PAL
LEN/LEO
B

UNIVERSIDADE DO PORTO

FACULDADE DE PSICOLOGIA E CIENCIAS DA EDUCAÇÃO

13/A

ANALISE DE VARIANCIA UNIFACTORIAL

(AULA PRATICA)

Leonor Mendes de Freitas de Queiroz e Lencastre

Relatório apresentado para efeitos do disposto no nº 1 do artº. 58º do Decreto-Lei nº 448/79 de 13 de Novembro.

Porto, Outubro de 1986

ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO

Este relatório refere-se a uma aula prática da disciplina Estatística Aplicada à Psicologia. Trata-se da primeira aula da unidade de aprendizagem[1] - ANALISE DE VARIANCIA-, para a qual se prevêm duas aulas.

I.1. A DISCIPLINA DE ESTATÍSTICA APLICADA À PSICOLOGIA

É uma disciplina do 1º ano do ciclo básico, do plano de estudos da licenciatura em Psicologia. É anual, sendo-lhe dedicadas 6 horas semanais, 4 das quais para aulas práticas (de duas horas cada).

Com esta disciplina pretende-se proporcionar aos futuros profissionais de psicologia, a aprendizagem de variadas técnicas e métodos estatísticos, a que poderão recorrer a quando da realização dos seus próprios estudos experimentais, bem como a aprendizagem de toda uma forma de pensar, com um vocabulário e linguagem muito próprios. A utilização da Estatística no domínio das Ciências do Comportamento, é cada vez maior, constituindo um importante meio de formar e de comunicar conhecimentos.

(1) Entende-se por unidade de aprendizagem um conjunto de lições sobre um tema específico do conteúdo programático, e que apresentam uma continuidade temática.

Nas actividades de investigação, a utilização da Estatística permite: a descrição dos dados de forma mais exacta; uma maior objectividade por parte do investigador relativamente às ideias a testar e ao procedimento a utilizar; sumarizar resultados de forma clara e com significado; tirar conclusões gerais da análise realizada; predizer sobre a ocorrência de um facto sob condições conhecidas e medidas; e analisar alguns factores causais subjacentes a acontecimentos complexos. Por outro lado, e na medida em que os profissionais de psicologia utilizam com muita frequência na sua prática instrumentos técnicos como os testes, daí ocorre a necessidade de uns certos conhecimentos estatísticos para a sua construção, administração e interpretação dos seus resultados.

Esta disciplina apresenta uma certa ligação com outras do plano de estudos da licenciatura em Psicologia, muito particularmente com a disciplina de Métodos de Observação Psicológica, que também faz parte do 1º ano dessa licenciatura.[1]

1.1.1. CONTEUDOS PROGRAMATICOS

O programa desta disciplina (ver anexo 1) divide-se em quatro grandes secções. Numa primeira parte abordam-se os principais procedimentos estatísticos utilizados na descrição e sumarização de informação sobre as características das amostras. Grandes massas de dados necessitam geralmente de sofrer um processo de sumarização e redução antes de serem interpretadas, por se

(1) O esclarecimento atempado do programa e conceitos básicos da dsiciplina de Métodos de Observação Psicológica é fundamental, para se evitarem possíveis sobreposições de conteúdo com a disciplina de Estatística Aplicada à Psicologia e para se conseguir uma boa articulação entre as duas.

tornar difícil a absorção de toda a informação que veiculam. Calculando medidas como médias, desvios padrões, coeficientes de assimetria, de curtose e de correlação, torna-se possível a redução dos dados a proporções manuseáveis.

Na segunda parte e sob o tema Estatística Inferencial, referem-se alguns procedimentos estatísticos (a regressão e a predição, a estimativa de parâmetros, os testes de significância paramétricos e não paramétricos, e a análise de variância) utilizados na obtenção de inferências sobre as características das populações, tendo em conta as propriedades particulares de amostras retiradas dessas populações. Baseados na teoria das probabilidades (abordada na primeira parte do programa) estes procedimentos determinam a probabilidade com que as estatísticas obtidas para as amostras representam características de populações -parâmetros. A este ramo da Estatística é atribuída uma grande importância, dado que regra geral nos estudos experimentais é impossível a utilização de toda a população, quer por ela ser muito grande, quer por ser de difícil definição.

Dada a importância dos testes na Psicologia e na Educação, a terceira parte do programa é dedicada ao estudo das principais medidas de análise das características dos items que compõem um teste (a dificuldade e a validade), e das características do teste em si (a fiabilidade e a validade).

Finalmente numa última parte são abordadas algumas estatísticas multivariadas (correlação parcial e múltipla, regressão múltipla, análise de covariância, e análise factorial).[1]

I.1.2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA GERAL DAS AULAS PRATICAS

Pretende-se que os alunos compreendam e relacionem um conjunto de conceitos fundamentais com vista à aplicação das técnicas e métodos estatísticos mais utilizados na Psicologia, Ciências Sociais e da Educação. Tais conhecimentos são essencialmente veiculados nas aulas teóricas e retomadas na sua essência nas aulas práticas, onde se acentuam questões sobre a sua aplicação.

A motivação dos alunos (ligação com a realidade profissional do psicólogo) não é esquecida, já que grande parte dos exercícios de aplicação, analisados nas aulas práticas, correspondem a situações típicas de algumas experiências realizadas em Psicologia.

(1) A decisão de dividir o programa nestas quatro secções, bem como dos assuntos a integrar em cada uma, foi tomada a partir da análise da forma como alguns autores abordam a Estatística Psicológica.

Num estudo cuidado da bibliografia dedicada a esse tema, depara-se com uma grande variedade de propostas. Existem, no entanto, duas grandes àreas da Estatística Psicológica, mencionadas por quase todos os autores -a Estatística Descritiva e a Estatística Inferencial, variando contudo, os assuntos nelas focados. D'Hainaut (1975) por exemplo, prefere tratar o tema "correlação" (linear, especial e múltipla) inserido na Estatística Inferencial. Já Guilford e Fruchter (1978) referem-se à correlação linear dentro da Estatística Descritiva, abordando os métodos especiais de correlação e a correlação múltipla numa secção à parte a que denominam -Relações e Predições.

Blalock Jr. (1979) sugere a existência de três grandes áreas: Estatísticas Descritivas; Estatísticas Indutivas; e Estatísticas Bivariadas e Multivariadas, apresentando nesta última os testes de significância paramétricos e não paramétricos, a análise de variância, a correlação (linear, especial e múltipla), a regressão, bem como a análise de covariância.

Ferguson (1981) apresenta ainda uma outra proposta. Numa primeira secção -Estatística Básica- engloba as estatísticas descritivas e inferenciais. Cria depois uma segunda secção -Planeamento de Experiências- onde refere as análises de variância e de covariância. Numa terceira secção -Estatísticas Não Paramétricas- apresenta os testes de significância não paramétricos e finalmente numa quarta secção -Testes Psicológicos e Estatísticas Multivariadas- a estatística na construção dos testes, alguns métodos multivariados, a regressão múltipla e a análise factorial.

Pretende-se promover nos alunos uma atitude crítica relativamente a futuras tomadas de decisão sobre a condução das suas próprias experiências, prevenindo contra um abuso e/ou uso indiscriminado das várias técnicas existentes, infelizmente muito corrente mesmo em trabalhos "respeitáveis". Face às características de um conjunto de dados, e tendo em conta os objectivos à partida definidos, o aluno deverá saber optar correcta e conscientemente pela análise ou análises mais apropriadas, não se deixando influenciar pela facilidade com que a crescente sofisticação dos recursos de processamento de dados permite realizar um sem número de análises estatísticas.

Fundamentalmente, pretende-se que os alunos adquiram um "saber fazer", que completa o "saber" obtido nas aulas teóricas. Operacionalizando, no final do ano, os alunos devem ser capazes de:

1 - Ler com discernimento e capacidade crítica relatórios científicos, estudos, memorandos sobre investigações e experiências, dominando o vocabulário estatístico aí empregue (símbolos e conceitos).

2 - Aplicar fórmulas e planear operações de forma eficiente (capacidade de cálculo).

3 - Utilizar, na realização de análises estatísticas, uma máquina de calcular com teclas estatísticas e/ou programas de computador existentes.

4 - Planear os seus próprios estudos e analisar os resultados obtidos:

a) - efectuando uma amostragem correcta e identificando restrições e limites da representatividade de uma amostra.

b) - descrevendo conjuntos de dados através da sua distribuição e cálculo de estatísticas.

c) - escolhendo a ou as análises que mais se apropriam a uma dada situação.

d) - identificando a técnica estatística mais adequada com vista à realização da análise seleccionada

e) - conhecendo as limitações da técnica estatística escolhida.

f) - aplicando correctamente a técnica estatística escolhida (manejo do formulário; escolha e execução de programas de computador adequados; selecção e manuseamento das tabelas apropriadas).

g) - interpretando os resultados de forma correcta.

A metodologia utilizada nas aulas práticas, obedece em linhas gerais ao seguinte esquema:

1 - Síntese teórica, feita pelo docente, sobre a matéria que vai ser estudada nessa aula (retomando conhecimentos já veiculados nas aulas teóricas, e procurando questionar os alunos sobre a informação já adquirida), acompanhada de um exemplo ilustrativo.

2 - Os alunos em pequenos grupos realizam alguns exercícios de treino, de aplicação da matéria exposta na primeira parte da aula. O docente assume a supervisão desta actividade, esclarecendo pontos de dúvida e ajudando na sistematização e compreensão dos resultados obtidos, que são expostos oralmente por um aluno de cada grupo. (Os alunos realizam esta actividade utilizando máquinas de calcular).

3 - Os alunos ficam ao corrente das disponibilidades informáticas existentes na Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação, ao assitirem à execução, nos microcomputadores APPLE II e MACINTOSH, de programas existentes sobre a matéria em questão. Os alunos são informados sobre a forma como se trabalha com esses microcomputadores, sendo um deles que faz correr o programa, enquanto os outros acompanham a sua execução através do monitor.

4 - A avaliação formativa é feita com base na participação dos alunos nas aulas práticas. O conhecimento do conteúdo das aulas práticas, é avaliado pela forma como os alunos o aplicam a quando da realização dos exercícios práticos, e da exposição dos resultados obtidos. O docente observa se os alunos são capazes de realizar os comportamentos especificados nos objectivos de cada aula prática, fornecendo retroalimentação (feedback) imediata.

A avaliação sumativa é efectuada com base na média dos resultados que os alunos obtêm em duas frequências (uma a realizar no meio do ano lectivo e outra no fim) ou baseada nos resultados de um teste de avaliação (a realizar no final do ano lectivo). Cerca de 75% do conteúdo desses testes, diz respeito a exercícios de aplicação, idênticos aos estudados nas aulas práticas.

Esta metodologia é de certa forma avaliada, pela análise das respostas dos alunos a um questionário, anónimo, a preencher no final do ano e que versa essencialmente os aspectos considerados positivos e negativos, bem como sugestões de mudança (ver anexo 2).

II. RELATORIO DA AULA PRATICA SOBRE "ANALISE DE VARIANCIA UNIFACTORIAL"

II.1. INSERÇÃO DESTA AULA NO CONJUNTO DAS AULAS PRATICAS

Esta aula insere-se no último ponto -ANALISE DE VARIANCIA- abordado na segunda parte do programa desta disciplina. Dentro deste ponto é a primeira de uma série de duas aulas práticas -a primeira dedicada ao estudo do método de análise de varância unifactorial e a segunda ao método de análise de variância bifactorial.

Os alunos neste ponto do programa já devem ser capazes de determinar as principais estatísticas descritivas de uma amostra. Também já devem possuir ideias claras sobre os diferentes tipos de amostragem que é possível realizar, sendo capazes de estimar valores de parâmetros tendo em conta as características das amostras. Os alunos aprenderam a comparar as médias, e outras estatísticas de duas amostras, utilizando os testes de significância, para o caso de variáveis intervalares e que possuem uma distribuição normal. Desconhecendo o formato da distribuição em questão, e suspeitando que se afasta da normalidade, os alunos sabem que para comparar duas amostras devem utilizar os testes não paramétricos.

Nesta unidade temática, os alunos irão aprender procedimentos para comparar num só teste as médias de mais de duas amostras. Para o caso de existirem duas variáveis, sendo uma intervalar e outra nominal ou ordinal, propõe-se o método de análise de variância unifactorial. Se estão em questão três variáveis, duas das quais nominais ou ordinais e a terceira intervalar, o método sugerido é o da análise de variância bifactorial.

As aulas práticas apresentam assim, uma linha de seguimento temática, existindo entre elas uma grande interligação dos assuntos focados. Na prática, essa interligação traduz-se num apelo constante a conceitos já abordados.

II.2. OBJECTIVOS ESPECÍFICOS

Os objectivos específicos desta aula, inserem-se nos objectivos mais globais, já enunciados. No fim dela, os alunos devem ser capazes de:

1 - Explicar em que consiste o método de análise de variância, descrevendo os seus princípios básicos.

2 - Identificar e descrever situações em que a análise estatística mais apropriada é o método de análise de variância.

3 - Justificar o porquê da aplicação do método de análise de variância a uma dada situação, enumerando os objectivos e as suposições básicas deste método.

4 - Exemplificar planos experimentais a que mais se adeque a análise de variância unifactorial.

5 - Aplicar correctamente o método de análise de varância unifactorial:

a) - calculando as somas dos quadrados dos desvios dentro dos grupos e entre grupos, pela aplicação das respectivas fórmulas computacionais

b) - calculando os graus de liberdade associados com cada uma das somas dos quadrados dos desvios

c) - obtendo as estimativas das varâncias: $\hat{\sigma}^2_W$ e $\hat{\sigma}^2_B$

d) - calculando a razão F

e) - concluindo da análise feita, uma vez formuladas as hipóteses nula e alternativa, pela consulta da tabela da distribuição F, sobre a validade de uma dessas hipóteses

II.3. CONTEUDO

II.3.1. INTRODUÇÃO

Em investigação é muito frequente a obtenção para uma mesma variável experimental de dois ou mais conjuntos de medidas, cada um para uma condição diferente dessa variável, com o objectivo de determinar se a diferença dos resultados obtidos para cada condição é ou não significativa (Guilford e Fruchter, 1978).

Recorrendo aos conhecimentos já adquiridos nesta disciplina, poderia sugerir-se que o método mais apropriado a aplicar para responder à questão levantada, seria, uma vez encontradas as médias para cada um dos conjuntos de resultados, o teste de significância da diferença de médias, a realizar tantas vezes quantos os pares de dois que se pudessem formar com a média de um determinado grupo e as médias de todos os outros.

Há no entanto um certo número de razões lógicas e estatísticas que levam a que se opte por um só teste compósito: a Análise de Variância[1] (Guilford e Fruchter, 1978). Em primeiro lugar, se na experiência em questão, se obtivesse um grande número de médias, a aplicação do teste de diferença de médias a cada um dos pares, seria um processo muito trabalhoso e moroso. E, se realizados os testes de significância para todos os pares, não se obtivesse nenhuma diferença significativa, poderia pensar-se ser desejável a realização de um só teste global, pois nesse caso todas as diferenças seriam consideradas simultâneamente. O teste que se propõe, é de tal natureza, que se pode concluir se a distribuição de todas as estatísticas obtidas nas amostras, se poderia ou não atribuir ao acaso. Há ainda outro facto, que leva a tratar todas as estatísticas simultâneamente. Ao realizar-se um teste de significância, para se estimar a variância da população, utilizam-se apenas os dados das duas amostras envolvidas, ao passo que num teste global utilizam-se todos os dados, obtendo-se uma estimativa mais estável da variância da população.

(1) Fisher (1925) foi o principal responsável pelo desenvolvimento desta técnica.

A análise de variância, é um método estatístico que se utiliza quando o objectivo é o estudo da relação entre variáveis. No planeamento (design) de experiências mais simples a que este método se aplica, aparecem duas variáveis: uma independente (que frequentemente é do tipo nominal, mas pode também ser ordinal) e outra dependente (com muita frequência intervalar/proporcional[1]) (Blalock Jr.,1979). A experiência a realizar, poderia ser por exemplo a comparação dos resultados de três métodos de ensino de uma mesma matéria, obtidos num teste de avaliação no final do período de instrução, com o objectivo de determinar se um bom resultado no teste de avaliação dependia do método de ensino. Os três métodos de ensino são as categorias da variável independente, sendo controladas pelo investigador, uma vez que é ele que decide que métodos testar. No caso da existência de uma variável ordinal subjacente à classificação (como por exemplo: três métodos de ensino que variam essencialmente no grau de interacção do professor com os alunos) não se utiliza o termo categoria mas sim nível (representando cada método um nível de interacção diferente e gradativo). As notas obtidas no teste de avaliação constituem a variável dependente.

Existem planeamentos experimentais mais complicados, em que estão em causa duas variáveis independentes. Experiências que investigam simultâneamente o efeito de duas variáveis independentes, sobre uma variável dependente, são designadas experiências bifactoriais, e é-lhes aplicado o método da análise de variância bifactorial[2] (Ferguson, 1981) (a estudar numa segunda aula desta unidade temática).

(1) Se a variável dependente não fôr intervalar/proporcional, mas sim ordinal, deve aplicar-se um teste de análise de variância não paramétrico, como é o de Kruskal-Wallis (D'Hainaut, 1975; Blalock Jr.,1979). A análise de variância não paramétrica é um assunto que não consta do programa desta disciplina, por uma simples questão de exiguidade de tempo.

(2) Uma das grandes vantagens da aplicação do método de análise de variância bifactorial é a de fornecer informação sobre a interacção entre as variáveis independentes.

Às variáveis independentes costuma chamar-se factores, podendo cada factor possuir duas ou mais categorias (no caso do factor ser uma variável nominal) ou níveis (no caso de se tratar de uma variável ordinal).

No planeamento da experiência sobre a comparação dos resultados de três métodos de ensino (variável nominal), o investigador deve escolher quais os métodos que vão ser comparados (categorias da variável independente), distribuir os sujeitos aleatóriamente pelas diferentes categorias, e decidir o teste de avaliação a aplicar para avaliar a aprendizagem dos sujeitos (Ferguson, 1981).

De uma maneira geral, para o desenvolvimento do planeamento de uma experiência a que se quer aplicar o método de análise de variância, o investigador deve (Ferguson, 1981):

1 - seleccionar as categorias (se a variável é nominal) ou níveis (se a variável é ordinal) da variável ou variáveis independentes, que vão ser comparadas.

2 - seleccionar os sujeitos para a experiência, definindo regras para a sua distribuição pelas diferentes categorias ou níveis.

3 - especificar as observações ou medidas a obter para cada sujeito.

II.3.2. NATUREZA E OBJECTIVOS DA ANALISE DE VARIANCIA

A análise de variância é um método que divide a variação observada num conjunto de dados experimentais, em partes diferentes, sendo cada parte atribuível a uma causa ou factor conhecido (Ferguson, 1981).

Ao definir-se a variância como o quadrado do desvio padrão da variável x:

$$s_x^2$$

a análise de variância não divide esta variância em partes aditivas, mas sim a soma dos quadrados dos desvios (o numerador da variância):

$$\sum(x_i - \bar{x}.)^2$$

O princípio básico deste teste é o de determinar se as médias das amostras variam relativamente à média da população, mais do que se esperava, tendo em conta as variações de cada observação individual para a respectiva média da amostra (Guilford e Fruchter, 1978). Se não existe uma variação significativa entre as médias (se foram tiradas ao acaso da mesma população ou de populações com a mesma média), a estimativa da variância da população, obtida a partir das médias das amostras, deve ser essencialmente a mesma da que se obtém a partir das observações individuais. A estatística utilizada, para determinar a significância da diferença entre as estimativas das variâncias, é a estatística F, que é definida como a razão das variâncias.

II.3.3. SUPOSIÇÕES BASICAS DO MÉTODO DE ANALISE DE VARIANCIA

Como acontece com a grande maioria das estatísticas, as que aparecem envolvidas na análise de variância, também resultam de um raciocínio matemático. O desenvolvimento matemático do método de análise de variância, baseia-se num certo número de permissas.

Têm sido levantadas algumas questões sobre a natureza dessas suposições e a medida em que, a sua não verificação, pode levar à obtenção de inferências inválidas. Uma primeira suposição refere-se ao formato da distribuição da variável dependente na população: normal. (Em amostras grandes, a normalidade da distribuição pode ser testada utilizando um teste de ajustamento à hipótese do χ^2. Quando as amostras são pequenas, usualmente não é possível demonstrar rigorosamente a falta de normalidade. Pode dizer-se que a suposição da normalidade é credível ou seja, que é provável que se verifique. Na realidade, grande parte dos grupos de observações nas Ciências Físicas e Sociais, só possuem uma moda, têm uma grande proporção de valores centrais e poucos valores que se desviam muito desses valores centrais (Glass e Stanley, 1970)). A menos que exista uma forte razão para suspeitar da existência de um grande afastamento da distribuição normal, é provável que as conclusões obtidas sobre a estatística F, sejam válidas.(1) Sabe-se que o afastamento da normalidade, faz parecer os resultados mais significativos do que na realidade são. Consequentemente, se se supõe a existência de um grande afastamento da normalidade, para se obterem conclusões sobre a estatística F, deve utilizar-se um nível de confiança superior ao habitualmente usado (Ferguson, 1981).

Outra suposição do método de análise de variância é a de que as variâncias das populações de onde se tiraram as amostras, são iguais.(2) No caso da existência de pequenas diferenças nos valores das variâncias das amostras, as inferências realizadas não são afectadas sériamente (Guilford e Fruchter, 1978). Existindo, no entanto, uma grande heterogeneidade nesses valores, deve proceder-se a transformações das variáveis, para a obtenção de uma maior uniformidade da variância (Ferguson, 1981). As transformações mais utilizadas são:

(1) A estatística F é pouco sensível às variações do formato da distribuição na população. Este facto é consistente com o princípio de que as distribuições amostrais das médias se aproximam da normalidade mesmo que as populações de onde se tiraram as amostras não sejam normais (Guilford e Fruchter, 1978).

(2) Para mais informação sobre os testes a utilizar na determinação da homogeneidade da variância deve consultar-se: Winer (1971).

- a raíz quadrada ($\sqrt{x}$), que se deve aplicar quando as variâncias são proporcionais às médias, ou seja:

$$\frac{s_i^2}{\overline{x}_i} = c$$

em que c é uma constante

- o logaritmo (logx), que se deve aplicar quando as variâncias são proporcionais ao quadrado das médias, ou seja:

$$\frac{s_i^2}{\overline{x}_i^2} = c$$

em que c é uma constante

- o recíproco (1/x), que se deve aplicar quando os desvios padrões e não as variâncias são proporcionais aos quadrados das médias, ou seja:

$$\frac{s_i}{\overline{x}_i^2} = c$$

em que c é uma constante

- arco do seno (arcsen $\sqrt{x}$) em que cada observação é substituida por um ângulo cujo seno é a raíz quadrada da observação original, e se deve aplicar quando os dados são do tipo de percentagens ou proporções, e as suas médias e variâncias obedecem a uma relação do tipo:

$$s_i^2 = \overline{x}_i(1 - \overline{x}_i)$$

Estas transformações, aplicadas aos casos adequados, geralmente provocam uma maior aproximação à distribuição normal.

Outra permissa é a de que os efeitos dos vários factores na variação total, são aditivos. O modelo básico subjacente à análise de variância é o de que uma dada observação pode ser dividida em partes aditivas e independentes, sendo cada parte o resultado de uma causa identificável. Na maioria das situações não há razão para duvidar da validade deste modelo (Guilford e Fruchter, 1978; Ferguson, 1981).

Finalmente, supõe-se ainda que as diferentes amostras são independentes, ou seja, que entre os vários grupos a correlação é igual a zero (Glass e Stanley, 1970; D'Hainaut, 1975). (Essa independência pode conseguir-se distribuindo as observações pelos diferentes grupos de forma aleatória e, nos casos em que um mesmo grupo é submetido a vários testes, aleatorizando a ordem pela qual os testes irão ser aplicados a cada sujeito (Ferguson, 1981)).[1]

Na maioria dos casos, as suposições subjacentes à análise de variância não são satisfeitas na totalidade, pois os dados brutos das experiências não exibem muitas vezes as características que os modelos matemáticos requerem. Mas uma das grandes vantagens da análise de variância é a de que afastamentos razoáveis das suposições sobre a normalidade e a heterogeneidade das variâncias (desde que as amostras tenham o mesmo número de elementos) não põem em causa as inferências realizadas (Ferguson, 1981; Glass e Stanley, 1970).

II.3.4. A ANALISE DE VARIANCIA UNIFACTORIAL

Este é o caso mais simples da análise de variância e aplica-se quando se pretende determinar a significância da diferença de um conjunto de médias (mais de duas),ou seja, verificar se os resultados obtidos numa variável -dependente-, dependem de uma outra variável -independente.

Suponha-se por exemplo o caso da análise do efeito de 3 métodos de ensino de uma mesma matéria, nos resultados de um teste de avaliação realizado, no final do período de instrução (a variável independente é o método de ensino e a

(1) Estas aleatorizações têm por objectivo anular possíveis erros sistemáticos nos dados experimentais, devidos à existência de variáveis externas correlacionadas com a variável dependente. Quando não é possível controlar essas variáveis externas (devido às condições práticas do estudo experimental), o seu efeito pode ser anulado utilizando, em vez da técnica experimental da aleatorização, um método estatístico específico -a Análise de Covariância- (Ferguson, 1981; Blalock Jr., 1979; Edwards, 1972), que será alvo de estudo num dos últimos pontos do programa.

dependente o resultado no teste de avaliação). Os resultados podem apresentar-se num quadro com 3 colunas:

MÉTODO I	MÉTODO II	MÉTODO III

devendo cada uma delas ser representada por um grupo diferente de sujeitos (grupos independentes), que devem ser seleccionados aleatoriamente.

Obtendo-se diferenças significativas entre as médias destes 3 grupos, essas diferenças podem ser atribuídas à variável Método de Ensino. Para se obter esta conclusão deve calcular-se a estatística F do método de análise de variância unifactorial e testar a sua significância.

II.3.4.1. NOTAÇÃO DA ANALISE DE VARIANCIA UNIFACTORIAL

Considerando uma experiência que envolve k grupos diferentes (cada grupo para uma categoria (nível) da variável nominal A), o número de elementos de cada grupo designa-se por n_1; n_2;......; n_k, e o número total de elementos é $n_1+n_2+......+n_k = N$. Os dados podem representar-se da seguinte maneira:

	A_1	A_2	...	A_k	Total
	x_{11}	x_{12}	...	x_{1k}	
	x_{21}	x_{22}	...	x_{2k}	
	x_{31}	x_{32}	...	x_{3k}	
	...	...	...	...	
	$x_{n_1 1}$	$x_{n_2 2}$	...	$x_{n_3 k}$	
Nº de casos	n_1	n_2	...	n_k	N
Somas	$\sum_{i=1}^{n_1} x_{i1}$	$\sum_{i=1}^{n_2} x_{i2}$	...	$\sum_{i=1}^{n_3} x_{i3}$	$\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{j=1}^{k} x_{ij}$
Médias	$\overline{x}_{.1}$	$\overline{x}_{.2}$	...	$\overline{x}_{.k}$	$\overline{x}_{..}$

Como se pode ver, para representar um elemento utiliza-se um sistema de índices duplos, em que o primeiro identifica o membro do grupo e o segundo o grupo: x_{ij} identifica o elemento i do grupo j. Assim x_{21} representa o segundo elemento do primeiro grupo. A soma dos resultados do grupo j representa-se por:

$$\sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}$$

A média do grupo j representa-se por:

$$\overline{x}_{.j}$$

referindo-se o símbolo:

$$\overline{x}_{.1}$$

à média do grupo 1.[1] A média de todas as observações representa-se pelo símbolo:

$$\overline{x}_{..}$$

(1) A convenção é utilizar o ponto (.) para indicar o subscrito da variável a que se refere a soma. Neste caso todos os elementos do grupo 1.

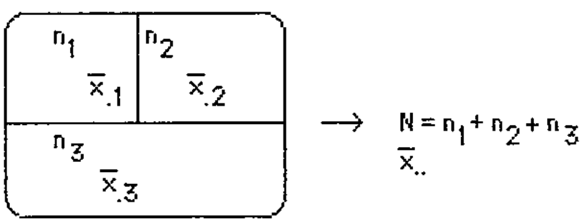
II.3.4.2. DIVISÃO DA SOMA DOS QUADRADOS (Ferguson, 1981; Blalock Jr., 1979)

Como já se referiu, o procedimento básico do método de análise de variância consiste em dividir a variação (e não a variância) observada nos dados experimentais, em diferentes partes, sendo cada uma atribuída a um factor conhecido.

A variação total dos dados representa-se pela soma dos quadrados dos desvios de todas as observações para a média total:

$$\sum (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$$

Esquematicamente, supondo a existência de três grupos com n_1, n_2, e n_3 número de elementos cada, e respectivamente com médias: $\bar{x}_{.1}, \bar{x}_{.2}$ e $\bar{x}_{.3}$ formando um grande grupo com N elementos e média: $\bar{x}_{..}$



a variação total consiste na soma dos quadrados dos desvios de cada elemento dos N do grande grupo para a média total do grande grupo: $\bar{x}_{..}$

Ora matemáticamente poderá dizer-se que:

$$x_{ij} - \bar{x}_{..} = (x_{ij} - \bar{x}_{.j}) + (\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})$$

pois a única operação que se faz é subtrair e imediatamente a seguir somar a mesma quantidade: $\bar{x}_{.j}$

Assim, a diferença de um resultado individual x_{ij} para a média total: $\bar{x}_{..}$ aparece como a soma de duas quantidades: a diferença desse resultado para a média do grupo a que pertence, e a diferença da média desse grupo para a média total:

$$\text{Resultado Individual} - \text{Média Total} = \left(\text{Resultado Individual} - \text{Média do Grupo}\right) + \left(\text{Média do Grupo} - \text{Média Total}\right)$$

Elevando ao quadrado ambos os membros da equação:

$$x_{ij} - \bar{x}_{..} = (x_{ij} - \bar{x}_{.j}) + (\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})$$

obtém-se:

$$(x_{ij} - \bar{x}_{.})^2 = (x_{ij} - \bar{x}_{.j})^2 + 2\,(x_{ij} - \bar{x}_{.j})\,(\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..}) + (\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2$$

Somando membro a membro as igualdades encontradas para todos os elementos do grupo j obtém-se:

$$\sum_{i=1}^{n_j}(x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = \sum_{i=1}^{n_j}(x_{ij} - \bar{x}_{.j})^2 + 2\sum_{i=1}^{n_j}(x_{ij} - \bar{x}_{.j})\sum_{i=1}^{n_j}(\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..}) + \sum_{i=1}^{n_j}(\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2$$

e verifica-se que o segundo termo do segundo membro desaparece pois:

$$\sum_{i=1}^{n_j}(x_{ij} - \bar{x}_{.j}) = 0$$

(segundo a propriedade da média que diz que a soma dos desvios de todos os elementos de uma amostra para a sua média é zero) e, o último termo do segundo membro pode ser substituído por:

$$n_j\,(\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2$$

pois não significa nada mais do que a soma da constante: $(\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2$ n_j vezes.

Assim, esta igualdade pode ser substituída por:

$$\sum_{i=1}^{n_j}(x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 = \sum_{i=1}^{n_j}(x_{ij} - \bar{x}_{.j})^2 + n_j\,(\bar{x}_{.j} - \bar{x}_{..})^2$$

Somando membro a membro as equações que se obtêm para os k grupos, chega-se à igualdade:

$$\underbrace{\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j}(x_{ij}-\bar{x}_{..})^2}_{SS_T}=\underbrace{\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j}(x_{ij}-\bar{x}_{.j})^2}_{SS_W}+\underbrace{\sum_{j=1}^{k}n_j(\bar{x}_{.j}-\bar{x}_{..})^2}_{SS_B}$$

(o duplo somatório significa a soma de todos os elementos de todos os grupos)

O termo da esquerda é a soma total dos quadrados dos desvios $-SS_T-$(1): a soma dos quadrados dos desvios de todas as observações para a média total. O primeiro termo da direita é a soma dos quadrados dos desvios dentro dos grupos - SS_W - (2): a soma dos quadrados dos desvios dos elementos dos grupos para as médias dos respectivos grupos. O segundo termo da direita é a soma dos quadrados dos desvios entre grupos - SS_B - (3): a soma dos quadrados dos desvios das médias de cada grupo para a média total, sendo cada termo:

$$(\bar{x}_{.j}-\bar{x}_{..})^2$$

multiplicado pelo número de elementos do grupo - nj. Assim, a soma total dos quadrados dos desvios é dividida em duas partes aditivas e independentes.

Às somas dos quadrados dos desvios dentro e entre grupos, também se pode chamar respectivamente variação não explicável e explicável. A variação dentro dos grupos diz-se não explicável por se referir à variação que não é tida em conta pela variável nominal, variação devida por exemplo a flutuações da amostragem. Na realidade, se dentro de uma categoria, existe uma certa variação para a média do respectivo grupo, essa variação não se poderá atribuir à categoria.

(1) Do Inglês "Total Sum of Squares" - SS_T.

(2) Do Inglês "Sum of Squares Within groups" - SS_W.

(3) Do Inglês "Sum of Squares Between groups" - SS_B.

Se as médias das categorias diferem consideràvelmente entre si, uma fracção relativamente grande da variação total poderá ser atribuida às diferenças entre as várias categorias (variável independente). No caso extremo das categorias serem completamente homogéneas, a soma dos quadrados dos desvios dentro dos grupos seria igual a zero e toda a variação poderia ser atribuida à variável independente.

II.3.4.3. ESTIMATIVAS DAS VARIANCIAS OU QUADRADOS MÉDIOS (Ferguson, 1981; Blalock Jr., 1979).

Para se obter a estatística F, objectivo final deste método de análise de variância, devem encontrar-se as estimativas das variâncias dentro e entre os grupos, respectivamente:

$$\hat{\sigma}_W^2 \quad e \quad \hat{\sigma}_B^2$$

uma vez que essa estatística consiste na razão:

$$F=\frac{\hat{\sigma}_B^2}{\hat{\sigma}_W^2}$$

Para se encontrar o valor dessas estimativas a que muitas vezes se chama quadrados médios, deverá dividir-se a soma dos quadrados dos desvios pelos graus de liberdade que lhe estão associados. De facto, cada soma dos quadrados dos desvios tem associado um certo número de graus de liberdade.(1)

(1) Lembra-se que o número de graus de liberdade é igual ao número de valores aleatórios menos o número de relações independentes, que unem esses valores.

A soma total dos quadrados possui $N-1$ graus de liberdade, pois há N valores aleatórios e perde-se um grau de liberdade ao se efectuarem os desvios para a média total. Assim, dos desvios há $N-1$ livres de variar.

O número de graus de liberdade associados à soma dos quadrados dos desvios dentro dos grupos é igual a:

$$(n_1-1)+(n_2-1)+\cdots+(n_k-1)=\sum_{j=1}^{k} n_j - k = N-k$$

cada grupo possuindo $n_j - 1$ graus de liberdade, pois no cálculo dos desvios das observações de um grupo para a média do grupo, perde-se 1 grau de liberdade.

O número de graus de liberdade associado com a soma dos quadrados dos desvios entre grupos é igual a: $k-1$. Os valores aleatórios são as k médias, perdendo-se 1 grau de liberdade ao calcular os desvios das médias dos grupos para a média total.

Tal como acontece com as somas dos quadrados dos desvios, os graus de liberdade que lhes estão associados, também são aditivos:

$$N-1 = (N-k)+(k-1)$$

As estimativas das variâncias são então:

$$\hat{\sigma}_W^2 = \frac{\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n_j}(x_{ij}-\bar{x}_{.j})^2}{N-k} \qquad \text{e} \qquad \hat{\sigma}_B^2 = \frac{\sum_{j=1}^{k} n_j(\bar{x}_{.j}-\bar{x}_{..})^2}{k-1}$$

II.3.4.4. DETERMINAÇÃO DO VALOR DE F E DA SUA SIGNIFICANCIA (Blalock Jr., 1979; D'Hainaut, 1975).

Uma vez calculada a razão F:

$$F = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_W^2}$$

resta testar a sua significância. Para isso utiliza-se uma tabela onde aparecem os valores críticos da distribuição F (ver anexo 3). Fornece valores significativos de F para os dois níveis de confiança mais utilizados: 95% e 99%. Para encontrar esses valores deve entrar-se na tabela com os números de graus de liberdade associados com o numerador e com o denominador de razão F. Compara-se então o valor de F obtido com o valor de F crítico para se saber se se deverá aceitar ou rejeitar a Hipótese Nula.

A Hipótese Nula supõe que os k grupos são amostras tiradas aleatóriamente da mesma população, normalmente distribuida, diferindo apenas por flutuações de amostragem. Deve portanto formular-se da seguinte maneira:

$$Ho: \{ \mu_1 = \mu_2 = \ldots = \mu_k \}$$

A Hipótese Alternativa diz que pelo menos uma das médias de um dos grupos é diferente das outras (não identificando essa ou essas médias).

Se o valor de F obtido é maior ou igual ao valor de F crítico deve rejeitar-se a Hipótese Nula e aceitar-se a Hipótese Alternativa.

Um F menor que 1 indica a existência de um grau de heterogeneidade, dentro das categorias da variável nominal, muito mais elevado, do que o que seria de esperar quando se recolhem amostras de forma aleatória. Significa que a variação dentro dos grupos é superior à variação entre grupos, não podendo por essa razão atribuir-se a variação à variável independente.

Se F é igual a 1, a variância das médias dos grupos não é superior à variância dentro dos grupos, ou seja, as médias dos grupos não diferem mais do que as diferenças individuais dentro dos grupos. Neste caso também não se pode atribuir a variação dos dados à variável independente.

Se as médias das populações de onde se tiraram as amostras diferem umas das outras, então, F deve apresentar um valor maior do que 1. Quanto mais superior a 1, maior a probabilidade das diferenças entre as médias dos grupos serem superiores à variação individual dentro dos grupos. Assim, só quando F é superior a 1, é que a tabela deve ser consultada, para se saber se essa superioridade é suficiente para se poder dizer que a variância entre grupos é significativamente superior à variância destro dos grupos, podendo atribuir-se então a variação à variável independente.

II.3.4.5. FORMULAS COMPUTACIONAIS (Ferguson, 1981)

Para o cálculo das somas dos quadrados dos desvios utilizam-se, por uma questão de simplificação, as seguintes fórmulas:

$$SS_T = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{N}$$

$$SS_W = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^{k} \left(\frac{T_j^2}{n_j}\right)$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^{k} \left(\frac{T_j^2}{n_j}\right) - \frac{T^2}{N}$$

e para o caso particular dos grupos possuirem o mesmo tamanho ($n_1 = n_2 = \ldots = n_k = n$):

$$SS_W = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \frac{\sum_{j=1}^{k} T_j^2}{n}$$

$$SS_B = \frac{\sum_{j=1}^{k} T_j^2}{n} - \frac{T^2}{N}$$

Em que:

N – número total de elementos
k – número de grupos
n_j – número de elementos do grupo j
x_{ij} – o elemento i do grupo j

$$T_j = \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}$$

$$T = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}$$

II.3.4.6. RESUMO DOS PRINCIPAIS PASSOS DO MÉTODO DE ANALISE DE VARIANCIA UNIFACTORIAL

1 – Calcular a soma dos quadrados dos desvios dentro dos grupos e entre grupos, aplicando as fórmulas computacionais.

2 – Calcular o número de graus de liberdade associado com cada uma dessas somas.

3 – Dividir cada uma das somas dos quadrados dos desvios, pelos respectivos graus de liberdade, para assim obter as estimativas das variâncias:

$$\hat{\sigma}_W^2 \quad e \quad \hat{\sigma}_B^2$$

4 - Calcular a razão:

$$F=\frac{\sigma_B^2}{\sigma_W^2}$$

5 - Consultar a tabela de distribuição F, comparando o valor obtido com o valor crítico, e tirar conclusões da análise efectuada com base na formulação das hipóteses nula e alternativa.

II.3.4.7. ESTIMATIVA DA "FORÇA" DE ASSOCIAÇÃO ENTRE VARIAVEIS (Ferguson, 1981; Blalock Jr., 1979; Guilford e Fruchter, 1978)

O teste de análise de variância unifactorial só permite determinar se existe ou não uma relação entre as duas variáveis: dependente e independente, mas não diz nada sobre a "força" ou grau dessa relação.

Uma vez determinada a significância estatística entre as médias dos grupos, é desejável estimar o grau de relação que existe entre as duas variáveis, pois ao dizer-se que existe uma relação entre elas por existir significância, corre-se o risco de se cometer um erro de tipo I (aceitar a Hipótese Alternativa quando a verdadeira é a Hipótese Nula), e na realidade a diferença entre as médias do grupo não ser significativa.

Uma das medidas que se pode utilizar para medir essa "força" de associação é a chamada razão de correlação:

$$\eta^2=\frac{SS_B}{SS_T} = 1 - \frac{SS_W}{SS_T}$$

O η^2 (eta quadrado) interpreta-se como a proporção da variação total (da variável dependente) que se pode atribuir à variável independente.

O η^2 é uma medida que se utiliza para descrever a relação entre duas variáveis intervalares/proporcionais quando as linhas de regressão não são lineares. Se uma variável é nominal e a outra intervalar/proporcional, a ideia de linearidade ou não linearidade não tem sentido. Sendo neste caso, a razão de correlação, uma medida da "força" de associação entre a variável nominal e a intervalar/proporcional.

O η^2 adiciona ao facto de existir uma associação entre as duas variáveis (admitida por se ter encontrado um valor de F significativo), uma estimativa da quantidade dessa associação.

II.3.4.8. EXEMPLO ILUSTRATIVO

Num determinado estudo, pretende-se determinar a influência do método de ensino na aprendizagem de uma determinada matéria. Escolheram-se três métodos de ensino: I -ensino magistral; II -curso programado com supervisão; III -curso programado em parte com supervisão e em parte ao domicílio. (Assim, a variável independente era nominal: Método de Ensino, apresentando três categorias).

Seleccionaram-se aleatóriamente três grupos de 15 sujeitos cada, e a cada um deles foi aplicado um dos três métodos de ensino (ao grupo I aplicou-se o método I, ao grupo II o método II e ao grupo III o método III).

No final do período de instrução aplicou-se a todos os sujeitos um teste para avaliar os seus conhecimentos sobre a matéria ensinada. Nesse teste os alunos eram classificados numa escala de 0 a 20. (A variável dependente era assim do tipo intervalar/proporcional).

Os resultados obtidos pelos alunos de cada grupo foram os seguintes[1]:

GRUPO I	GRUPO II	GRUPO III
10	16	14
14	14	13
8	12	15
12	19	10
7	16	15
11	14	13
10	15	15
9	17	14
10	14	9
12	10	14
13	13	16
11	11	14
11	12	9
12	16	13
9	11	17

Dado o objectivo experimental -comparar os resultados dos três grupos para ver se existem diferenças significativas entre eles- e as características das variáveis em questão -uma nominal e outra intervalar- a análise efectua-se utilizando o método da análise de variância unifactorial. (Para utilizar este método supõe-se a normalidade de distribuição da variável dependente e a homogeneidade das variâncias das populações de onde foram retiradas as amostras (ver ponto II.3.3. na pág. 13).

A Hipótese Nula, formula-se da seguinte maneira:

$$H_0 : \{ \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \}$$

(as médias das populações de onde foram retiradas as amostras são iguais).

(1) Este estudo experimental (planeamento e resultados) é fictício.

A Hipótese Alternativa é:

H_1 : { pelo menos uma das médias é diferente das outras }

O primeiro passo para a aplicação deste método (ver ponto II.3.4.6. na pág. 26) é o cálculo das somas dos quadrados dos desvios dentro dos grupos e entre grupos, aplicando as respectivas fórmulas computacionais.

Para o cálculo de ss_B:

$$ss_B = \frac{\sum_{j=1}^{k} T_j^2}{n} - \frac{T^2}{N}$$

é necessário determinar o valor de T_j^2 para cada grupo (T_j representa a soma dos elementos do grupo j) e em seguida somar os T_j^2 obtidos para os três grupos:

$$\sum_{j=1}^{k} T_j^2$$

É também necessário encontrar o valor T, que não é nada mais que a soma dos T_j de todos os grupos (somatório dos somatórios dos três grupos):

$$\sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}$$

O n refere-se ao número de elementos de cada grupo e N ao número total de elementos dos três grupos.

	GRUPO I	GRUPO II	GRUPO III	Total
Nº de Casos n	15	15	15	N = 45
Soma T_j	159	210	201	T = 570

Então:

$$ss_B = \frac{159^2 + 210^2 + 201^2}{15} - \frac{570^2}{45} = 98.8$$

Para o cálculo de ss_W:

$$ss_W = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \frac{\sum_{j=1}^{k} T_j^2}{n}$$

primeiro deve determinar-se a soma dos elementos, elevados ao quadrado, de cada grupo:

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij}^2$$

e em seguida adicionar todas essas somas:

$$\sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2$$

Para além disso também é necessário determinar o valor da soma dos T_j^2 dos três grupos (valor já determinado para o cálculo de ss_B).

	GRUPO I	GRUPO II	GRUPO III	Total
	100	256	196	
	196	196	169	
	64	144	225	
	144	361	100	
	49	256	225	
	121	196	169	
	100	225	225	
	81	289	196	
	100	196	81	
	144	100	196	
	169	169	256	
	121	121	196	
	121	144	81	
	144	256	169	
	81	121	289	
Soma $\sum_{i=1}^{n} x_{ij}^2$	1735	3030	2773	$\sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} x_{ij}^2 = 7538$

Então:

$$ss_W = 7538 - \frac{159^2 + 210^2 + 201^2}{15} = 219.2$$

Encontrados os valores de $SS_B = 98.8$ e $SS_W = 219.2$, em seguida calculam-se os graus de liberdade associados com cada uma destas somas dos quadrados dos desvios.

SS_B tem associados $k - 1$ graus de liberdade, e neste caso $3 - 1 = 2$ graus de liberdade.

SS_W tem associados $N - k$ graus de liberdade, e neste caso $45 - 3 = 42$ graus de liberdade.

O próximo passo consiste em determinar as estimativas das variâncias:

$$\tilde{\sigma}_B^2 = \frac{98.8}{2} = 49.4$$

$$\tilde{\sigma}_W^2 = \frac{219.2}{42} = 5.22$$

O valor de F é então igual a:

$$F_{(2;42)} = \frac{49.4}{5.22} = 9.46$$

Como o valor de F é superior a 1, sabe-se à partida que a variância entre grupos é superior à variância dentro dos grupos. Mas para se determinar se essa diferença é significativa, de forma a se poder dizer que o Método de Ensino influencia os Resultados da Aprendizagem, deve consultar-se a tabela da distribuição de F.

Nessa tabela (entrando nas colunas com o número de graus de liberdade associados com o numerador - 2 -, e nas linhas com o número de graus de liberdade associados com o denominador - 42) verifica-se que os valores críticos de F para uma confiança de 95% e 99% são respectivamente : 3.23 e 5.18.

Como o valor de F obtido é superior ao valor de F crítico para 99% de confiança, pode dizer-se que a variância entre grupos é significativamente superior à variância dentro dos grupos. A variável Método de Ensino influi significativamente nos Resultados obtidos no Teste de Avaliação Final, provocando, pelo menos um dos métodos, resultados significativamente diferentes dos obtidos com os outros (o método de análise de variância não permite identificar qual é ou quais são esses métodos).

Como se encontrou um valor F significativo, sabe-se que existe uma relação entre as variáveis: Método de Ensino e Resultados no Teste de Avaliação. Para se determinar qual a "força" de associação entre essas variáveis pode calcular-se o valor de η^2:

$$\eta^2 = \frac{SS_B}{SS_T} = \frac{98.8}{318} = 0.31$$

Pode assim dizer-se que 31% da variação obtida nos Resultados de todos os alunos, é devida ao Método de Ensino utilizado.

II.4. ACTIVIDADES

Na primeira parte da aula o docente expõe sinteticamente os princípios gerais, objectivos e suposições básicas do método de análise comparativa que vai ser estudado -ANALISE DE VARIANCIA- centrando-se no método da análise de variância unifactorial. Descreve as fases procedimentais deste método, sendo esta exposição acompanhada de um exemplo ilustrativo. Durante a exposição o docente tenta criar um clima informal, questionando os alunos com frequência, sobre a matéria que está a ser apresentada (uma vez que já foi abordada nas aulas teóricas)(1) e solicitando a sua intervenção com vista ao esclarecimento de eventuais dúvidas.

Numa segunda parte, os alunos em pequenos grupos, realizam exercícios de aplicação do método acabado de expôr. A cada pequeno grupo é distribuída uma máquina de calcular, e o docente sugere que, apesar de em grupo, cada elemento deve tentar aplicar o método proposto ao problema em questão. Em cada exercício, o docente apresenta oralmente as características de um estudo experimental e a hipótese a testar, escrevendo no quadro preto os dados a serem tratados.(2) Neste segundo momento da aula, o docente também assume um papel bastante activo, esclarecendo os alunos com dificuldades na aplicação do método estatístico, e, uma vez expostos orálmente, por um elemento de cada grupo, os resultados obtidos, ajuda a criticar esses resultados e a formular as conclusões.

Na parte final da aula e num primeiro momento, os alunos, divididos em dois grupos, assistem à execução, nos microcomputadores APPLE II e MACINTOSH, de programas sobre a análise de variância unifactorial. São dois alunos, um de cada grupo, que sob a supervisão do docente, manipulam os microcomputadores, introduzindo os dados de um exercício já realizado manualmente na segunda parte da aula, e respondendo às questões que lhe vão sendo postas pelos programas, sobre opções de análise, face às características do problema. Os restantes elementos de cada grupo acompanham este procedimento através dos monitores dos microcomputadores.

(1) Para uma melhor articulação das aulas teóricas e práticas, a matéria quando é estudada nas aulas práticas, já foi abordada nas aulas teóricas.

(2) Regra geral estes estudos experimentais são fictícios.

Num segundo momento desta última parte da aula, e para todos os alunos terem oportunidade de ver funcionar os programas dos dois microcomputadores, procede-se a uma troca de grupos, ou seja, o grupo que trabalhou com o MACINTOSH passa para o APPLE II, e o grupo do APPLE II para o MACINTOSH, efectuando o mesmo exercício de aplicação.

II.5. MATERIAL DE APOIO

Para a realização desta aula prática os alunos necessitam do seguinte material:

- tabela da distribuição teórica de F (ver anexo 3)
- máquinas de calcular (Texas Instruments TI-56)
- microcomputadores APPLE II e MACINTOSH e respectivos programas sobre análise de variância unifactorial (para o APPLE II o programa é o "Superstats -Statistical Package- Lombardy Computers Ltd.", e para o MACINTOSH o "Statview -The Graphic Statistics Utility for Macintosh- Brain Power Inc.")

BIBLIOGRAFIA

BLALOCK Jr., H.M. (1979) *Social Statistics*, New York: McGraw-Hill, Inc.

D'HAINAUT, L. (1975) *Concepts et Methodes de la Statistique*, Brussels:Labor.

EDWARDS, A.L. (1972) *Experimental Design in Psychological Research*, New York: Holt, Rinehart and Wiston, Inc.

FAVERGE, J.M. (1975) *Méthodes Statistiques en Psychologie Appliqué*, Paris: Press Universitaires de France.

FERGUSON, G.A. (1981) *Statistical Analysis in Psychology and Education*, Tokyo: McGraw-Hill, Inc.

FISHER, R.A. (1925) *Statistical Methods for Research Workers*, Edinburgh: Oliver and Boyd.

FRIED, R. (1976) *Introduction to Statistics*, New York: Gardener Press.

GLASS, G.V., STANLEY, J.C. (1970) *Statistical Methods in Education and Psychology*, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

GUILFORD, J.P., FRUCHTER, B. (1978) *Fundamental Statistics in Psychology and Education*, Tokyo: McGraw-Hill, Inc.

HAYS, W.L., PETRVSIC, W.M. (1964) *Statistics for Psychologists -Exercises to Accompany*, New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc.

MUELLER, J.H., SCHUESSLER, K.F., COSTNER,H.L. (1970) *Statistical Reasoning in Sociology*, Boston: Houghton Mifflin.

NICK, E., KELLNER, S.R.O. (1971) *Fundamentos de Estatística para as Ciências do Comportamento*, Rio de Janeiro: Renes.

PEPE, P., TISSERAND-PERRIER, M. (1962) *Méthodes Statistiques dans les Sciences Humaines*, Paris: Masson et Cie.

SIEGEL, S. (1977) *Estatística Não Paramétrica (para as Ciências do Comportamento)*, traduzido por A.A. Faria, S. Paulo: McGraw-Hill do Brasil.

WINER, B.J. (1971) *Statistical Principles in Experimental Design*, New York: McGraw-Hill.

ANEXOS

ANEXO I

PROGRAMA DA DISCIPLINA DE ESTATÍSTICA APLICADA À PSICOLOGIA

PARTE I - ESTATÍSTICA DESCRITIVA

1. Ideias Fundamentais em Estatística
2. Notação Estatística
3. Distribuição de Frequências e Representações Gráficas
4. Medidas de Tendência Central
5. Medidas de Dispersão
6. Medidas de Assimetria e Medidas de Curtose
7. Teoria das Probabilidades. Distribuições Teóricas de Probabilidades: Binominal, de Poisson, Normal, χ^2, F.
8. Correlação Linear
9. Coeficientes de Correlação Especiais

PARTE II - ESTATÍSTICA INFERENCIAL

10. Regressão e Predição
11. Amostragem e Estimativa de Parâmetros
12. Testes de Significância da Diferença de Médias e de Outras Estatísticas
13. Testes de Significância Não Paramétricos
14. Análise de Variância: Unifactorial e Bifactorial

PARTE III - A MEDIDA EM PSICOLOGIA E EDUCAÇÃO

15. Transformação de Resultados
16. Análise dos Items dos Testes: Dificuldade e Validade
17. Análise dos Testes: Fiabilidade e Validade

PARTE IV - TEMAS ESPECIAIS

18. Correlação Parcial, Correlação Múltipla e Regressão Múltipla
19. Análise de Covariância
20. Análise Factorial

ANEXO 2

QUESTIONARIO PARA AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DAS AULAS PRATICAS

Pede-se que responda às seguintes questões, da forma mais objectiva possível, a fim de se obterem elementos para uma melhor estruturação e funcionamento das aulas práticas:

1 - Comparando o seu estado no início do ano, com o actual, que objectivos atingiu através desta disciplina?

2 - Que dificuldades encontrou?

3 - Quais os aspectos que considerou positivos?

4 - Quais os aspectos que considerou negativos?

5 - Outras sugestões:

ANEXO 3

TABELA DA DISTRIBUIÇÃO DE F

Table J Distribution of F *(Continued)*

$p = .01$

n_2 \ n_1	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5981	6106	6234	6366
2	98.49	99.01	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.42	99.46	99.50
3	34.12	30.81	29.46	28.71	28.24	27.91	27.49	27.05	26.60	26.12
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.80	14.37	13.93	13.46
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.27	9.89	9.47	9.02
6	13.74	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.10	7.72	7.31	6.88
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.84	6.47	6.07	5.65
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.03	5.67	5.28	4.86
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.47	5.11	4.73	4.31
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.06	4.71	4.33	3.91
11	9.65	7.20	6.22	5.67	5.32	5.07	4.74	4.40	4.02	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.50	4.16	3.78	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.20	4.86	4.62	4.30	3.96	3.59	3.16
14	8.86	6.51	5.56	5.03	4.69	4.46	4.14	3.80	3.43	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.00	3.67	3.29	2.87
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	3.89	3.55	3.18	2.75
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.79	3.45	3.08	2.65
18	8.28	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.71	3.37	3.00	2.57
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.63	3.30	2.92	2.49
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.56	3.23	2.86	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.51	3.17	2.80	2.36
22	7.94	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.45	3.12	2.75	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.41	3.07	2.70	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.36	3.03	2.66	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.32	2.99	2.62	2.17
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.29	2.96	2.58	2.13
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.26	2.93	2.55	2.10
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.23	2.90	2.52	2.06
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.20	2.87	2.49	2.03
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.17	2.84	2.47	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	2.99	2.66	2.29	1.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.82	2.50	2.12	1.60
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.66	2.34	1.95	1.38
∞	6.64	4.60	3.78	3.32	3.02	2.80	2.51	2.18	1.79	1.00

Values of n_1 and n_2 represent the degrees of freedom associated with the larger and smaller estimates of variance respectively.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA UNIFACTORIAL

ERRATA

Pág.	Linha	Onde se lê	Leia-se
2	1 (1)	"...dsiciplina..."	"...disciplina..."
6	6	"...aulas práticas..."	"...aulas praticas (de 2 horas cada)..."
6	12	"...grupos realizam..."	"...grupos (3 a 4 alunos) realizam..."
9	6	"...de varância unifactorial."	"...de variância unifactorial."
10	1	"...para cada condição..."	"...pelo menos para uma condição..."
11	9	"...se um bom resultado..."	"...se o resultado..."
11	18	"...duas variáveis independentes."	"...duas ou mais variáveis independentes, aos quais se aplica o método de análise de variância multifactorial."
13	18	"...permissas."	"...premissas."
15	16	"...permissa..."	"...premissa..."
18	Figura	" x_{n3k} " " $\sum_{i=1}^{n_3} x_{i3}$ " " $\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{j=1}^{k}$ "	" x_{nkk} " " $\sum_{i=1}^{n_k} x_{ik}$ " " $\sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j}$ "
19	3 e 4	"...a um factor conhecido"	"...a uma determinada causa."
24	3	". Fornece valores..."	". Esta tabela fornece valores..."
24	6	"...de razão F..."	"...da razão F..."
24	13	"...diferente das outras..."	"...diferente de pelo menos uma das outras..."
25	13	"...destro..."	"...dentro..."
26	Fórmula SS_W	" $\sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j}$ "	" $\sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n}$ "
27	2	"...de distribuição..."	"...da distribuição..."
31	Fórmula SS_W	" $\sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n_j}$ "	" $\sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n}$ "
34	13	"...ajuda..."	...ajudando..."