

PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS (DOE) - TIMON-HM

Laboratório de Robótica e Sistemas Autônomos - RoSA

Autores:

Jéssica Lima Motta

Leonardo Mendes de Souza Lima

Miguel Felipe Nery Vieira

Vinícius José Gomes de Araujo Felismino

Salvador

Bahia, Brasil

Setembro de 2020

RESUMO

Este documento tem como objetivo analisar o planejamento de um experimento: um modelo de helicóptero de papel. O propósito principal foi identificar quais são os fatores que mais influenciam em seu comportamento e como utilizá-los para melhorar o seu desempenho. Durante o processo, foi medido o seu tempo de queda em duas alturas diferentes, além disto, pedaços de fita foram colados em seu corpo e um clipe foi adicionado em sua parte inferior a fim de verificar a influência da variação destes parâmetros no resultado final. Para realizar o estudo estatístico dos dados foi utilizada a ferramenta R, uma linguagem de programação voltada à manipulação, análise e visualização de dados.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
2	ESTUDO	5
3	EXPERIMENTO	7
4	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	11
5	CONCLUSÃO	13
	REFERÊNCIAS	15

1 INTRODUÇÃO

Diferentes métodos constituem a prática da melhoria contínua. É de suma importância que os administradores conheçam estas ferramentas para que haja sempre redução de desperdícios, aumento da eficiência e controle dos processos.(O... , 2020)

Planejamento de Experimentos ou DOE (*Design of Experiments*), é a técnica usada para estudar um produto ou processo, e assim, identificar os fatores que mais influenciam seu comportamento. Através deste método deve-se obter a mais otimizada configuração para a construção da peça ou elaboração do procedimento.(ENTENDA... , 2020)

O desenvolvimento de um experimento bem executado deve explicitar os fatores-chave do processo, assim como a combinação dos fatores que fazem o processo funcionar de maneira aceitável. A variabilidade do processo, ou seja, a diferença entre o que esperamos de algo e o que realmente acontece também é um ponto a ser observado pelo executor do DOE.

O resultado que determina uma característica ou elemento do experimento é chamado de variável de resposta. Por ser um método de abordagem repetitiva, é necessário realizar ciclos de testes para alcançar um bom resultado. Estes ciclos devem possuir três etapas: Rastreamento - fase de delimitação de variáveis e do campo de atuação; Projeto fatorial completo - fase de combinação de fatores e níveis de fatores e Projeto de superfície - Modelagem dos resultados obtidos.

O DOE pode ser aplicado em duas situações: planejamento de experimentos e correção de processos defeituosos. Um processo desenvolvido desde o início com esta aplicação garante que sua produção e gestão sejam sempre melhoradas e tenham custos e tempo reduzidos. É uma ferramenta de melhoria contínua bastante eficaz, desde que se tome os devidos cuidados com as etapas do experimento. (ENTENDA... , 2020)

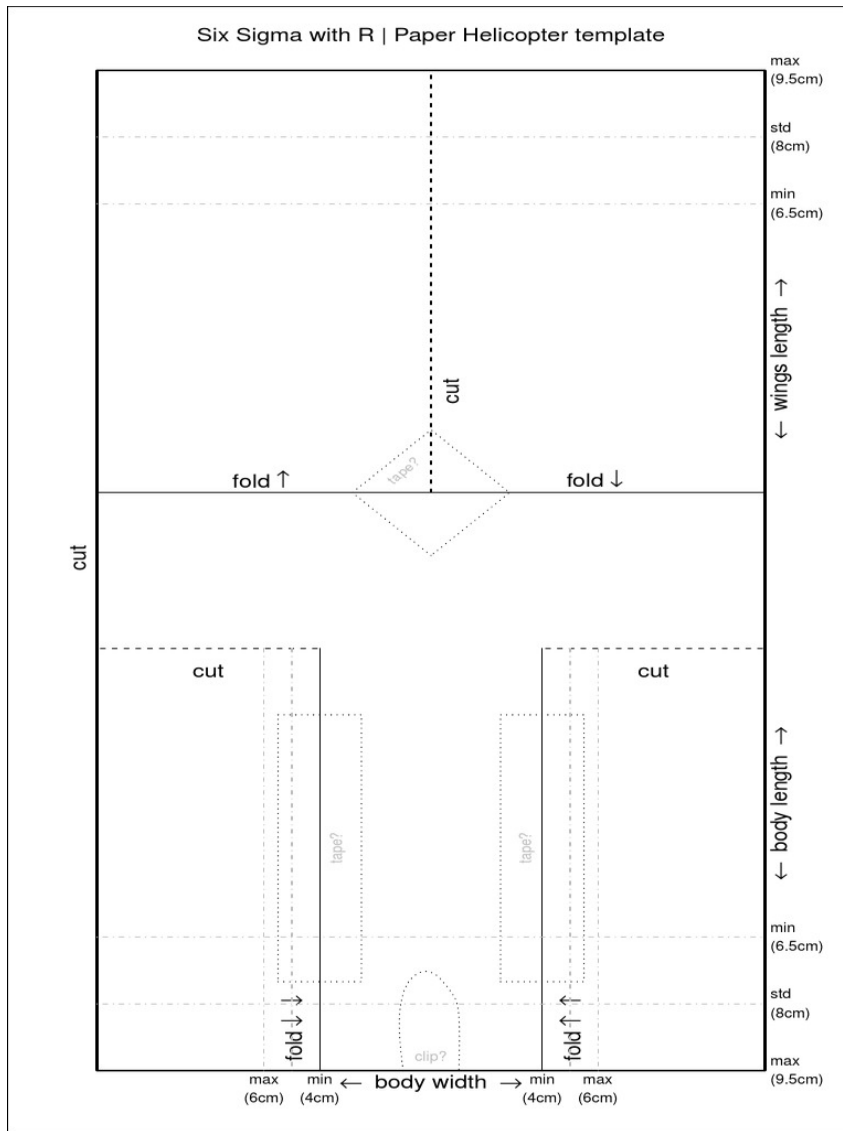
2 ESTUDO

3 EXPERIMENTO

Para aplicar os conceitos vistos na seção 2, foi proposto um desafio em que consiste em modelar um experimento contendo um helicóptero de papel. O objetivo deste desafio é observar como a saída desejada, neste caso o maior tempo de voo, está relacionada com as variáveis de entrada.

Para conceber o protótipo do helicóptero para o estudo, foi utilizado o modelo proposto pela metodologia *SixSigma*, conforme visto na Figura 1.

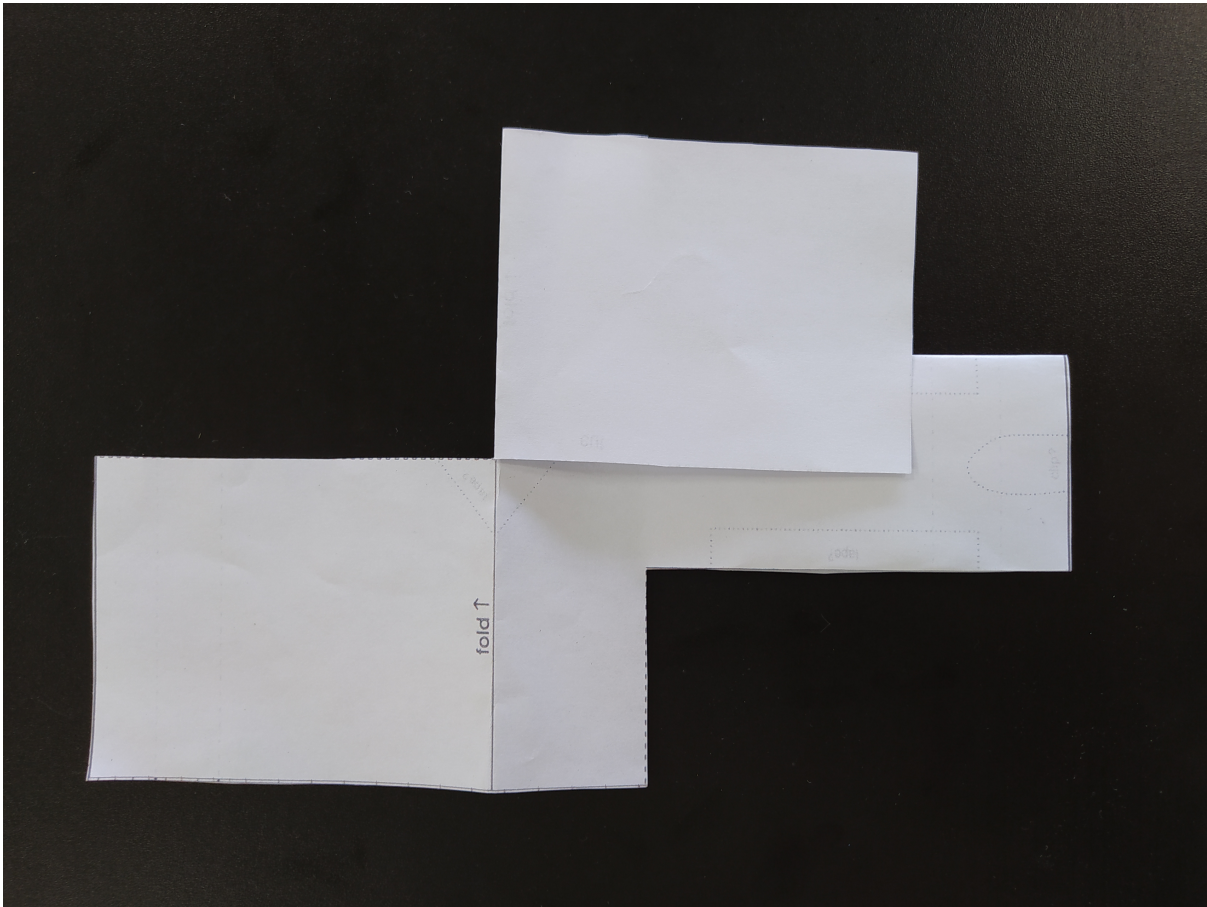
Figura 1: Modelo do helicóptero de papel.



Seguindo as recomendações do *template*, foi obtido como modelo de configuração inicial, o helicóptero visto na Figura 2. Este, apresenta as asas e o corpo com o comprimento máximo (9,5 cm), e que não deverá ser alterado. O seu tempo de voo é medido desde o momento em que é lançado da altura definida até o momento em que o mesmo atinge o

solo.

Figura 2: Helicóptero de papel.



Fonte: Autoria própria.

Para realizar os testes, foram considerados alguns fatores que influenciam no tempo de voo, conforme vistos na Tabela 1.

Tabela 1: Fatores considerados para alterar a estrutura.

Fatores	Configuração atual	Alteração permitida
Comprimento (asa e corpo) (m)	0,095	Não
Clipe	Não	Sim
Altura (m)	1,30	2,10
Adesivo (Asa)	Não	Sim
Adesivo (Corpo/Esquerdo)	Não	Sim
Adesivo (Corpo/Direito)	Não	Sim

Fonte: Autoria própria.

Por fim, foi construída a Tabela 2 que contém o tempo de voo para cada uma das possíveis combinações dos fatores. Para as variáveis *clipe*, *Ad_top*, *Ad_esquerda* e *Ad_direita*

o símbolo “+” indica a sua presença enquanto o “-” representa a sua ausência, já para a variável *Altura* o “+” retrata sua configuração inicial de 1,30 metros e o “-” representa a altura de 2,10 metros. O próximo passo é utilizar a ferramenta R para realizar o estudo de planejamento de experimentos (DOE) e analisar qual das configurações está exercendo uma maior influência no experimento, que será discutido na seção 4.

Tabela 2: Dados do experimento.

Clipe	Altura	Ad_top	Ad_esquerda	Ad_direita	Tempo
+	-	-	-	-	1,57
-	-	-	-	-	1,27
+	+	-	-	-	1,70
-	+	-	-	-	1,10
+	+	+	-	-	1,75
-	+	+	-	-	1,30
+	-	+	-	-	1,82
-	-	+	-	-	1,31
+	+	+	-	+	1,68
-	+	+	-	+	1,35
+	-	+	-	+	2,04
-	-	+	-	+	1,42
+	-	+	+	+	1,86
-	-	+	+	+	1,32
+	+	+	+	+	1,63
-	+	+	+	+	1,17
+	-	-	+	+	1,58
-	-	-	+	+	1,44
+	+	-	+	+	1,73
-	+	-	+	+	1,25
+	+	-	-	+	1,55
-	+	-	-	+	1,23
+	-	-	-	+	1,91
-	-	-	-	+	1,50
+	-	-	+	-	1,92
-	-	-	+	-	1,36
+	+	-	+	-	1,71
-	+	-	+	-	1,52
+	+	+	+	-	1,74
-	+	+	+	-	1,32
+	-	+	+	-	1,83
-	-	+	+	-	1,40

Fonte: Autoria própria.

4 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

O modelo linear encontrado, considerando a interação entre dois elementos, é disposto a seguir.

```
## Call:
## lm(formula = score ~ (altura + clipe + ad_top + ad_left + ad_right) +
##      altura * clipe + altura * ad_top + altura * ad_left + altura *
##      ad_right + clipe * ad_top + clipe * ad_left + clipe * ad_right +
##      ad_top * ad_left + ad_top * ad_right + ad_left * ad_right,
##      data = helicoptero)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.180625 -0.055313 -0.009375  0.059687  0.120625
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)      1.60813    0.07069   22.750 1.30e-13 ***
## altura-          0.18625    0.07903    2.357  0.03151 *
## clipe-          -0.42375    0.07903   -5.362 6.36e-05 ***
## ad_top-          0.00375    0.07903    0.047  0.96274
## ad_left-         0.14125    0.07903    1.787  0.09284 .
## ad_right-        0.18625    0.07903    2.357  0.03151 *
## altura:clipe-    -0.03250    0.07069   -0.460  0.65186
## altura:ad_top-   -0.03750    0.07069   -0.531  0.60304
## altura:ad_left-   0.06750    0.07069    0.955  0.35382
## altura:ad_right- -0.14250    0.07069   -2.016  0.06092 .
## clipe:ad_top-     0.09500    0.07069    1.344  0.19771
## clipe:ad_left-    -0.04000    0.07069   -0.566  0.57932
## clipe:ad_right-   -0.02000    0.07069   -0.283  0.78085
## ad_top:ad_left-   -0.13500    0.07069   -1.910  0.07425 .
## ad_top:ad_right-  -0.00500    0.07069   -0.071  0.94448
## ad_left:ad_right- -0.21000    0.07069   -2.971  0.00901 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.09996 on 16 degrees of freedom
```

```
## Multiple R-squared:  0.9161, Adjusted R-squared:  0.8375
## F-statistic: 11.65 on 15 and 16 DF,  p-value: 6.57e-06
```

Pode-se observar que para este modelo os elementos que possuem importância estatística, ou seja $Pr < 0.05$ são: altura ($Pr = 0.03151$), clipe ($Pr = 6.36e-05$), ad_right ($Pr = 0.03151$) e ad_left:ad_right ($Pr = 0.00901$).

Considerando os elementos de importância estatística, a equação que representa o modelo é descrita da seguinte forma:

$$score = mean(scores) + \frac{coef(altura)}{2}altura + \frac{coef(clipe)}{2}clipe + \frac{coef(ad_right)}{2}ad_right + \frac{ad_left : ad_right}{2}ad_left : ad_right$$

Desta forma, fazendo as devidas substituições, temos que:

$$score = 1.54 + \frac{0.18625}{2}altura + \frac{-0.42375}{2}clipe + \frac{0.18625}{2}ad_right + \frac{-0.21}{2}ad_left : ad_right$$

$$score = 1.54 + 0.0931altura - 0.2119clipe + 0.0931ad_right - 0.105ad_left : ad_right$$

$$score_max = 1.54 + 0.0931 * (1) - 0.2119 * (-1) + 0.0931 * (1) - 0.105 * (-1) = 2.04$$

$$score_min = 1.54 + 0.0931 * (-1) - 0.2119 * (1) + 0.0931 * (-1) - 0.105 * (1) = 1.04$$

5 CONCLUSÃO

REFERÊNCIAS

ENTENDA o que é DOE - Design of experiments. 2020. <<https://www.escolaedti.com.br/entenda-o-que-e-doe>>, note = Accessed: 2020-07-18. Citado na página 3.

O que é design of experiments e como aplicar! 2020. <<https://www.nortegubisian.com.br/blog/entenda-o-que-e-design-of-experiments-e-como-aplicar>>, note = Accessed: 2020-07-18. Citado na página 3.