

### ANÁLISE DE VARIÂNCIA - ANOVA

A metodologia da estatística paramétrica utilizada para verificar as hipóteses de igualdade de mais de dois tratamentos.

É o processo desenvolvido por Fisher para dividir a variância de uma variável aleatória em partes ortogonais (independentes) correspondentes a tratamentos e erro experimental.

#### Conceitos:

**Tratamento** - É o processo cujo efeito deseja-se medir ou comparar em um experimento. Ex.: doses do adubo X, tipos de confinamento de animais, variedades de milho, etc..

**Parcela ou unidade experimental** - É a porção do material experimental a que se aplica um tratamento.

**Delineamento experimental** - É a maneira de dispor as parcelas no experimento. Como exemplos de delineamentos temos: delineamento de um único critério ou delineamento inteiramente ao acaso (DIC); delineamento de dois critérios ou delineamento em blocos casualizados (DBC); delineamento em quadrado latino (DQL).

FAMAT/UFPA

Prof. Dr. Ednaêdo Garvão Guimarães

**Variações de acaso (erros)** - São variações que ocorrem nos experimentos atribuídas a efeitos de fatores não controlados, conhecidos ou não, que afetam os resultados experimentais. Ex.: diferenças genéticas em seres vivos; variações em condições ambientais; erros de medições; variações na qualidade do material; etc..

#### Princípios básicos da experimentação

- Repetição** - é o número de vezes que um tratamento ocorre no experimento
- Casualização** - evitar que determinado tratamento seja "favorecido". Pela casualização cada tratamento tem a mesma probabilidade de ser destinado a qualquer parcela, seja ela favorável ou não.
- Controle local** - É um princípio muito usado, mas não é obrigatório. Ele consiste em distribuir os tratamentos sempre em condições mais homogêneas possíveis.

Considerando o controle local temos: DIC - sem controle local; DBC - com controle feito em uma direção e DQL - com controle feito em duas direções.

FAMAT/UFPA

Prof. Dr. Ednaêdo Garvão Guimarães

### Variações que ocorrem no experimento

A variação total de um experimento pode ser desmembrada em variação devido ao tratamento (variação entre tratamentos) e variação residual (variação dentro do tratamento).

A variação total é a variação de cada observação em relação à média geral.

$$VT = SQ_{Total} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r (Y_{ij} - \bar{Y})^2$$

A variação entre tratamento é aquela atribuída estritamente à variabilidade das médias dos tratamentos em relação à média geral.

$$VE = SQ_{Entre\ Trat} = SQ_{Trat} = r \cdot \sum_{i=1}^t (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2$$

A variação dentro de tratamentos é a variação de cada observação em relação à média do tratamento. São as variações devido a fontes não controladas no experimento.

$$VD = SQ_{Dentro\ de\ trat.} = SQ_{Erro} = SQ_{Resíduo} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$$

FAMAT/UFPA

Prof. Dr. Ednaêdo Garvão Guimarães

### As hipóteses do modelo de análise de variância

**Aditividade** - Os efeitos do modelo matemático que rege o experimento devem ser aditivos (efeito da média geral, do tratamento, do bloco (caso exista), e do erro experimental). Existem testes para verificar aditividade (Ex.: Teste de não aditividade de Tukey), mas são pouco utilizados na prática → Na prática, verificar comportamento dos resíduos (Histograma dos resíduos não devem apresentar assimetria acentuada).

**Normalidade** - Os erros experimentais (resíduos) devem seguir a distribuição normal de probabilidade → fazer teste de normalidade de resíduos (Ex.: Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, etc..)

**Homocedasticidade de variâncias** - as variâncias de tratamentos devem ser homogêneas → fazer teste de homocedasticidade (Ex.: Teste de Levene)

**Independência de erros** - os efeitos aleatórios (erros experimentais) devem ser independentes, ou seja, não pode ocorrer correlação entre os resíduos. → Verificação visual dos resíduos (não devem apresentar tendência).

FAMAT/UFPA

Prof. Dr. Ednaêdo Garvão Guimarães

### DELINEAMENTO DE UM CRITÉRIO- Delineamento INTEIRAMENTE AO ACASO - ONE-WAY ANOVA

Mais simples de todos os delineamentos experimentais, sendo recomendado quando todas as condições experimentais são homogêneas

Modelo matemático:  $Y_{ij} = \mu + t_i + \varepsilon_{ij}$

$Y_{ij}$  é o valor da parcela que recebeu o tratamento  $i$  na repetição  $j$ ;  $\mu$  é a média geral do experimento;  $t_i$  é o efeito do tratamento  $i$ ; e  $\varepsilon_{ij}$  é o erro da parcela que recebeu o tratamento  $i$  na repetição  $j$ .

As hipóteses na análise de variância são:

$H_0: t_1 = t_2 = \dots = t_t$

$H_1: t_i \neq t_j$  (no mínimo para um par)

**Teste de F** → ao aplicarmos a análise de variância, estamos utilizando o teste de F para verificarmos a validade da hipótese  $H_0$ , descrita anteriormente

$$F_{calc} = \frac{QM_{Trat}}{QM_{Resíduo}}$$

FAMAT/UFPA

Prof. Dr. Ednaêdo Garvão Guimarães

Análise de variância de um experimento inteiramente casualizado com  $t$  tratamentos e  $r$  repetições

Fonte	Varição	G. L.	S. Q.	Q. M.	F	Sig.
Tratamento		$t-1$	SQ <sub>Trat</sub>	QM <sub>Trat</sub>	$F_{trat}$	p-valor
Resíduo		$t(r-1)$	SQ <sub>Resíduo</sub>	QM <sub>Resíduo</sub>		
Total		$tr-1$	SQ <sub>Total</sub>			

#### Comparação múltipla de médias

A análise de variância significativa, nos informa que pelo menos um tratamento aplicado no experimento é significativamente diferente dos demais, entretanto esta análise não nos informa onde está esta diferença.

Para verificar as diferenças são usados os testes de comparação entre médias. Alguns desses testes são: Teste t (DMS ou LSD); Teste de Tukey; Teste de Duncan; Teste de Dunnett; Teste de Bonferroni; Teste de Student- Newman-Keuls (SNK); Teste de Scheffé; Teste Scott-Knott, etc

FAMAT/UFPA

Prof. Dr. Ednaêdo Garvão Guimarães

Algumas especificidades: Tukey (muito utilizado na literatura → compara médias com um único valor de diferença mínima significativa (DMS) e é considerado rigoroso); Duncan (compara médias com diferentes valores de DMS); Dunnet (compara controle com demais tratamentos); Scott-Knott (separa médias em grupos, muito utilizado quando se tem elevado número de comparações por não apresentar ambiguidade)

Os procedimentos dos testes se baseiam na comparação da diferenças entre médias com o valor de teste que é chamado de diferença mínima significativa (DMS) e que é obtido por meio de valores padronizados associados com informações da análise de variância, por exemplo, no teste de Tukey:

$$\Delta = q_{\alpha}(t, v) \sqrt{\frac{QM \text{ Resíduo}}{r}}$$

Ex. Um experimento em DIC foi conduzido com o objetivo de verificar a influência de 4 tipos de tipos de manejo do solo sobre as variáveis Porosidade(%), Umidade(%) e Resistência a Penetração(MPa). (Planilha: "DIC" do arquivo: dados-aula9-anova.xls (site)). Verificar se ocorre diferenças significativas entre as composições, com significância de 5%.

FAMAT/UFU

Prof. Dr. Ednaêdo Garvão Guimarães

### EXPERIMENTO DE DOIS CRITÉRIO (two-way) - DELINEAMENTO EM BLOCOS CASUALIZADO

São considerados os princípios básicos de repetição, casualização e controle local em um sentido (linha ou coluna do experimento).

Próprio para as situações onde existe heterogeneidade do material experimental ou do ambiente onde se realiza o ensaio.

O modelo matemático:  $Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + \varepsilon_{ij}$

Quadro de análise de variância:

FV	GL	SQ	QM	F	sig
Bloco	b-1	SQBloco	QMBloco	$F_{\text{Bloco}}$	p-valor
Trat	t-1	SQTrat	QMTrat	$F_{\text{Trat}}$	p-valor
Resíduo	(t-1).(b-1)	SQRes	QMRes		
Total	tb-1	SQTotal			

FAMAT/UFU

Prof. Dr. Ednaêdo Garvão Guimarães

Ex.: Para o experimento em DBC apresentado na "DBC" do arquivo Dados-aula9 anova.xls, fazer a análise de variância e a comparação de médias, caso necessário, para verificar se existe diferença significativa na DBO entre os tratamentos.

### ANÁLISE EM ESQUEMA FATORIAL

Interesse no estudo da influência de dois ou mais fatores sobre uma mesma variável resposta.

Vantagem da utilização do esquema fatorial é a possibilidade de analisar isoladamente os fatores e também simultânea desses fatores, reduzindo o número de análises.

Pode-se utilizar os delineamentos inteiramente ao acaso (DIC), os delineamentos em blocos casualizados (DBC) e os quadrados latinos (DQL). Ressalta-se que fatorial não é delineamento é apenas esquema de análise.

Modelo Matemático (Ex.: DIC fatorial com dois fatores)

$$Y_{ijk} = \mu + a_i + b_j + (ab)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

FAMAT/UFU

Prof. Dr. Ednaêdo Garvão Guimarães

Esquema do quadro Anova para um fatorial com dois fatores:

FV	GL	SQ	QM	F	Sig.
A	a-1	SQA	QMA	$F_A$	p-valor
B	b-1	SQB	QMB	$F_B$	p-valor
AxB	(a-1).(b-1)	SQAxB	QMAxB	$F_{AxB}$	p-valor
Resíduo	ab(r-1)	SQResíduo	QMResíduo		
TOTAL	abr-1	SQTotal			

Interações significativas: desdobramento das interações e posterior aplicação dos testes de médias

Interações não significativa, mas os fatores significativos: aplicar os testes de médias para cada fator isoladamente

Análise não significativa: concluir que não existe diferença entre os tratamentos.

Grau de complexidade da análise será cada vez maior com a adição de novos fatores na análise

FAMAT/UFU

Prof. Dr. Ednaêdo Garvão Guimarães

Ex.: Fazer a análise dos dados apresentados na planilha "fatorial", em que o objetivo foi verificar o efeito do tipo de motor e lubrificante sobre a emissão de partículas totais em suspensão (PTS).

### ANÁLISE EM ESQUEMA DE PARCELA SUBDIVIDIDA

Interesse no estudo da influência de dois ou mais fatores sobre uma mesma variável resposta, entretanto, existe dependência temporal ou espacial para um dos fatores. Muito utilizado para avaliações ao longo do tempo. Considera-se os tratamentos com parcelas e o tempo como sub parcelas.

Modelo Matemático (Ex.: DIC subdividida com dois fatores)

$$Y_{ijk} = \mu + a_i + \varepsilon_i^* + b_j + (ab)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

FAMAT/UFU

Prof. Dr. Ednaêdo Garvão Guimarães

Quadro Anova

FV	GL	SQ	QM	F	Sig.
A	a-1	SQA	QMA	$F_A$	p-valor
Resíduo1	a(r-1)	SQResíduo1	QMResíduo1		
B	b-1	SQB	QMB	$F_B$	p-valor
AxB	(a-1).(b-1)	SQAxB	QMAxB	$F_{AxB}$	p-valor
Resíduo2	a(b-1)(r-1)	SQResíduo2	QMResíduo2		
TOTAL	abr-1	SQTotal			

Ex.: Fazer a análise dos dados apresentados na planilha "parcela sub", em que o objetivo foi verificar o efeito do manejo e da época de coleta na densidade do solo.

FAMAT/UFU

Prof. Dr. Ednaêdo Garvão Guimarães