

MAF 261 - Estatística Experimental

Prof. Fernando de Souza Bastos

Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas
Universidade Federal de Viçosa
Campus UFV - Florestal

2018

Sumário

Introdução à Experimentação

Princípios Básicos da Experimentação

- Princípio da Repetição

- Princípio da Casualização

- Princípio do Controle na Casualização

Fontes de variação de um experimento

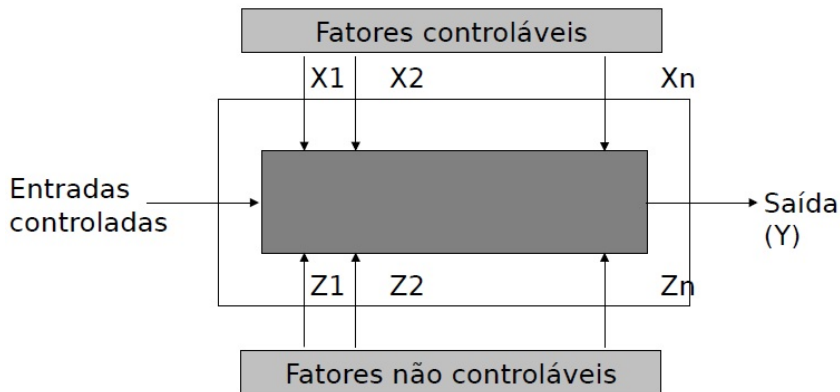
Introdução

A experimentação tem por objetivo o estudo dos experimentos, isto é, seu planejamento, execução, análise dos dados obtidos e interpretação dos resultados.

Delineamento de Experimentos: É o plano formal para conduzir o experimento. Inclui a escolha dos fatores, níveis, tratamentos e números de réplicas. Também pode ser entendido como a maneira como os tratamentos são designados às unidades experimentais.



Modelo geral de um processo para o delineamento de experimentos:



Exemplo 1

Um banco está interessado em aumentar o lucro das suas agências e deseja saber qual é o tipo de propaganda mais eficiente. Seleciona, então, os veículos de propaganda a seguir: rádio, televisão, jornal e mala direta. Neste caso temos:

As **entradas controladas** são os insumos do processo (todas as matérias-primas utilizadas)

Os **fatores controláveis** são:

- ▶ Propaganda: tipos e valores a serem despendidos;

Exemplo 1

Um banco está interessado em aumentar o lucro das suas agências e deseja saber qual é o tipo de propaganda mais eficiente. Seleciona, então, os veículos de propaganda a seguir: rádio, televisão, jornal e mala direta. Neste caso temos:

As **entradas controladas** são os insumos do processo (todas as matérias-primas utilizadas)

Os **fatores controláveis** são:

- ▶ Propaganda: tipos e valores a serem despendidos;
- ▶ Agências: Quantidade e localização;

Exemplo 1

Um banco está interessado em aumentar o lucro das suas agências e deseja saber qual é o tipo de propaganda mais eficiente. Seleciona, então, os veículos de propaganda a seguir: rádio, televisão, jornal e mala direta. Neste caso temos:

As **entradas controladas** são os insumos do processo (todas as matérias-primas utilizadas)

Os **fatores controláveis** são:

- ▶ Propaganda: tipos e valores a serem despendidos;
- ▶ Agências: Quantidade e localização;
- ▶ Funcionários: Quantidade em cada agência;

Exemplo 1

Um banco está interessado em aumentar o lucro das suas agências e deseja saber qual é o tipo de propaganda mais eficiente. Seleciona, então, os veículos de propaganda a seguir: rádio, televisão, jornal e mala direta. Neste caso temos:

As **entradas controladas** são os insumos do processo (todas as matérias-primas utilizadas)

Os **fatores controláveis** são:

- ▶ Propaganda: tipos e valores a serem despendidos;
- ▶ Agências: Quantidade e localização;
- ▶ Funcionários: Quantidade em cada agência;
- ▶ Treinamento do pessoal: Assuntos, verbas, locais etc;

Exemplo 1

Um banco está interessado em aumentar o lucro das suas agências e deseja saber qual é o tipo de propaganda mais eficiente. Seleciona, então, os veículos de propaganda a seguir: rádio, televisão, jornal e mala direta. Neste caso temos:

As **entradas controladas** são os insumos do processo (todas as matérias-primas utilizadas)

Os **fatores controláveis** são:

- ▶ Propaganda: tipos e valores a serem despendidos;
- ▶ Agências: Quantidade e localização;
- ▶ Funcionários: Quantidade em cada agência;
- ▶ Treinamento do pessoal: Assuntos, verbas, locais etc;
- ▶ Produtos oferecidos pelo banco e etc;

Exemplo 1

Os **fatores não controláveis** são:

- ▶ Ações da concorrência;

Exemplo 1

Os **fatores não controláveis** são:

- ▶ Ações da concorrência;
- ▶ Ações governamentais;

Exemplo 1

Os **fatores não controláveis** são:

- ▶ Ações da concorrência;
- ▶ Ações governamentais;
- ▶ Crises econômicas mundiais;

Exemplo 1

Os **fatores não controláveis** são:

- ▶ Ações da concorrência;
- ▶ Ações governamentais;
- ▶ Crises econômicas mundiais;
- ▶ Crises econômicas nacionais;

Exemplo 1

Os **fatores não controláveis** são:

- ▶ Ações da concorrência;
- ▶ Ações governamentais;
- ▶ Crises econômicas mundiais;
- ▶ Crises econômicas nacionais;
- ▶ Greves e etc;

Saída (Y) é o lucro semestral do banco.

Assim, o fator a ser testado é o veículo de propaganda, pois o banco está interessado em saber qual deles é mais eficiente (rádio, televisão, jornal ou mala direta) e qual a influência de cada um no seu lucro semestral, para poder depois investir adequadamente, proporcionando o maior retorno para os acionistas.

Algumas questões podem ser levantadas:

- ▶ Os veículos de propaganda são os únicos a serem testados?
Vamos ignorar outros, como a internet, outdoors, revistas e etc.?

Algumas questões podem ser levantadas:

- ▶ Os veículos de propaganda são os únicos a serem testados? Vamos ignorar outros, como a internet, outdoors, revistas e etc.?
- ▶ A influência dos fatores não controláveis pode ser grande? O que acontece se algum fator importante não puder ser controlado?

Algumas questões podem ser levantadas:

- ▶ Os veículos de propaganda são os únicos a serem testados? Vamos ignorar outros, como a internet, outdoors, revistas e etc.?
- ▶ A influência dos fatores não controláveis pode ser grande? O que acontece se algum fator importante não puder ser controlado?
- ▶ A ordem de realização dos experimentos pode influenciar na conclusões?

Algumas questões podem ser levantadas:

- ▶ Os veículos de propaganda são os únicos a serem testados? Vamos ignorar outros, como a internet, outdoors, revistas e etc.?
- ▶ A influência dos fatores não controláveis pode ser grande? O que acontece se algum fator importante não puder ser controlado?
- ▶ A ordem de realização dos experimentos pode influenciar na conclusões?

Essas questões precisam ser respondidas após a aplicação de uma série de experimentos!

Exemplo 2

Uma granja quer diminuir o tempo de engorda para abate dos seus frangos e dispõe de 4 tipos de ração para serem testados. As **entradas controladas** são os insumos do processo (Filhotes de frango, ração, água e medicamentos)

Os **fatores controláveis** são:

- ▶ Tipo e quantidade diária de ração;

Exemplo 2

Uma granja quer diminuir o tempo de engorda para abate dos seus frangos e dispõe de 4 tipos de ração para serem testados. As **entradas controladas** são os insumos do processo (Filhotes de frango, ração, água e medicamentos)

Os **fatores controláveis** são:

- ▶ Tipo e quantidade diária de ração;
- ▶ Quantidade de aves por aviário;

Exemplo 2

Uma granja quer diminuir o tempo de engorda para abate dos seus frangos e dispõe de 4 tipos de ração para serem testados. As **entradas controladas** são os insumos do processo (Filhotes de frango, ração, água e medicamentos)

Os **fatores controláveis** são:

- ▶ Tipo e quantidade diária de ração;
- ▶ Quantidade de aves por aviário;
- ▶ Raça dos animais;

Exemplo 2

Uma granja quer diminuir o tempo de engorda para abate dos seus frangos e dispõe de 4 tipos de ração para serem testados. As **entradas controladas** são os insumos do processo (Filhotes de frango, ração, água e medicamentos)

Os **fatores controláveis** são:

- ▶ Tipo e quantidade diária de ração;
- ▶ Quantidade de aves por aviário;
- ▶ Raça dos animais;
- ▶ Bem-estar das aves.

Os fatores não controláveis são:

- ▶ Chuvas;

Os fatores não controláveis são:

- ▶ Chuvas;
- ▶ Temperaturas;

Os **fatores não controláveis** são:

- ▶ Chuvas;
- ▶ Temperaturas;
- ▶ Ruídos;

Os **fatores não controláveis** são:

- ▶ Chuvas;
- ▶ Temperaturas;
- ▶ Ruídos;
- ▶ Características genéticas dos frangos.

Os **fatores não controláveis** são:

- ▶ Chuvas;
- ▶ Temperaturas;
- ▶ Ruídos;
- ▶ Características genéticas dos frangos.

Saída (Y) peso das aves após certo número de dias.

Os **fatores não controláveis** são:

- ▶ Chuvas;
- ▶ Temperaturas;
- ▶ Ruídos;
- ▶ Características genéticas dos frangos.

Saída (Y) peso das aves após certo número de dias.

Obs: Observe-se que todos os fatores poderiam ser controlados, mas isto não seria conveniente ou econômico, por isso a classificação dada, que levou em conta aspectos práticos!

Deve-se variar o tipo de ração, mantendo-se fixos os outros fatores controláveis, para verificar o efeito no tempo de engorda das aves, até que atinjam o peso de abate.

Importante: as aves que receberam a mesma ração terão uma certa variabilidade de peso, devido aos fatores não controláveis. Assim, algumas comerão mais do que outras ou terão maior aproveitamento do alimento, engordando mais do que as outras, devido a fatores genéticos, por exemplo.

Importante: as aves que receberam a mesma ração terão uma certa variabilidade de peso, devido aos fatores não controláveis. Assim, algumas comerão mais do que outras ou terão maior aproveitamento do alimento, engordando mais do que as outras, devido a fatores genéticos, por exemplo.

A variabilidade é inerente aos processos em geral. Ela ocorrerá, inevitavelmente, embora possa ser minimizada.

Conceitos Básicos

- ▶ **Fator:** É uma das causas (variáveis) que estão sendo estudados no experimento. Pode ser qualitativo ou quantitativo.

Conceitos Básicos

- ▶ **Fator:** É uma das causas (variáveis) que estão sendo estudados no experimento. Pode ser qualitativo ou quantitativo.
 - ▶ Quantitativo - Ex: Temperatura em $^{\circ}\text{C}$, tempo em minutos etc.

Conceitos Básicos

- ▶ **Fator:** É uma das causas (variáveis) que estão sendo estudados no experimento. Pode ser qualitativo ou quantitativo.
 - ▶ Quantitativo - Ex: Temperatura em $^{\circ}\text{C}$, tempo em minutos etc.
 - ▶ Qualitativo - Ex: diferentes operadores, diferentes máquinas, ligado ou desligado etc.

- ▶ **Níveis do fator:** São os diferentes valores do fator que são escolhidos para o experimento.

- ▶ **Níveis do fator:** São os diferentes valores do fator que são escolhidos para o experimento.
- ▶ **Tratamento:** É um nível único assinalado para um fator durante um experimento. Exemplo: Temperatura de 50°C . Uma combinação de tratamentos é o conjunto de todos os fatores utilizados num determinado ensaio. Exemplo: ensaio usando o operador João, máquina A e temperatura de 50°C .

- ▶ **Ensaio:** É cada realização do experimento em uma determinada combinação de tratamentos. O experimento é constituído pelo conjunto de todos os ensaios realizados nas diversas combinações de tratamentos, com as várias réplicas.

- ▶ **Ensaio:** É cada realização do experimento em uma determinada combinação de tratamentos. O experimento é constituído pelo conjunto de todos os ensaios realizados nas diversas combinações de tratamentos, com as várias réplicas.
- ▶ **Réplicas:** São as repetições de um experimento executadas nas mesmas condições experimentais.

- ▶ **Ensaio:** É cada realização do experimento em uma determinada combinação de tratamentos. O experimento é constituído pelo conjunto de todos os ensaios realizados nas diversas combinações de tratamentos, com as várias réplicas.
- ▶ **Réplicas:** São as repetições de um experimento executadas nas mesmas condições experimentais.
- ▶ **Unidade experimental:** é a unidade que vai receber o tratamento e fornecer os dados que deverão refletir o seu efeito. Exemplos: a) uma fileira de plantas com 3 metros de comprimento no campo; b) um leitão e c) um litro de leite.

- ▶ **Esquema:** quando em um mesmo experimento são avaliados dois ou mais fatores os níveis dos fatores podem ser combinados de maneiras diferentes. O esquema é justamente a maneira utilizada pelo pesquisador ao combinar os níveis dos fatores para se obter os tratamentos.

- ▶ **Esquema:** quando em um mesmo experimento são avaliados dois ou mais fatores os níveis dos fatores podem ser combinados de maneiras diferentes. O esquema é justamente a maneira utilizada pelo pesquisador ao combinar os níveis dos fatores para se obter os tratamentos.
- ▶ **Variável resposta:** é a variável mensurada usada para avaliar o efeito de tratamentos.

- ▶ **Esquema:** quando em um mesmo experimento são avaliados dois ou mais fatores os níveis dos fatores podem ser combinados de maneiras diferentes. O esquema é justamente a maneira utilizada pelo pesquisador ao combinar os níveis dos fatores para se obter os tratamentos.
- ▶ **Variável resposta:** é a variável mensurada usada para avaliar o efeito de tratamentos.
- ▶ **Erro experimental:** é o efeito de fatores que atuam de forma aleatória e que não são passíveis de controle pelo experimentador.

Princípio da Repetição

A repetição consiste em aplicar o mesmo tratamento a várias unidades experimentais, ou seja, consiste na reprodução do experimento básico.

Princípio da Repetição

A repetição consiste em aplicar o mesmo tratamento a várias unidades experimentais, ou seja, consiste na reprodução do experimento básico.

- ▶ Não existe regra para limitar o número mínimo de repetições.

Princípio da Repetição

A repetição consiste em aplicar o mesmo tratamento a várias unidades experimentais, ou seja, consiste na reprodução do experimento básico.

- ▶ Não existe regra para limitar o número mínimo de repetições.
- ▶ Sugere-se que os experimentos tenham pelo menos 20 unidades experimentais e 10 graus de liberdade para o resíduo.

Princípio da Repetição

A repetição consiste em aplicar o mesmo tratamento a várias unidades experimentais, ou seja, consiste na reprodução do experimento básico.

- ▶ Não existe regra para limitar o número mínimo de repetições.
- ▶ Sugere-se que os experimentos tenham pelo menos 20 unidades experimentais e 10 graus de liberdade para o resíduo.
- ▶ Quanto maior o número de repetições, maior a precisão do experimento.

Princípio da Repetição

A repetição consiste em aplicar o mesmo tratamento a várias unidades experimentais, ou seja, consiste na reprodução do experimento básico.

- ▶ Não existe regra para limitar o número mínimo de repetições.
- ▶ Sugere-se que os experimentos tenham pelo menos 20 unidades experimentais e 10 graus de liberdade para o resíduo.
- ▶ Quanto maior o número de repetições, maior a precisão do experimento.
- ▶ **O uso do princípio da repetição tem por finalidade obter uma estimativa do erro experimental.**

Princípio da Casualização

O princípio da casualização consiste em distribuir ao acaso os tratamentos às unidades experimentais. Com o uso do princípio da casualização, as variações que contribuem para o erro experimental são convertidas em variáveis aleatórias.

Do ponto de vista estatístico, com o uso do princípio da casualização em um experimento:

1. Obtém-se uma estimativa válida do erro experimental;

Do ponto de vista estatístico, com o uso do princípio da casualização em um experimento:

1. Obtém-se uma estimativa válida do erro experimental;
2. Fica garantido o uso de testes de significância, pois os erros experimentais atuam de forma independente nas diversas unidades experimentais.

Do ponto de vista estatístico, com o uso do princípio da casualização em um experimento:

1. Obtém-se uma estimativa válida do erro experimental;
2. Fica garantido o uso de testes de significância, pois os erros experimentais atuam de forma independente nas diversas unidades experimentais.

Todo experimento deve conter no mínimo os princípios básicos da repetição e da casualização.

Princípio do Controle na Casualização

O uso do princípio do controle na casualização só é recomendado quando as unidades experimentais não são ou não estão sob condições homogêneas devido a influência de um ou mais fatores. Para utilizar este princípio, é necessário inicialmente dividir as unidades experimentais em blocos de unidades de tal forma que dentro de cada bloco haja homogeneidade e um número de unidades igual ao número de tratamentos do experimento. A distribuição dos tratamentos as unidades é feita então dentro de cada bloco. Daí o nome do princípio *controle* na casualização.

A finalidade, do uso do princípio do controle na casualização, é reduzir o efeito do erro experimental através do controle da variação existente entre as unidades experimentais. Espera-se que com o controle na casualização a estimativa obtida para o erro experimental seja menor.

Em um experimento podem ocorrer as seguintes fontes de variação:

► **Premeditada**

É aquela introduzida pelo pesquisador com a finalidade de fazer comparações. Por exemplo: tratamentos.

Em um experimento podem ocorrer as seguintes fontes de variação:

► **Premeditada**

É aquela introduzida pelo pesquisador com a finalidade de fazer comparações. Por exemplo: tratamentos.

► **Sistemática**

Variações não intencionais, mas de natureza conhecida. Podem ser controladas pelo pesquisador. Por exemplo: heterogeneidade do solo, tamanho de semente, etc.

Em um experimento podem ocorrer as seguintes fontes de variação:

► **Premeditada**

É aquela introduzida pelo pesquisador com a finalidade de fazer comparações. Por exemplo: tratamentos.

► **Sistemática**

Variações não intencionais, mas de natureza conhecida. Podem ser controladas pelo pesquisador. Por exemplo: heterogeneidade do solo, tamanho de semente, etc.

► **Aleatória**

São variações de origem desconhecida, não podendo ser controladas. Constituem o erro experimental. São devidas a: variações no material experimental e falta de uniformidade nas condições experimentais.

Referências Bibliográficas I

- A. J. d. A. Calegare. *Introdução ao Delineamento de Experimentos*. Edgard Blucher, São Paulo, 2 edition, 2009.
- A. P. Carneiro, J. I. R. Júnior, e N. T. Santos. Apostila de Estatística Experimental - UFV, 2018. Apostila gentilmente cedida pelos autores para o curso de Estatística Experimental do Campus UFV - Florestal.