



**Universidade de Brasília
Departamento de Estatística**

ANOVA mista de dois fatores com medidas repetidas ou teste t não pareado da diferença dos escores. Uma aplicação em dados de um treinamento de equilíbrio em jogadores de basquete.

Thyanne Sales Raposo

Monografia apresentado para obtenção do
título de Bacharel em Estatística.

**Brasília
2016**

Thayanne Sales Raposo

ANOVA mista de dois fatores com medidas repetidas ou teste t não pareado da diferença dos escores. Uma aplicação em dados de um treinamento de equilíbrio em jogadores de basquete.

Orientador:

Prof. **EDUARDO YOSHIO NAKANO**

Monografia apresentado para obtenção do
título de Bacharel em Estatística.

Brasília
2016

AGRADECIMENTOS

É difícil colocar em palavras toda a gratidão por aqueles que são essenciais em minha vida, sem os quais eu não teria alcançado grandes conquistas no caminho que venho trilhando ao longo da minha graduação.

Agradeço a Deus, por sempre me dar forças e manter minha fé inabalada nos momentos mais difíceis, tornando este trabalho possível. Agradeço aos meus pais e irmão por toda a confiança e orgulho que depositam em mim todos os dias. Ao meu namorado, Alexandre Ribeiro, por cada conselho e por todo apoio, amor e carinho.

Agradeço ao orientador deste trabalho, Professor Eduardo Nakano, que sempre esteve presente dando todo o suporte necessário para a elaboração deste estudo e aos docentes do Departamento de Estatística da Universidade de Brasília (UnB), que contribuíram com o meu aprendizado e formação profissional. Agradeço também ao Professor Rinaldo Mezzarane e à Gabriela Sartório, integrantes da Faculdade de Educação Física da UnB, por terem disponibilizado os dados para o presente estudo e por terem sido essenciais para que este trabalho fosse realizado.

Agradeço também à ESTAT Consultoria, por todas as experiências do ambiente empresarial, por todos os desafios e por me proporcionar crescimento profissional, assim como, pessoal.

Por fim, com muito carinho, agradeço a todos os amigos que me acompanharam ao longo dessa caminhada e compartilharam muitos momentos de estudos, dificuldades, companheirismo e alegrias.

Sumário

RESUMO	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Teste t de Student	15
2.1.1 Teste t pareado	15
2.1.2 Teste t não pareado	16
2.1.2.1 Variâncias iguais e desconhecidas	17
2.1.2.2 Variâncias diferentes e desconhecidas	17
2.2 ANOVA mista com dois fatores e medidas repetidas	18
3 SIMULAÇÕES	25
3.1 Nenhum Efeito	25
3.1.1 Análise Descritiva	25
3.1.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas	26
3.1.3 Teste t das diferenças	27
3.2 Efeito de Tempo	28
3.2.1 Análise Descritiva	28
3.2.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas	29
3.2.3 Teste t das diferenças	29
3.3 Efeito de Grupo	31
3.3.1 Análise Descritiva	31
3.3.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas	32
3.3.3 Teste t das diferenças	32
3.4 Efeito de Interação	33
3.4.1 Análise Descritiva	33
3.4.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas	35
3.4.3 Teste t das diferenças	35

3.5	Efeito de Tempo e Grupo	37
3.5.1	Análise Descritiva	37
3.5.2	Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas	38
3.5.3	Teste t das diferenças	38
3.6	Efeito de Tempo e Interação	40
3.6.1	Análise Descritiva	40
3.6.2	Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas	41
3.6.3	Teste t das diferenças	41
3.7	Efeito de Grupo e Interação	42
3.7.1	Análise Descritiva	42
3.7.2	Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas	43
3.7.3	Teste t das diferenças	44
3.8	Efeito de Tempo, Grupo e Interação	45
3.8.1	Análise Descritiva	45
3.8.2	Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas	46
3.8.3	Teste t das diferenças	46
3.9	Resumo dos oito casos simulados	48
4	DESCRIÇÃO DO CONJUNTO DE DADOS	49
4.1	RESULTADOS	52
4.1.1	Análise Descritiva	52
4.1.2	Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas	53
4.1.3	Teste t das diferenças	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICES	61

RESUMO

ANOVA mista de dois fatores com medidas repetidas ou teste t não pareado da diferença dos escores. Uma aplicação em dados de um treinamento de equilíbrio em jogadores de basquete.

A análise de dados dos estudos clínicos aleatorizados com dois grupos de tratamento e duas medidas longitudinais por paciente pode ser realizada através de uma Análise de Variância (ANOVA) mista com dois fatores e medidas repetidas, considerando o tempo (pré- e pós-tratamento) como fator intra-indivíduo e os grupos como fator entre-indivíduos. Este estudo consistiu em mostrar a equivalência entre o teste do efeito da interação dessa ANOVA e um teste t de Student não pareado comparando a variação (diferença entre os valores pós- e pré-tratamento) entre os grupos. Os procedimentos estudados neste trabalho foram ilustrados por meio de dados simulados e por um conjunto de dados reais sobre os benefícios de um treinamento de equilíbrio em jogadores de basquete.

Palavras-chave: Análise de Variância, teste t de Student, efeito da interação, comparação de grupos, estudo longitudinal.

ABSTRACT

Data analysis of randomized clinical trials with two treatment groups and two longitudinal measures for each patient can be performed using a Mixed Design Analysis of Variance (ANOVA) with two factors and repeated measures, considering time (before- and after- treatment) as within-subjects factor and the groups as between-subjects factor. By comparing the variation amidst the treatment group (difference between before and after treatment values), this study aimed to show the equivalence between ANOVA's test of interaction effect and an unpaired Student's t-test. Analyzed procedures in this work were illustrated using simulated data and a set of real data on the benefits of balance training in basketball players.

Keywords: Analysis of Variance, Student's t-test, effect of interaction, comparison of groups, longitudinal study.

1 INTRODUÇÃO

São comuns os estudos clínicos aleatorizados em que há dois grupos de tratamento e somente duas medidas longitudinais por paciente, sendo a primeira medida tomada no início do estudo e a segunda medida colhida após a aplicação do tratamento. Neste tipo de estudo, muitos trabalhos realizam a comparação do efeito dos dois grupos de tratamentos através do teste da interação de uma Análise de Variância (ANOVA) mista com dois fatores e medidas repetidas, considerando o tempo (pré- e pós-tratamento) como fator intra-indivíduo e os grupos como fator entre-indivíduos (MONTGOMERY, 2012). Esse tipo de delineamento não é simples e pode causar confusão, principalmente entre os pesquisadores aplicados. Estima-se que uma grande parte dos pesquisadores não tem claro o significado da interação e o confundem com o efeito do fator grupo.

Uma forma alternativa de comparar o efeito dos dois grupos nesse tipo de estudo envolve o cálculo da variação da medida (diferença entre os valores pós- e pré-tratamento) para cada paciente e subsequente realização de um teste t de Student não pareado (BUSSAB e MORETTIN, 2013) para avaliar se essa variação difere entre os grupos. Sob determinadas condições, realizar o teste t das diferenças é equivalente a aplicar o teste da interação da ANOVA mista com dois fatores e medidas repetidas. Tais condições supõe: normalidade dos dados, homogeneidade da variância dos grupos (matriz de variância e covariância no caso da ANOVA) e independência.

Como o teste t de Student é um teste mais simples e intuitivo, pode-se perguntar por que não utilizá-lo no lugar do teste da interação de uma ANOVA mista com medidas repetidas. Ao serem questionados, frequentemente pesquisadores respondem que optaram pela ANOVA mista porque foi a técnica utilizada em uma publicação de um estudo similar.

Neste contexto, o presente trabalho visa realizar uma revisão da ANOVA mista com dois fatores e medidas repetidas, especificando suas hipóteses e mostrar, através de exemplos (simulados e reais), que o teste t de Student das diferenças entre os valores pós- e pré-tratamento testa exatamente a hipótese de interação da ANOVA mista.

Os procedimentos estudados neste projeto são ilustrados por meio de dados simulados e por um conjunto de dados reais sobre os benefícios de um treinamento de equilíbrio em jogadores de basquete (BARBOSA, 2016). Em todo o trabalho, foi adotado um nível de

significância de 5% e as análises foram realizadas através do software livre R (R CORE TEAM, 2015).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Teste t de Student

O teste t é um teste paramétrico utilizado para comparar duas populações P_1 e P_2 , através da análise dos dados obtidos das amostras de cada uma delas.

Para testar a igualdade ou equivalência de duas populações, é necessário que sejam estimados os parâmetros de cada uma delas, como a média e desvio padrão, bem como a forma da distribuição. Tal teste supõe que as populações tenham distribuição normal (BUSSAB e MORETTIN, 2013).

A normalidade das variáveis aleatórias pode ser avaliada pelos testes não paramétricos de Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Shapiro-Wilk, entre outros (CONOVER, 1999).

2.1.1 Teste t pareado

Quando se compara as médias de duas populações, pode-se observar uma diferença significativa no resultado das médias por causa dos fatores externos não-controlados. Uma forma de solucionar esse problema envolve a coleta de observações em pares, de modo que os dois elementos de cada par sejam homogêneos em todos os sentidos, exceto em relação ao fator que se deseja comparar (BUSSAB e MORETTIN, 2013).

Pode-se também realizar o estudo no mesmo indivíduo para as duas amostras, ou seja, medir a característica do indivíduo antes e depois dele ser submetido a um tratamento. Assim, se houver diferença no estudo, há indícios de que tal diferença seja resultante do tratamento utilizado (BUSSAB e MORETTIN, 2013).

Nesta situação tem-se duas amostras X_1, X_2, \dots, X_n e Y_1, Y_2, \dots, Y_n para as quais as observações X_i e Y_i são pareadas (dependentes), isto é, pode-se considerar que há, na realidade, uma amostra de pares $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$. Ao definir a variável aleatória $D = X - Y$, tem-se a amostra D_1, D_2, \dots, D_n , resultante das diferenças entre os valores de cada par. Observa-se que esse problema se reduz a um problema com uma única população. O teste t pareado supõe que $D \sim N(\mu_D, \sigma_D^2)$.

As hipóteses do teste são:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_D = 0 \\ H_1 : \mu_D \neq 0. \end{cases}$$

A estatística do teste t pareado pode ser descrita por:

$$T_{\text{pareado}} = \frac{\bar{D}}{\frac{S_D}{\sqrt{n}}} \sim t_{(n-1)},$$

que segue uma distribuição t de Student com $(n - 1)$ graus de liberdade. Aqui, $S_D^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2$ é o estimador da variância da variável aleatória D e $\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i) = \bar{X} - \bar{Y}$ é o estimador da média da diferença das duas populações.

O valor-p (ou nível descritivo do teste) é definido como a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada em uma amostra, assumindo-se como verdadeira a hipótese nula. O valor-p do teste bilateral é dado por:

$$\text{valor} - p = 2P[t_{(n-1)} > |T_{\text{pareado}}|].$$

Se o valor-p for menor que o nível de significância (α) estabelecido, rejeita-se a hipótese nula. Caso contrário, não rejeita-se H_0 , não sendo possível afirmar que as duas médias sejam diferentes.

2.1.2 Teste t não pareado

O teste t de Student não pareado é utilizado para comparar duas populações independentes, ou seja, comparar duas amostras retiradas de forma independente de cada uma das populações em estudo.

Os testes para populações independentes são muitas vezes utilizados em situações nas quais os indivíduos são divididos em grupos chamados de controle e experimental. Este é o caso tratado neste trabalho, no qual, os atletas de basquete foram divididos entre o grupo controle, para os alunos que apenas realizaram o treino de basquete, e o grupo experimental, para os alunos que, além do basquete, realizaram um treinamento de equilíbrio.

Para esse tipo de estudo, as respostas obtidas do grupo controle e as respostas extraídas do grupo experimental são variáveis aleatórias independentes. Além disso, as respostas do grupo controle são independentes das respostas do grupo experimental.

Para a comparação de duas populações normais tem-se as amostras independentes X_1, \dots, X_n da população $P_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$ e Y_1, \dots, Y_m da população $P_2 \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$.

Neste caso, tem-se como objetivo comparar as médias dessas populações para verificar se podem ser consideradas iguais ou não.

As hipóteses do teste são:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 \neq \mu_2. \end{cases}$$

O teste t de Student é aplicado quando as variâncias populacionais não são conhecidas. Ainda, essas variâncias podem ser iguais ou diferentes, resultando em dois testes distintos. A avaliação da igualdade das variâncias pode ser feita através do teste F de comparação de duas variâncias (BUSSAB e MORETTIN, 2013) ou do teste de Levene (LEVENE, 1960).

2.1.2.1 Variâncias iguais e desconhecidas

Suponha-se que a hipótese de igualdade das variâncias, $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$, não seja rejeitada, ou seja, as variâncias podem ser consideradas iguais. Nesta situação, a estatística do teste t não pareado é representada por:

$$T_{var.iguais} = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}} \sim t_{(n+m-2)},$$

que segue uma distribuição t de Student com $(n + m - 2)$ graus de liberdade. Aqui, $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, $\bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_i$ e $S_p^2 = \frac{(n-1)S_1^2 + (m-1)S_2^2}{n+m-2} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 + \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2}{n+m-2}$ é o estimador comum não viesado dos estimadores S_1^2 e S_2^2 .

Assim, o valor-p do teste t não pareado para variâncias iguais é dado por:

$$valor - p = 2P[t_{(n+m-2)} > |T_{var.iguais}|]$$

e a hipótese H_0 será rejeitada se o valor-p for menor que o nível de significância (α) estabelecido.

2.1.2.2 Variâncias diferentes e desconhecidas

Para o caso em que a hipótese de igualdade das variâncias é rejeitada, pode-se utilizar a estatística

$$T_{var.diferentes} = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n} + \frac{S_2^2}{m}}} \sim t_{(v)},$$

que segue uma distribuição t de Student com v graus de liberdade. Aqui, $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, $\bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_i$, $S_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$, $S_2^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2$ e os graus de liberdade

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n} + \frac{S_2^2}{m}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n}\right)^2}{n-1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{m}\right)^2}{m-1}}.$$

Nesta situação, o valor p do teste é dado por:

$$valor - p = 2P[t_{(v)} > |T_{var.diferentes}|].$$

A hipótese H_0 será rejeitada se o valor- p for menor que o nível de significância (α) estabelecido.

2.2 ANOVA mista com dois fatores e medidas repetidas

A Análise de Variância (ANOVA) mista com dois fatores e medidas repetidas, pode ser utilizada em um estudo aleatorizado com dois grupos de tratamento e duas medidas longitudinais por indivíduo, sendo a primeira medida tomada no início do estudo e a segunda medida colhida após a aplicação do tratamento. Neste caso, o grupo de tratamento é o fator entre-indivíduos e tempo (pré- e pós-tratamento) é o fator intra-indivíduo.

A Tabela 2.2.1 apresenta as observações referentes ao fator Grupo, (Controle e Experimental) e ao fator Tempo, (pré e pós-tratamento).

Tabela 2.2.1: Observações para os fatores Grupo e Tempo.

Grupo	Tempo	
	Pré	Pós
Controle	y_{111}	y_{112}
	y_{121}	y_{122}
	\vdots	\vdots
	y_{1n_11}	y_{1n_12}
Experimental	y_{211}	y_{212}
	y_{221}	y_{222}
	\vdots	\vdots
	y_{2n_21}	y_{2n_22}

Para a Tabela 2.2.1, o modelo da ANOVA mista com dois fatores e medidas repetidas é dado por:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_k + \gamma_{ik} + a_{ij} + \epsilon_{ijk},$$

em que,

y_{ijk} é a observação do j -ésimo indivíduo do grupo i no k -ésimo tempo ($i = 1, 2; j = 1, 2, \dots, n_i; k = 1, 2$);

μ é a média geral;

α_i é o efeito do i -ésimo grupo;

β_k é o efeito do k -ésimo tempo;

γ_{ik} é o efeito da interação do i -ésimo grupo com o k -ésimo tempo;

a_{ij} é o efeito aleatório do j -ésimo indivíduo no i -ésimo grupo, e;

ϵ_{ijk} é o erro aleatório.

Este modelo assume que os efeitos $\mu, \beta_k, \gamma_{ik}$ são fixos e que os efeitos a_{ij}, ϵ_{ijk} são aleatórios. Portanto, o modelo apresentado é um modelo misto. Ainda, esse modelo supõe que as observações de cada grupo seguem uma distribuição normal bivariada (dois tempos) com matrizes de covariâncias iguais.

Três hipóteses são testadas neste delineamento:

1. Diferença entre grupos

$$\begin{cases} H_{G0} : \alpha_1 = \alpha_2 \\ H_{G1} : \alpha_1 \neq \alpha_2; \end{cases}$$

2. Diferença entre tempos

$$\begin{cases} H_{T0} : \beta_1 = \beta_2 \\ H_{T1} : \beta_1 \neq \beta_2; \end{cases}$$

3. Presença da interação tempo \times grupo

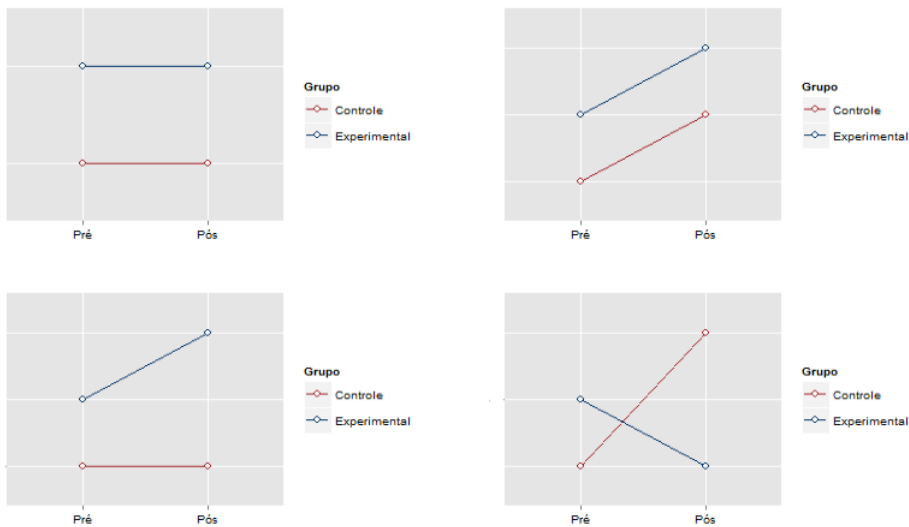
$$\begin{cases} H_{I0} : \gamma_{ik} = 0 \quad (i = 1, 2; k = 1, 2) \\ H_{I1} : \text{ao menos um } \gamma_{ik} \neq 0. \end{cases}$$

Como o modelo supõe que $\sum_{i=1}^2 \gamma_{ik} = \sum_{k=1}^2 \gamma_{ik} = 0$ (para dois níveis para o fator grupo e dois níveis para o fator tempo), então há apenas um parâmetro de interação. De fato $\gamma = \gamma_{11} = -\gamma_{12} = -\gamma_{21} = \gamma_{22}$. Assim, a hipótese H_{I0} pode ser reduzida à

$$\begin{cases} H_{I0} : \gamma = 0 \\ H_{I1} : \gamma \neq 0. \end{cases}$$

A Figura 2.2.1 apresenta gráficos com resultados fictícios referentes aos grupos Controle e Experimental. São apresentados os efeitos de grupo, tempo e interação para cada gráfico.

Figura 2.2.1: Gráficos da comparação do efeito de dois grupos de tratamento.



Observa-se que, no gráfico superior esquerdo da Figura 2.2.1, há efeito de grupo. No entanto, não há efeito de tempo ou de interação, pois a média e a diferença é a mesma nos dois tempos. No gráfico superior direito observa-se o efeito de grupo e efeito de tempo, porém sem efeito de interação, pois os grupos apresentaram o mesmo aumento. O gráfico inferior esquerdo, ilustra um efeito de grupo, bem como de tempo e de interação, visto que o grupo Experimental aumentou e o grupo Controle se manteve constante. Por fim, no gráfico inferior direito não há efeito de grupo ou de tempo. No entanto, há efeito de interação, pois o grupo Controle aumentou e o Experimental diminuiu.

As seguintes somas de quadrados são definidas para testar as hipóteses H_{G0} , H_{T0} e H_{I0} (Shalabh, 2009):

$$SQ_{Total} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^2 (y_{ijk} - \bar{y}_{...})^2,$$

$$SQ_{Grupo} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^2 (\bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...})^2,$$

$$SQ_{Tempo} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^2 (\bar{y}_{..k} - \bar{y}_{...})^2,$$

$$SQ_{Subtotal} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^2 (\bar{y}_{i.k} - \bar{y}_{...})^2,$$

$$SQ_{Grupo \times Tempo} = SQ_{Subtotal} - SQ_{Grupo} - SQ_{Tempo},$$

$$SQ_{Indiv} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^2 (\bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i..})^2, e$$

$$SQ_{Erro} = SQ_{Total} - SQ_{Subtotal} - SQ_{Indiv},$$

em que,

n_i é o número de indivíduos no i -ésimo grupo ($i = 1, 2$);

$n = n_1 + n_2$ é o número total de indivíduos;

$\bar{y}_{...} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^2 y_{ijk}$ é a média global;

$\bar{y}_{i..} = \frac{1}{2n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^2 y_{ijk}$ é a média do i -ésimo grupo ($i = 1, 2$);

$\bar{y}_{..k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{n_i} y_{ijk}$ é a média do k -ésimo tempo ($k = 1, 2$);

$\bar{y}_{i.k} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} y_{ijk}$ é a média do i -ésimo grupo no k -ésimo tempo ($i = 1, 2; k = 1, 2$), e;

$\bar{y}_{ij.} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^2 y_{ijk}$ é a média do j -ésimo indivíduo do i -ésimo grupo ($k = 1, 2$).

A estatística do teste da hipótese H_{G0} , é dada por:

$$F_{G0} = \frac{SQ_{Grupo}/1}{SQ_{Indiv}/(n-2)} \sim F_{(1, n-2)},$$

que segue uma distribuição de Fisher-Snedecor com 1 e $(n-2)$ graus de liberdade.

O valor-p é definido como a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada em uma amostra, assumindo-se como verdadeira a hipótese nula. O valor-p do teste da hipótese H_{G0} , é dado por:

$$valor - p = P[F_{(1, n-2)} > F_{G0}].$$

Se o valor-p for menor do que o nível de significância (α) estabelecido, rejeita-se a hipótese nula. Caso contrário, não há evidências para se rejeitar H_{G0} , não sendo possível afirmar que os dois grupos sejam diferentes.

A estatística do teste da hipótese H_{T0} , é apresentada por:

$$F_{T0} = \frac{SQ_{Tempo}/1}{SQ_{Erro}/(n-2)} \sim F_{(1, n-2)},$$

que segue uma distribuição de Fisher-Snedecor com 1 e $(n-2)$ graus de liberdade.

Assim, o valor-p do teste da hipótese H_{T0} é dado por:

$$valor - p = P[F_{(1, n-2)} > F_{T0}]$$

e a hipótese H_{T0} será rejeitada se o valor-p for menor que o nível de significância (α) estabelecido. Nesse caso, há evidência de que os dois tempos são diferentes.

Para testar a hipótese de interação, a estatística de H_{I0} é representada por:

$$F_{Grupo \times Tempo} = \frac{SQ_{Grupo \times Tempo}/1}{SQ_{Erro}/(n-2)} \sim F_{(1, n-2)},$$

que segue uma distribuição de Fisher-Snedecor com 1 e $(n - 2)$ graus de liberdade.

Nesta situação, o valor-p do teste é dado por:

$$valor - p = P[F_{(1, n-2)} > F_{Grupo \times Tempo}].$$

A hipótese H_{I0} será rejeitada se o valor-p for menor que o nível de significância (α) estabelecido.

A Tabela 2.2.2 apresenta o quadro da ANOVA para o modelo de medidas repetidas.

Tabela 2.2.2: Quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista de dois fatores com medidas repetidas (2 grupos e 2 tempos).

Fonte	SQ	GL	QM	Valor F
Grupo	SQ_{Grupo}	1	$SQ_{Grupo}/1$	F_{G0}
Tempo	SQ_{Tempo}	1	$SQ_{Tempo}/1$	F_{T0}
Grupo x Tempo	$SQ_{Grupo \times Tempo}$	1	$SQ_{Grupo \times Tempo}/1$	F_{I0}
Individual	SQ_{Indiv}	$n - 2$	$SQ_{Indiv}/(n - 2)$	
Erro	SQ_{Erro}	$n - 2$	$SQ_{Erro}/(n - 2)$	
Total	SQ_{Total}	$2n - 1$		

3 SIMULAÇÕES

Com o intuito de analisar todos os possíveis resultados da combinação dos efeitos de grupo, tempo e interação, foi realizada uma simulação dos dados para os 8 possíveis casos, sendo eles: Nenhum efeito; efeito de tempo; efeito de grupo; efeito de interação; efeito de tempo e grupo; efeito de tempo e interação; efeito de grupo e interação; efeito de grupo, tempo e interação.

3.1 Nenhum Efeito

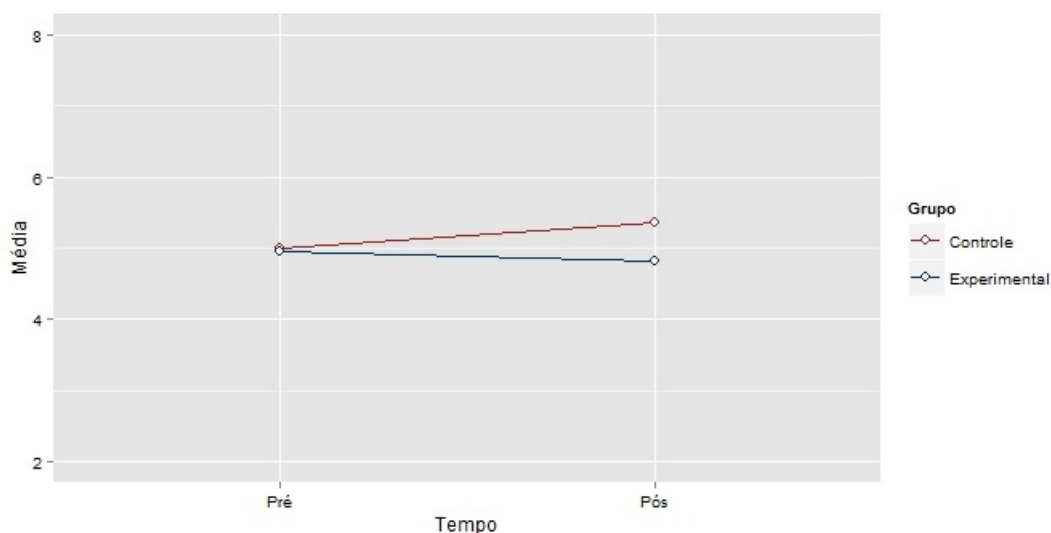
3.1.1 Análise Descritiva

A Tabela e Gráfico 3.1.1.1 apresentam as médias e desvios-padrão dos grupos, Controle e Experimental, nos tempos, pré e pós, e a média das diferenças entre os tempos para o caso de ausência de efeito.

Tabela 3.1.1.1: Medidas descritivas dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.

Tempo	Média (Desvio Padrão)		Total
	Controle	Experimental	
Diferença	0,35 (2,77)	-0,14 (2,51)	
Pré	5,01 (1,96)	4,95 (1,74)	4,98 (1,84)
Pós	5,36 (1,67)	4,81 (1,81)	5,08 (1,75)
Total	5,18 (1,82)	4,88 (1,76)	

Figura 3.1.1.1: Gráfico de linha das médias dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.



Através da análise dos resultados, observa-se que a média dos dois grupos foi aproximada, com valor igual a 5,18 para o grupo Controle, e 4,88 para o grupo Experimental, indicando que não há diferença entre os grupo. O mesmo pode ser visto para as médias dos tempos, no qual, o tempo pré obteve um valor médio igual a 4,98 e o tempo pós obteve a média de 5,09.

Além disso, o grupo Controle obteve um pequeno aumento na sua média no tempo pós, com valor médio igual a 0,35 unidades, e o grupo Experimental obteve uma pequena diminuição de 0,14 unidades, em média. Nota-se que essa diferença é muito pequena e não é significativa para nenhum dos grupos, o que mostra que após as oito semanas de treinamento, os atletas obtiveram o mesmo resultado, e por isso, não há indício de um efeito de interação.

3.1.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas

A seguir é apresentado o quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista de dois fatores com medidas repetidas, sendo, 2 grupos e 2 tempos.

Tabela 3.1.2.1: Quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista para o caso sem efeito.

Fonte	SQ	GL	QM	Valor F	Valor-P
Grupo	2,71	1	2,71	0,911	0,344
Tempo	0,34	1	0,34	0,098	0,755
Grupo x Tempo	1,78	1	1,78	0,509	0,478
Individual	172,78	58	2,98		
Erro	202,92	58	3,50		
Total	380,53	119			

Através do quadro da Anova, é possível perceber que os valores-p obtidos para o grupo, tempo e interação foram valores maiores que o nível de significância pré-estabelecido de 5%, ou seja, não há evidência estatística suficientes para rejeitar a hipótese de igualdade dos grupos e tempos e hipótese de ausência de interação. Desta forma, os resultados confirmam as evidências já mostradas na Tabela 3.1.1.1 e Gráfico 3.1.1.1, de que não há efeito de grupo, tempo e interação para este caso.

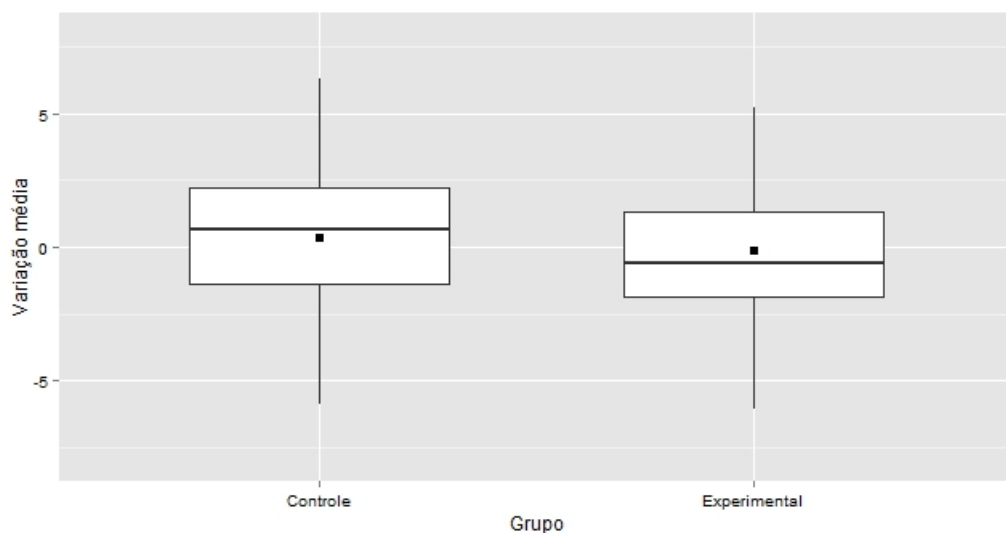
3.1.3 Teste t das diferenças

A seguir são apresentadas as medidas descritivas e o Box-plot das diferenças dos tempos pré e pós, para o grupo Controle e Experimental.

Tabela 3.1.3.1: Medidas descritivas das diferenças para os grupos Controle e Experimental.

Grupo	Mínimo	1° Quartil	Mediana	Média	3° Quartil	Máximo
Controle	-5,92	-1,38	0,67	0,35	2,20	6,31
Experimental	-6,05	-1,84	-0,61	-0,14	1,31	5,23

Figura 3.1.3.1: Box-Plot das diferenças dos tempos pré e pós nos grupos Controle e Experimental.



Os valores máximos da diferença entre os tempos pré e pós para este caso foram 6,31 para o grupo Controle e 5,23 para o grupo Experimental. Os valores mínimos obtidos foram -5,92 e -6,05 para os grupos Controle e Experimental, respectivamente. Como pode ser visto pelo Box-Plot, esses dois grupos possuem valores próximos entre si e não há muita discrepância entre eles. A mediana das diferenças resultou valor igual a 0,67 para o grupo Controle, ou seja, 50% das observações para esse grupo estão abaixo desse valor e 50% está acima. O mesmo pode ser visto no grupo Experimental, no qual, a mediana das diferenças foi igual a -0,61.

Para comparar os dois grupos em questão através o Teste t de Student não pareado, considerando variâncias homogêneas, calcula-se a diferença entre os valores pós e pré

de cada indivíduo e calcula-se a média das diferenças de cada grupo, Controle e Experimental. Ao realizar a comparação das médias da variação desses dois grupos, estamos analisando o efeito da interação tempo e grupo. Para este caso, obteve-se o valor-p igual a 0,478 ($gl=58$, $t=0,714$), mesmo valor-p obtido na interação da ANOVA. Com o nível de significância pré-estabelecido de 0,05, não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese nula de igualdade das médias das diferenças, ou seja, não há indícios de que a variação dos valores das variáveis diferiu entre os grupos, isto é, a diferença foi a mesma para os dois grupos em estudo.

3.2 Efeito de Tempo

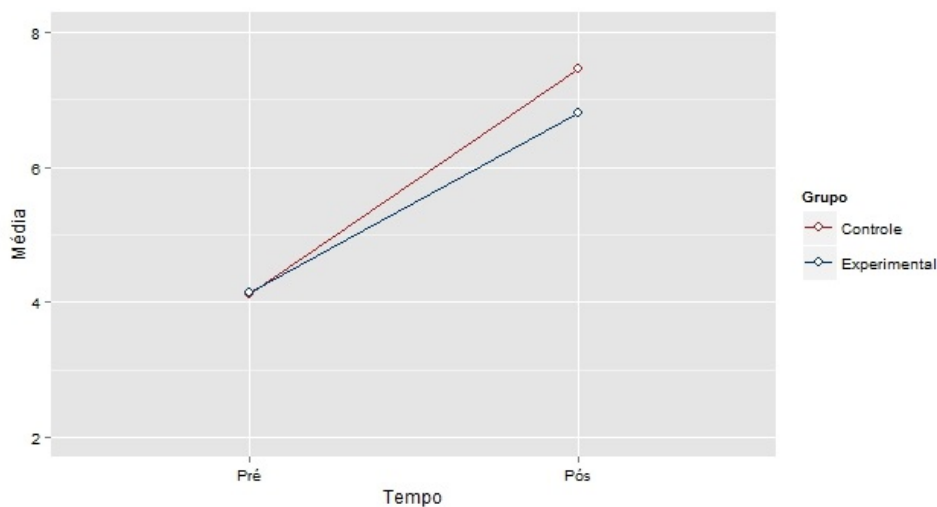
3.2.1 Análise Descritiva

A Tabela e Gráfico 3.2.1.1 apresentam as médias e desvios-padrão dos grupos, Controle e Experimental, nos tempos, pré e pós, e a média das diferenças entre os tempos.

Tabela 3.2.1.1: Medidas descritivas dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.

Tempo	Média (Desvio Padrão)		Total
	Controle	Experimental	
Diferença	3,35 (2,77)	2,66 (2,51)	
Pré	4,11 (1,96)	4,15 (1,74)	4,13 (1,84)
Pós	7,46 (1,67)	6,81 (1,81)	7,13 (1,76)
Total	5,78 (2,47)	5,48 (2,22)	

Figura 3.2.1.1: Gráfico de linha das médias dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.



Analisando os resultados obtidos, é possível perceber que a média do grupo Controle, 5,78, foi bem próxima do valor da média para o grupo Experimental, 5,48, ou seja, não há diferença entre os grupos nesse caso. No entanto, observa-se que a média dos tempos pré foi igual a 4,13, enquanto a média dos tempos pós foi 7,14, portanto há diferença entre os tempos. Nota-se também que o grupo Controle aumentou em média 3,35 unidades e o grupo Experimental aumentou 2,66 unidades, em média, mas como esse aumento no grupo Controle não é significativamente maior do que o aumento do grupo Experimental, não há indícios de um efeito de interação.

3.2.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas

A seguir é apresentado o quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista de dois fatores com medidas repetidas, sendo, 2 grupos e 2 tempos.

Tabela 3.2.2.1: Quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista para o caso de efeito de tempo.

Fonte	SQ	GL	QM	Valor F	Valor-P
Grupo	2,71	1	2,71	0,911	0,344
Tempo	271,29	1	271,29	77,540	<0,0001
Grupo x Tempo	3,54	1	3,54	1,013	0,318
Individual	172,78	58	2,98		
Erro	202,92	58	3,50		
Total	653,24	119			

Com os resultados na ANOVA, nota-se que os valores-p do grupo e interação foram maiores que o nível de significância pré-fixado de 5%, então, não há evidência estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese de igualdade dos grupos e hipótese de ausência de interação. No entanto, obteve-se um valor-p menor que 0,0001 para o tempo, assim, rejeita-se a hipótese nula e confirma-se o indício de que existe efeito de tempo nesse caso. Nota-se que esse efeito (isolado) de tempo indica apenas que ambos os grupos apresentaram um aumento na variável e que esse aumento foi igual nos dois grupos.

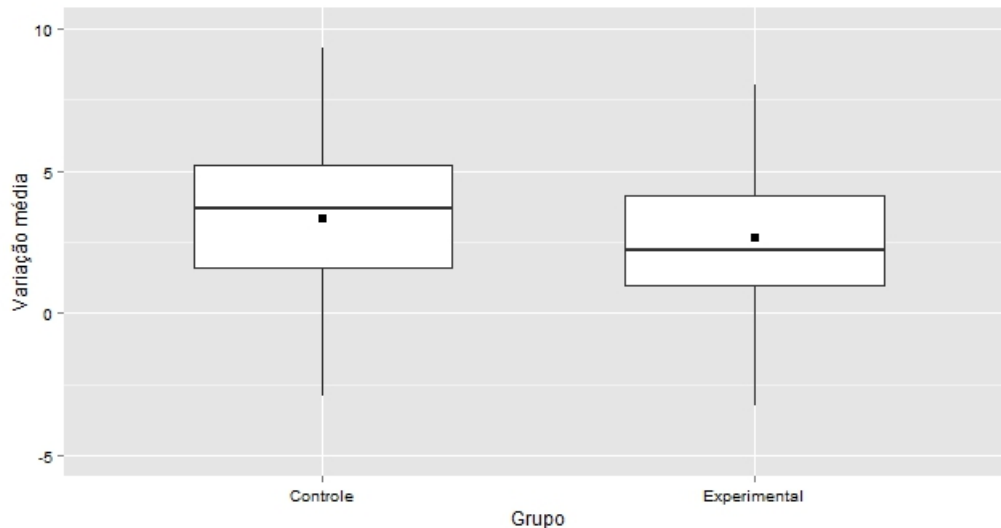
3.2.3 Teste t das diferenças

A seguir são apresentadas as medidas descritivas e o Box-plot das diferenças dos tempos pré e pós, para o grupo Controle e Experimental.

Tabela 3.2.3.1: Medidas descritivas das diferenças para os grupos Controle e Experimental.

Grupo	Mínimo	1° Quartil	Mediana	Média	3° Quartil	Máximo
Controle	-2,92	1,62	3,67	3,35	5,20	9,31
Experimental	-3,25	0,96	2,19	2,66	4,11	8,03

Figura 3.2.3.1: Box-Plot das diferenças dos tempos pré e pós nos grupos Controle e Experimental.



Analisando o Quadro de medidas descritivas e o Box-plot das diferenças, nota-se que o grupo Controle obteve valor máximo das diferenças igual a 9,31 e valor mínimo igual a -2,92. Já para o grupo Experimental, o valor máximo obtido foi 8,03 e o valor mínimo -3,25. Mais uma vez, o Box-plot mostra que esses dois grupos se comportam de maneira semelhante e não há muita discrepância entre eles. Além disso, para o grupo Controle, a mediana das diferenças foi igual a 3,67 e o grupo Experimental resultou na mediana igual a 2,19, apesar do grupo Controle, em média, ter aumentado seu valor enquanto o grupo Experimental diminuiu, esses valores não são significativos.

Para avaliar se existe interação, através o Teste t de Student não pareado, com variâncias iguais, realiza-se uma comparação das médias das diferenças entre os tempos pós e pré dos grupos Controle e Experimental. Obteve-se o valor-p igual a 0,318 ($gl=58$, $t=1,007$), que por ser maior que o nível de significância pré-fixado de 5%, não rejeita-se a hipótese de igualdade das médias das variações, ou seja, mais uma vez há indícios de ausência de interação. O mesmo resultado (exatamente o mesmo valor-p), foi obtido através do teste da

interação na Análise de variância.

3.3 Efeito de Grupo

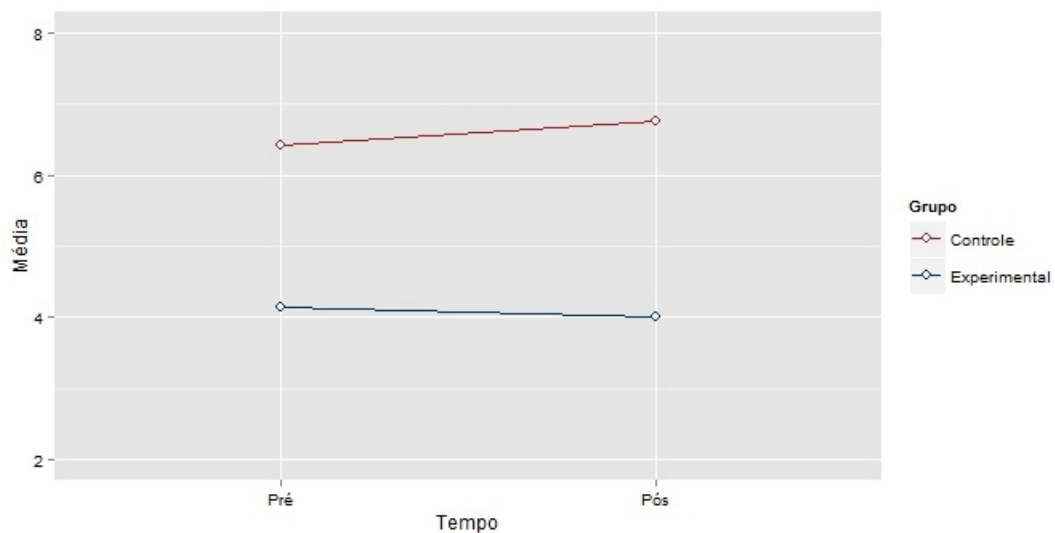
3.3.1 Análise Descritiva

A Tabela e Gráfico 3.3.1.1 apresentam as médias e desvios-padrão dos grupos, Controle e Experimental, nos tempos, pré e pós, e a média das diferenças entre os tempos para o caso de efeito de grupo.

Tabela 3.3.1.1: Medidas descritivas dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.

Tempo	Média (Desvio Padrão)		Total
	Controle	Experimental	
Diferença	0,35 (2,77)	-0,14 (2,51)	
Pré	6,41 (1,96)	4,15 (1,74)	5,28 (2,16)
Pós	6,76 (1,67)	4,01 (1,81)	5,38 (2,21)
Total	6,58 (1,82)	4,08 (1,76)	

Figura 3.3.1.1: Gráfico de linha das médias dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.



A partir da Tabela e Gráfico 3.3.1.1, nota-se que o grupo Controle obteve valor médio igual a 6,58, enquanto o grupo Experimental obteve média igual a 4,08, indicando que há diferença entre os grupos. Além disso, a média dos valores pré é 5,28, aproximadamente igual a média dos valores pós igual a 5,39, assim, não há diferença entre os tempos. Por fim,

neste caso, o grupo Controle aumentou em média apenas 0,35 unidades no tempo pós e o grupo Experimental diminuiu 0,14 unidade, em média, mais uma vez, essa diferença não é significativa para nenhum dos grupos, ou seja, após oito semanas de treinamento, os atletas obtiveram o mesmo resultado e não há também indícios de efeito de interação.

3.3.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas

A seguir é apresentado o quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista de dois fatores com medidas repetidas, sendo, 2 grupos e 2 tempos.

Tabela 3.3.2.1: Quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista para o caso de efeito de grupo.

Fonte	SQ	GL	QM	Valor F	Valor-P
Grupo	187,60	1	187,61	62,980	<0,0001
Tempo	0,34	1	0,34	0,098	0,755
Grupo x Tempo	1,78	1	1,78	0,509	0,478
Individual	172,78	58	2,98		
Erro	202,92	58	3,50		
Total	565,42	119			

Analisando os valores-p obtidos, não há evidência estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese de igualdade dos tempos, visto que o valor-p igual a 0,755 é maior que nível de significância de 5%. O mesmo é verificado para o efeito de interação que resultou em um valor-p igual a 0,478, assim, não há evidências para rejeitar a hipótese de ausência de interação. No entanto, há evidência estatísticas para rejeitar a hipótese de igualdade do grupo, visto que este valor-p foi menor que 0,0001. Desta forma, conclui-se, para esse caso, que há efeito de grupo apenas.

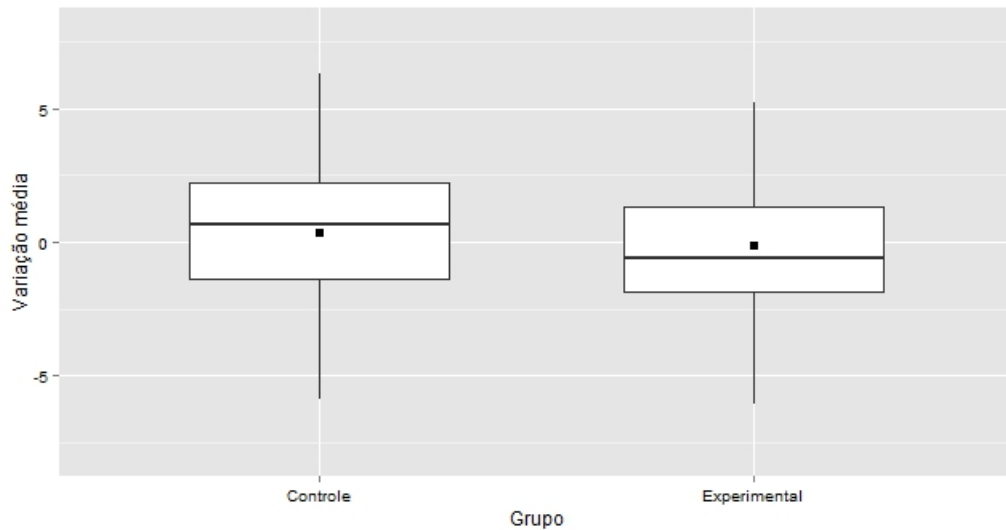
3.3.3 Teste *t* das diferenças

A seguir são apresentadas as medidas descritivas e o Box-plot das diferenças dos tempos pré e pós, para o grupo Controle e Experimental.

Tabela 3.3.3.1: Medidas descritivas das diferenças para os grupos Controle e Experimental.

Grupo	Mínimo	1° Quartil	Mediana	Média	3° Quartil	Máximo
Controle	-5,92	-1,38	0,67	0,35	2,20	6,31
Experimental	-6,05	-1,84	-0,61	-0,14	1,31	5,23

Figura 3.3.3.1: Box-Plot das diferenças dos tempos pré e pós nos grupos Controle e Experimental.



É possível perceber, com os resultados obtidos, que o grupo Controle obteve valor máximo das diferenças igual a 6,31 e valor mínimo igual a -5,92. Já no grupo Experimental o valor máximo obtido foi 5,23 e o valor mínimo -6,05. Para o grupo Controle, a mediana das diferenças obtida foi igual a 0,67 e para o grupo Experimental foi -0,61. Observa-se, mais uma vez, que em média o grupo Controle obteve aumento do seu valor, enquanto o grupo experimental obteve uma diminuição, mas essa diferença não é significativa.

O Teste t de Student não pareado, com variâncias iguais, gerou valor-p igual a 0,478 ($gl=58$, $t=0,714$). Considerando o nível de significância de 5%, não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese de igualdade das médias das diferenças dos grupos. Assim, não há indícios de efeito de interação, como já foi visto através do teste da interação da Análise de variância. Nota-se que o fato do grupo ter apresentado significância na Anova, somente indica que os dois grupos já iniciaram o estudo diferentes e permaneceram diferentes no final do estudo, isto é, não houve efeito algum do tratamento.

3.4 Efeito de Interação

3.4.1 Análise Descritiva

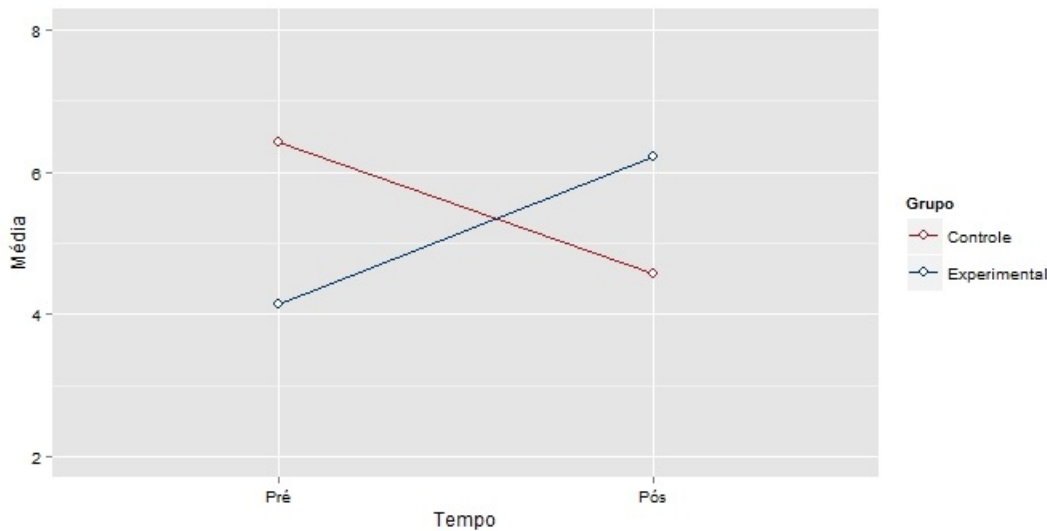
A Tabela e Gráfico 3.4.1.1 apresentam as médias e desvios-padrão dos grupos, Controle e Experimental, nos tempos, pré e pós, e a média das diferenças entre os tempos

para o caso de efeito de interação.

Tabela 3.4.1.1: Medidas descritivas dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.

Tempo	Média (Desvio Padrão)		Total
	Controle	Experimental	
Diferença	-1,85 (2,77)	2,06 (2,51)	
Pré	6,41 (1,96)	4,15 (1,74)	5,28 (2,16)
Pós	4,56 (1,67)	6,21 (1,81)	5,38 (1,92)
Total	5,48 (2,03)	5,18 (2,05)	

Figura 3.4.1.1: Gráfico de linha das médias dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.



Analisando os resultados obtidos, nota-se que o grupo Controle diminuiu em média 1,85 unidades, enquanto o grupo Experimental aumentou em média 2,06 unidades. Como a média das diferenças entre o tempo pré e pós foi significativamente maior no grupo Experimental que no grupo Controle, há indícios de interação entre esses dois grupos. A média dos dois grupos foi aproximado, com valor médio igual a 5,48 para o grupo Controle, e 5,28 para o grupo Experimental, indicando que não há diferença entre os grupos. O mesmo pode ser visto para as médias dos tempos, no qual, o tempo pré resultou um valor médio igual a 5,28 e o tempo pós resultou a média de 5,39.

3.4.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas

A seguir é apresentado o quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista de dois fatores com medidas repetidas, sendo, 2 grupos e 2 tempos.

Tabela 3.4.2.1: Quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista para o caso de efeito de interação.

Fonte	SQ	GL	QM	Valor F	Valor-P
Grupo	2,71	1	2,71	0,911	0,344
Tempo	0,34	1	0,34	0,098	0,755
Grupo x Tempo	114,81	1	114,81	32,815	<0,0001
Individual	172,78	58	2,98		
Erro	202,92	58	3,50		
Total	493,56	119			

Através do quadro da Anova, é possível perceber que os valores-p obtidos para o grupo e o tempo foram valores maiores que o nível de significância pré-estabelecido de 5%, ou seja, não há evidência estatística suficientes para rejeitar a hipótese de igualdade dos grupos e tempos. No entanto, o valor-p da interação foi menor que 5% e assim, rejeita-se a hipótese de ausência de interação. Desta forma, os resultados confirmam as evidências de que não há efeito de grupo e tempo, porém há efeito de interação.

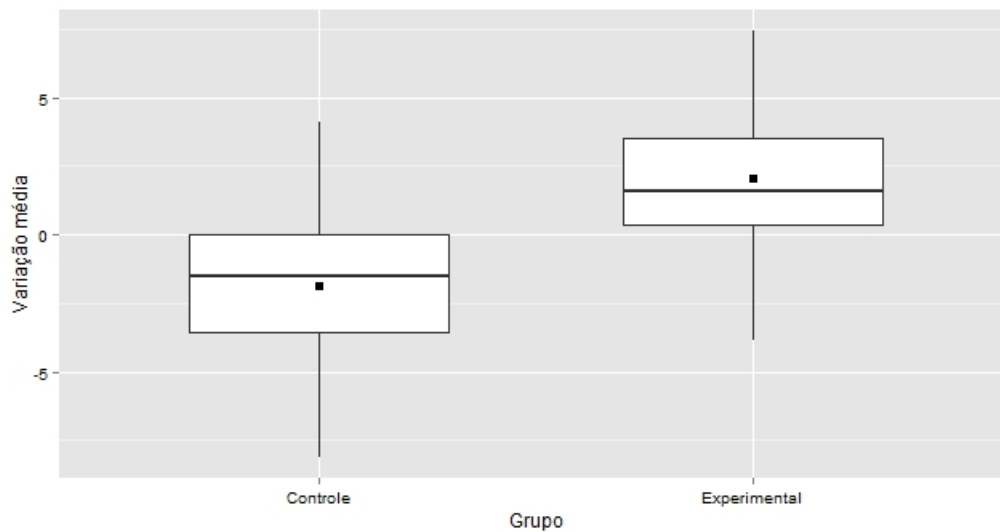
3.4.3 Teste *t* das diferenças

A seguir são apresentadas as medidas descritivas e o Box-plot das diferenças dos tempos pré e pós, para o grupo Controle e Experimental.

Tabela 3.4.3.1: Medidas descritivas das diferenças para os grupos Controle e Experimental.

Grupo	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo
Controle	-8,12	-3,58	-1,53	-1,85	0,00	4,11
Experimental	-3,85	0,36	1,59	2,06	3,51	7,43

Figura 3.4.3.1: Box-Plot das diferenças dos tempos pré e pós nos grupos Controle e Experimental.



Os valores máximos da diferença entre os tempos pré e pós para este caso foram iguais a 4,11 para o grupo Controle e 7,43 para o grupo Experimental. Os valores mínimos obtidos foram -8,12 e -3,85 para os grupos Controle e Experimental, respectivamente. Para o grupo Controle, a mediana das diferenças foi igual a -1,53 e a média, -1,85. Já a mediana obtida no grupo Experimental foi de 1,59 e a média foi 2,06. Nota-se que, em média, os treinamentos resultaram um aumento nos valores para o grupo Experimental, enquanto o grupo Controle obteve uma diminuição.

Além disso, o ponto preto no gráfico indica a média das diferenças de cada grupo, no qual, a média do grupo Controle foi igual a 0,35 e a média para o grupo Experimental igual a -0,14. Nota-se que o grupo Controle obteve em média um aumento nos seus valores, enquanto o grupo Experimental obteve uma diminuição.

Através o Teste t de Student não pareado, considerando variâncias homogêneas, realiza-se uma comparação das médias das diferenças entre os tempos pós e pré desses grupos para avaliar se existe diferença na variação dos valores da variável entre os grupos. Obteve-se o valor-p menor que 0,0001 ($gl=58$, $t=-5,728$), então rejeita-se a hipótese de igualdade das médias das variações, ou seja, o aumento dos valores da variável no grupo Experimental foi significativamente maior do que o aumento da variável no grupo Controle. Nota-se que esse resultado indica que há efeito de tratamento, mesmo não sendo observado efeito de grupo no

teste da Anova.

3.5 Efeito de Tempo e Grupo

3.5.1 Análise Descritiva

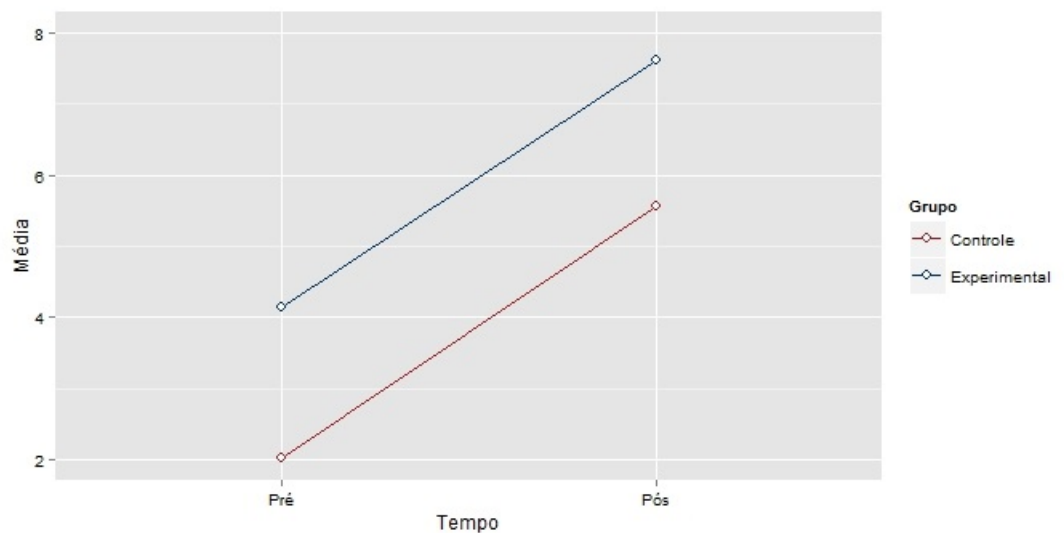
A Tabela e Gráfico 3.5.1.1 apresentam as médias e desvios-padrão dos grupos, Controle e Experimental, nos tempos, pré e pós, e a média das diferenças entre os tempos para o caso de efeito de tempo e grupo.

Tabela 3.5.1.1: Medidas descritivas dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.

Tempo	Média (Desvio Padrão)		Total
	Controle	Experimental	
Diferença	3,55 (2,77)	3,46 (2,51)	
Pré	2,01 (1,96)	4,15 (1,74)	3,08 (2,13)
Pós	5,56 (1,67)	7,61 (1,81)	6,58 (2,02)
Total	3,78 (2,54)	5,88 (2,48)	

Figura

3.5.1.1: Gráfico de linha das médias dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.



Para este caso, o grupo Controle obteve uma média de 3,78 e o grupo Experimental obteve a média de 5,88. Nota-se que esses dois grupos iniciaram com valores médios diferentes no tempo pré e finalizaram com a mesma diferença no tempo pós, indicando que há diferença entre os grupos. A média entre os tempos pré foi igual a 3,08 e a média entre os

tempos pós igual a 6,59, esses valores são discrepante e indicam diferença entre os tempos. No entanto, o grupo Controle aumentou em média 3,55 unidades e o grupo Experimental aumentou 3,463 unidades em média, ou seja, após oito semanas de treinamento, os atletas de ambos os grupos obtiveram maior resultado na sua média, mas como esse aumento no grupo Controle não é significativamente maior do que o aumento no grupo Experimental, não há indícios de um efeito de interação.

3.5.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas

A seguir é apresentado o quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista de dois fatores com medidas repetidas, sendo, 2 grupos e 2 tempos.

Tabela 3.5.2.1: Quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista para o caso de efeito de tempo e grupo.

Fonte	SQ	GL	QM	Valor F	Valor-P
Grupo	132,20	1	132,20	44,380	<0,0001
Tempo	369,00	1	369,00	105,469	<0,0001
Grupo x Tempo	0,10	1	0,10	0,016	0,899
Individual	172,78	58	2,98		
Erro	202,92	58	3,50		
Total	877,00	119			

A partir do quadro da Anova, nota-se que o valor-p obtido para o fator interação foi igual a 0,899, valor maior que o nível de significância de 0,05, sendo assim, não há evidência estatística suficientes para rejeitar a hipótese de igualdade de ausência de interação. No entanto, a partir dos valores-p do fator tempo e grupo, rejeita-se a hipótese de igualdade dos grupos Controle e Experimental e tempos pré e pós. Desta forma, os resultados confirmam as evidências de que há efeito de grupo e tempo, porém não há efeito de interação.

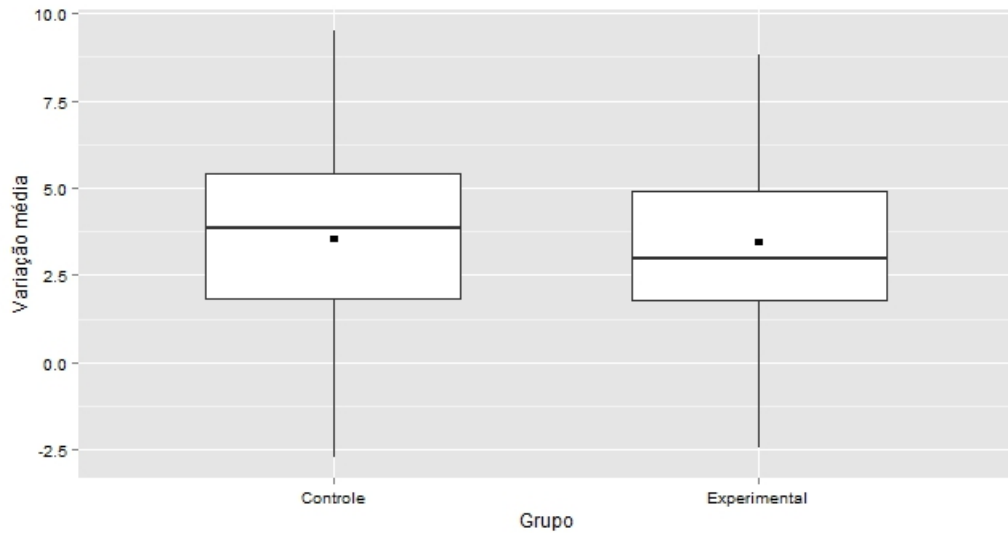
3.5.3 Teste t das diferenças

A seguir são apresentadas as medidas descritivas e o Box-plot das diferenças dos tempos pré e pós, para o grupo Controle e Experimental.

Tabela 3.5.3.1: Medidas descritivas das diferenças para os grupos Controle e Experimental.

Grupo	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo
Controle	-2,72	1,82	3,87	3,55	5,40	9,51
Experimental	-2,45	1,76	2,99	3,46	4,91	8,83

Figura 3.5.3.1: Box-Plot das diferenças dos tempos pré e pós nos grupos Controle e Experimental.



Percebe-se, a partir dos resultados, que o grupo Controle obteve valor médio das diferenças igual a 3,55, valor próximo da média do grupo Experimental que foi igual a 3,46. Os valores mínimos estão bem próximos nos dois grupos, e o valor máximo do grupo Controle, 9,51 foi maior que o valor máximo do grupo Experimental que foi igual a 8,83. Vê-se que em ambos os grupos, obteve-se, em média, um aumento nos valores e, em geral, esses valores são próximos entre os dois grupos.

Para comparar os grupos Controle e Experimental através o Teste t de Student não pareado, com variâncias iguais, calcula-se a média das diferenças (variações) de cada grupo. Ao realizar essa comparação, estamos analisando o efeito da interação. Para este caso, obteve-se o valor-p igual a 0,899 ($gl=58$, $t=0,128$). Com o nível de significância pré-estabelecido de 5%, não há indícios de que o aumento dos valores das variáveis diferiu entre os grupos, isto é, o aumento foi o mesmo para os dois grupos.

3.6 Efeito de Tempo e Interação

3.6.1 Análise Descritiva

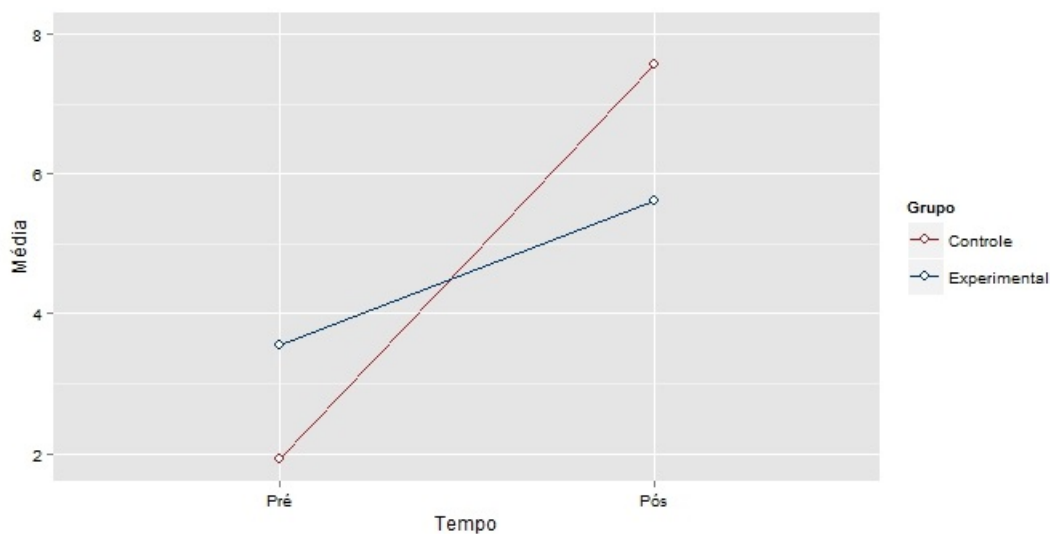
A Tabela e Gráfico 3.6.1.1 apresentam as médias e desvios-padrão dos grupos, Controle e Experimental, nos tempos, pré e pós, e a média das diferenças entre os tempos para o caso de efeito de tempo e interação.

Tabela 3.6.1.1: Medidas descritivas dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.

Tempo	Média (Desvio Padrão)		Total
	Controle	Experimental	
Diferença	5,65 (2,77)	2,06 (2,51)	
Pré	1,91 (1,96)	3,55 (1,74)	2,73 (2,02)
Pós	7,56 (1,67)	5,61 (1,81)	6,58 (1,99)
Total	4,73 (3,37)	4,58 (2,05)	

Figura

3.6.1.1: Gráfico de linha das médias dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.



É possível ver, através dos resultados obtidos, que não há diferença entre os grupos, pois a média do grupo Controle foi igual a 4,73, valor aproximado da média do grupo Experimental que foi igual a 4,58. No entanto, há diferença entre os tempos, pois a média no tempo pré foi igual a 2,73, enquanto a média no tempo pós foi igual a 6,59, ou seja, há uma discrepância entre esses valores. Também há indícios de efeito de interação, visto que

ambos os grupos aumentaram o valor da média, após os treinamentos, sendo essa diferença significativamente maior no grupo Controle (5,65) que no grupo Experimental (2,06).

3.6.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas

A seguir é apresentado o quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista de dois fatores com medidas repetidas, sendo, 2 grupos e 2 tempos.

Tabela 3.6.2.1: Quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista para o caso de efeito de tempo e interação.

Fonte	SQ	GL	QM	Valor F	Valor-P
Grupo	0,68	1	0,68	0,229	0,634
Tempo	446,30	1	446,30	127,570	<0,0001
Grupo x Tempo	96,50	1	96,50	27,590	<0,0001
Individual	172,78	58	2,98		
Erro	202,92	58	3,50		
Total	919,18	119			

Através do quadro da Anova, é possível perceber que o valor-p obtido para o grupo foi igual a 0,634, valor maior que o nível de significância pré-fixado de 5%, ou seja, não há evidência estatística suficiente para rejeitar a hipótese de igualdade dos grupos. Já os valores-p do fator tempo e interação foram menores que 0,05, assim, rejeita-se a hipótese de igualdade dos tempos pré e pós e hipótese de ausência de interação. Desta forma, os resultados confirmam as evidências de que não há efeito de grupo, porém existe efeito de tempo e efeito de interação.

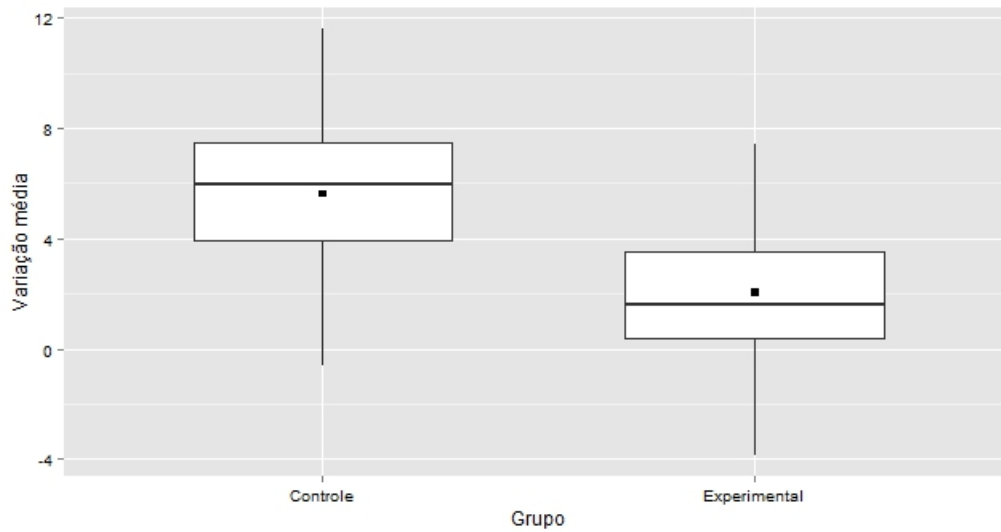
3.6.3 Teste t das diferenças

A seguir são apresentadas as medidas descritivas e o Box-plot das diferenças dos tempos pré e pós, para o grupo Controle e Experimental.

Tabela 3.6.3.1: Medidas descritivas das diferenças para os grupos Controle e Experimental.

Grupo	Mínimo	1° Quartil	Mediana	Média	3° Quartil	Máximo
Controle	-0,62	3,92	5,97	5,65	7,50	11,61
Experimental	-3,85	0,36	1,59	2,06	3,51	7,43

Figura 3.6.3.1: Box-Plot das diferenças dos tempos pré e pós nos grupos Controle e Experimental.



O grupo Controle obteve valor médio das diferenças igual a 5,65 e mediana igual a 5,97, como pode ser visto no Box-plot apresentado. O valor máximo das diferenças para esse grupo foi igual a 11,61 e valor mínimo igual a -0,62, ou seja, houve diminuição do valor pré para o pós em uma ou mais observações. Já o grupo Experimental obteve uma média das diferenças igual a 2,06 e mediana igual a 1,59. O valor máximo das diferenças para esse grupo foi igual a 7,43, valor menor que o observado no grupo Controle, e valor mínimo igual a -3,85. Percebe-se que em ambos os grupos, obteve-se, em média, um aumento nos valores.

O Teste t de Student não pareado, com variâncias iguais, foi utilizado para analisar o efeito de interação através da comparação dos grupos Controle e Experimental. Para isso, calculou-se a média das diferenças de cada grupo e obteve-se o valor-p menor que 0,0001 ($gl=58$, $t=5,253$). Com o nível de significância pré-estabelecido de 5%, rejeitou-se a hipótese de igualdade das médias das diferenças, assim, há evidências estatísticas de que o aumento foi maior no grupo Controle.

3.7 Efeito de Grupo e Interação

3.7.1 Análise Descritiva

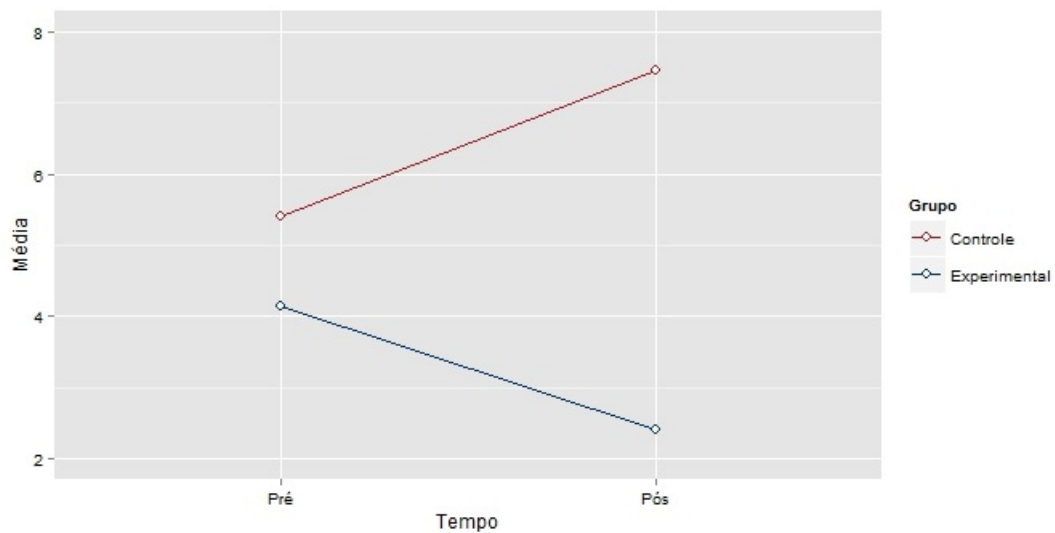
A Tabela e Gráfico 3.7.1.1 apresentam as médias e desvios-padrão dos grupos, Controle e Experimental, nos tempos, pré e pós, e a média das diferenças entre os tempos

para o caso de efeito de grupo e interação.

Tabela 3.7.1.1: Medidas descritivas dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.

Tempo	Média (Desvio Padrão)		Total
	Controle	Experimental	
Diferença	2,05 (2,77)	-1,74 (2,52)	
Pré	5,41 (1,96)	4,15 (1,74)	4,78 (1,94)
Pós	7,46 (1,67)	2,41 (1,81)	4,93 (3,08)
Total	6,43 (2,08)	3,28 (1,97)	

Figura 3.7.1.1: Gráfico de linha das médias dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.



Nota-se neste caso, que há diferença entre os grupos, visto que a média do grupo Controle foi igual a 6,43 e a média do grupo Experimental foi igual a 3,28, ou seja, os dois grupos resultaram valores médios diferentes. Além disso, o grupo Controle aumentou em média 2,05 unidades, enquanto o grupo Experimental diminuiu em média -1,74 unidades, o que indica que há indícios de efeito de interação. Apesar disso, não há diferença entre os tempos, pois a média no tempo pré, igual a 4,78, foi próxima da média no tempo pós, igual a 4,94.

3.7.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas

A seguir é apresentado o quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista de dois fatores com medidas repetidas, sendo, 2 grupos e 2 tempos.

Tabela 3.7.2.1: Quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista para o caso de efeito de grupo e interação.

Fonte	SQ	GL	QM	Valor F	Valor-P
Grupo	297,80	1	297,80	99,970	<0,0001
Tempo	0,74	1	0,74	0,212	0,647
Grupo x Tempo	107,59	1	107,59	30,751	<0,0001
Individual	172,78	58	2,98		
Erro	202,92	58	3,50		
Total	781,83	119			

Nota-se que o o fator tempo obteve valor-p igual a 0,647, valor maior que o nível de significância de 5%, ou seja, a hipótese de igualdade dos tempos pré e pós não foi rejeitada. No entanto, rejeitou-se a hipótese de igualdade dos grupos Controle e Experimental, e também a hipótese de ausência de interação. Desta forma, foram confirmadas as evidências já obtidas de que não há efeito de tempo, mas existe efeito de grupo e interação.

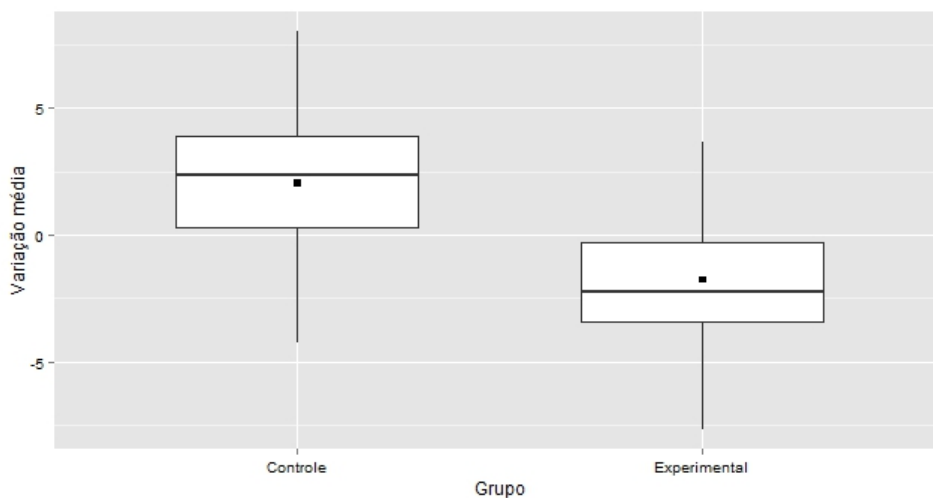
3.7.3 Teste t das diferenças

A seguir são apresentadas as medidas descritivas e o Box-plot das diferenças dos tempos pré e pós, para o grupo Controle e Experimental.

Tabela 3.7.3.1: Medidas descritivas das diferenças para os grupos Controle e Experimental.

Grupo	Mínimo	1° Quartil	Mediana	Média	3° Quartil	Máximo
Controle	-4,22	0,32	2,37	2,05	3,90	8,01
Experimental	-7,65	-3,44	-2,21	-1,74	-0,29	3,63

Figura 3.7.3.1: Box-Plot das diferenças dos tempos pré e pós dos grupos.



Como pode ser visto pelo Box-plot das diferenças, há uma grande discrepância entre os dois grupos em estudo. O grupo Controle possui, em geral, valores maiores que o grupo Experimental, sendo seus valores máximo iguais a 8,01 para o Controle e 3,63 para o Experimental. Os valores mínimos obtidos foram -4,22 para o Controle e -7,65 para o grupo Experimental. Além disso, percebe-se que o grupo Controle, obteve, em média, um aumento nos seus valores, enquanto o grupo Experimental apresentou uma diminuição.

Através o Teste t de Student, obteve-se o valor-p menor que 0,0001 ($gl=58$, $t=5,545$), então rejeita-se a hipótese de igualdade das médias das diferenças dos tempos, ou seja, como já foi mostrado, há evidências estatísticas de que o aumento foi maior no grupo Controle.

3.8 Efeito de Tempo, Grupo e Interação

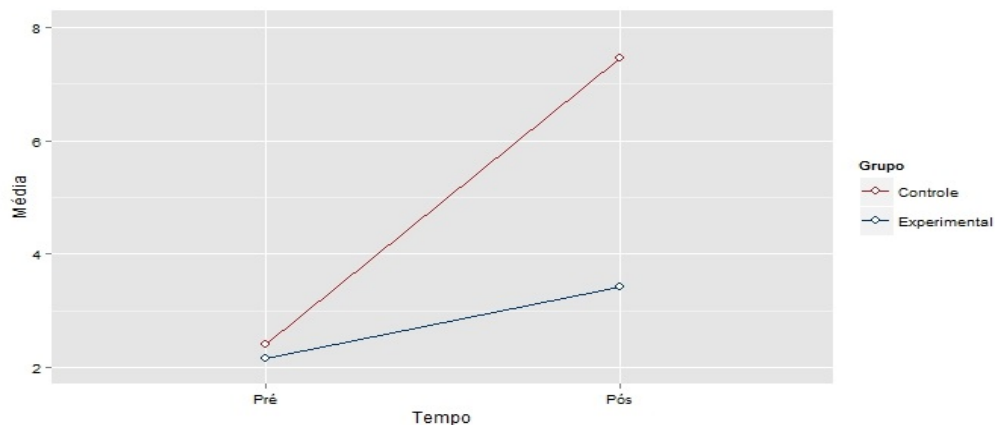
3.8.1 Análise Descritiva

A Tabela e Gráfico 3.8.1.1 apresentam as médias e desvios-padrão dos grupos, Controle e Experimental, nos tempos, pré e pós, e a média das diferenças entre os tempos para o caso de efeito de tempo, grupo e interação.

Tabela 3.8.1.1: Medidas descritivas dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.

Tempo	Média (Desvio Padrão)		Total
	Controle	Experimental	
Diferença	5,05 (2,77)	1,26 (2,52)	
Pré	2,41 (1,96)	2,15 (1,74)	2,28 (1,84)
Pós	7,46 (1,67)	3,41 (1,81)	5,43 (2,67)
Total	4,93 (3,12)	2,78 (1,87)	

Figura 3.8.1.1: Gráfico de linha das médias dos grupos Controle e Experimental nos tempos.



Os grupos em questão resultaram valores médios bem discrepantes, sendo 4,93 a média do grupo Controle e 2,78 a média do grupo Experimental, assim, há evidências de que os grupos sejam diferentes. A média dos tempos pré e pós também foram muito diferentes, com os valores médios iguais a 2,28 para o tempo pré e 5,44 para o tempo pós, o que indica que há diferença entre os tempos. Além disso, observa-se que a média das diferenças entre os tempos pré e pós foi maior no grupo Controle, 5,05, que no grupo Experimental, 1,26, então, há indícios de efeito de interação entre esses dois grupos.

3.8.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas

A seguir é apresentado o quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista de dois fatores com medidas repetidas, sendo, 2 grupos e 2 tempos.

Tabela 3.8.2.1: Quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista para o caso de efeito de tempo, grupo e interação.

Fonte	SQ	GL	QM	Valor F	Valor-P
Grupo	138,80	1	138,80	46,580	<0,0001
Tempo	299,00	1	299,00	85,470	<0,0001
Grupo x Tempo	107,60	1	107,60	30,750	<0,0001
Individual	172,78	58	2,98		
Erro	202,92	58	3,50		
Total	921,10	119			

Analisando o quadro da Anova, é possível perceber que os valores-p obtidos para o grupo, tempo e interação foram valores menores que o nível de significância pré-estabelecido de 5%, ou seja, há evidência estatística suficientes para rejeitar a hipótese de igualdade dos grupos e tempos e hipótese de ausência de interação. Desta forma, os resultados confirmam as evidências já apresentadas de que há efeito de grupo, tempo e interação para este caso.

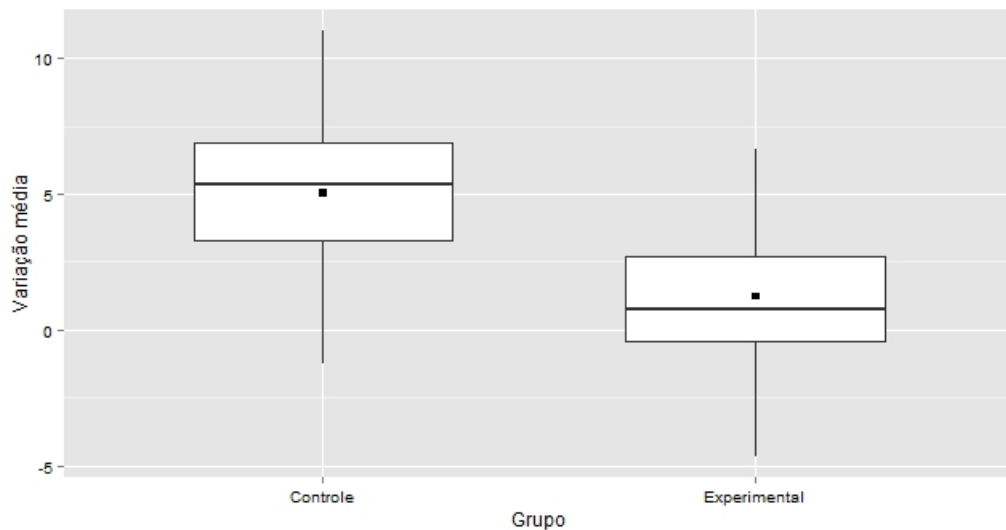
3.8.3 Teste t das diferenças

A seguir são apresentadas as medidas descritivas e o Box-plot das diferenças dos tempos pré e pós, para o grupo Controle e Experimental.

Tabela 3.8.3.1: Medidas descritivas das diferenças para os grupos Controle e Experimental.

Grupo	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo
Controle	-1,22	3,32	5,37	5,05	6,90	11,01
Experimental	-4,65	-0,44	0,79	1,26	2,71	6,63

Figura 3.8.3.1: Box-Plot das diferenças dos tempos pré e pós nos grupos Controle e Experimental.



Como pode ser visto pelo Box-plot das diferenças, mais uma vez há uma grande discrepância entre os dois grupos em estudo. O grupo Controle possui, em geral, valores maiores que o grupo Experimental. A mediana do grupo Controle foi igual a 5,37 e a média do grupo Experimental foi 0,79, o que confirma a discrepância dos dados. Além disso, percebe-se que ambos os grupos obtiveram, em média, aumento dos resultados, após as oito semanas.

Ao analisar o efeito de interação através do Teste t de Student não pareado, considerando variâncias homogêneas, obteve-se o valor-p menor que 0,0001 ($gl=58$, $t=5,545$). Com o nível de significância pré-estabelecido de 5%, rejeitou-se a hipótese de igualdade das médias, assim, há evidências estatísticas de que o aumento dos valores das variáveis diferiu entre os grupos, isto é, o aumento foi maior no grupo Controle.

3.9 Resumo dos oito casos simulados

Os resultados das simulações para os oito possíveis casos resultantes da combinação dos efeitos de grupo, tempo e interação, estão apresentados na Tabela 3.9.1.

Tabela 3.9.1: Resultado das estatísticas de teste e valor-p dos 8 casos simulados.

Casos Simulados	Valor F	Teste t	Valor-P
1. Nenhum Efeito	0,509	0,714	0,478
2. Efeito de Tempo	1,013	1,007	0,318
3. Efeito de Grupo	0,509	0,714	0,478
4. Efeito de Interação	32,815	-5,728	<0,0001
5. Efeito de Tempo e Grupo	0,016	0,128	0,899
6. Efeito de Tempo e Interação	27,590	5,253	<0,0001
7. Efeito de Grupo e Interação	30,752	5,543	<0,0001
8. Efeito de Tempo, Grupo e Interação	30,750	5,545	<0,0001

Através dos resultados obtidos observa-se que, a um nível de significância de 5%, todos os casos que apresentaram efeito de interação resultaram valores-p significativos, são eles: caso 4 (efeito de interação), caso 6 (efeito de tempo e interação), caso 7 (efeito de grupo e interação) e caso 8 (efeito de tempo, grupo e interação). Além disso, nota-se que o valor da estatística F é exatamente o quadrado da estatística do teste t para os oito casos simulados.

4 DESCRIÇÃO DO CONJUNTO DE DADOS

O basquetebol é um esporte bem difundido mundialmente (SILVA et. al.,2007) com aproximadamente 300 milhões de praticantes (MELLO & PARADA, 2002). Esse esporte envolve esforços intensos e breves, exigindo grande movimentação e coordenação, sendo composto por movimentos básicos como saltos, aterrissagens, corrida, aceleração, desaceleração, mudanças de direção e pivoteios, que tornam o esporte potencialmente lesivo (CHENG et. al.,2000).

Foi verificado que o basquetebol é uma modalidade esportiva cuja maior carga de trabalho é exercida nos membros inferiores dos praticantes. Além disso, há alta incidência de lesões em diferentes regiões, sendo a região lombar e as articulações dos membros inferiores as mais comprometidas (BACKX et. al, 1991). Dentre as mais frequentes na região inferior do corpo, estão as lesões nas articulações do tornozelo e joelho (MEEUWISSE et. al, 2003).

Segundo Willems et al. (2005), o risco de entorse do tornozelo está associada a manutenção ineficiente do equilíbrio postural. Os treinamentos proprioceptivos podem reduzir o tempo de resposta muscular dos atletas, auxiliando na manutenção do equilíbrio. Assim, tais exercícios são recomendados nos treinos de diversas modalidades esportivas, como o basquetebol (BARBOSA, 2016).

Sendo assim, foi realizado um estudo com atletas de basquete submetidos a alguns treinos proprioceptivos orientados. Tais treinos, foram realizados por um período de 8 semanas, sempre antes dos treinos de basquete, com o intuito de melhorar e manter o equilíbrio postural, diminuindo assim, o risco de lesões. (BARBOSA, 2016).

Para esse estudo, foi coletada uma amostra de 28 atletas da equipe de basquetebol do Centro de Iniciação Desportiva (CID), situado na escola pública Centro de Ensino Médio da Escola Industrial de Taguatinga (CEMEIT). Esses estudantes participam ativamente de torneios e competições escolares regionais e nacionais de basquete (BARBOSA, 2016).

Para seleção dos alunos participantes da pesquisa, utilizou-se alguns critérios de inclusão:

- Prática regular do esporte de basquetebol no Centro de Iniciação Desportiva do CEMEIT;

- Prática dos treinos e exercícios físicos orientados dentro da modalidade e treinos proprioceptivos sugeridos pelo protocolo do presente estudo;
- Prática do esporte de basquetebol por no mínimo um ano;
- Ser do sexo masculino;
- Possuir idade entre 13 e 16 anos;
- Apresentação da autorização para participação voluntária na pesquisa, por meio da assinatura do responsável legal do atleta em um termo de consentimento aprovado por um comitê de ética local.

Os critérios de exclusão dos alunos para o estudo incluíram:

- Apresentar histórico de doenças do aparelho locomotor, como lesões ou doenças neurodegenerativas;
- Não cumprimento do programa de exercícios oferecido nas aulas do CID durante o ano letivo de 2015.

A amostra dos 28 alunos em estudo foi dividida em dois grupos, o Grupo Controle (GC), com 14 alunos e o Grupo Experimental (GE), com 14 alunos. No grupo Controle, os atletas participaram apenas dos treinos de basquetebol, enquanto que no grupo Experimental foram realizados alguns treinamentos de equilíbrio, chamados de treinos proprioceptivos orientados, além dos treinos de basquete. (BARBOSA, 2016).

Os treinos proprioceptivos orientados foram realizados pelo Grupo Experimental por 8 semanas, com frequência de 3 vezes na semana e duração de 10 a 15 minutos, realizados antes do treino de basquete (BARBOSA, 2016). Para ambos os grupos, foram coletados alguns dados referentes aos atletas no início do estudo, que foram classificados como pré. Após 8 semanas de treinamento, coletou-se novamente os mesmos dados dos alunos, que foram classificados como pós.

As coletas dos dados pré e pós-tratamento, realizadas através de sinais de reflexo, foram realizadas na Faculdade de Educação Física (FEF) da Universidade de Brasília (UnB) no Laboratório de Processamento Digital de Sinais Biológicos. (BARBOSA, 2016).

Algumas variáveis, chamadas de variáveis de controle, foram utilizadas para controle do experimento, ou seja, espera-se que essas variáveis tenham o mesmo resultado antes e depois do estudo, pois a mudança destas pode ter influência no resultado do teste que deveria ser alterado apenas pelo experimento utilizado.

Essas variáveis de caracterização da amostra são:

- Avaliação antropométrica para determinar o percentual de gordura corporal de cada participante;
- Idade (em anos);
- Altura (cm) e peso (kg);
- Índice de Massa Corporal (IMC), calculado a partir da razão entre o peso em Kg e o quadrado da altura em cm;
- Tempo de prática da modalidade orientada (em meses).

Medidas descritivas das características dos participantes, coletadas antes do estudo, são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Medidas descritiva das variáveis de controle do estudo (pré- e pós-tratamento).

Variável	Média		Desvio Padrão	
	Pré	Pós	Pré	Pós
Percentual de Gordura	16,30	15,65	5,51	4,13
Idade (anos)	14	-	0,98	-
Altura (cm)	1,73	1,73	0,09	0,09
Peso (kg)	63,00	63,85	13,53	12,40
IMC (kg/cm ²)	20,54	20,01	3,16	2,70
Tempo de Basquete (em meses)	19	-	8,39	-

Fonte: Barbosa, G.A (2016)

Observa-se que a altura se manteve constante após as 8 semanas de treinamento, em ambos os grupos. Os atletas apresentaram, em média, um aumento de 850 gramas em seu peso, após as 8 semanas de treinamento e o IMC diminuiu, em média, 0,53 kg/cm². Observa-se também uma diminuição no percentual de gordura, de 16,30% , após as 8 semanas de treinamento, para 15,65%. Para a idade, medida em ano, e o tempo de basquete, medido em meses, os resultados mantiveram os mesmos, após os treinamentos.

4.1 RESULTADOS

O objetivo do estudo foi verificar o efeito do treinamento proprioceptivo na diminuição da excitabilidade da via reflexa de músculos posturais. A variável utilizada na análise foi a Resposta Reflexa Máxima (Hmax) normalizada pela Resposta Motora Máxima (Mmax). Segundo Barbosa (2016), essa normalização é necessária para possibilitar a comparação do Hmax entre indivíduos. A hipótese a ser testada é que o treino diminua o escore Hmax normalizado.

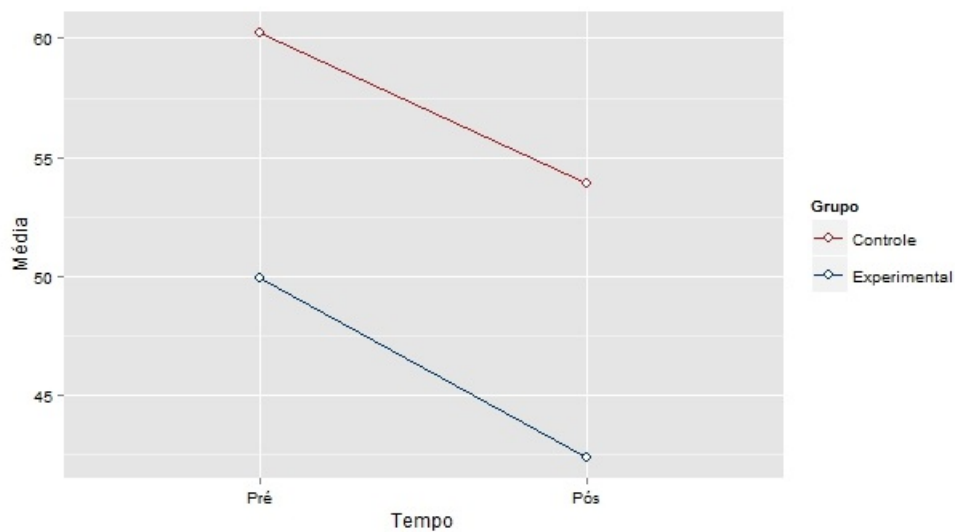
4.1.1 Análise Descritiva

A Tabela e Gráfico 4.1.1.1. apresentam as médias e desvios-padrão da variável Hmax nos grupos, Controle e Experimental, nos tempos, pré e pós, e a média das diferenças entre os tempos para o caso de ausência de efeito.

Tabela 4.1.1.1: Medidas descritivas dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.

Tempo	Média (Desvio Padrão)		Total
	Controle	Experimental	
Diferença	-6,31 (23,17)	-7,49 (18,77)	
Pré	60,23 (20,73)	49,90 (20,04)	55,06 (20,69)
Pós	53,92 (22,80)	42,40 (18,88)	48,16 (21,36)
Total	57,07 (21,62)	46,15 (19,48)	

Figura 4.1.1.1: Gráfico de linha das médias dos grupos Controle e Experimental nos tempos pré e pós.



Através da análise dos resultados, observa-se que a média dos dois grupos foi igual a 57,07 para o grupo Controle, e 46,15 para o grupo Experimental. Para as médias dos tempos, nota-se que o tempo pré obteve um valor médio igual a 55,06 e o tempo pós obteve a média de 48,16, esses valores não estão tão próximos, mas ainda assim não parece haver efeito de grupo e tempo.

Além disso, nota-se que o grupo Controle diminuiu 6,31 unidades no valor da média da Resposta Reflexa Máxima, após oito semanas de treinamentos de basquete. O mesmo pode ser visto para o grupo Experimental, que após a realização dos treinamentos proprioceptivos, obteve uma diminuição de 7,49 na média da variável. Como essa diminuição no grupo Experimental não é significativamente maior que a diminuição no grupo Controle, não há indícios de um efeito de interação.

4.1.2 Anova Mista de dois fatores com medidas repetidas

A seguir é apresentado o quadro da Análise de Variância (ANOVA) mista de dois fatores com medidas repetidas, sendo, 2 grupos e 2 tempos.

Tabela 4.1.2.1: Análise de Variância (ANOVA) para a variável Resposta Reflexa Máxima.

Fonte	SQ	GL	QM	Valor F	Valor-P
Grupo	1.670	1	1.670	2,645	0,116
Tempo	667	1	667	3,001	0,095
Grupo x Tempo	4,9	1	4,9	0,022	0,884
Individual	16.417	26	631,42		
Erro	5.781	26	222,35		
Total	24.540	55			

Através do quadro da Anova, é possível perceber que os valores-p obtidos para o grupo, tempo e interação foram valores maiores que o nível de significância pré-estabelecido de 5%, ou seja, não há evidência estatística suficientes para rejeitar a hipótese de igualdade dos grupos e tempos e hipótese de ausência de interação. Desta forma, os resultados confirmam as evidências já mostradas na Tabela e Gráfico 4.1.1.1, de que não há efeito de grupo, tempo e interação para este caso.

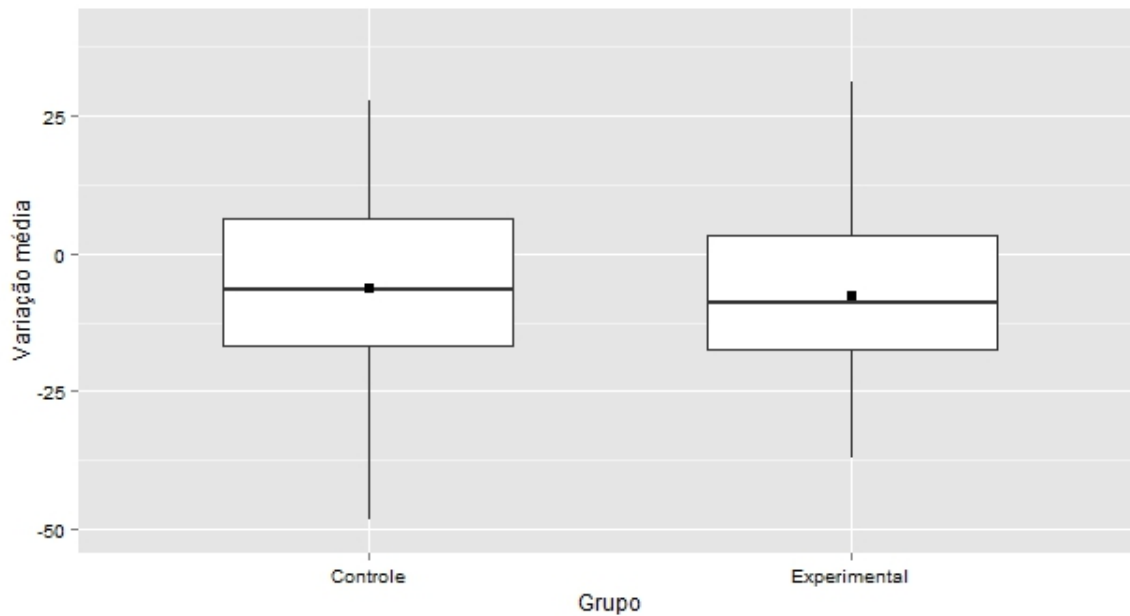
4.1.3 Teste t das diferenças

A seguir são apresentadas as medidas descritivas e o Box-plot das diferenças dos tempos pré e pós, para o grupo Controle e Experimental.

Tabela 4.1.3.1: Medidas descritivas das diferenças para os grupos Controle e Experimental.

Grupo	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo
Controle	-48,19	-16,87	-6,64	-6,31	6,39	27,64
Experimental	-37,24	-17,50	-8,87	-7,49	3,31	31,07

Figura 4.1.3.1: Box-Plot das diferenças dos tempos pré e pós nos grupos Controle e Experimental.



Através dos Quadros das medidas descritivas e do Box-Plot é possível perceber que a diferença máxima entre os valores pré e pós da variável Resposta Reflexa Máxima é 27,64 para o grupo Controle e 31,07 para o grupo Experimental. Os valores mínimos são -48,19 e -37,24 para os grupos Controle e Experimental, respectivamente. Nota-se que tanto a média, quanto a mediana foram menores para o grupo Experimental, grupo que realizou o treino proprioceptivo, além do treino de basquete.

Para comparar o grupo Controle e Experimental através o Teste t de Student não pareado, considerando variâncias homogêneas, calcula-se a diferença entre os valores pós

e pré de cada indivíduo e a média das diferenças de cada grupo. Ao realizar a comparação dessas médias, estamos analisando o efeito da interação tempo e grupo. Para este caso, obteve-se o valor-p igual a 0,884 ($gl=26$, $t=0,148$), mesmo valor obtido na interação da análise de variância. Com o nível de significância pré-estabelecido de 0,05, não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese nula da igualdade das médias, ou seja, não há indícios de que a diminuição dos valores da variável Resposta Reflexa Máxima diferiu entre os grupos, isto é, a diminuição foi a mesma para os dois grupos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a comparação de dois grupos de tratamentos avaliados em duas medidas longitudinais, sendo a primeira medida tomada no início do estudo (pré-tratamento) e a segunda ao final do tratamento (pós-tratamento). Esse procedimento foi ilustrado por meio de dados simulados e em um conjunto de dados reais.

Essa análise pode ser realizada através de uma Análise de Variância (ANOVA) mista com dois fatores e medidas repetidas, considerando o tempo (pré- e pós-tratamento) como fator intra-indivíduo e os grupos (controle e experimental) como fator entre-indivíduos. No entanto, apesar do interesse ser comparar o efeito do tratamento (experimental versus controle), a hipótese a ser testada não é o de efeito do fator grupo. As Seções 3.3 e 3.5 deste trabalho ilustram situações em que há efeito significativo do fator grupo, porém sem efeito de interação. É possível notar que a significância do fator grupo, na ausência de interação, somente diz que os grupos já iniciaram diferentes e essa diferença não mudou ao longo do tempo, no gráfico é representado por retas paralelas. Isto é, mesmo que seja observado também um efeito do tempo (Seção 3.5), isso significará somente que o aumento (ou diminuição) do grupo experimental foi igual ao do grupo controle. De fato, nesta situação, o interesse é testar a hipótese do efeito da interação. A presença de interação indicará que o crescimento (ou decaimento) dos valores da variável é diferente entre os grupos, ou seja, um grupo cresceu mais do que outro.

Uma forma alternativa de comparar o efeito dos dois grupos nesse tipo de estudo envolve o cálculo da variação da medida (diferença entre os valores pós- e pré-tratamento) para cada paciente e subsequente realização de um teste t de Student não pareado (para variâncias homogêneas) para avaliar se essa variação difere entre os grupos. De fato, realizar o teste t das diferenças é equivalente a aplicar o teste da interação da ANOVA mista com dois fatores e medidas repetidas. Foi mostrado, neste trabalho, através de exemplos numéricos que o teste t não pareado das diferenças e a interação da ANOVA mista testam exatamente a mesma hipótese. Este fato recai em uma propriedade que envolve as distribuições t de Student e F de Fisher-Snedecor: Se $T \sim t - Student_{(k)}$, então $T^2 \sim F_{(1,k)}$. Foi possível verificar que, em todos os testes realizados (Capítulo 3 e 4), a estatística F do teste da interação é exatamente o quadrado da estatística do teste t .

Nota-se que o significado real de cada hipótese testada em uma ANOVA mista com dois fatores e medidas repetidas não é simples e pode causar confusão, principalmente entre os pesquisadores aplicados. Estima-se que uma grande parte dos pesquisadores não tem claro o significado da interação e o confundem com o efeito do fator grupo. Por outro lado, o teste t é um teste simples que permite interpretação direta de seus resultados. Apesar da simplicidade do teste t , a ANOVA mista tem sido a preferida na análise. Acredita-se que essa escolha é feita por desconhecimento da equivalência com o teste t ou, simplesmente, por reproduzir a mesma técnica realizada em uma publicação similar. Casos em que a escolha de um teste estatístico é "copiado" de estudos similares são comuns. Altman e Bland (1983) e Borba e Nakano (2016) apresentam exemplos em que procedimentos estatísticos são adotados com base no argumento de já terem sido utilizados em estudos similares.

A ANOVA mista com dois fatores e medidas repetidas e o teste t de Student foram ilustrados por meio de conjunto de dados reais cujo objetivo foi verificar o efeito de um treinamento de equilíbrio na diminuição da excitabilidade da via reflexa de músculos posturais (BARBOSA, 2016). Nesta aplicação, a hipótese de interesse foi verificar se o treino foi capaz de diminuir o escore de Resposta Reflexa Máxima (Hmax). Os resultados obtidos não mostraram resultado significativo, ou seja, o treinamento de equilíbrio não alterou de forma significativa a Resposta Reflexa Máxima nos atletas de basquetebol.

REFERÊNCIAS

- ALTMAN, D.G.; BLAND, J.M. (1983). Source. *Measurement in Medicine: The Analysis of Method Comparison Studies*. Journal of the Royal Statistical Society, p. 307-317, v.32.
- BACKX, F.J.; BEIJER, H.J.; BOL, E.; ERICH, W.B. (1991). *Injuries in high-risk persons and high-risk sports*. Am J Sports Med., p. 124-130.
- BARBOSA, G.A. (2016). *"Padrão de recrutamento de unidades motoras e mecanismos de modulação reflexa em escolares praticantes de basquetebol submetidos a um programa de treinamento proprioceptivo"*. Dissertação: Mestrado em Educação Física. Universidade de Brasília.
- BORBA, M.C.V; NAKANO, E.Y. (2016). *Uma alternativa para avaliar discordância entre duas medidas via modelo de regressão linear simples sem intercepto*. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v.37, n.2, p. 41-50.
- BUSSAB, W.O.; MORETTIN, P.A. (2013). *Estatística básica*, 8 ed., Saraiva, p. 568.
- CHENG, Y. AND ZHOU, S. (2011). *"Soleus H-reflex and its relation to static postural control"*. Gait & posture, p. 169-178.
- CONOVER, W.J. (1999). *Practical nonparametric statistics*, 3 ed., Wiley, p. 584.
- LEVENE, HOWARD (1960). *"Robust tests for equality of variances"*. In Ingram Olkin, Harold Hotelling, et alia. *Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling*. Stanford University Press. p. 278-292.
- MEEUWISSE, W.H.; SELLMER, R.; HAGEL, B.E. (2003). *Rates and risks of injury during intercollegiate basketball*. Am J Sports Med., p. 379-385.
- MELLO, R.; PARADA, K. (2002). *Perfil de lesões dos membros inferiores em atletas de basquetebol do sexo masculino*. Anais de Pesquisa da Universidade de Ribeirão Preto.
- MONTGOMERY, D. (2012). *Design and analysis of experiments*, 8 ed., Wiley, p. 752.
- NAKANO, E.Y.; OIKAWA, S.M. (2004). *Hipóteses Estatísticas Testadas por Diversos Softwares em Modelos com Dois Fatores*. Trends in Applied and Computational Mathematics, v.5, n.1, p. 117-124.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2015). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- SHALABH, H.T (2009). *Statistical Analysis of Designed Experiments*, 3 ed., Springer, p. 615.
- SILVA, A.S.; ABDALLA, R.J.; FISBERG, M. (2007). *Incidência de lesões musculoesqueléticas em atletas de elite do basquetebol feminino*, v.15., Acta Ortopédica Brasileira, p. 43-46.

WILLEMS, T.M.; WITVROUW, E.; DELBAERE, K.; MAHIEU, N.; DE
BOURDEAUDHUIJ, I.; DE CLERCQ, D. (2005). *Intrinsic risk factors for inversion ankle
sprains in male subjects: a prospective study*. Am J Sports Med., p. 415-423.

APÊNDICES

Apêndice A: Programa para dados simulados

Aqui será apresentada a programação utilizada para simulação dos dados e resultados da Análise Descritiva, Análise de Variância, e teste *t* de Student para esses dados.

```
#### PACOTES ####

install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)

#### SIMULAÇÃO ####

#CASO 1 - nenhum efeito

set.seed(123)
muc.pre<-5.1
muc.pos<-5.0
mue.pre<-4.9
mue.pos<-5.0
sigma<-2

#CASO 2 - efeito do tempo

set.seed(123)
muc.pre<-4.2
muc.pos<-7.1
mue.pre<-4.1
mue.pos<-7.0
sigma<-2

#CASO 3 - efeito do grupo

set.seed(123)
muc.pre<-6.5
muc.pos<-6.4
mue.pre<-4.1
mue.pos<-4.2
sigma<-2

#CASO 4 - efeito da interação

set.seed(123)
muc.pre<-6.5
muc.pos<-4.2
```

64

```
mue.pre<-4.1  
mue.pos<-6.4  
sigma<-2
```

```
#CASO 5 - efeito de tempo e grupo
```

```
set.seed(123)  
muc.pre<-2.1  
muc.pos<-5.2  
mue.pre<-4.1  
mue.pos<-7.8  
sigma<-2
```

```
#CASO 6 - efeito de tempo e interação
```

```
set.seed(123)  
muc.pre<-2.0  
muc.pos<-7.2  
mue.pre<-3.5  
mue.pos<-5.8  
sigma<-2
```

```
#CASO 7 - efeito de grupo e interação
```

```
set.seed(123)  
muc.pre<-5.5  
muc.pos<-7.1  
mue.pre<-4.1  
mue.pos<-2.6  
sigma<-2
```

```
#CASO 8 - efeito de tempo, grupo e interação
```

```
set.seed(123)  
muc.pre<-2.5  
muc.pos<-7.1  
mue.pre<-2.1  
mue.pos<-3.6  
sigma<-2
```

```
#### GERAÇÃO DOS DADOS ####
```

```
nc<-30    ## tamanho da amostra controle  
ne<-30    ## tamanho da amostra experimental
```



```

controle.pre <- rnorm(nc,muc.pre,sigma)
controle.pos <- rnorm(nc,muc.pos,sigma)
experimental.pre <- rnorm(ne,mue.pre,sigma)
experimental.pos <- rnorm(ne,mue.pos,sigma)

grupos<-c(rep(1,nc),rep(2,ne))    ## 1=controle e 2=experimental

#### DESCRITIVAS ####

#Controle
MCpre<-mean(controle.pre)
MCpos<-mean(controle.pos)
SCpre<-sd(controle.pre)
SCpos<-sd(controle.pos)

#Experimental
MEpre<-mean(experimental.pre)
MEpos<-mean(experimental.pos)
SEpre<-sd(experimental.pre)
SEpos<-sd(experimental.pos)

#### TRANSFORMANDO O BANCO ####

grupos<-c(rep(1,nc),rep(2,ne))

pre <- cbind(controle.pre, experimental.pre)
pos <- cbind(controle.pos, experimental.pos)
treinos <- as.data.frame(rbind(pre,pos))
names(treinos) <- c("controle", "experimental")

controle <- cbind(controle.pre, controle.pos)
experimental <- cbind(experimental.pre, experimental.pos)
prepos <- as.data.frame(rbind(controle,experimental))
names(prepos) <- c("pre","pos")

#### TOTAL DAS MÉDIAS E DESVIOS ####

mean(treinos$controle)
mean(treinos$experimental)
sd(treinos$controle)
sd(treinos$experimental)

mean(prepos$pre)

```

66

```
mean(prepos$pos)
sd(prepos$pre)
sd(prepos$pos)
```

```
#### MEDIA E DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS ####
```

```
difc <- (controle.pos) - (controle.pre)
dife <- (experimental.pos) - (experimental.pre)
```

```
mean(difc)
mean(dife)
sd(difc)
sd(dife)
```

```
summary(difc)
summary(dife)
```

```
#### GRÁFICOS ####
```

```
#Gráfico de linha
```

```
tempo <- as.character(c(" Pré ", " Pós "))
media <- round(as.numeric (c(MCpre,MCpos,MEpre,MEpos)),2)
grupo <- as.character (c("Controle", "Controle", "Experimental", "Experimental"))
linha <- as.data.frame (cbind(tempo,media,grupo))
```

```
ggplot(linha, aes(x=tempo,y=as.numeric(as.character(media)),group=grupo,colour=grupo))
+ geom_line(size=0.7) + geom_point(size=3, shape=21, fill="white") +
scale_colour_manual(name="Grupo", values = c("#A11D21", "#003366"))+
labs(x="Tempo", y="Média") + ylim(2, 8.0) +
theme(axis.title.y=element_text(colour="black", size=12,
hjust = 0.5, angle = 90))+
theme(axis.title.x = element_text(colour="black", size=12,
hjust = 0.5, angle = 0))+
theme(axis.text = element_text(colour = "black", size=9.5)) +
theme(strip.text.y = element_text (angle=0, colour="black", size=10))
```

```
#Box Plot
```

```
grupos<-c(rep(1,nc),rep(2,ne))
```

```
controle <- cbind(controle.pre, controle.pos)
experimental <- cbind(experimental.pre, experimental.pos)
prepos <- as.data.frame(rbind(controle,experimental))
names(prepos) <- c("pre","pos")
```

```

diferença<- prepos$pos - prepos$pre
dados<-as.data.frame(cbind(grupos,prepos,diferença))

str(dados)
dados$grupos <- factor(dados$grupos)

levels(dados$grupos)=c("Controle","Experimental")
ggplot(dados, aes(x=grupos, y=diferença)) +
geom_boxplot(fill=c("white"), width = 0.8) +
guides(fill=FALSE) +
stat_summary(fun.y="mean", geom="point", shape=22, size=2, fill="black")+
labs(x="Grupo", y="Variação média") +
theme(axis.title.y=element_text(colour="black", size=12,
hjust = 0.5, angle = 90))+
theme(axis.title.x = element_text(colour="black", size=12,
hjust = 0.5, angle = 0))+
theme(axis.text = element_text(colour = "black", size=9.5))

#### TESTE T DAS DIFERENÇAS ####

difc <- (controle.pos) - (controle.pre)
dife <- (experimental.pos) - (experimental.pre)

t.test(difc,dife, var.equal = T)

#### ANOVA MISTA ####

pos <- c(controle.pos,experimental.pos)
pre <- c(controle.pre,experimental.pre)
grupo <- grupos
data <- as.data.frame(cbind(pre,pos,grupo))

sujeito <- 1:(nc+ne)
pre.cat <- rep("pre",nc+ne)
tab1<-cbind(sujeito,grupo,pre.cat,pre)

pos.cat <- rep("pos",nc+ne)
tab2<-cbind(sujeito,grupo,pos.cat,pos)

tab3<-as.data.frame(rbind(tab1,tab2))
names(tab3) <- c("sujeito","grupo", "tempo", "valor")
head(tab3)

```

68

```
tab3$sujeito <- factor(tab3$sujeito)
tab3$grupo <- factor(tab3$grupo)
tab3$valor <- as.numeric(as.character(tab3$valor))
str(tab3)
```

```
#ANOVA MISTA (AOV)
```

```
aov_grupo_tempo <- aov(valor ~ grupo*tempo + Error(sujeito/tempo), data=tab3)
summary(aov_grupo_tempo)
```


Apêndice B: Programa para dados reais

Aqui será apresentada a programação da Análise Descritiva, Análise de Variância, e teste t de Student para os dados reais da aplicação em atletas de basquete.

```
#### PACOTES ####

install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)

install.packages("car")
library(car)

##### IMPORTAÇÃO DOS DADOS #####

dados<-read.table(file.choose(),sep=";", dec=".",h=T)
names(dados)
str(dados)

#### BANCO DOS SUBGRUPOS ####
controle <- subset(dados, dados$grupos=="1")
experimental <- subset(dados, dados$grupos=="2")

#### VARIÁVEL H MAX #####

#### DESCRITIVAS ####
#Controle
MCpre <- mean(controle$Hmaxpre)
MCpos <- mean(controle$Hmaxpos)
SCpre <- sd(controle$Hmaxpre)
SCpos <- sd(controle$Hmaxpos)

#Experimental
MEpre <- mean(experimental$Hmaxpre)
MEpos <- mean(experimental$Hmaxpos)
SEpre <- sd(experimental$Hmaxpre)
SEpos <- sd(experimental$Hmaxpos)

#### TOTAL DAS DESCRITIVAS ####

pre <- cbind(controle$Hmaxpre, experimental$Hmaxpre)
pos <- cbind(controle$Hmaxpos, experimental$Hmaxpos)
treinos <- as.data.frame(rbind(pre,pos))
names(treinos) <- c("controle", "experimental")
```

```

mean(treinos$controle)
mean(treinos$experimental)
sd(treinos$controle)
sd(treinos$experimental)

mean(dados$Hmaxpre)
mean(dados$Hmaxpos)
sd(dados$Hmaxpre)
sd(dados$Hmaxpos)

##### MEDIA E DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS #####

difc <- (controle$Hmaxpos) - (controle$Hmaxpre)
dife <- (experimental$Hmaxpos) - (experimental$Hmaxpre)

mean(difc)
mean(dife)
sd(difc)
sd(dife)

summary(difc)
summary(dife)

#### GRÁFICOS ####

#Gráfico de linha
tempo <- as.character(c("Pré", "Pós"))
media <- as.numeric(c(60.23, 53.92, 49.90, 42.40))
grupo <- as.character(c("Controle", "Controle", "Experimental", "Experimental"))
linha <- as.data.frame(cbind(tempo, media, grupo))

ggplot(linha, aes(x=tempo, y=as.numeric(as.character(media)),
group=grupo, colour=grupo)) +
geom_line(size=0.7) + geom_point(size=3, shape=21, fill="white") +
scale_colour_manual(name="Grupo", values = c("#A11D21", "#003366"))+
labs(x="Tempo", y="Média") +
theme(axis.title.y=element_text(colour="black", size=12,
hjust = 0.5, angle = 90))+
theme(axis.title.x = element_text(colour="black", size=12,
hjust = 0.5, angle = 0))+
theme(axis.text = element_text(colour = "black", size=9.5)) +
theme(strip.text.y = element_text (angle=0, colour="black", size=10))

```

```

#Box Plot
diferença<- dados$Hmaxpos - dados$Hmaxpre
dados<-as.data.frame(cbind(dados,diferença))
str(dados)

dados$grupos <- factor(dados$grupos)
dados$diferença <- as.numeric(as.character(dados$diferença))

levels(dados$grupos)=c("Controle","Experimental")
ggplot(dados, aes(x=grupos, y=diferença)) +
geom_boxplot(fill=c("white"), width = 0.8) +
guides(fill=FALSE) + ylim(-50, 40.0) +
stat_summary(fun.y="mean", geom="point", shape=22, size=2, fill="black")+
labs(x="Grupo", y="Variação média") +
theme(axis.title.y=element_text(colour="black", size=12,
hjust = 0.5, angle = 90))+
theme(axis.title.x = element_text(colour="black", size=12,
hjust = 0.5, angle = 0))+
theme(axis.text = element_text(colour = "black", size=9.5))

#### TESTE T DAS DIFERENÇAS ####

difc <- (controle$Hmaxpos) - (controle$Hmaxpre)
dife <- (experimental$Hmaxpos) - (experimental$Hmaxpre)

t.test(difc,dife, var.equal = T)

#### ANOVA MISTA ####

sujeito <- 1:28
pre <- rep("pre",28)
predados <- dados$Hmaxpre
grupo <-dados$grupos
tab1<-cbind(sujeito,grupo,pre,predados)

sujeito <-1:28
pos <- rep("pos",28)
posdados <- dados$Hmaxpos
grupo <- dados$grupos
tab2<-cbind(sujeito, grupo,pos,posdados)

tab3<-as.data.frame(rbind(tab1,tab2))
names(tab3) <- c("sujeito","grupo", "tempo", "valor")
str(tab3)

```



```
tab3$sujeito <- factor(tab3$sujeito)
tab3$grupo <- factor(tab3$grupo)
tab3$valor <- as.numeric(as.character(tab3$valor))
str(tab3)

#### ANOVA MISTA (AOV) ####

aov_grupo_tempo <- aov(valor ~ grupo*tempo + Error(sujeito/tempo), data=tab3)
summary(aov_grupo_tempo)

#### ANOVA MISTA (Anova) ####

mista <- lm(cbind(Hmaxpre, Hmaxpos) ~ grupo, data=dados)
within.design <- data.frame(tempo = levels(tab3$tempo))
within.design

anova <- Anova(mista, idata = within.design, idesign = ~tempo, type = "II")
summary(anova, multivariate=FALSE)
summary(anova)
```