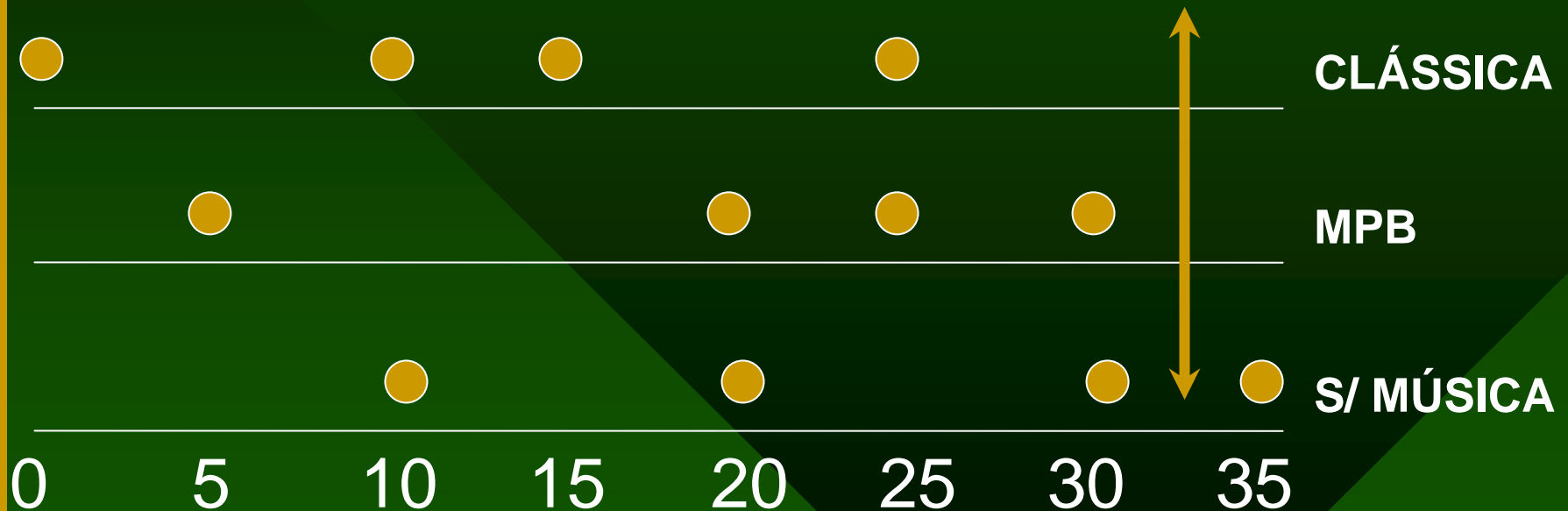


número de falhas nos programas desenvolvidos em uma semana de trabalho

O plano experimental completamente aleatorizado: idéia da análise

O experimento da música revisto:

Variação “entre” tratamentos



número de falhas nos programas desenvolvidos em uma semana de trabalho

O plano experimental completamente aleatorizado: idéia da análise

Se

Variação “entre” tratamentos

for muito maior do que

Variação “dentro” dos tratamentos

Então há evidência contra a hipótese de que não existe diferença de tratamentos

O plano experimental completamente aleatorizado: análise formal

Modelo linear derivado:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Geração de uma ANOVA:

$$y_{ij} = \bar{y}_{..} + (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}) + (y_{ij} - \bar{y}_{i.})$$

$$\therefore (y_{ir} - \bar{y}_{..}) = (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}) + (y_{ir} - \bar{y}_{i.})$$

O plano experimental completamente aleatorizado: análise formal

Geração de uma ANOVA:

$$\sum_{ij} (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = k \sum_i (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 + \sum_{ij} (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2$$

$$\text{SQTotal} = \text{SQEntre} + \text{SQDentro}$$

$$\text{SQTotal} = \text{SQTrat} + \text{SQResíduo}$$

O plano experimental completamente aleatorizado: análise formal

ANOVA Plano Completamente Aleatorizado

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Tratamento	$t-1$	SQTrat	QMTrat	Fo	p
Resíduo	$t(r-1)$	SQResíduo	QMResíduo		
Total	$rt-1$	SQTotal			

$$QMTrat = SQTrat / t-1$$

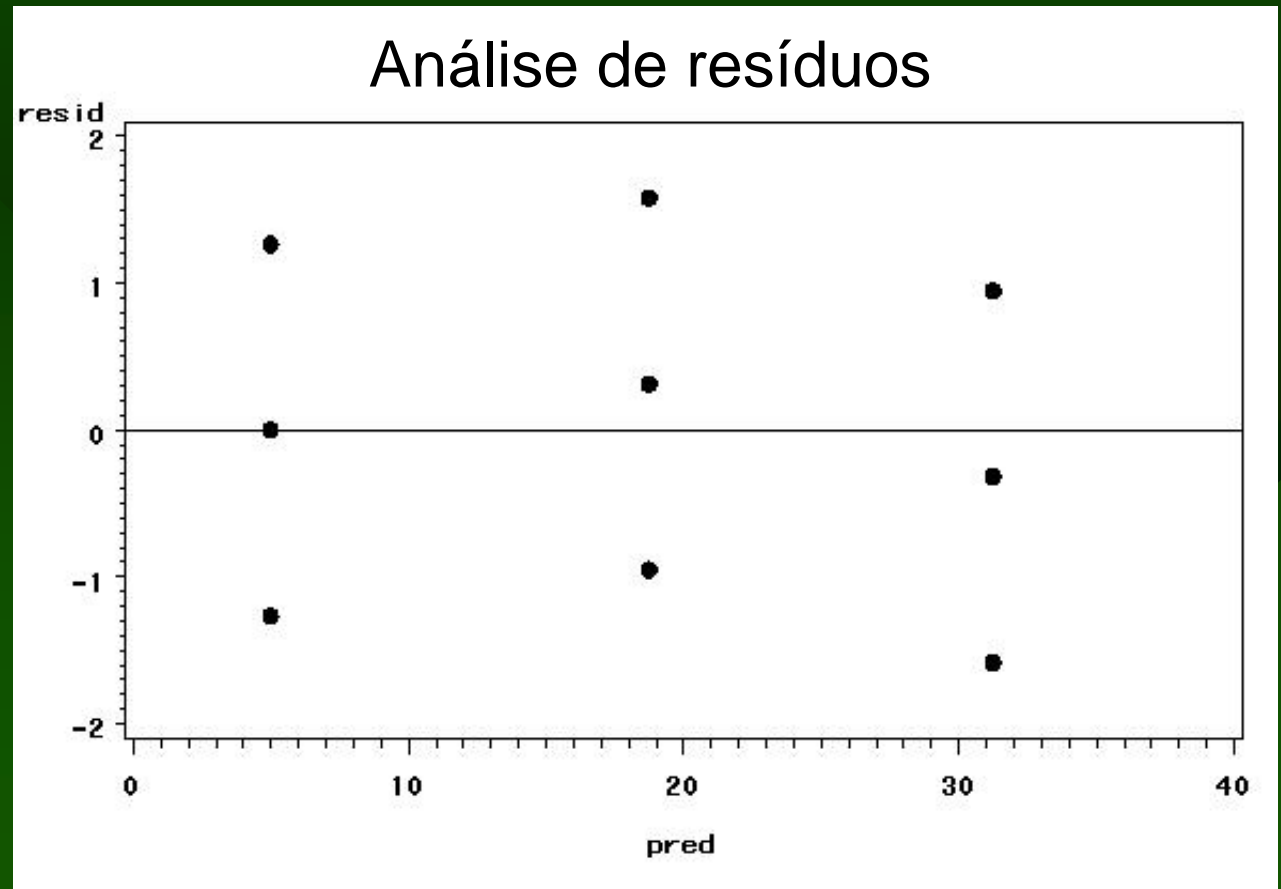
$$QMResíduo = SQResíduo / t(r-1)$$

$$Fo = QMTrat / QMResíduo$$

$$p = \text{prob}(|F| > Fo)$$

O plano experimental completamente aleatorizado: análise experimento música

Resultado hipotético 1



O plano experimental completamente aleatorizado: análise experimento música

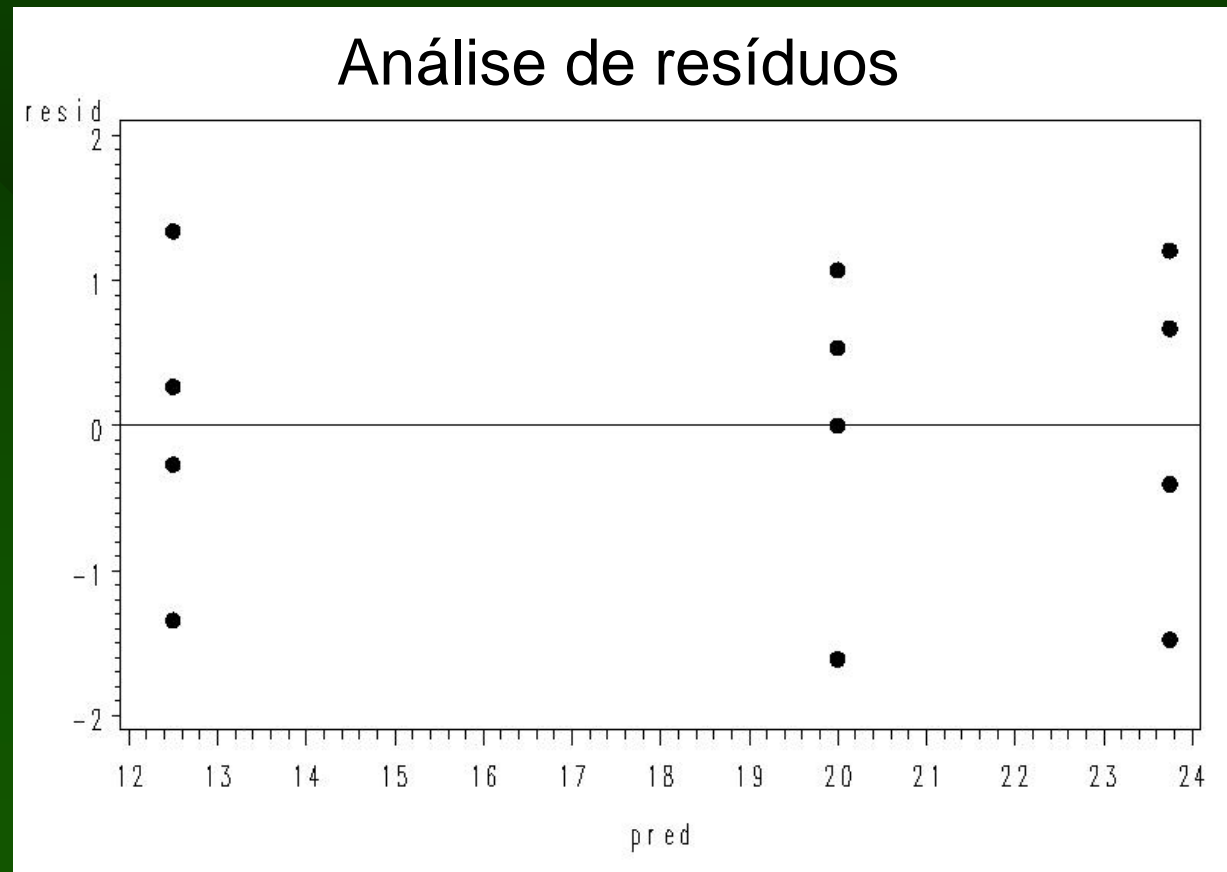
Resultado hipotético 1

ANOVA Plano Completamente Aleatorizado

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Tratamento	2	1379,2	689,6	33,1	$<0,0001$
Resíduo	9	187,5	20,8		
Total	11	1566,7			

O plano experimental completamente aleatorizado: análise experimento música

Resultado hipotético 2



O plano experimental completamente aleatorizado: análise experimento música

Resultado hipotético 2

ANOVA Plano Completamente Aleatorizado

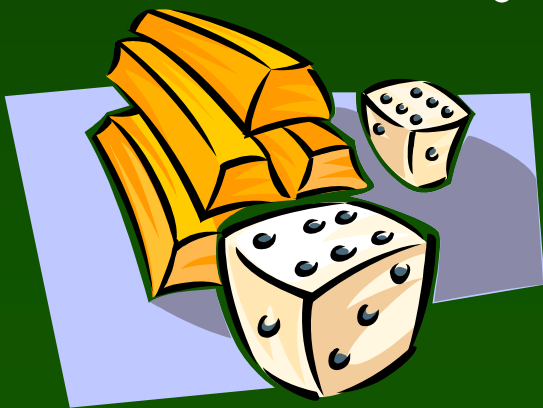
<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Tratamento	2	262,5	131,25	1,13	0,36
Resíduo	9	1043,75	115,97		
Total	11	1306,25			

Princípios Estatísticos de Experimentação

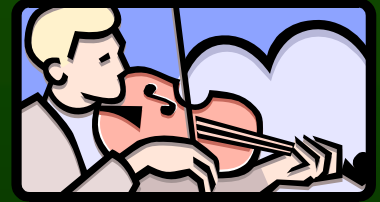
- As análises conduzidas obedeceram a dois importantes princípios de experimentação:

- **O princípio da replicação**

- **O princípio da aleatorização**



Princípios Estatísticos de Experimentação



- **O princípio do controle local**
- Ao todo, 12 programadores participaram do experimento, cada um em uma sala
- 3 deles foram agrupados por serem programadores sêniores, 3 por serem intermediários, 3 júniores e 3 recém-formados
- Em cada grupo, um foi sorteado para ouvir música clássica, outro para mpb e outro para controle

O plano experimental aleatorizado em blocos completos

- O experimento anterior é um exemplo de um experimento aleatorizado em blocos completos
- Se houver diferença de desempenho de acordo com a experiência do programador, esse plano experimental será mais eficiente que o plano completamente aleatorizado

O plano experimental em quadrado latino

- O plano aleatorizado em blocos completos “controla” um fator de ruído
- Em situações em que é necessário o controle de dois fatores de ruído simultaneamente, é possível, por exemplo, usar um plano em quadrado latino

Um quadrado latino reduzido, de ordem 3:

	C1	C2	C3
L1	A	B	C
L2	B	C	A
L3	C	A	B

Mensagem final

- Planejar bem um experimento, do ponto de vista estatístico é essencial
- Os princípios estatísticos de experimentação são fundamentais para garantir validade e eficiência do estudo
- Para saber mais... Box, Hunter & Hunter *Statistics for experimenters*, 2nd ed. John Wiley and Sons

