

Marcelo de Toledo

Universidade de Taubaté
marcelo_toledo2003@yahoo.com.br

Antonio Faria Neto

Universidade de Taubaté
Universidade Estadual Paulista
antfarianeto@gmail.com
antfarianeto@feg.unesp.br

Correspondência/Contato

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica

Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi
Taubaté - SP
CEP 12060-440
Fone (12) 3625-4193

Editores responsáveis

Prof. Dr. Evandro Luis Nohara
evandro@unitau.br

Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
luiz.nunes@unitau.com.br

Profª. Dra. Valesca Alves Correa
valesca.correa@unitau.com.br

ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS: MELHORIA DA OPERAÇÃO DE CORTE DE CORREIAS AUTOMOTIVAS

RESUMO

Este artigo tem como objetivo demonstrar a aplicação de experimentos fatoriais planejados na estimação de parâmetros e na melhoria de processos industriais. O propósito desse trabalho foi a redução do índice de peças não conformes no processo de corte de uma indústria de fabricação de correias automotivas e o consequente aumento da produtividade fabril. A aplicação das técnicas de planejamento de experimentos determinou as variáveis influentes no processo e os valores que devem ser aplicados às mesmas, para aproximar os valores encontrados da característica de qualidade estudada, do valor nominal da especificação e reduzir a variabilidade do processo.

Palavras-chave: Planejamento de experimentos, Estimação de parâmetros, Melhoria de processos, Correias automotivas.

ABSTRACT

This article aims to demonstrate the application of factorial experiments designed to estimate the parameters and to improve the industrial processes. The purpose of this study was to reduce the rate of non-conforming parts in the cutting process manufacturing industry of automotive belts and to increase the manufacturing productivity. The application of the techniques of design of experiments determined the variables that affecting the process and the values that should be applied in these variables to approach the values found in the process of the nominal specification for the studied quality characteristic and reduce process variability.

Keywords: Design of experiments, Parameters estimation, Process improvement, Automotive belts.

1 INTRODUÇÃO

Com a competitividade crescente nos diversos setores industriais, as empresas, independente do mercado em que atuam, só conseguem manter-se saudáveis, economicamente rentáveis, através da melhoria contínua de seus processos e produtos. Isso é ainda mais acentuado na indústria automobilística, que encontra consumidores cada vez mais exigentes por produtos com qualidade e preços acessíveis.

Dentro desse cenário, as técnicas de planejamento de experimentos podem ser utilizadas tanto na melhoria de processos, quanto no desenvolvimento de processos e produtos.

De acordo com Ross (1991), a maior parte dos engenheiros está familiarizada com o desenvolvimento de ensaios, a fim de modelar as verdadeiras condições de operação de um processo e a relação causa-efeito de projeto para desempenho. No entanto, o conhecimento relacionado a estratégia de ensaio apropriada geralmente é limitado.

E ainda, conforme Schwaab e Pinto (2011), a maior parte dos casos de frustração relacionados a utilização de experimentos planejados é consequência da má compreensão a respeito do uso das técnicas de planejamento experimental e dos resultados que, de fato, podem ser obtidos com o auxílio dessas ferramentas.

Para Konda et al. (1999), a técnica de planejamento é uma das muitas ferramentas de qualidade para a solução de problemas que podem ser utilizados para encontrar os fatores importantes num processo, o efeito de cada um dos fatores sobre o resultado, a variância no processo, solucionando os problemas envolvendo máquinas e modelagem dos processos. Muitas indústrias usam esta ferramenta para se manter competitivo no mundo inteiro através da concepção de produtos robustos, bem como melhoria da qualidade e confiabilidade do produto. Usando experimentos estrategicamente desenhados, é possível estudar o efeito de diversas variáveis ao mesmo tempo, e estudar as inter-relações e interações entre as diversas variáveis que afetam o problema.

Konda et al. (1999) aplicaram a técnica de projeto de experimentos para estudar e otimizar o desempenho do processo de usinagem descarga elétrica de arame para usinagem de ligas de cobre berílio.

Jiju et al. (2014) aplicaram a técnica de projeto de experimentos em um ambiente de ensino superior e assim remover o equívoco de que ela só é aplicada a um ambiente de produção. Os autores demonstram um estudo de caso simples para ilustrar sua aplicação em um contexto típico não-produção. A metodologia envolve a execução de um estudo simples, na forma de um experimento na Faculdade de Engenharia da Universidade de Strathclyde. O experimento foi realizado com o auxílio de graduação e pós-graduação em um departamento da Faculdade de Engenharia.

Starkey, Aughton e Brewin (1997) aplicaram a técnica de projeto de experimentos em vendas e marketing, tais como a concepção de um anúncio de televisão que tenha resposta direta eficaz.

O objetivo desse estudo foi determinar os parâmetros significativos na operação de corte de correias automotivas para a resposta largura da correia e difundir a utilização de ferramentas mais adequadas para a experimentação dentro das indústrias brasileiras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Rodrigues e Iemma (2009), experimentos delineados em esquemas fatoriais são aqueles que envolvem combinações entre os níveis de dois ou mais fatores. Para Montgomery (2009), um experimento planejado é um teste ou série de testes, no qual são feitas mudanças propositalmente nas variáveis de entrada de um processo, que permitem observar e identificar mudanças correspondentes na resposta de saída. Como processo, definem-se as atividades que utilizam recursos e transformam matéria-prima de entrada em um produto de saída.

Conforme Montgomery, Ruger e Hubele (2001), a maioria dos processos pode ser descrita em termos de muitas variáveis controláveis, tais como: temperatura, pressão e taxa de alimentação. Através do uso de experimentos planejados, os engenheiros podem determinar que subconjunto das variáveis de processo tem a maior influência no desempenho do processo.

Segundo Montgomery (2009), algumas das variáveis do processo são controláveis, enquanto outras são não controláveis (embora possam ser controláveis para efeito de teste). Algumas vezes, esses fatores não controláveis são chamados fatores de ruído.

Os principais objetivos do planejamento de experimentos são:

- Definir quais variáveis são mais influentes na resposta estudada, y , sendo que, o tipo de experimento que visa essa determinação é o de caracterização;
- Definir o valor que será dado as variáveis influentes na resposta y , de modo que a mesma esteja próxima do valor especificado;
- Definir o valor das variáveis influentes (x 's) que tornam a variação na resposta y , pequena;

- Definir o valor das variáveis influentes (x 's) que minimizam o efeito dos ruídos sobre a resposta y .

A escolha do planejamento experimental vai depender da escolha dos fatores e dos níveis. Um experimento fatorial que utilize todas as combinações possíveis entre seus fatores e níveis é definido como fatorial completo. No entanto, com o aumento do número de fatores e níveis, a quantidade de corridas necessárias para a realização do experimento torna-se excessivamente elevada. Com propósito de reduzir o número de corridas em experimentos 2^k , principalmente dentro das indústrias, e o consequente custo atrelado aos mesmos, pode-se utilizar réplicas de experimentos fracionados 2^{k-1} ou frações ainda menores 2^{k-p} .

Como geralmente os efeitos principais e as interações de segunda ordem são responsáveis pelas variações significantes na resposta y estudada, as interações de terceira ordem e superiores são comumente desprezadas. Considerando-se que nas etapas iniciais de estudo de um determinado processo busca-se realizar uma varredura, adicionando-se vários fatores aos experimentos para identificar quais deles possuem efeitos significativos na resposta de interesse e, posteriormente, possam ser estudados mais detalhadamente, o uso de experimentos fatoriais fracionados é uma boa alternativa para que sejam obtidas informações sobre os efeitos principais e interações de segunda ordem.

Na utilização de experimentos fatoriais fracionados como decorrência da diminuição dos graus de liberdade com a redução do número de corridas, os efeitos dos fatores principais passam a ser estimados com os efeitos das interações, pois as combinações lineares das observações usadas para estimar os efeitos principais, são confundidas com as combinações lineares das observações usadas para estimar os efeitos das interações, ou seja, tem-se uma estimativa da soma de dois ou mais efeitos, dependendo do número de fatores estudados e da fração escolhida.

Outra possibilidade de reduzir o número de corridas em experimentos fatoriais planejados é a de realizar experimentos 2^k sem repetições ou réplicas. No entanto, essa prática não disponibiliza graus de liberdade para o resíduo e, conseqüentemente, para o cálculo do erro padrão. Ainda considerando que as interações de ordens superiores não são significativas na variação da resposta y , pode-se combinar essas interações como uma estimativa do erro, mas para experimentos sem repetição, esse artifício não é adequado. Como uma estimativa do erro é necessária para que se possa efetuar inferência sobre a resposta estudada e obter previsões sobre o processo, uma estratégia muito usada, neste caso, é o gráfico de probabilidade normal para avaliar a significância dos efeitos. De acordo com Montgomery, Ruger e Hubele (2001), os efeitos que forem negligenciáveis são normalmente distribuídos, com média zero, e tenderão a cair ao longo de uma linha reta nesse gráfico, enquanto os efeitos significativos não terão média zero e não repousarão ao longo da reta. Outras formas de estimar os erros são a adição de pontos centrais ao planejamento experimental e a adição de pontos axiais.

Uma etapa importante que antecede o planejamento de experimentos é a definição do problema que será estudado, quais as expectativas com relação ao mesmo e quais os resultados que pretendem ser alcançados com o planejamento experimental. Montgomery (2009) determina algumas diretrizes para o planejamento de experimentos:

1. Reconhecimento e relato do problema;
2. Escolha dos fatores e dos níveis;
3. Seleção da variável-resposta;
4. Escolha do planejamento experimental;
5. Realização do experimento;
6. Análise dos dados;
7. Conclusões e recomendações.

Uma consideração importante que também deve ser feita é com relação a obtenção de resultados não satisfatórios. Como o experimentalista realiza hipóteses sobre o sistema, tais como quais fatores serão estudados e qual a região de experimentação, muitos resultados classificados como ruins são consequência da escolha equivocada dos fatores, dos níveis e da técnica experimental utilizada e não deveriam ser encarados como tais. Esses resultados devem ser utilizados para definir novas variáveis de estudo, hipóteses e condições de experimentação e servir de base para os demais conhecimentos que serão obtidos do processo. Além disso, como todo planejamento de experimentos é realizado com base em conhecimentos anteriores, sempre que resultados indesejáveis forem obtidos, novas hipóteses devem ser feitas e novos experimentos conduzidos, buscando a combinação de fatores nos níveis que levam o processo ao desempenho ótimo.

3 MÉTODOS / PROCEDIMENTOS

A aplicação do conceito de planejamento de experimentos foi realizada em uma indústria fabricante de correias industriais, agrícolas e automotivas do Estado de São Paulo. A linha escolhida para a realização dos experimentos foi a de correias automotivas que tem o processo dividido nas seguintes etapas:

• Construção de uma manta em torno apropriado, aplicando sobre um ferramental de aço, borracha e fio;

- Vulcanização da manta;
- Retífica para correção da espessura da manta;
- Corte da manta para definição da largura das correias;
- Formação dos ribs (dentes) da correia.

Os experimentos foram realizados na etapa de corte da manta, onde é definida a largura das correias que serão obtidas da mesma. Basicamente, nessa etapa, a manta é colocada entre dois eixos que a tensionam e, em seguida, uma faca de corte desce sobre a superfície tensionada da manta, que já se encontra alinhada a um flange de referência, cortando-a em várias correias, dependendo da quantidade e da largura especificada.

O objetivo do projeto foi reduzir a variação na característica de qualidade largura de corte (principal defeito ocasionado na operação de corte) e, conseqüentemente, reduzir a formação de refugos e aumentar a produtividade nessa operação.

Os principais parâmetros de controle na máquina de corte são:

- Velocidade do eixo superior;
- Profundidade de corte;
- Comprimento da correia (perímetro);
- Condição da cinta PU (cinta de poliuretano que reveste o eixo superior);
- Tensão da manta entre os dois eixos;
- Pressão do rolete (pressão aplicada sobre a manta contra a cinta);
- Alinhamento da manta (em relação ao flange de referência).

A escolha dos fatores de controle (parâmetros), níveis de ajuste (região de experimentação) e variável de resposta foi feita em conjunto com as áreas de Produção, Qualidade e Engenharia de Processos e definiu-se que os fatores estudados inicialmente seriam: velocidade do eixo superior, profundidade de corte, comprimento da correia e condição da cinta PU. Esses fatores foram escolhidos por apresentarem mudanças mais rápidas na variável resposta estudada.

Os níveis de ajuste para os fatores de controle são mostrados na Tabela 1. Uma observação importante é com relação aos níveis de ajuste da cinta PU e do comprimento da correia. Para o nível baixo (-), cinta PU velha significa cinta utilizada até aproximadamente 240 mantas cortadas e que já possui a superfície danificada e cinta PU nova, nível alto (+), é a cinta com a superfície intacta. Para o fator comprimento da correia, o nível baixo (-) “inferior” significa o comprimento da correia menos 100 mm e o nível alto (+) “nominal”, significa estabelecer esse parâmetro com o valor nominal do comprimento da correia (perímetro) na máquina de corte.

Tabela 1. Fatores de controle e níveis de ajuste dos fatores - 24/01/2012 - Fonte: Autor

Fatores	Níveis de ajustagem	
	-1	+1
A. Cinta PU	Velha	Nova
B. Velocidade do eixo	300 (rpm)	600 (rpm)
C. Profundidade do corte	101 (mm)	105 (mm)
D. Comprimento da correia	Inferior	Nominal

Para os quatro fatores de controle e seus dois níveis foi feita a escolha do planejamento experimental e decidiu-se por usar um fatorial fracionado 2^{k-1} ($k = 4$), ou seja, uma meia fração do experimento 2^4 , com resolução IV. Considerando que a espessura da manta que entra na máquina de corte tem uma pequena variação, e que essa variação não é significativa no processo de corte, toda correia obtida num determinado ajuste do processo pode ser considerada uma réplica do experimento. Dessa forma, optou-se por mensurar 30 correias em cada experimento, dividi-las em grupos de 5 correias e a resposta média de cada um desses grupos foi considerada como sendo uma réplica do experimento. Devido a dificuldade de se trabalhar com o mesmo tipo de correia em todos os experimentos (cortar 8 mantas consecutivas da mesma largura e parar os processos consecutivos), optou-se por avaliar como resposta dos mesmos, o desvio padrão da largura, assim, independente da largura da correia cortada, avalia-se os resultados sobre uma mesma ótica, que é justamente a variação que se deseja reduzir no processo. Com todas essas considerações foi possível realizar um experimento fatorial fracionado $2^{(4-1)}$, com oito diferentes combinações de fatores e com seis réplicas cada uma. Essa abordagem permitiu reduzir o número de experimentos, o tempo de execução e obtenção dos resultados e a probabilidade de descarte de correias, caso uma das combinações fornecesse

correias fora das especificações do cliente e que todos os experimentos fossem realizados em um único bloco em apenas um dia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 é apresentada a matriz experimental utilizada nesse projeto e as respostas obtidas para cada corrida.

Tabela 2. Experimento fatorial fracionado 2^{4-1} – Fonte: Autor

Corridas	Cinta PU	Velocidade do eixo	Profundidade de corte	Comprimento da correia	Resposta, \bar{y} (desvio em polegadas)
1	nova	600	105	nominal	0,010
2	velha	600	105	inferior	0,010
3	velha	300	105	nominal	0,015
4	velha	600	101	nominal	0,010
5	nova	600	105	nominal	0,009
6	nova	600	101	inferior	0,007
7	velha	600	101	nominal	0,012
8	nova	600	101	inferior	0,011
9	nova	300	105	inferior	0,010
10	velha	300	101	inferior	0,008
11	nova	600	105	nominal	0,009
12	velha	300	105	nominal	0,015
13	nova	300	101	nominal	0,009
14	velha	300	105	nominal	0,015
15	velha	600	101	nominal	0,008
16	nova	300	105	inferior	0,010
17	nova	600	105	nominal	0,008
18	nova	600	101	inferior	0,010
19	velha	600	105	inferior	0,007
20	velha	300	105	nominal	0,010
21	velha	300	101	inferior	0,011
22	velha	300	105	nominal	0,013
23	nova	600	101	inferior	0,011
24	nova	600	101	inferior	0,008
25	nova	300	105	inferior	0,007
26	velha	600	101	nominal	0,013
27	nova	600	105	nominal	0,012
28	velha	300	101	inferior	0,010
29	velha	600	101	nominal	0,009
30	velha	600	105	inferior	0,007
31	nova	300	101	nominal	0,009
32	velha	600	105	inferior	0,006
33	velha	300	105	nominal	0,009
34	nova	300	105	inferior	0,009
35	nova	300	101	nominal	0,009
36	velha	300	101	inferior	0,010
37	velha	600	105	inferior	0,008
38	velha	600	105	inferior	0,010
39	nova	300	105	inferior	0,010
40	nova	600	105	nominal	0,008
41	nova	300	101	nominal	0,007
42	velha	300	101	inferior	0,012
43	nova	300	101	nominal	0,009
44	nova	300	101	nominal	0,008
45	velha	600	101	nominal	0,008
46	nova	300	105	inferior	0,012
47	nova	600	101	inferior	0,010
48	velha	300	101	inferior	0,010

Na Tabela 3 são apresentados os efeitos e os coeficientes para os fatores e suas interações que foram estimados para a resposta y (variação da largura de corte). Nesta tabela, verifica-se que os efeitos principais mais significativos são: B e A. E as interações que possuem efeitos mais significativos são: AD e AB, entretanto, seus

efeitos são confundidos com outras interações de segunda ordem (AB = CD, AC=BD e AD = BC), dificultando a determinação da combinação de parâmetros mais importantes no processo de corte de correias automotivas.

Tabela 3. Efeitos e coeficientes estimados para a resposta y (unidades codificadas) – Fonte: Autor.

Termos	Efeitos	Coefficientes	SE Coef	T	P
Constante	-	0,00975	0,000253	38,47	0,000
A. Cinta PU	-0,001000	-0,00050	0,000253	-1,97	0,055
B. Velocidade do eixo	-0,001083	-0,00054	0,000253	-2,14	0,039
C. Profundidade de corte	0,000417	0,00021	0,000253	0,82	0,416
D. Comprimento da correia	0,000833	0,00042	0,000253	1,64	0,108
AB = CD	0,001417	0,00071	0,000253	2,79	0,008
AC = BD	0,000083	0,00004	0,000253	0,16	0,870
AD = BC	-0,001500	-0,00075	0,000253	-2,96	0,005

A Figura 1 mostra o gráfico de probabilidade normal do experimento, nesse gráfico, os efeitos não significativos são normalmente distribuídos e possuem média zero, repousando sobre a reta.

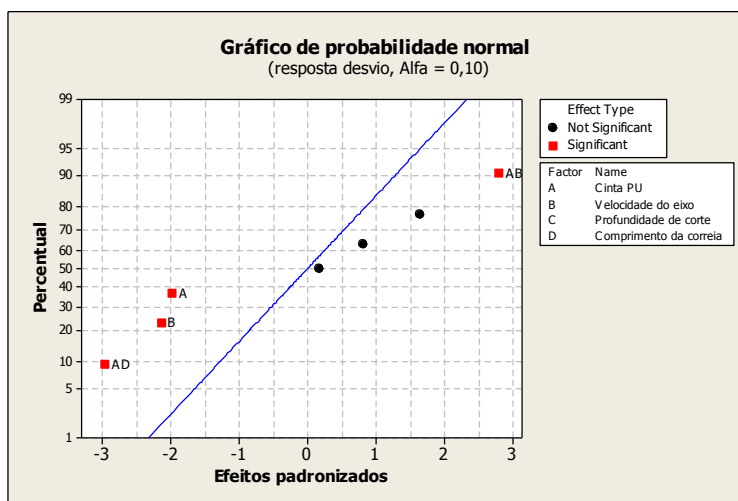


Figura 1. Gráfico de probabilidade normal. Fonte: Autor

A Figura 2 é um gráfico de Pareto da estimativa dos efeitos dos fatores principais e de suas interações, que mostra a significância dos mesmos com base no valor da estatística T, $t_{(gl; \alpha/2)}$, onde, *g.l.* são os graus de liberdade do resíduo e α o nível de significância avaliado.

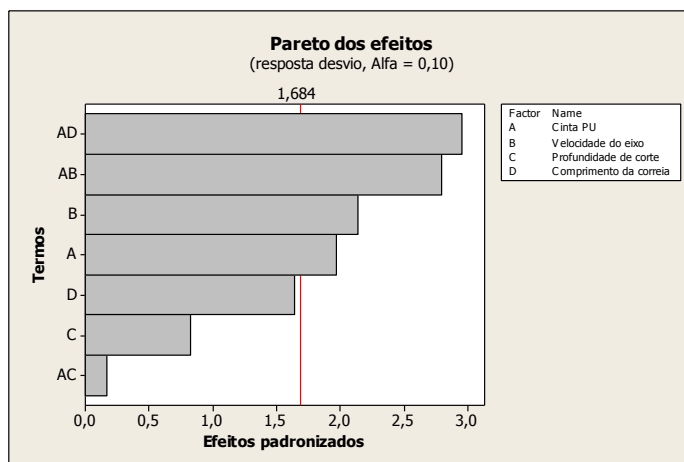


Figura 2. Pareto dos efeitos. Fonte: Autor

A interpretação gráfica das Figuras 1 e 2 é a mesma da Tabela 3, ou seja, os fatores e interações que possuem efeitos significativos são: B, A, AD e AB. No entanto, como citado anteriormente, os efeitos das interações estão confundidos. Na Tabela 4 é apresentada a Análise de Variância (ANOVA), que verifica estatisticamente se a variação dos resultados experimentais é significativa no processo de corte estudado.

Tabela 4. Análise de variância (ANOVA) – unidades codificadas. Fonte: Autor

Fonte	<i>g.l.</i>	Soma de quadrados	Soma de quadrados ajustada	Média quadrática ajustada	F	Valor <i>p</i>
Efeitos Principais	4	0,00003650	0,00003650	0,00000913	2,96	0,031
A. Cinta PU	1	0,00001200	0,00001200	0,00001200	3,89	0,055
B. Velocidade do eixo	1	0,00001408	0,00001408	0,00001408	4,57	0,039
C. Profundidade de corte	1	0,00000208	0,00000208	0,00000208	0,68	0,416
D. Comprimento da correia	1	0,00000833	0,00000833	0,00000833	2,70	0,108
Interações de 2ª ordem	3	0,00005117	0,00005117	0,00001706	5,53	0,003
AB = CD	1	0,00002408	0,00002408	0,00002408	7,81	0,008
AC = BD	1	0,00000008	0,00000008	0,00000008	0,03	0,870
AD = BC	1	0,00002700	0,00002700	0,00002700	8,76	0,005
Residual Error	40	0,00012333	0,00012333	0,00000308		
Pure Error	40	0,00012333	0,00012333	0,00000308		
Total	47	0,00021100				

A Análise de Variância (ANOVA), para a resposta *variação da largura de corte*, demonstra, com 90% de confiança, que os fatores que influenciam na operação de corte da empresa estudada são: a *condição da cinta de poliuretano (cinta PU)*, a *velocidade do eixo superior*, a interação *cinta PU x comprimento da correia* que é confundida com a interação *velocidade do eixo x profundidade de corte* e a interação *cinta PU x velocidade do eixo* que é confundida com a interação *profundidade de corte x comprimento da correia*.

As Figuras 3 e 4 ilustram os efeitos principais dos fatores e os efeitos das interações sobre a resposta *y*, respectivamente.

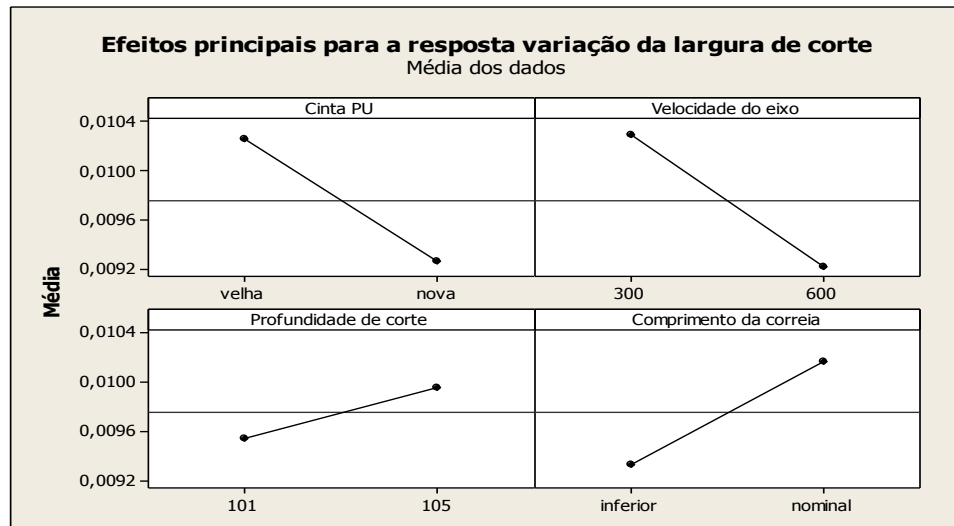


Figura 3. Efeitos principais dos fatores. Fonte: Autor

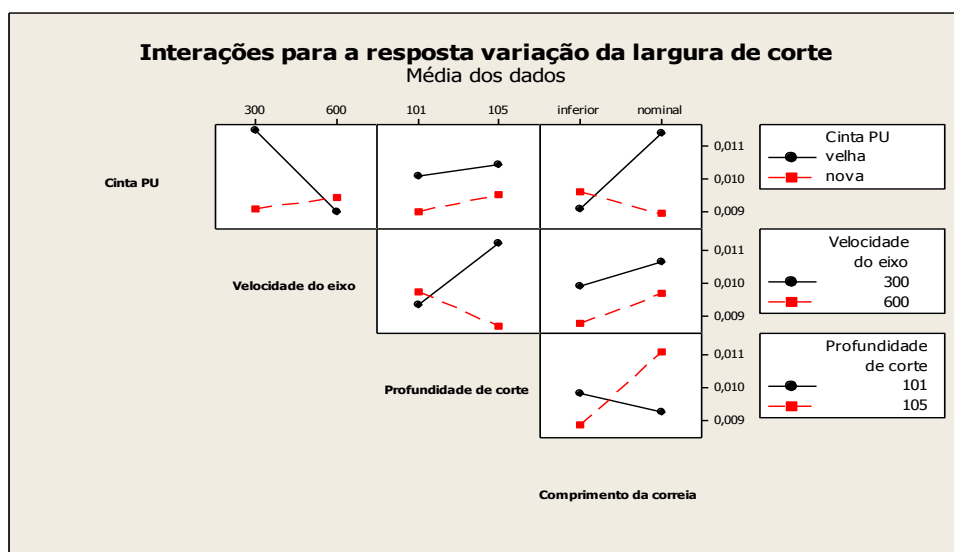


Figura 4. Interações entre os fatores. Fonte: Autor

Com os dados e conhecimentos obtidos até o momento sobre o processo, pode-se considerar que o efeito da interação AC = BD não é significativo na resposta variação da largura de corte, no entanto, o estabelecimento dos níveis dos fatores C= Profundidade de corte e D=Comprimento da correia, que são não significativos, não podem ser desprezados com segurança, uma vez que a interação CD = AB possui efeito significativo sobre a resposta de interesse e, de acordo com Montgomery (2009), quando a interação é muito grande, os efeitos principais correspondentes têm pouco significado. Assim, o conhecimento da interação CD é mais útil do que o conhecimento do efeito principal. Uma interação significativa pode mascarar a significância dos efeitos principais.

Uma condição de operação mais satisfatória é dada pela Tabela 5, pois, avaliando-se os gráficos de interação (Figura 4), considerando a interação AD, o comprimento da correia deve ser estabelecido no nível baixo, ou seja, comprimento da correia inferior, pois mesmo com o desgaste da cinta PU (cinta PU velha), a variação da largura de corte mantém-se pequena. Para a interação BC, deve-se estabelecer a velocidade do eixo em 600 rpm e a profundidade de corte em 101 mm, pois, apesar do processo com velocidade do eixo em 600 rpm e profundidade de corte em 105 mm gerar menor variação, o desgaste da cinta PU é maior, e a mesma, possui elevado custo de reposição. E operar a máquina de corte com velocidade do eixo baixa (300 rpm) e profundidade de corte baixa (101 mm) não é viável, pela baixa produtividade. Considerando a interação AB, deve-se trabalhar com cinta PU nova (nível alto) e velocidade do eixo em 600 rpm, pois, com o desgaste da cinta PU, se a velocidade do eixo for baixa, a variação da largura de corte aumenta. Agora, considerando a interação CD, temos que os níveis dos fatores que a compõe já foram estabelecidos, quando estabeleceram-se os níveis dos fatores para as demais interações, ou seja, profundidade de corte de 101 mm e comprimento da correia inferior.

Tabela 5. Nova condição de operação. Fonte: Autor

Fatores	Nível	Valor
A. Cinta PU	+1	Nova
B. Velocidade do eixo	+1	600 (rpm)
C. Profundidade do corte	-1	101 (mm)
D. Comprimento da correia	-1	Inferior

Apesar de ter sido obtida uma condição melhorada de operação, o fato de algumas interações de segunda ordem terem apresentado efeitos significativos na resposta de interesse e a determinação desses efeitos serem confundidos entre si, o real impacto do efeito dessas interações sobre a variação da largura de corte não pode ser determinado. Dessa forma, durante a apresentação dos resultados às gerências de engenharia de processo e produção e à equipe de qualidade, foi sugerida a realização da outra meia-fração do experimento fatorial fracionado 2^{4-1} , para que seja permitida a estimação independente dos efeitos experimentais (matriz de planejamento ortogonal) e, em seguida, após a caracterização do processo de corte, que seja conduzido um experimento de otimização com as técnicas de planejamento de superfície de resposta, para determinar o conjunto de condições dos fatores significativos sobre a variação de largura que resultem no melhor desempenho do processo.

5 CONCLUSÃO

Inicialmente, através dos experimentos conseguiu-se obter o interesse das pessoas da empresa para utilização de métodos estatísticos para a melhoria da qualidade de produtos e processos. Outro benefício alcançado foi a demonstração, através de dados, que o controle da característica largura de corte, tão somente pelo estabelecimento da largura desejada na máquina de corte, não é suficiente para garantir a largura especificada, mas que é necessário implementar controles nas demais variáveis de entrada. O método científico utilizado para buscar a solução do problema também demonstrou que as interações entre as variáveis só podem ser avaliadas com a variação simultânea de seus níveis e que a técnica de um fator de cada vez é ineficiente.

Outro ponto importante a ser destacado é que não existe uma única receita para o planejamento experimental de todos os problemas, sendo necessário adicionar ao conhecimento estatístico, o conhecimento sobre o processo investigado e a disponibilidade da empresa em realizar os experimentos em busca da melhoria contínua, uma vez que, todo o conhecimento parte de pressupostos que, com o passar do tempo, com o advento de novas tecnologias e com a expansão do saber, vão sendo revistos e aperfeiçoados em função dos resultados obtidos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos gerentes da empresa estudada, por acreditarem que o conhecimento científico aplicado dentro da indústria pode trazer resultados significativos para toda a sociedade e aos colaboradores da empresa pela condução desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- ROSS, Phillip J. Aplicações das Técnicas de Taguchi na Engenharia da Qualidade. São Paulo: McGraw-Hill Ltda, 1991.
- SCHWAAB, Marcio; PINTO, José C. Análise de dados experimentais: Planejamento de experimentos. Rio de Janeiro: E-papers, 2011.
- KONDA, R.; RAJURKAR, K.P.; BISHU, R.R.; GUHA, A. e PARSON, M. Design of experiments to study and optimize process performance. *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 16 (1), 1999, p.56-71.
- JJU, Antony; SIVANATHAN, Laxman e GIJO, E.V. Design of Experiments in a higher education setting. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 63 (4), 2014, p.513-521.
- STARKEY, Michael; AUGHTON, Jeff e BREWIN, Roger. Extending process thinking: design of experiment in sales and marketing. *The TQM Magazine*, v. 9 (6), 1997, p.434-439.
- RODRIGUES, Maria I.; IEMMA, Antonio F. Planejamento de experimentos e otimização de processos. Campinas: Casa do espírito amigo fraternidade fé e amor, 2009.
- MONTGOMERY, Douglas C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C.; HUBELE, Norma F. Estatística aplicada a engenharia. Rio de Janeiro: LTC, 2001.