

Recebido em: 04/03/08

Aprovado em: 06/09/09

Planejamento de experimentos no processo produtivo utilizando o método Taguchi

Edvaldo Amaro Santos Correia (CEFET-PE/Brasil) - edvaldo.amaro@gmail.com

Dr. Jorge Alexander Sosa Cardoza (CEFET-AM, UEAM-AM, UFAM-AM/Brasil)

• Caixa postal: 961, CEP 69011-970, Manaus-AM

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver experimentos na linha de produção, baseado nas ferramentas convencionais da qualidade e no método Taguchi. O estudo de caso foi realizado na linha de injeção plástica da empresa COMPAZ Componentes da Amazônia. S.A., instalada no distrito industrial de Manaus, Amazonas, Brasil. O problema se refere a uma mancha observada sobre a superfície dos gabinetes de plástico dos televisores. Os fatores investigados foram: matéria-prima, montagem e tinta. Experimentos foram planejados e executados, o arranjo ortogonal empregado foi o L8, proposto por Taguchi. As medições das áreas da mancha obtidas foram analisadas, através da técnica de análise de variância; utilizamos as variáveis mais significativas para o problema, tais como: matéria-prima virgem e reciclada, montagem com uso de luva e sem luva e tinta diluída e concentrada. O estudo do problema foi caracterizado, através da medição da área da mancha, as análises físico-químicas determinaram contaminação no substrato por traços de metais, confirmando que os fatores selecionados para estudo indicavam a causa do problema.

Palavras-chave: Transformação de Termoplásticos; Causas e Efeitos; Solução de problemas; Estatística na Produção; Planejamento de Experimento.

Abstract

The present study is aimed to develop experiments in the area of production, based on the conventional tools used by Taguchi quality and methodology. The case study was carried out on a production line of plastic injection moldings at COMPAZ – Componentes da Amazônia. S.A. based in the industrial free zone of Manaus, Amazon, Brazil. The problem relates to a mark observed on the surface of the plastic television cabinets. Investigations were made into: the raw material being used, the assembly line and the paint. Experiments were duly planned and executed; the orthogonal arrangement L8 was utilized, as recommended by Taguchi. The assessment of the problem was achieved by measuring the marked area. The physical/chemical analyses determined contamination through substratum metal traces, confirming that the factors selected for this study indicated the cause of the problem.

Keywords: Transformation of Thermoplastic; Causes and Effect; Solution of problems; Statistics in the Production; Planning of Experiment.

1. INTRODUÇÃO

1.1. O Pólo Industrial de Manaus – PIM

Segundo a Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA, em Manaus estão instaladas as mais importantes indústrias nacionais e multinacionais. Empresas que ao longo dos últimos 36 anos, estão se aprimorando, acompanhando as mudanças econômicas e que hoje fazem do Pólo Industrial de Manaus uma referência para a indústria brasileira e internacional.

As mais de 430 empresas, instaladas em Manaus, possuem elevados índices de inovação tecnológica, competitividade e produtividade. Apresenta um faturamento médio anual superior a US\$ 9 bilhões e gera 50 mil empregos diretos e 250 mil indiretos, somente na cidade de Manaus e outros 20 mil nos demais Estados da região.

1.2. Aplicabilidade industrial

Para assegurar a qualidade dos produtos produzidos pelo Pólo Industrial de Manaus, torna-se necessário o conhecimento de diversas ferramentas e métodos no controle do processo produtivo. Um dos métodos em destaque é o de TAGUCHI, que pode ser utilizado nos diversos segmentos produtivos, tais como: eletroeletrônico, automotivo, químico, petrolífero, aeronáutico, telecomunicações, informática, mecatrônica e gestão empresarial. A seguir, é feita uma síntese de alguns trabalhos de destaque nacional e internacional.

1.3. Estudo de Caso

Em julho de 2001, a empresa COMPAZ – Componentes da Amazônia, realizou estudo de desempenho em sua linha de produção, detectando não conformidades na superfície de peças injetadas com poliestireno de alto impacto. Para resolver o problema, foi proposta uma metodologia com o objetivo de isolar e identificar as causas e propor soluções.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1. Objetivo Geral

Estudar o problema encontrado na linha de produção, identificar os fatores envolvidos, filtrando-os e estudando suas causas e efeitos, de forma a chegar a possíveis soluções, utilizando o Método Taguchi.

2.2. Proposta para utilização do método TAGUCHI

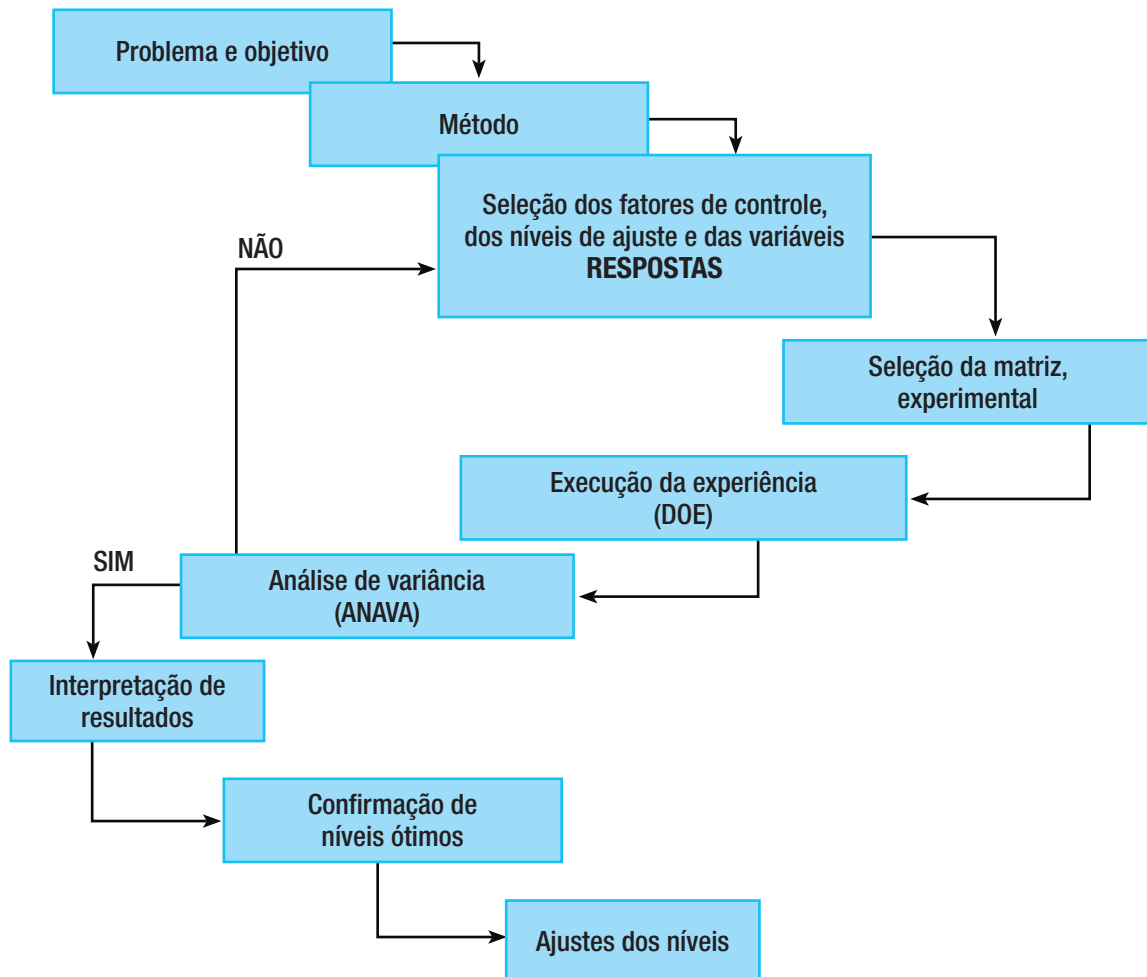
Para elaboração do estudo de caso, foi proposta a metodologia do arranjo ortogonal de Genichi Taguchi (ROSS, 1995) a fim de alcançar os resultados satisfatórios, porém, para melhor entendimento, foi dividido em etapas de desenvolvimento. As diversas etapas do método de Taguchi podem ser resumidas de acordo com a seguinte sequência:

- 1) Definição do problema a ser solucionado;
- 2) Determinar o objetivo da experiência;
- 3) Identificar os fatores que supomos que exercem influência sobre as características de desempenho;
- 4) Dividir os fatores em fatores de controle e de ruído;
- 5) Determinar o número de níveis para todos os fatores;
- 6) Identificar os fatores de controle que possam interagir;
- 7) Traçar o gráfico linear exigido para fatores de controle e interações;
- 8) Selecionar as matrizes ortogonais;
- 9) Atribuir fatores e interações às colunas;
- 10) Determinar os métodos de medição. O sistema de medição pode exigir uma experiência em separado, para melhorar a precisão das medições;
- 11) Executar a experiência;
- 12) Analisar os dados;
- 13) Interpretar os resultados;
- 14) Selecionar os níveis ótimos dos fatores de controle que mais influenciam e fazer uma previsão dos resultados esperados;
- 15) Executar a experiência de confirmação;
- 16) Retornar à etapa 4 se o objetivo da experiência não for alcançado e uma otimização adicional for possível com fatores confirmados.

2.3. O Método Taguchi

O principal objetivo do Método é o de melhorar as características do processo ou de um produto, através da identificação e ajuste dos seus fatores controláveis, que irão minimizar a variação do produto final, em relação ao seu objetivo. Ao ajustar os fatores no seu nível ótimo, os produtos podem ser fabricados de maneira a que se tornem mais robustos a toda e qualquer mudança que possa ocorrer e que seja incontrollável (condições ambientais, variação de temperatura, tempos de acondicionamento, etc...).

Figura 1 – Estratégia para o método proposto.



2.4. Delineamento de Experimento

Identificamos os fatores principais, através do *brainstorming* (ruído e fatores principais do ambiente e processo de fabricação), com o intuito de verificar a possível influência para cada um deles e interações. Trata-se de uma etapa muito importante, pois a não consideração de um determinado fator ou parâmetro pode distorcer ou impedir a obtenção da função-perda, à qual irá guiar a obtenção de um projeto mais robusto.

Iniciamos a escolha da matriz ortogonal que melhor se aplica ao problema, este trabalho depende do número de fatores e da quantidade de experimentos que pretendemos realizar, conforme a disponibilidade de tempo e custo. Em seguida, define-se os níveis de parâmetros. A seguir, com o plano de trabalho, faz a coleta de dados, com os cuidados necessários para registro adequado.

Tabela 1 – Matriz de Taguchi.

EXPERIMENTO	A - Matéria-prima	B - tinta	C - montagem	AB	AC	BC	ABC
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2
3	1	2	1	1	2	2	2
4	1	2	2	2	1	1	1
5	2	1	2	1	1	1	1
6	2	1	2	2	2	2	1
7	2	2	1	1	2	2	2
8	2	2	1	2	1	1	2

Na tabela 1, é apresentada a matriz ortogonal L8, construída a partir da proposta de TAGUCHI, onde foram utilizadas sete colunas para os fatores e interações e oito linhas, para a sequência de experimentos a serem realizados, ortogonalidade. Outro detalhe importante, mantido pela ortogonalidade, é o fato de o número de linhas ser uma unidade maior que o número de colunas.

Segundo estudos realizados, os fatores escolhidos para condução de experimento indicado na tabela 2: MATÉRIA-PRIMA, TINTA e MONTAGEM, vistos como fatores de ruídos internos, sobre os quais temos absoluto controle, os fatores de ruído externo, como: temperatura ambiente, umidade do ar, partículas em suspensão, etc, serão reduzidos a custo aceitável, através de providências junto à área de trabalho e equipamentos.

Tabela 2 – Fatores e Níveis para Condução do Experimento.

FATORES	NÍVEL 1	NÍVEL 2
MATERIA-PRIMA (A)	VIRGEM	RECICLADA
TINTA (B)	ALTA CONCENTRAÇÃO	BAIXA CONCENTRAÇÃO
MONTAGEM (C)	COM LUVA	SEM LUVA

Foi estabelecido avaliar toda a possível interação binominal, entre fatores de controle; desta forma foi estabelecida uma condição de trabalho para estudar a influência na qualidade da superfície, após adequação da pintura e posteriores ações para minimizar a não conformidade, através do uso do AO (arranjo ortogonal) e operacionalização do *software* QUALITEK-4; trata-se de um programa computacional que utiliza as ferramentas estatísticas para obter resultados, gentilmente disponibilizado pela Nutek, Inc. (Bloomfield Hills, Michigan, USA) para fins de estudo.

2.5. Matriz de Planejamento

Matriz com 2 níveis, 3 fatores e quatro replicações.

n° de combinações = $2^3 = 8$ (n° de linhas) → n° de colunas = $8 - 1 = 7$

Tabela 3 – Matriz de Planejamento

	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	R1	R2	R3	R4	\bar{Y}	S ²
1	1	1	1	1	1	1	1	1.0	1.1	1.2	1.3	1.2	0.09031
2	1	1	2	2	2	2	2	1.4	1.0	1.3	1.6	1.3	0.01531
3	1	2	1	1	1	2	2	1.4	1.6	1.2	1.5	1.4	0.00031
4	1	2	2	2	2	1	1	1.4	1.5	1.2	1.3	1.4	0.30032
5	2	1	2	1	2	1	2	1.7	1.8	1.4	1.2	1.5	0.01532
6	2	1	2	2	1	2	1	1.8	1.1	1.6	1.7	1.6	0.07032
7	2	2	1	1	2	2	2	1.4	1.2	1.3	1.5	1.4	0.00780
8	2	2	1	2	1	1	2	1.1	1.2	1.4	1.3	1.2	0.04135

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise de Variância dos Resultados

Através da ANAVA, realizado pelo programa computacional QUALITEK 4, podemos concluir, através dos dados da tabela 4, que o efeito principal é a variação média na resposta produzida por uma modificação no nível do fator. Este efeito fica perceptível, através da interpretação dos resultados, quando podemos verificar que a maior diferença entre níveis ocorre na interação matéria-prima x tinta, com valor igual a 0,194 em módulo.

Tabela 4 – Principais Efeitos Determinados Através do Programa Computacional QUALITEK 4.

	FATORES/INTERAÇÕES	NÍVEL 1	NÍVEL 2	N2 - N1	N1 - N2
01	Matéria-prima	1.312	1.418	0.105	-0.106
02	Tinta	1.387	1.343	- 0.045	0.044
03	Matéria-prima x Tinta	1.268	1.462	0.193	-0.194
04	Montagem	1.362	1.368	0.006	-0.007
05	Matéria-prima x Montagem	1.343	1.387	0.044	-0.045
06	Tinta x Montagem	1.318	1.412	0.093	-0.094

3.2. Análise da Tabela de Variância e Teste de Hipótese

$SQT = SQG + SQR$ 3.1 Se $F_0 > (F_c = F_{\alpha, n_f, n_e})$ e Se $F_0 < (F_{\alpha, n_f, n_e})$.

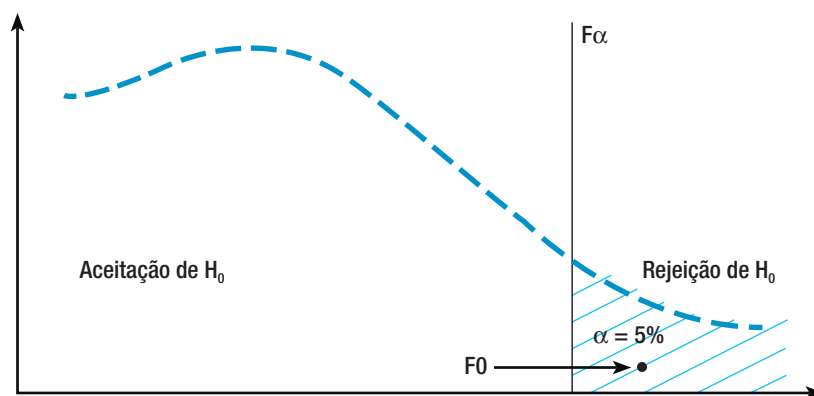
Para um nível de confiabilidade de 95%, dizer que um fator é significativo, equivale afirmar que se a resposta for alterada, é porque houve mudança de níveis.

1ª Hipótese → H0: Pressupõe-se que a mudança do nível de um fator não altera a variável resposta;

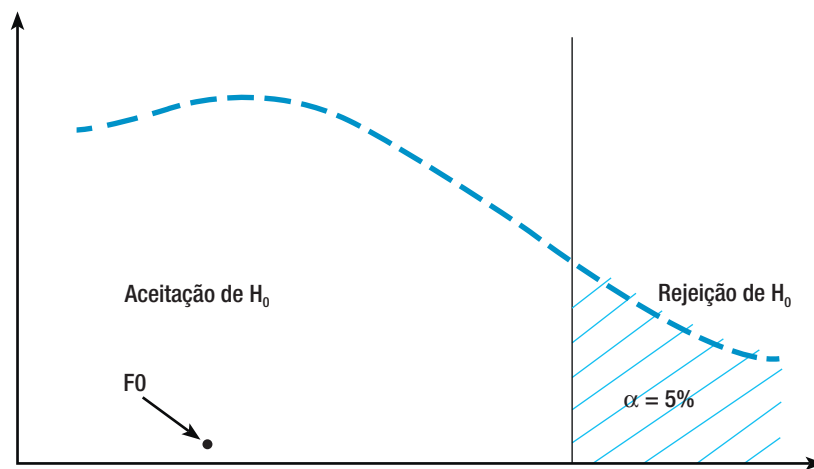
2ª Hipótese → H1: Pressupõe-se que a mudança do nível de um fator altera a variável resposta.

Figura 2 – Gráficos de Comportamento para o Teste de Hipótese.

COMPORTAMENTO GRÁFICO DA VARIÁVEL RESPOSTA, FRENTE AO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA



a) Rejeita-se H_0 com pelo menos 95% de certeza (há variação na função-resposta)



b) Aceita-se H_0 , com no máximo 5% de certeza (não há variação na função resposta)

A tabela 5 foi construída com os resultados da ANAVA, relacionando os graus de liberdade utilizados para os fatores de controle e seus respectivos percentuais aplicados aos fatores individuais e interações.

Tabela 5 – Análise de Variância (ANAVA).

	FATORES	GL	SQ	F	PERCENTUAL
01	Matéria-prima (A)	1	0.09031	2.1839	18.356
02	Tinta (B)	1	0.01531	0.3703	3.111
03	Montagem(C)	1	0.00031	0.0076	0.062
04	(A x B)	1	0.30032	7.2621	61.040
05	(A x C)	1	0.01532	0.3704	3.111
06	(B x C)	1	0.07032	1.7004	14.291
	TOTAL		1.49218		100%

Determinando a variável de teste $F_{\alpha}(k-1, k(n-1))$ ou fator crítico teórico, através da tabela de SNE-DECOR.DRUMONT, FATMA BRANT, páginas 282/283, onde $(k-1)$ e $k(n-1)$ representam os graus de liberdade entre tratamentos e residual respectivamente, isto é: $k-1=3-1=2$ e $k(n-1)=9$, encontraremos o valor de $F_{\alpha}=4,26$, para $k=3$ fatores e $n=4$ réplicas; os resultados do teste F_0 calculado, estão representados na coluna F_0 da tabela 5, para todos os fatores em estudo.

Podemos observar que o menor valor de F representa o fator montagem; na sequência, temos: tinta matéria-prima x montagem, tinta x montagem, matéria-prima e a principal interação é matéria-prima x tinta com o $F_0 = 7,26$. Desta forma, constatamos que o fator matéria-prima *versus* tinta é o mais significativo, provocando alterações na variável resposta. Os outros fatores não influenciam significativamente.

A função-perda de Qualidade de Taguchi é:

$$L(y) = k(y)^2 \quad 3.2$$

3.3. Cálculo da Perda Monetária

Vamos tomar o valor ótimo para $m = 0$ (quanto menor, melhor) e uma tolerância do consumidor de $Do = + 0,2\text{cm}^2$, o custo de reparar ou substituir o gabinete de TV é, em média, de \$3,00. Isto ocorre quando “y” está fora da faixa citada e representa um custo médio por televisor vendido.

A função-perda de qualidade é calculada da seguinte forma:

$$\text{Tolerância do consumidor } Do = 0,2\text{cm}^2$$

Logo, teremos:

$$L(y) = k(y)^2 \text{ para } y = 0,2\text{cm}^2 \quad y^2 = (0,2)^2 = 0,04\text{cm}^4$$

$$L(y) = \$3,00, \text{ quando } y = 0,2 \quad \$3,00 = k(0,04) \quad k = \$ 75,00/\text{cm}^4$$

Logo, utilizando a função $L(y) = ky^2$ para o estudo, quando menor, é melhor aplicada à média das características medidas na linha de produção, variando de 01 até 08, conforme tabela 6.

Tabela 6 – Valores da Função Perda por Experimento.

Experimento	Y (cm ²)	L(y) = ky ² (\$)
01	1,2	108
02	1,3	127
03	1,4	147
04	1,4	147
05	1,5	169
06	1,6	192
07	1,4	147
08	1,2	108

Com o passar do tempo, o efeito destas perdas fica caracterizado pelas seguintes manifestações:

- Insatisfação dos clientes;
- Acréscimo de custo de garantia;
- Alto custo e longo tempo para reparar.

Figura 3 – Função-Perda para Característica Menor-melhor

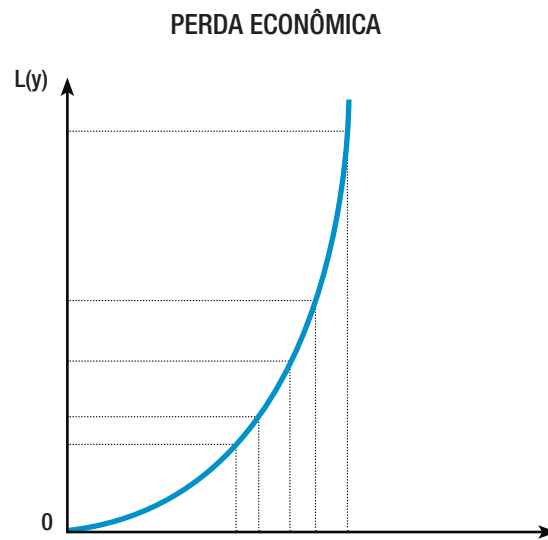


Tabela 7 – Relação Sinal/Ruído.

EXPERIMENTOS	RAZÃO S/R
01	-1,255
02	-2,559
03	-3,123
04	-2,637
05	-3,771
06	-3,936
07	-2,637
08	-1,973

Tabela 8 – Performance Ótima de Contribuição

	FATORES	DESCRIÇÃO DE NÍVEL	NÍVEL	CONTRIBUIÇÃO
1	Matéria-prima	Virgem	1	-0,054
2	Tinta	Diluída	2	-0,022
3	Matéria-prima x tinta	Inter	1	-0,097
4	Montagem	Com luva	1	-0,004
5	Matéria-prima x montagem	Inter	1	-0,022
6	Tinta x montagem	Inter	1	-0,047
	Contribuição para todos os fatores	-0,246		
	Performance média de contribuição	1,365		
	Condição ótima	1,119		

4. RESULTADOS DO TRABALHO

Alguns benefícios obtidos pela redução da variabilidade, com a utilização do Método Taguchi, são citados a seguir:

- Redução do nível de refugo e retrabalhos, inspeção de testes e maior satisfação do cliente;
- Foi possível identificar o melhor arranjo das principais variáveis envolvidas na mancha, como sendo o arranjo L8, com utilização de dois níveis;
- Foram determinadas as seguintes variáveis significativas pela formação da mancha: tinta, matéria-prima e montagem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAO, Y. **Quality Function Deployment: integrating customers requirements into product desing**. Cambridge: Massachusets, Productivity Press, 1988.
- JURAN, J. M. **A Qualidade desde o Projeto: novos passos para planejamento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo: Ed. Pioneira, 1992.
- MONTGOMERY, D. C. **Desing e analysis of experiments**. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- ROSS, P. J. **Aplicações das Técnicas de Taguchi na Engenharia da Qualidade**. McGraw-Hill Ltda. São Paulo. 1991.