

# III SEMANA DO CONHECIMENTO

Marque a opção do tipo de trabalho que está inscrevendo:

Resumo

Relato de Caso

## PROJETO FATORIAL $2^k$ COM QUATRO FATORES E DUAS RÉPLICAS: EXPERIMENTO DO HELICÓPTERO DE PAPEL

**AUTOR PRINCIPAL:** Adeli Beatriz Braun

**CO-AUTORES:** Ana Luísa Hermann, Deisi Balestrin, Leandro Marzari Silva

**ORIENTADOR:** Pedro Domingos Marques Prietto

**UNIVERSIDADE:** Universidade de Passo Fundo - UPF

### INTRODUÇÃO

A estatística tem contribuído de forma significativa para o processo de tomada de decisão (IGNÁCIO, 2010).

O planejamento experimental tem como objetivo central determinar as variáveis que exercem maior influência no desempenho de um determinado processo, a fim de encontrar o ajuste ótimo na obtenção dos melhores resultados com mínima sensibilidade aos efeitos de ruído (RIBEIRO e TEN CATEN, 2003).

O planejamento fatorial é indicado quando se deseja analisar os efeitos de duas ou mais variáveis de influência. Um planejamento fatorial  $2^k$  utiliza  $k$  fatores analisados em dois níveis, e é um tipo de planejamento muito útil quando se tem muitas variáveis para se investigar (BUTTON, 2016; MONTGOMERY e CALADO, 2003).

O presente trabalho objetivou realizar o experimento do helicóptero de papel, utilizando um planejamento fatorial  $2^k$ , com a finalidade de avaliar os efeitos de cada um dos fatores e suas possíveis interações na avaliação da eficiência de voo do helicóptero.

### DESENVOLVIMENTO

O experimento foi delineado segundo um Planejamento Fatorial Completo (PFC)  $2^k$ , formado por 4 fatores e cada um variando em 2 níveis, os quais foram realizados de forma aleatória em duas réplicas, totalizando 48 corridas (Tabela 1). Para tal, foram confeccionados 48 helicópteros, obtidos no site do projeto do helicóptero de papel. A replicação teve por objetivo atribuir maior número de graus de liberdade para o erro amostral e assim obter estimativas mais precisas.

# III SEMANA DO CONHECIMENTO

Os 4 fatores de controle (comprimento das asas, material, cliques e dobras nas asas) a serem analisados no experimento foram determinados através de pesquisa prévia na literatura. Algumas variáveis embora também apresentem interferência no processo foram mantidas fixas e as demais foram consideradas como fatores de ruído do experimento, para as quais foram adotadas algumas medidas para atenuar sua interferência. A variável de resposta considerada e analisada foi o tempo de voo.

Os experimentos foram realizados por meio do lançamento dos helicópteros de papel de forma aleatória, conforme o planejamento experimental obtido através do programa *Statística 7.0*, e de uma altura de 2,18 m. Esta atividade deu-se em um ambiente fechado para evitar a influência de correntes de ar nos resultados.

Após a realização dos experimentos foi realizado o teste da ANOVA para verificar se existe ou não diferenças significativas entre os tratamentos, para um nível de confiança de 95% e significância de 5%. Em seguida, os dados foram ajustados em um modelo empírico polinomial de primeira ordem (sem curvatura e adição de pontos centrais) e seguiu-se para as análises estatísticas.

A partir do diagrama de Pareto e o valor-p menor que 0,05 ( $p < 0,05$ ) (Tabela 2), optou-se pelo modelo com iterações de três níveis, uma vez que, foi observada significância para todas as interações e fatores com um ajuste de 92,102%, exceto para o fator individual “dobra da asa”, sendo este desconsiderado do modelo, resultando em uma pequena melhora da qualidade do ajuste.

Obtendo uma correlação gráfica de 94,4% entre os valores observados dos tempos de voo e seus valores correspondentes previstos pelo modelo estatístico proposto, um F calculado (44,39) > F tabelado (2,02) para o tempo de voo de acordo com a ANOVA e comprovada a normalidade, a homogeneidade das variâncias e a independência dos erros a partir da análise gráfica dos resíduos, o modelo previsto foi validado para o intervalo de 95% de confiança, apresentando uma boa reprodução das respostas experimentais.

Verificou-se a partir da análise estatística e os gráficos de efeitos e de superfície de contorno que o melhor desempenho do helicóptero de papel se deu com o material no nível 75 g m<sup>2</sup> (folha A4), comprimento da asa no nível 120 mm, com utilização de 1 cliques de papel e presença de dobra na asa, no entanto, não pode-se afirmar que esta seja a melhor opção de projeto, apenas o melhor entre os experimentados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo experimental proposto baseado no projeto do helicóptero de papel, bem como o planejamento fatorial completo seguido da análise estatística e gráfica utilizada, mostraram-se importantes e eficientes ferramentas de auxílio na interpretação de resultados obtidos experimentalmente e na tomada de decisões quanto ao desenvolvimento de processos.

Universidade e comunidade  
em transformação

**3 a 7** DE OUTUBRO  
DE 2016

# III SEMANA DO CONHECIMENTO

## REFERÊNCIAS

BUTTON, S. T. **Metodologia para o Planejamento Experimental e Análise de Resultados**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, 2016.

IGNÁCIO, S. A. The importance of statistics to the process of knowledge and making decision. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba/PR, n. 118, p.175-192, 2010.

MONTGOMERY, D. C; CALADO, V. **Planejamento de Experimentos Usando Estatística**. Rio de Janeiro: E-Paper Serviços Editoriais, 260 pg., 2003.

RIBEIRO, J. L. D; TEN CATEN, C. **Projeto de Experimentos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre/RS, 2003.

# III SEMANA DO CONHECIMENTO

ANEXOS

Universidade e comunidade em transformação

3 A 7 DE OUTUBRO DE 2016

Tabela 1. Matriz do delineamento experimental com valores codificados e reais.

Exp.	(x1)		(x2)		(x3)		(x4)		(Variável resposta)		
	Material (g m <sup>-2</sup> )	Comp. Asa (mm)	Clipes (unid.)	Dobra Asa (-)	Tempo de vôo (s)	Réplica 1	Réplica 2				
1	-1	-75	-1	-70	-1	0	-1	(Não)	2,11	2,11	2,10
2	1	-180	-1	-70	-1	0	-1	(Não)	1,16	1,12	1,23
3	-1	-75	1	-120	-1	0	-1	(Não)	1,61	1,58	1,90
4	1	-180	1	-120	-1	0	-1	(Não)	1,47	1,24	1,39
5	-1	-75	-1	-70	1	-1	-1	(Não)	1,95	2,00	2,08
6	1	-180	-1	-70	1	-1	-1	(Não)	1,42	1,17	1,20
7	-1	-75	1	-120	1	-1	-1	(Não)	1,96	1,93	2,01
8	1	-180	1	-120	1	-1	-1	(Não)	1,26	1,23	1,24
9	-1	-75	-1	-70	-1	0	1	(Sim)	1,76	1,65	1,51
10	1	-180	-1	-70	-1	0	1	(Sim)	1,30	1,52	1,20
11	-1	-75	1	-120	-1	0	1	(Sim)	1,68	1,93	1,85
12	1	-180	1	-120	-1	0	1	(Sim)	1,34	1,39	1,20
13	-1	-75	-1	-70	1	-1	1	(Sim)	1,44	1,45	1,57
14	1	-180	-1	-70	1	-1	1	(Sim)	1,23	1,31	1,33
15	-1	-75	1	-120	1	-1	1	(Sim)	2,34	2,62	2,79
16	1	-180	1	-120	1	-1	1	(Sim)	1,45	1,33	1,40

Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) desconsiderando o fator x4 - dobra da asa.

Fatores	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrados Médios	F	p
(x1) Material	4,563333	1	4,563333	372,0703	0,000000
(x2) Comp. Asa	0,216008	1	0,216008	17,6122	0,000184
(x3) Clips	0,116033	1	0,116033	9,4608	0,004126
x1*x2	0,061633	1	0,061633	5,0253	0,031615
x1*x3	0,114075	1	0,114075	9,3011	0,004416
x1*x4	0,054675	1	0,054675	4,4579	0,042169
x2*x3	0,27	1	0,27	22,0144	0,000043
x2*x4	0,496133	1	0,496133	40,4521	0,000000
x3*x4	0,046875	1	0,046875	3,8219	0,058847
x1*x2*x3	0,350208	1	0,350208	28,5542	0,000006
x1*x2*x4	0,630208	1	0,630208	51,3839	0,000000
x1*x3*x4	0,026133	1	0,026133	2,1308	0,153546
x2*x3*x4	0,151875	1	0,151875	12,3831	0,001254
Erro	0,417	34	0,012265		
Total	7,514192	47			

R<sup>2</sup> ajustado = 0,92102