

Lista de Exercícios
ZAB0229 – Estatística Experimental
Prof. César Gonçalves de Lima

Pirassununga- SP
2022

Capítulo I – Comparações Múltiplas de Médias

1) Para verificar se as variedades de milho A, B, C e D têm a mesma produção média, um agrônomo dividiu a área de terra que dispunha em cinco faixas de igual fertilidade (blocos). Depois o agrônomo dividiu cada faixa de terra em quatro parcelas e sorteou, dentro de cada faixa, uma variedade para cada parcela. A produção média de milho (kg/100m²) das variedades está apresentada a seguir:

Variedade	A	B	C	D
Produção média	32,0	38,0	43,5	34,8

Admitindo-se que a variância dos dados foi estimada por $QMResiduo = s^2 = 25,2167$ e que a ANOVA permitiu rejeitar a hipótese de igualdade das médias, pede-se (como exercício):

- Comparar as produções médias utilizando o Teste de Tukey ($\alpha = 5\%$)
- Comparar as produções médias utilizando o Teste de Duncan ($\alpha = 5\%$), com o intuito de verificar se as conclusões obtidas são diferentes daquelas obtidas no item (a).

2) O quadro a seguir apresenta os ganhos médios de peso (kg) de bovinos submetidos a 4 diferentes fontes de volumoso em confinamento, em um experimento de 60 dias. Os animais foram escolhidos entre os machos inteiros e castrados disponíveis em um lote de animais recém desmamados de mesma raça e idade. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições por tratamento.

Volumoso	I	II	III	IV
GP médio (kg)	43,0	52,4	45,2	63,0

Admitindo-se que a variância dos dados foi estimada por $QMResiduo = s^2 = 44,250$ e que a ANOVA permitiu rejeitar a hipótese de igualdade das médias, pede-se (como exercício):

- Compare os ganhos médios de peso dos animais que receberam volumosos de diferentes fontes utilizando o Teste de Tukey ($\alpha = 5\%$) e comente sobre os resultados obtidos.
- Construa um conjunto de três contrastes ortogonais e use o teste t para verificar a significância de cada um deles. Comente os resultados.

Capítulo II – Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC)

3) Na comparação de quatro rações foram usados 20 bovinos num delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições por tratamento. Baseando-se nos ganhos de peso, em kg, no final do experimento faça a análise de variância e conclua sobre o efeito das rações no ganho de peso dos animais. Se necessário compare as médias das rações utilizando o teste de Duncan ($\alpha = 5\%$).

Ração	Repetições				
	1	2	3	4	5
A	173	159	196	132	143
B	120	93	95	103	108
C	121	101	101	88	114
D	73	98	96	80	109

4) Em um experimento de fenação num delineamento inteiramente casualizado foram medidas as produções de matéria seca de cinco variedades de aveia, cujos resultados, em toneladas/ha, são apresentados a seguir.

Variedade	Repetições					
	1	2	3	4	5	6
A	10.34	10.63	9.64	12.63	11.27	9.30
B	7.30	7.69	7.01	8.14		
C	4.94	6.56	5.13	6.97	6.27	
D	8.77	9.67	8.36			
E	7.38	8.42	7.40	6.81	8.62	8.52

Baseando-se nesses dados, construa um quadro de análise de variância e conclua sobre a diferença entre as produções médias das variedades de aveia. Se for necessário complete a análise comparando as produções médias utilizando o teste de Tukey ($\alpha = 5\%$).

5) Os dados apresentados a seguir referem-se a produções de matéria seca (PMS), em t/ha, de cinco cultivares de sorgo (NK 300; SORDAN 67; PIONEER 988; PIONEER 93 e SART). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) com seis repetições por tratamento. Produção de matéria seca (t/ha) de 5 variedades de sorgo

NK300	SORDAN67	PIONEER988	PIONEER93	SART
9,05	8,62	9,56	22,61	18,56
10,46	9,86	10,05	20,68	21,63
11,05	9,27	9,50	24,52	22,02
11,59	10,97	9,34	21,96	20,17
13,27	9,03	10,25	22,62	19,92
8,64	9,57	10,00	19,63	20,23

Com base nesses dados, pede-se:

a) Construa o quadro de análise de variância (ANOVA) e conclua se as médias de PMS dos cinco cultivares são iguais entre si ao nível $\alpha = 5\%$ de significância.

b) Compare as produções médias dos cultivares utilizando:

b.1) Teste de Tukey. *Dica:* $d.m.s. = q(a, gl_{Res}, 5\%) \sqrt{\frac{QMResiduo}{n}}$

b.2) Teste de Dunnett considerando o cultivar SART como o cultivar padrão.

Dica: $D' = d(a - 1, gl_{Res}, 5\%) \sqrt{\left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_p}\right) QMResiduo}$

6) Na comparação de quatro rações foram usados 20 bovinos num delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições por tratamento. Baseando-se nos ganhos de peso, em kg, no final do experimento pede-se:

Ração	Repetições				
	1	2	3	4	5
A	173	159	196	132	143
B	120	93	95	103	108
C	121	101	101	88	114
D	73	98	96	80	109

Pede-se:

a) Escrever o modelo matemático associado ao experimento, explicando o significado de cada um dos termos.

b) Realizar a análise de variância e concluir sobre o efeito das rações no ganho de peso dos animais.

c) Verificar as pressuposições do modelo.

Capítulo III – Delineamento Casualizado em Blocos

7) Na comparação de quatro sistemas de criação, utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso com 4 repetições, usando o fator “raça” para definir os blocos. Os tratamentos consistiram de A: sistema extensivo (controle); B: sistema extensivo com suplementação de 0,150 kg de concentrado, durante um período da vida dos animais; C: sistema extensivo com suplementação de 0,200 kg de concentrado, durante um período da vida dos animais e D: sistema intensivo. Os resultados foram os seguintes:

Tratamentos	Blocos (Raças)			
	I	II	III	IV
A	13,25	15,33	14,46	13,78
B	21,88	20,87	22,71	21,85
C	22,98	25,38	25,16	23,43
D	25,92	26,42	27,05	28,58

Com base nos pesos, em kg, dos 16 cordeiros aos 120 dias de idade, pede-se:

- Construir o quadro de análise de variância e teste as hipóteses de interesse.
- Formule três contrastes ortogonais para comparar os tratamentos (i) D versus (A+B+C); (ii) A versus (B+C) e (iii) B versus C. Aplique o teste *t*-Student para contrastes e tire as conclusões pertinentes.

8) A tabela a seguir apresenta os dados de produção de milho, em toneladas por hectare, de quatro variedades de milho em cinco tipos de solo (blocos). Como a produção do tratamento B no bloco (solo de tipo) I foi perdida, estime o seu valor. A seguir, faça a análise de variância e utilize o teste de Tukey para identificar a variedade com maior produção.

Tipos de solo	Variedades			
	A	B	C	D
I	4,00		5,52	3,76
II	4,48	4,72	4,72	4,00
III	4,16	5,28	5,44	4,32
IV	4,40	4,72	5,76	4,96
V	5,76	5,28	5,76	4,96

9) Com o objetivo de estudar o efeito da idade da castração no desenvolvimento e produção de suínos, utilizou-se um delineamento em blocos casualizados com 4 tratamentos e 4 repetições. Os blocos foram utilizados para controlar a variabilidade natural existente entre as leitegadas. Os tratamentos consistiram de: A: suínos castrados aos 56 dias; B: suínos inteiros; C: suínos castrados aos 7 dias e D: suínos castrados aos 21 dias. A tabela seguinte apresenta os dados de ganhos de peso, em kg, ao final do experimento (252 dias).

Tratamento	Bloco (leitegada)				Média	Variância
	1	2	3	4		
A	93,0	77,9	94,9	97,6	90,85	78,0967
B	108,6	115,4	96,0	118,7	109,68	100,7958
C	108,9	100,2	102,1	114,1	106,33	40,8158
D	102,0	96,5	116,9	117,6	108,25	113,1233

- Use o Teste de Hartley ($\alpha = 5\%$) para verificar a homogeneidade das variâncias.
- Construa a análise de variância e teste se existe efeito significativo da idade de castração na produção de suínos.
- Calcule os resíduos padronizados e verifique se existem pontos discrepantes (*outliers*).
- Confirme a homocedasticidade das variâncias com o teste de Levene.

- e) Construa um histograma dos resíduos padronizados e verifique (visualmente) se a distribuição é parecida com a normal.

Capítulo IV – Delineamento em Quadrado Latino (DQL)

10) Para avaliar a digestibilidade aparente de carboidratos totais (%) de cinco rações (A, B, C, D e E) em novilhos zebu com peso em torno de 280kg, cinco animais (*linhas*) foram alojados em gaiolas metabólicas individuais para medir o consumo de ração, coleta de fezes e urina. Essas rações foram avaliadas em 5 períodos sequenciais (*colunas*) de 21 dias cada, nos quais os 14 dias iniciais foram considerados de adaptação à ração e os 7 dias finais, de registro de resultados. O ensaio durou 105 dias e os dados estão apresentados na Tabela 1. As rações foram calculadas para conter 7; 9,5; 12; 14,5 e 17% de proteína bruta com base na matéria seca.

Tabela 1. Digestibilidade aparente de carboidratos totais (%) de acordo com a ração utilizada, o animal e o período experimental.

Novilho	Período experimental				
	I	II	III	IV	V
B246	A: 46	B: 60	C: 66	D: 69	E: 65
AT14	E: 65	A: 69	D: 72	B: 64	C: 64
NN89	C: 58	D: 80	A: 67	E: 71	B: 63
AG90	B: 63	C: 76	E: 74	A: 66	D: 64
SS45	D: 69	E: 85	B: 74	C: 76	A: 70

Pede-se:

- Admitindo um delineamento em quadrado latino, construir o quadro de análise de variância e testar a(s) hipótese(s) de interesse ($\alpha = 5\%$)
- Desenhar um gráfico de dispersão para estudar o comportamento da digestibilidade média aparente de carboidratos totais em função dos níveis (% de proteína bruta) das cinco rações. Você acha que uma reta pode explicar bem esse comportamento? Se sim, estime a equação da reta.
- Comparar as médias dos tratamentos utilizando o teste de Tukey ($\alpha = 5\%$) e tirar as conclusões adequadas.

11) Admita que foi perdida a resposta ao tratamento D, no período II e animal NN89. Estime esta observação e refaça a análise de variância. Ocorreu alguma mudança nas conclusões, quando comparadas com aquelas obtidas no exercício 1?

Capítulo V – Experimentos Fatoriais

12) Considere os dados seguintes de produção de cana de açúcar (ton/ha) de um experimento fatorial 3x2 (Tortas de filtros Olivier de 3 usinas diferentes e 2 níveis de adubo mineral) instalado num delineamento em blocos casualizados com 4 repetições.

	Adubo	Com			Sem		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3
Bloco	1	20.6	16.2	21.0	18.0	19.6	18.0
	2	21.0	16.6	21.6	8.6	15.0	18.5
	3	18.6	15.4	20.0	9.4	14.6	16.0
	4	20.6	17.2	22.4	11.4	15.8	21.8

13) Para estudar a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS%) da aveia planejou-se um experimento fatorial 2x5, com 5 cultivares de aveia (CTC1; CTC2; UFRGS10; UFRGS14 e UFRGS15) e dois tratamentos (com e sem fungicida) num delineamento casualizado em blocos, com 3 repetições. São conhecidas a $SQ_{Total} = 1162,67$, $SQ_{Bloco} = 28,47$ e a tabela com os *totais* por cultivar (C) e tratamento (F):

Fungicida	Cultivar					Total
	CTC1	CTC2	UFRGS10	UFRGS14	UFRGS15	
Com	223	205	196	199	229	1052
Sem	172	196	175	201	204	948
Total	395	401	371	400	433	2000

14) Considere os dados seguintes de produção de cana de açúcar (ton/ha) de um experimento fatorial 3x2 (Tortas de filtros Olivier de 3 usinas diferentes e 2 níveis de adubo mineral) instalado num delineamento em blocos casualizados com 4 repetições.

	Adubo		Com			Sem	
	Torta	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Bloco	1	20.6	16.2	21.0	18.0	19.6	18.0
	2	21.0	16.6	21.6	8.6	15.0	18.5
	3	18.6	15.4	20.0	9.4	14.6	16.0
	4	20.6	17.2	22.4	11.4	15.8	21.8

Faça uma análise de variância desses dados, utilizando um nível de significância $\alpha = 5\%$. Utilize o teste de Tukey ($\alpha = 5\%$), se você precisar fazer comparações de médias. Na resolução do exercício inclua toda informação importante que julgar necessário.

15) Em um estudo de preservação da qualidade de ovos a 25°C (medida em *unidades Haugh*, que é uma relação entre o peso do ovo e a altura do albúmen após a libertação do conteúdo em um prato plano) foram comparadas duas linhagens (A, geneticamente selecionada para ovos de longa duração, e B, linhagem comercial) e quatro tempos de estocagem (7, 14, 21 e 28 dias). Diante disso, temos um delineamento inteiramente casualizado com os tratamentos em um esquema fatorial 2x4, com cinco repetições cada. Os resultados são apresentados a seguir, na Tabela 1.

Tabela 1. Qualidade do ovo (*unidades Haugh*) segundo a linhagem e tempo de estocagem

Linhagem	Tempo (dias)			
	7	14	21	28
A	86	88	82	78
	85	83	76	72
	92	86	81	74
	92	81	77	70
	90	87	84	76
B	82	67	69	60
	78	74	67	59
	77	71	61	56
	81	76	65	61
	72	72	68	54

Pede-se:

- i) Descrever o modelo utilizado na análise.
- ii) Construir o quadro de análise de variância e testar as hipóteses convenientes. Calcular o coeficiente de variação e comentar sobre o seu valor.
- iii) Realize um estudo de regressão para estudar o comportamento da qualidade dos ovos ao longo do tempo.

16) Planeje um experimento (croqui, distribuição dos tratamentos *etc.*) utilizando um delineamento inteiramente casualizado com $n = 4$ repetições por tratamento, em que se pretende avaliar o ganho de peso de frangos de corte de mesma linhagem, submetidos a três níveis de energia (E1, E2 e E3) e três níveis de proteína (P1, P2 e P3). Admita ainda que o esquema envolvendo os tratamentos foi um fatorial 3x3. A seguir responda: Sob que condições nós poderíamos comparar os valores médios dos três níveis de energia ignorando-se o efeito dos níveis de proteína?

Capítulo VI – Uso de regressão na ANOVA

17) Em um estudo de preservação da qualidade de ovos a 25°C (medida em *unidades Haug*, que é uma relação entre o peso do ovo e a altura do albúmen após a libertação do conteúdo em um prato plano) foram comparadas duas linhagens (A: geneticamente selecionada para ovos de longa duração e B: linhagem comercial) e quatro tempos de estocagem (7, 14, 21 e 28 dias). Diante disso temos um delineamento inteiramente casualizado com os tratamentos em um esquema fatorial 2x4 com cinco repetições cada. Os resultados são apresentados a seguir na Tabela 1.

Tabela 1. Qualidade do ovo (*unidades Haugh*) segundo a linhagem e tempo de estocagem

Linhagem	Rep	Tempo (dias)			
		7	14	21	28
A	1	86	88	82	78
	2	85	83	76	72
	3	92	86	81	74
	4	92	81	77	70
	5	90	87	84	76
B	1	82	67	69	60
	2	78	74	67	59
	3	77	71	61	56
	4	81	76	65	61
	5	72	72	68	54

Pede-se:

- a) Apresentar o modelo matemático utilizado na análise do experimento fatorial 2x4 em um delineamento inteiramente casualizado.
- b) Construir o quadro de análise de variância e testar as hipóteses convenientes. Calcular o coeficiente de variação e comentar sobre o seu valor.
- c) Se a interação resultar significativa proceder ao seu desdobramento com o intuito de comparar as médias das duas linhagens em cada um dos tempos.
- d) Se a interação resultar não significativa ajuste uma reta de regressão para estudar o comportamento da qualidade dos ovos ao longo do tempo.

Capítulo VII – Experimento em Parcelas Subdivididas

18) Os dados apresentados a seguir referem-se ao brix de frutos de 5 variedades de manga, colhidos de 3 pés por variedade (delineamento inteiramente casualizado). De cada pé colheram-se 4 frutos, um de cada um dos pontos cardeais. Considere este experimento como em parcelas subdivididas onde cada mangueira é uma parcela e as faces de cada mangueira são as subparcelas, correspondendo aos quatro pontos cardeais.

Variedade	Ponto cardinal				Total
	Norte	Sul	Leste	Oeste	
Carlota	18,0	17,1	17,6	17,6	70,3
	17,5	18,8	18,1	17,2	71,6
	17,8	16,9	17,6	16,5	68,8
Extrema	16,3	15,9	16,5	18,3	67,0
	16,6	14,3	16,3	17,5	64,7
	15,0	14,0	15,9	15,2	60,1
Oliveira	16,0	16,2	17,9	16,1	66,2
	19,5	14,9	15,0	15,3	64,7
	16,3	16,4	16,0	16,4	65,1
Bourbon	16,6	15,2	14,2	15,5	61,5
	15,9	13,2	18,0	17,3	64,4
	17,5	15,8	16,7	18,4	68,4
Imperial	18,9	18,6	15,3	17,0	69,8
	18,5	13,7	18,2	18,3	68,7
	21,5	16,4	18,3	16,6	72,8
Total	261,9	237,4	251,6	253,2	1004,1

Faça uma análise estatística completa dos dados, sabendo-se que $SQ_{Total} = 137,58$.

19) Para avaliar o efeito de diferentes dosagens de nitrogênio no desenvolvimento de duas espécies de capins, planejou-se um experimento em parcelas subdivididas num delineamento casualizado em blocos, com 4 repetições. No planejamento utilizaram-se como tratamento aplicado às parcelas (tratamento primário) as espécies de capim (C1 e C2) e como tratamento aplicado às subparcelas (tratamento secundário) as doses de nitrogênio (0, 25, 50 e 75 kg/ha). Os dados de produção de matéria verde (ton/ha) possibilitaram calcular $SQ_{Total} = 1509.218750$ e construir as seguintes tabelas auxiliares de totais e de médias:

Médias de PMV por Capim e por Bloco					
Capim	Bloco				Geral
	I	II	III	IV	
C1	62.25	63.25	60.50	61.50	61.88
C2	52.50	48.50	53.75	51.00	51.44
Geral	57.38	55.88	57.13	56.25	56.66

Médias de PMV por Capim e por Dose de nitrogênio					
Capim	Dose (kg/ha)				Geral
	0	25	50	75	
C1	60.00	60.00	63.00	64.50	61.88
C2	55.50	48.00	46.50	55.75	51.44
Todos	57.75	54.00	54.75	60.13	56.66

Com o objetivo de escolher a espécie de capim e a dose de nitrogênio que resultem numa maior produção de matéria verde, realize uma análise estatística completa e discuta os resultados de forma clara. Se você julgar necessário construa gráficos e tabelas para apresentar os resultados importantes e auxiliar nas discussões.

20) Considere os dados de um experimento em parcelas subdivididas em um delineamento casualizado em blocos, assumindo que os adubos verdes (Feijão guandu, Soja perene, Mucuna preta e Feijão de porco) são os tratamentos principais (aplicados às parcelas) e os anos (2009 e 2010) são os tratamentos secundários (aplicados às subparcelas). As produções de matéria verde, em kg, constam do quadro seguinte:

Bloco	Feijão guandu		Soja perene		Mucuna preta		Feijão de porco	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
1	322	335	887	866	491	836	525	890
2	331	338	869	902	686	912	443	839
3	350	334	771	942	554	789	567	724
4	338	427	817	823	615	915	525	833

- Faça a análise dos dados e comente sobre os seus resultados. Calcule também a média geral e os coeficientes de variação (comente sobre o valor dos CV's)
- Se a interação resultar significativa faça o seu desdobramento com o intuito de verificar se a produção de matéria verde aumentou no período, para cada um dos adubos.