

APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DOE PARA ANÁLISE DE FATORES QUE IMPLICAM NA MONTAGEM DO COMPONENTE SLOT LINER NA COLUNA DE DIREÇÃO

Paulo Cesar Spaziante (FHO UNIARARAS)
spaziante@hotmail.com

AROLDO JOSE ISAIAS DE MORAES (FHO UNIARARAS)
amoraes@uniararas.br

Fernando Celso de Campos (FHO UNIARARAS)
fccampos@unimep.br

Luciana Ferracini dos Santos (FHO UNIARARAS)
lucianaferracini@uniararas.br

Jose Alexandre Braz (FHO UNIARARAS)
braz.jab@gmail.com



Frente a complexidade apresentada na montagem de componentes automobilístico, a ferramenta Design of Experiments (DOE) tem o propósito de levantar e analisar as variáveis que compõem a operação. Este trabalho teve por objetivo demonstrar oss resultados da

Palavras-chave: Experimento, Variáveis do Processo, Automobilístico



XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
“Os desafios da engenharia de produção para uma gestão inovadora da Logística e Operações”
Santos, São Paulo, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2019.

1.Introdução

Diante da complexidade encontrada na montagem de componentes automobilísticos, e devido à grande competitividade nesse ramo, é de suma importância reduzir custos por meio de redução de refugo, reclamações de cliente, aumento da produtividade e elevação do nível de qualidade. De acordo com Slack (2007) a Qualidade é vista como um indicador de desempenho importante em operações devido afetar diretamente os consumidores internos e externos e conduz tanto para o aumento de receitas quanto a redução dos custos.

Uma ferramenta que auxilia na redução de refugo e diminui os custos, é o DOE (*Design of Experiments*), conforme Durakovic (2017) é uma metodologia matemática usada para planejar e realizar experimentos bem como analisar e interpretar dados obtidos a partir dos experimentos. É uma vertente da estatística aplicada usada para conduzir estudos científicos de um sistema, processo ou produto em que variáveis de entrada (Xs) eram manipulados para investigar seus efeitos na variável de resposta (Ys). Ela utiliza experimentos para avaliar a interação entre as variáveis do processo, e indica qual a influência de uma variável em relação a outra, evitando assim, que haja a necessidade de fazer experimentos individuais de cada uma dessas variáveis. Além disso, o DOE contribui para indicar o objetivo esperado, mostrando a melhor combinação para o processo.

Calegare (2001) descreve que o planejamento de experimentos é usado para aperfeiçoar o processo, aproximando os valores de saída aos requisitos nominais, igualmente, para reduzir a variabilidade e os custos totais.

Para Carpinetti (2009), experimento é um teste. Em um experimento, variações propositas são realizadas nas variáveis de entrada ou de controle (chamados de níveis dos fatores de controle ou tratamentos) de um processo ou sistema, com o objetivo de observar e identificar as razões de variação de resposta ou variável de saída.

O trabalho em questão aborda a utilização da ferramenta DOE para análise das variáveis do processo que implicam na qualidade da montagem do componente *Slot Liner* na Coluna de Direção Elétrica, em uma multinacional automobilística de grande porte, localizada no interior do Estado de São Paulo.

2.Referencial teórico

Segundo Carpinetti (2001), experimentos fatoriais são especialmente usados quando se deseja estudar o efeito, na variável de resposta, da combinação de vários fatores de controle.

Para Barros Neto *et al.* (2010), para executar um planejamento fatorial, deve-se especificar os níveis em que cada fator deverá ser estudado e o mais importante desses casos especiais é

chamado de planejamento fatorial 2^k , que utiliza k fatores de dois níveis cada.

Neste tipo de experimento, uma réplica completa requer $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ observações.

Para Montgomery (2004), a análise de um processo complexo requer a identificação de atributos de qualidade alvo que caracterizam a saída do processo e dos fatores que podem estar relacionados àqueles atributos.

Montgomery (2001) afirma que ao realizar um *design de experimentos* (DOE), com *software* especializado, é mais eficiente, completo, perspicaz e menos propenso a erros do que produzir o mesmo *design* com uma tabela informal feita a mão. Além disso, fornece a capacidade de gerar projetos algorítmicos (de acordo com um dos vários critérios de otimalidade possíveis) que são frequentemente requeridas para acomodar restrições comumente encontradas na prática.

De acordo com o MINITAB® (2019), o planejamento de experimentos (DOE) ajuda a investigar os efeitos de variáveis de entrada (fatores) em variáveis de saída (resposta) ao mesmo tempo. Esses experimentos consistem em uma série de ensaios, ou testes, nos quais são feitas alterações deliberadas nas variáveis de entrada. Os dados são coletados a cada ensaio. O uso do DOE auxilia na identificação das condições do processo e dos componentes do produto que afetam a qualidade, e então determina as configurações de fatores que otimizam resultados.

Corroborando, para Ranga (2014) o planejamento de experimentos, conhecido como *Design of Experiments* (DOE) é um método organizado e estruturado para determinar a relação entre os fatores que afetam a entrada e a saída do processo, no qual os resultados apresentados podem ser analisados a campos válidos e conclusões objetivas.

Para Calegare (2001), 2^p fatorial é um subtipo do experimento fatorial que é recomendado quando existem apenas 2 níveis (alto e baixo ou presente e ausente) de cada fator.

Para Durakovic (2017), um planejamento fatorial completo é conveniente para um número baixo de fatores, se os recursos estiverem disponíveis. Uma abordagem conceitual para o DOE é explicada por dois 2^2 e três 2^3 fatores, bem como o geral fatorial é 2^k , em que k representa o número de fatores, enquanto o número 2 representa o número de níveis. Letras maiúsculas A, B, C ... são geralmente usadas para designação de fator, enquanto letras minúsculas são usadas como tratamentos. Cada fator tem dois níveis, sendo baixos (-) e alto (+). O número de combinações para 2^2 é quatro, para 2^3 é oito e assim sucessivamente. Cada combinação é chamada tratamento que é representado com uma letra minúscula. O número de

unidades de teste para cada tratamento é chamado o número de repetições. Por exemplo, se três unidades / amostras foram testadas em cada tratamento, o número de replicação é três.

Na Tabela 1, encontra-se a matriz dada ao experimento fatorial 2²:

Tabela 1 – Matriz experimento fatorial 2²

	A	B	AB
-1	-1	-1	+1
a	+1	-1	-1
b	-1	+1	-1
ab	+1	+1	+1

Fonte: Durakovic (2017)

Onde A e B representam os fatores, enquanto que AB representa a interação entre eles. A Equação 1, por se tratar de um experimento ortogonal, mostra a regressão linear utilizada para realizar a análise:

Equação 1 – Regressão linear utilizada em experimento ortogonal

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon$$

Fonte: Durakovic (2017)

Na Equação, x_1 e x_2 são as variáveis codificadas dos fatores A e B respectivamente, $x_1 x_2$ representa a interação entre AB, e por fim, $x_j = -1$ e $x_j = +1$ representam os níveis baixos e altos dos fatores, respectivamente.

Para Werkema (1996), em um planejamento de experimentos existem variedades de acordo com a necessidade de cada processo a ser estudado ou protótipo a ser desenvolvido.

Corroborando com o assunto, Calegare (2001) defini delineamento de experimento como plano formal para conduzir o experimento. Inclui a escolha dos fatores, níveis e tratamentos. Por tanto, fator é uma das causas (variáveis) cujos efeitos estão sendo estudados no experimento. Pode ser: quantitativo, exemplo temperatura em °C, tempo em minutos etc. Qualitativo, exemplo diferentes operadores, diferentes máquinas, ligado ou desligado. Na Tabela 2 são apresentados os tipos de delineamento de experimentos.

Tabela 2 – Tipos mais Comuns de Delineamento de Experimentos

Tipo	Quando Utilizar	Como realizar os ensaios	O que se procura
Com 1 único fator e totalmente randômico	Quando estou interessado em estudar cada vez os efeitos de apenas 1 fator.	- A ordem de realização dos ensaios é escolhida aleatoriamente (por sorteio) - As unidades experimentais são escolhidas também ao acaso. - Não existe blocagem.	1 Estimativa dos efeitos dos tratamentos. 2 Comparação entre os efeitos dos tratamentos. 3 Estimativa da variância
Fatorial (Com 2 ou mais fatores)	Quando estou interessado em estudar os efeitos de 2 ou mais fatores, em vários níveis, e pode existir interação entre os fatores.	- São realizados ensaios para todas as combinações possíveis dos vários níveis de todos os fatores. - A ordem de realização dos ensaios e a escolha das unidades experimentais são ao acaso (sorteio). - Não existe blocagem.	1 Estimativa dos efeitos de vários fatores. 2 Comparação entre os efeitos dos tratamentos, em vários níveis 3 Estimativa de interações entre fatores. 4 Estimativa da variância.
Fatorial com blocagem	Quando estou interessado em estudar o efeito de um fator, mas existe uma certa variabilidade provocada por fontes perturbadoras conhecidas (ruídos).	- As fontes perturbadoras são divididas em blocos homogêneos (lotes, operadores, tempo etc.). - São feitos os ensaios para todos os níveis do fator em cada bloco. - A ordem de realização dos ensaios é determinada ao acaso (sorteio).	As mesmas que no experimento Fatorial (Nota - algumas interações de ordem mais alta estão confundidas com blocos e não podem ser estimadas)
2º Fatorial	É um subtipo do experimento fatorial que é recomendado quando existem apenas 2 níveis (alto e baixo ou presente e ausente) de cada fator.	Igual ao experimento fatorial (Nota - cada fator tem apenas 2 níveis: - alto e baixo; ou - presente e ausente.)	Igual ao experimento fatorial
Quadrado latino	Quando estou interessado em estudar os efeitos de um fator, porém os resultados dos ensaios podem ser afetados por 2 outros fatores ou por 2 fontes de não-homogeneidade e não existem indícios de interação entre os fatores.	- O número de tratamento do fator em estudo (letra latina) deve ser igual ao número de colunas ou de linhas. - O número de colunas é igual ao de linha. - Cada tratamento da letra latina ocorre 1 vez em cada linha e 1 vez em cada coluna. - Existe blocagem dos outros 2 fatores, que correspondem às linhas e colunas do quadrado.	1 Estimativa dos efeitos dos tratamentos do fator em estudo, influência dos fatores bloqueados. 2 Comparação dos efeitos dos tratamentos do fator em estudo. 3 Estimativa e comparação dos efeitos dos tratamentos dos fatores bloqueados. 4 Estimativa da variância
Operação evolutiva	Quando se deseja fazer os experimentos para otimizar a saída do processo sem parar a produção, a baixos custos e quando se dispõe de tempo e pode-se permitir algum risco de produto não-conforme. (Exemplo: Indústria de processos.)	- Podem ser usados experimentos com 1 único fator, fatorial ou fatorial com blocagem. - Devem ser selecionados os fatores que mais influem na saída (em geral, 2 ou 3 fatores). - Os níveis dos fatores são mudados com pequenos passos em torno do padrão de referência. - São calculados os efeitos após alguns ciclos e é estabelecido um novo padrão de referência. - Os níveis dos fatores são mudados em torno de novos padrões, indefinidamente, buscando-se a otimização da saída.	1 Estimativa e comparação dos efeitos dos tratamentos dos fatores em estudo. 2 Níveis dos tratamentos que otimizam a saída.

Fonte: Calegare 2001

De acordo com Montgomery (2016), para usar a abordagem estatística na concepção e análise de um experimento, é necessário que todos os envolvidos no experimento tenham uma ideia clara de exatamente o que deve ser estudado, como os dados serão coletados e, pelo menos, um entendimento qualitativo de como esses dados devem ser analisados.

Coleman & Montgomery (2012) definem as etapas para o desenvolvimento de um Planejamento de Experimentos na Indústria:

1. Reconhecer e declarar o problema
2. Escolher os fatores e nível
3. Selecionar a variável resposta
4. Escolher o modelo de planejamento
5. Conduzir o experimento
6. Analisar os dados
7. Conclusão e recomendações

2.1 Reconhecer e declarar o problema

Na prática não é tão simples reconhecer o problema e requerer uma experimentação. É preciso estabelecer quais serão os objetivos do experimento. É importante colher informações de um time multifuncional: engenharia, qualidade, manufatura, *marketing*, gerenciamento cliente e operadores (que são as pessoas que mais tem conhecimento sobre o processo, porém, são muitas vezes ignorados). Então, é recomendada uma abordagem em equipe para projetar o experimento.

2.2 Escolher os fatores e nível

O experimentador deve escolher quais são os fatores que terão que ser variados durante o experimento. Existe três classificações para os fatores: Potencial fatores de projeto, que são aqueles fatores que certamente o experimentador irá querer variar. Fatores constantes, que são os fatores que podem afetar a variável resposta, mas por não ser de muito interesse para o estudo, o experimentador pode colocá-lo em um único nível. Fatores permitidos para variar, mas assim como os fatores constante, por ser de influência muita baixa, o experimentador pode manter esses fatores congelados. Desta forma, é melhor manter um número baixo de fatores de níveis. Basicamente, dois níveis funcionam muito bem. Porém, a faixa no qual os fatores variam, devem ser bastante amplas.

2.3 Selecionar a variável resposta

Na seleção da variável resposta, o experimentador deve escolher uma em que realmente dará uma informação útil sobre o processo a ser estudado. Geralmente é utilizada a média ou desvio padrão da variável resposta, porém, variáveis múltiplas podem ser utilizadas. A

capacidade de medição da variável resposta também é muito importante. Se a

capacidade de medição for baixa, apenas fatores de muita contribuição serão relevados, ou então, será necessário realizar uma réplica. A escolha da variável resposta vem da teoria, ou então da experiência do time participante do experimento.

2.4 Escolher o modelo de planejamento

Existem alguns *softwares* que auxiliam o experimentador durante essa fase do experimento, onde o experimentador entra com as informações dos fatores a serem estudados, níveis e range de cada um deles. E então esses *softwares*, de maneira randômica, geram uma tabela indicando como conduzir o experimento.

2.5 Conduzir o experimento

Durante a execução do experimento, é vital monitorar e seguir conforme planejado. Um erro durante essa fase do experimento, pode destruir a sua validação. Coleman e Montgomery (2012) sugerem que antes de realizar o experimento uma corrida piloto ou alguns testes podem ajudar. Essas corridas pilotos podem fornecer informações sobre a consistência do material escolhido para realização do experimento. Isso pode dar a oportunidade de revisitar as decisões tomadas durante a fase de planejamento.

2.6 Analisar os dados

A análise estatística dos dados é utilizada para analisar os dados e seu resultado e conclusão sejam o objetivo. Se o experimento foi realizado conforme planejado, a análise estatística não será complicada. Existem excelentes *softwares* que fazem essa análise, e interagem diretamente com o planejamento realizado na etapa 2.4 (escolher o modelo de planejamento). A análise estatística proporciona objetividade a tomada de decisão, e somada a engenharia, conhecimento do processo e senso comum, geralmente resulta numa boa conclusão.

2.7 Conclusão e recomendações

Uma vez os dados analisados, o experimentador deve desenhar uma conclusão prática dos resultados, e recomendar ações e curso do trabalho. Métodos gráficos são geralmente utilizados nessa etapa. Acompanhar o processo e realizar teste de confirmação, deverão validar a conclusão apresentada pelo experimentador.

3. Metodologia

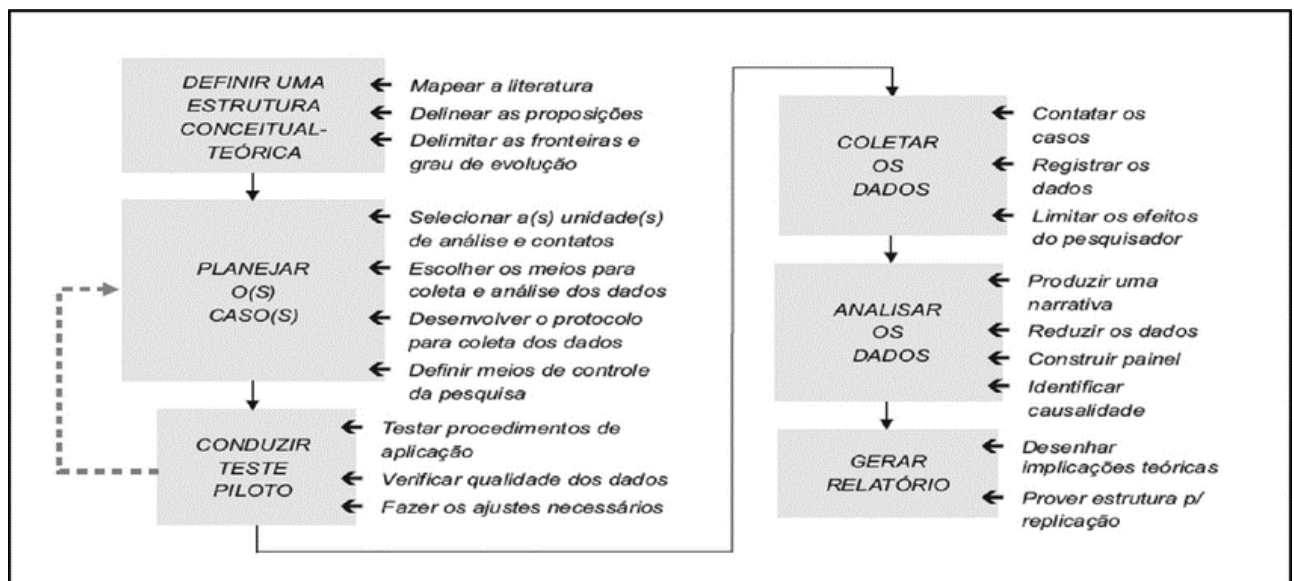
Esse trabalho inicialmente é uma revisão bibliográfica que visa o embasamento teórico e num segundo momento, será apresentado um Estudo de Caso de natureza qualitativa, onde o

pesquisador tende a analisar os dados indutivamente para tomar decisões e estabelecer metas de trabalho.

Estudo de caso é uma pesquisa que pode ser utilizada em muitas áreas de conhecimento, e segundo Gil (2019) é impossível estabelecer um roteiro rígido que determine com precisão como deverá ser desenvolvida a pesquisa.

Por meio da Figura 1, pode-se observar uma proposta de condução de estudo de caso, elaborada por MIGUEL (2007).

Figura 1 - Condução do Estudo de Caso



Fonte: Miguel (2012)

Nesse estudo são utilizadas as etapas da Figura 1, para que todos tenham uma ideia clara em avançado de exatamente o que deve ser estudado, como os dados serão coletados e, pelo menos, um entendimento qualitativo de como esses dados devem ser analisados.

4. Estudo de caso

4.1 Reconhecer e declarar o problema

O estudo de caso aqui descrito aborda a utilização da ferramenta DOE para análise das variáveis do processo que implicam na qualidade da montagem do componente *Slot Liner* na Coluna de Direção Elétrica.

O estudo foi realizado em uma multinacional automobilística de grande porte, localizada no interior do Estado de São Paulo. A empresa fornecedora de autopeças para as grandes montadoras no Brasil e na América do Sul.

A produção se divide entre Montagem (Coluna Elétrica) e usinagem (carcaça). O objetivo foi identificar quais variáveis do processo causam problema de soltura do componente *Slot Liner* na Coluna de Direção Elétrica, por meio do estudo das variáveis de entrada no processo, ou fatores que contribuem para a soltura do *Slot Liner*.

Visando obter os resultados propostos, essa pesquisa teve o seguinte procedimento: observação do processo, população e Amostragem, criação do experimento fatorial no MINITAB®, coleta de Dados e Montagem e análise e Interpretação dos Resultados.

A escolha do processo de colagem do *Slot Liner* na Coluna de Direção Elétrica para a aplicação do DOE aconteceu por meio da análise dos índices de refugo da fábrica durante o segundo semestre de 2018 da fábrica. A Tabela 3 mostra os motivos de refugos mês a mês da empresa estudada:

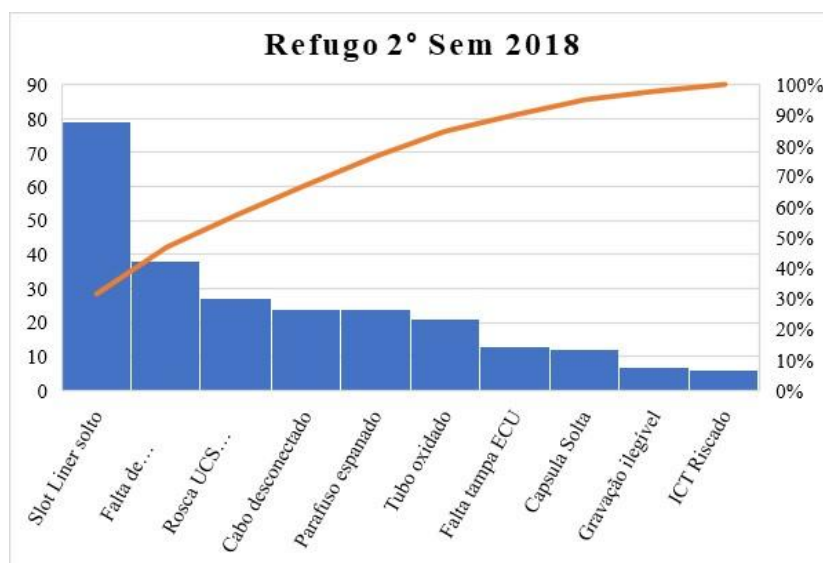
Tabela 3: Motivos de refugos mês a mês

Tipo Refugo	2018						
	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18	Total
Falta de Assistencia	8	8	7	4	6	5	38
Cabo desconectado	3	4	4	4	3	6	24
Parafuso espanado	2	2	3	6	6	5	24
<i>Slot Liner</i> solto	13	15	15	12	11	13	79
Tubo oxidado	4	3	2	2	5	5	21
Gravação ilegível	1	2	2	0	1	1	7
Falta tampa ECU	4	2	2	1	0	4	13
ICT Riscado	1	0	2	2	1	0	6
Rosca UCS danificada	4	7	3	5	4	4	27
Capsula Solta	2	3	3	2	1	1	12

Fonte: Empresa estudada

A Figura 2, representa em gráfico de Pareto a quantidade de reprovos por item durante o segundo semestre. Pode-se observar que o “*Slot Liner solto*” obteve o maior número de reprovos.

Figura 2 - Gráfico de Pareto das reprovos 2º Semestre 2018



Fonte: Empresa estudada

4.2 Escolher os fatores e nível

Uma vez definido e reconhecido o problema, foi feito o levantamento dos fatores e variáveis do processo que implicam na solda do *Slot Liner*.

Os potenciais fatores de projeto escolhidos foram:

- A aplicação da cola utilizada, que pode ser feita de forma manual ou automática;
- A aplicação do *primer*, componente ativador da cola aplicado no produto, que pode ser de forma manual ou automática;
- A limpeza de um dos componentes envolvidos no processo, o *Bracket*, que pode ser feita com álcool isopropílico ou lavado em lavadora industrial;
- E o local da aplicação da cola, que pode ser feita diretamente no componente *Slot Liner* ou no componente *Bracket*.

De forma resumida, pode-se observar na Tabela 4 abaixo, quais são os fatores e níveis:

Tabela 4 – Fatores e Níveis

FATORES	NÍVEIS	
Aplicação da Cola	Manual	Automático
Aplicação do <i>Primer</i>	Manual	Automático
Limpeza do <i>Bracket</i>	Álcool Isopropílico	Lavado
Local da Cola	<i>Slot Liner</i>	<i>Bracket</i>

Fonte: Autor

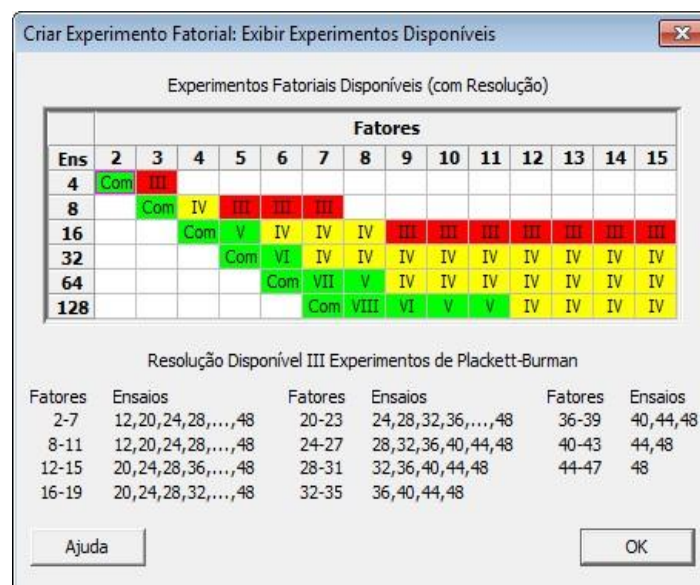
4.3 Escolher a variável resposta

Apesar de ser um teste destrutivo, porém, diretamente proporcional a soltura do *Slot Liner*, a variável resposta dessa pesquisa será representada na forma de “carga de extração” desse componente. Teste esse realizado em laboratório com máquina de tração, mostrando o valor máximo de carga que o *Slot Liner* pode suportar, sem que haja seu arrancamento após colagem do mesmo no *Bracket*.

4.4 Escolher o modelo de planejamento

Nessa fase do estudo de caso, foi utilizado a criação do experimento fatorial no *software* MINITAB®. Onde foram mencionados os fatores, níveis e selecionadas 3 réplicas para cada amostra. Na Figura 3, observa-se os modelos de experimentos disponíveis no *software*:

Figura 3 - Tipos de experimentos



Fonte: MINITAB®

Nesse estudo, é utilizado 4 fatores para 2 níveis cada, portanto o número de combinações para 2^4 é dezesseis, e como foi elegido 3 réplicas para cada uma delas, temos um total de 48 rodadas para esse estudo. Na Tabela 5, pode-se observar a ordem de realização dessas 48 rodadas:

Tabela 5 - Fatores, níveis e sequência de montagem utilizadas para realização do Experimento(Worksheet MINITAB®)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Aplicação da Cola	Aplicação do Primer	Limpeza do Bracket	Local da Cola
28	1	1	1	Manual	Manual	Álcool Isopropílico	Slot Liner
23	2	1	1	Automático	Manual	Lavado	Bracket
32	3	1	1	Manual	Manual	Lavado	Slot Liner
43	4	1	1	Automático	Manual	Álcool Isopropílico	Slot Liner
27	5	1	1	Automático	Manual	Álcool Isopropílico	Slot Liner
37	6	1	1	Automático	Automático	Lavado	Bracket
16	7	1	1	Manual	Manual	Lavado	Slot Liner
1	8	1	1	Automático	Automático	Álcool Isopropílico	Bracket
36	9	1	1	Manual	Manual	Álcool Isopropílico	Bracket
20	10	1	1	Manual	Manual	Álcool Isopropílico	Bracket
12	11	1	1	Manual	Manual	Álcool Isopropílico	Slot Liner
2	12	1	1	Manual	Automático	Álcool Isopropílico	Bracket
34	13	1	1	Manual	Automático	Álcool Isopropílico	Bracket
8	14	1	1	Manual	Manual	Lavado	Bracket
41	15	1	1	Automático	Automático	Álcool Isopropílico	Slot Liner
31	16	1	1	Automático	Manual	Lavado	Slot Liner
35	17	1	1	Automático	Manual	Álcool Isopropílico	Bracket
39	18	1	1	Automático	Manual	Lavado	Bracket
33	19	1	1	Automático	Automático	Álcool Isopropílico	Bracket
45	20	1	1	Automático	Automático	Lavado	Slot Liner
21	21	1	1	Automático	Automático	Lavado	Bracket
6	22	1	1	Manual	Automático	Lavado	Bracket
14	23	1	1	Manual	Automático	Lavado	Slot Liner
47	24	1	1	Automático	Manual	Lavado	Slot Liner
40	25	1	1	Manual	Manual	Lavado	Bracket
7	26	1	1	Automático	Manual	Lavado	Bracket
24	27	1	1	Manual	Manual	Lavado	Bracket
13	28	1	1	Automático	Automático	Lavado	Slot Liner
15	29	1	1	Automático	Manual	Lavado	Slot Liner
44	30	1	1	Manual	Manual	Álcool Isopropílico	Slot Liner
11	31	1	1	Automático	Manual	Álcool Isopropílico	Slot Liner
38	32	1	1	Manual	Automático	Lavado	Bracket
4	33	1	1	Manual	Manual	Álcool Isopropílico	Bracket
25	34	1	1	Automático	Automático	Álcool Isopropílico	Slot Liner
18	35	1	1	Manual	Automático	Álcool Isopropílico	Bracket
26	36	1	1	Manual	Automático	Álcool Isopropílico	Slot Liner
48	37	1	1	Manual	Manual	Lavado	Slot Liner
10	38	1	1	Manual	Automático	Álcool Isopropílico	Slot Liner
17	39	1	1	Automático	Automático	Álcool Isopropílico	Bracket
3	40	1	1	Automático	Manual	Álcool Isopropílico	Bracket
5	41	1	1	Automático	Automático	Lavado	Bracket
9	42	1	1	Automático	Automático	Álcool Isopropílico	Slot Liner
29	43	1	1	Automático	Automático	Lavado	Slot Liner
42	44	1	1	Manual	Automático	Álcool Isopropílico	Slot Liner
46	45	1	1	Manual	Automático	Lavado	Slot Liner
19	46	1	1	Automático	Manual	Álcool Isopropílico	Bracket
30	47	1	1	Manual	Automático	Lavado	Slot Liner
22	48	1	1	Manual	Automático	Lavado	Bracket

Fonte: Autor

A Tabela 5, mostra a ordem das peças a serem montadas, propostas pelo MINITAB®, de acordo com cada fator e nível. Pode-se observar a interação das sequencias de montagem.

4.5 Condução do Experimento

A condução do experimento dividiu-se em duas etapas, em um primeiro momento, a montagem das peças respeitando a sequência definida na Tabela 5, montado as peças conforme a coluna “RunOrder” da tabela, e num segundo momento, em Laboratório foi realizado o teste de extração do *Slot Liner* e anotado o valor de arrancamento de cada peça, conforme pode-se observar na Tabela 6.

Tabela 6 - Variável resposta encontrada em cada montagem (Worksheet MINITAB®)

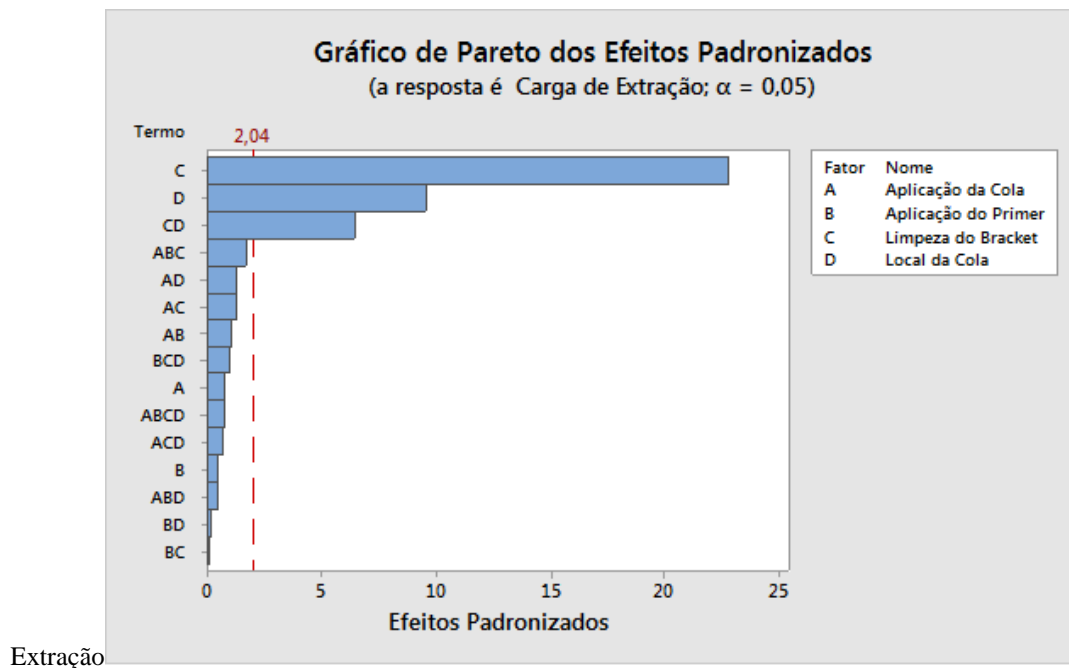
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Aplicação da Cola	Aplicação do Primer	Limpeza do Bracket	Local da Cola	Carga de Extração
28	1	1	1	Manual	Manual	Álcool Isopropílico	<i>Slot Liner</i>	538
23	2	1	1	Automático	Manual	Lavado	<i>Bracket</i>	983
32	3	1	1	Manual	Manual	Lavado	<i>Slot Liner</i>	1403
43	4	1	1	Automático	Manual	Álcool Isopropílico	<i>Slot Liner</i>	445
27	5	1	1	Automático	Manual	Álcool Isopropílico	<i>Slot Liner</i>	372
37	6	1	1	Automático	Automático	Lavado	<i>Bracket</i>	798
16	7	1	1	Manual	Manual	Lavado	<i>Slot Liner</i>	1376
1	8	1	1	Automático	Automático	Álcool Isopropílico	<i>Bracket</i>	353
36	9	1	1	Manual	Manual	Álcool Isopropílico	<i>Bracket</i>	376
20	10	1	1	Manual	Manual	Álcool Isopropílico	<i>Bracket</i>	306
12	11	1	1	Manual	Manual	Álcool Isopropílico	<i>Slot Liner</i>	482
2	12	1	1	Manual	Automático	Álcool Isopropílico	<i>Bracket</i>	393
34	13	1	1	Manual	Automático	Álcool Isopropílico	<i>Bracket</i>	401
8	14	1	1	Manual	Manual	Lavado	<i>Bracket</i>	844
41	15	1	1	Automático	Automático	Álcool Isopropílico	<i>Slot Liner</i>	401
31	16	1	1	Automático	Manual	Lavado	<i>Slot Liner</i>	1287
35	17	1	1	Automático	Manual	Álcool Isopropílico	<i>Bracket</i>	389
39	18	1	1	Automático	Manual	Lavado	<i>Bracket</i>	678
33	19	1	1	Automático	Automático	Álcool Isopropílico	<i>Bracket</i>	298
45	20	1	1	Automático	Automático	Lavado	<i>Slot Liner</i>	1401
21	21	1	1	Automático	Automático	Lavado	<i>Bracket</i>	1002
6	22	1	1	Manual	Automático	Lavado	<i>Bracket</i>	894
14	23	1	1	Manual	Automático	Lavado	<i>Slot Liner</i>	989
47	24	1	1	Automático	Manual	Lavado	<i>Slot Liner</i>	1232
40	25	1	1	Manual	Manual	Lavado	<i>Bracket</i>	799
7	26	1	1	Automático	Manual	Lavado	<i>Bracket</i>	745
24	27	1	1	Manual	Manual	Lavado	<i>Bracket</i>	803
13	28	1	1	Automático	Automático	Lavado	<i>Slot Liner</i>	1255
15	29	1	1	Automático	Manual	Lavado	<i>Slot Liner</i>	1265
44	30	1	1	Manual	Manual	Álcool Isopropílico	<i>Slot Liner</i>	399
11	31	1	1	Automático	Manual	Álcool Isopropílico	<i>Slot Liner</i>	354
38	32	1	1	Manual	Automático	Lavado	<i>Bracket</i>	673
4	33	1	1	Manual	Manual	Álcool Isopropílico	<i>Bracket</i>	303
25	34	1	1	Automático	Automático	Álcool Isopropílico	<i>Slot Liner</i>	498
18	35	1	1	Manual	Automático	Álcool Isopropílico	<i>Bracket</i>	298
26	36	1	1	Manual	Automático	Álcool Isopropílico	<i>Slot Liner</i>	447
48	37	1	1	Manual	Manual	Lavado	<i>Slot Liner</i>	1103
10	38	1	1	Manual	Automático	Álcool Isopropílico	<i>Slot Liner</i>	502
17	39	1	1	Automático	Automático	Álcool Isopropílico	<i>Bracket</i>	412
3	40	1	1	Automático	Manual	Álcool Isopropílico	<i>Bracket</i>	394
5	41	1	1	Automático	Automático	Lavado	<i>Bracket</i>	960
9	42	1	1	Automático	Automático	Álcool Isopropílico	<i>Slot Liner</i>	450
29	43	1	1	Automático	Automático	Lavado	<i>Slot Liner</i>	1308
42	44	1	1	Manual	Automático	Álcool Isopropílico	<i>Slot Liner</i>	563
46	45	1	1	Manual	Automático	Lavado	<i>Slot Liner</i>	1259
19	46	1	1	Automático	Manual	Álcool Isopropílico	<i>Bracket</i>	479
30	47	1	1	Manual	Automático	Lavado	<i>Slot Liner</i>	1388
22	48	1	1	Manual	Automático	Lavado	<i>Bracket</i>	718

Fonte: Autor

4.6 Analisar os dados

Como pode-se observar a Figura 4 mostra os fatores que ultrapassam a linha vermelha são significativos com 95% de grau de confiança. No caso desse estudo tem-se o fator C (Limpeza do *Bracket*) como sendo o mais significativo. Seguido do fator D (Local da Cola) e, por último, o fator CD, que é a interação entre Limpeza do *Bracket* e Local da Cola.

Figura 4 - Influência dos fatores na variável resposta Carga de

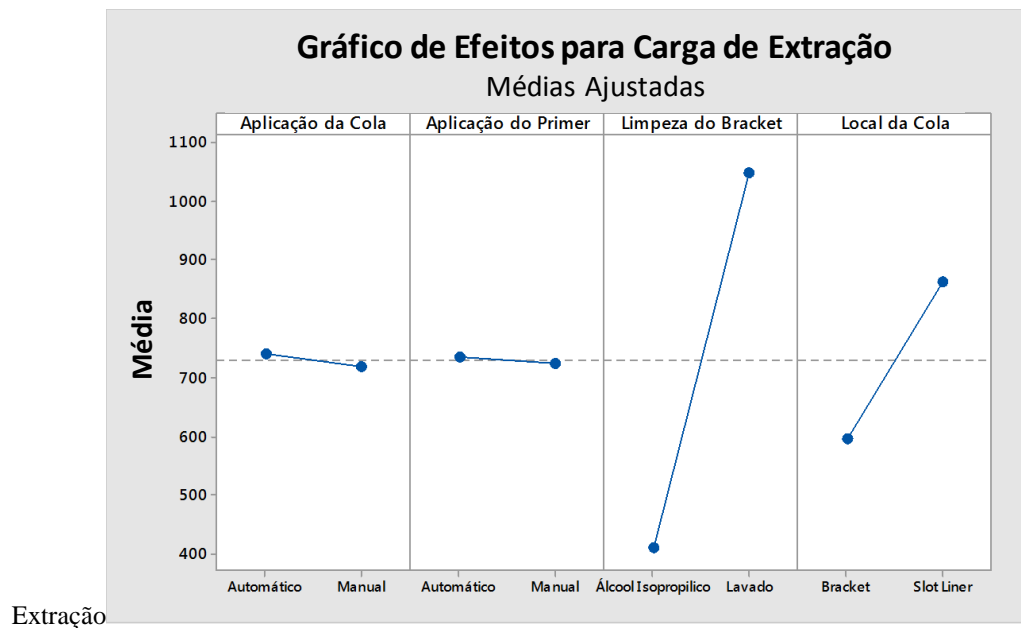


Fonte: Autor

Como o MINITAB® utiliza por padrão um nível de significância de 0,05 que corresponde a 95% de grau de confiança, é dado o valor de 2,04 como valor absoluto dos efeitos padronizados, como pode-se observar na Figura 4.

Outro método para comprovar os efeitos significativos, é por meio da Figura 5, que mostra a média dos efeitos em relação a resposta Carga de Extração:

Figura 5 - Média dos fatores na variável resposta Carga de



Fonte: Autor

Pode-se verificar por meio da Figura 5, que a média das cargas de extração das peças produzidas com o *Bracket* Lavado, são maiores em relação a limpeza do *Bracket* com Álcool Isopropílico. Também, que a média das cargas de extração de peças produzidas com a cola sendo aplicada no *Slot Liner* são maiores em relação a aplicação no *Bracket*. E ainda, que as médias nas variáveis Aplicação da Cola e Aplicação do *Primer*, não tiveram alteração significantes.

5. Resultados e discussão

Esse estudo mostrou que foi possível constatar que a combinação dos fatores que proporcionam aumento da Carga de Extração do *Slot Liner* são:

- Limpeza do *Bracket* sendo ele lavado;
- Local da Cola sendo ela aplicada diretamente no *Slot Liner*

Com a adequação do processo implementando a Lavagem do *Bracket* e alterando o local de aplicação da cola para o *Slot Liner*, permitiu-se uma redução de perdas e redução de refugo. Essa melhoria é comprovada na Tabela 7, que mostra os motivos de refugo da empresa no primeiro bimestre de 2019:

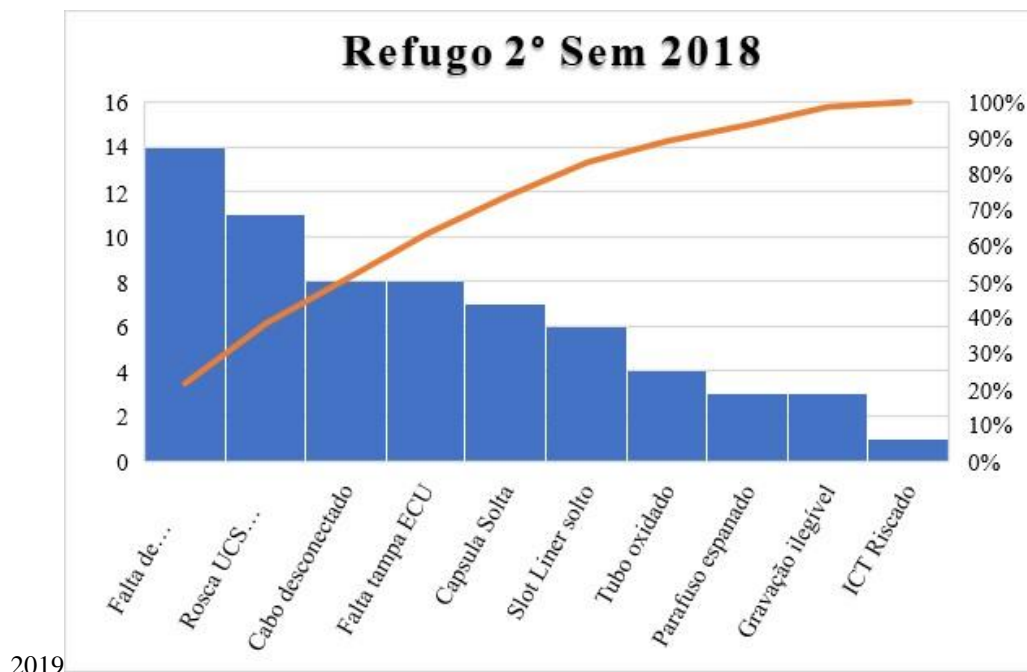
Tabela 7 - Motivos de refugos de Janeiro e Fevereiro 2019

Tipo Refugo	2019		
	jan/19	fev/19	Total
Falta de Assistencia	9	5	14
Cabo desconectado	4	4	8
Parafuso espanado	1	2	3
Slot Liner solto	5	1	6
Tubo oxidado	1	3	4
Gravação ilegível	1	2	3
Falta tampa ECU	5	3	8
ICT Riscado	0	1	1
Rosca UCS danificada	4	7	11
Capsula Solta	3	4	7

Fonte: Empresa estudada

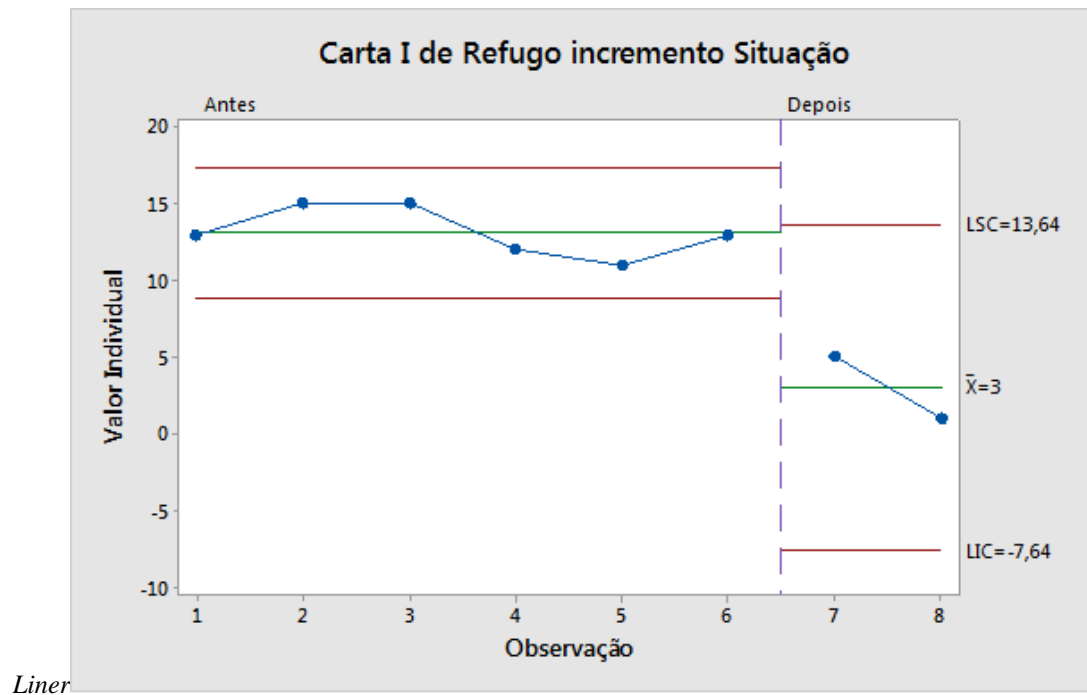
Analisando graficamente as Figuras 6 e 7, pode-se observar que após adequação do processo ocorrida na metade do mês de janeiro, os índices de refugo por Slot Liner solto caíram significativamente, fazendo esse motivo de refugo sair da primeira posição e ficando na sexta posição como itens que mais refugam.

Figura 6 - Gráfico de Pareto reprovos 1º Bimestre



Fonte: Empresa estudada

Figura 7 - Gráfico de queda de refugo *do Slot*



Fonte: Autor

Na Figura 7 pode-se observar que a média de quantidade de peças que antes era de 13 peças/mês, caiu para apenas 3 peças/mês após a adequação do processo por meio dos resultados obtidos no estudo DOE.

6. Considerações finais

O presente trabalho demonstrou a redução de refugo em uma empresa automotiva por meio da metodologia DOE.

Com a adequação do processo de colagem do *Slot Liner*, por meio dos resultados obtidos no experimento, o refugo mensal por motivo de soltura do *Slot Liner* saiu de 13 peças/mês em média, para apenas 1 peça no mês de fevereiro.

A ferramenta DOE resultou numa abordagem científica a todo o processo de análise do problema, criando condições para interpretação dos resultados de maneira confiável e sistematizada. O *software* MINITAB foi utilizado como plataforma de análise dos dados e comprovação dos resultados do estudo.

Esse trabalho abre precedentes para utilização dessa ferramenta para redução de outros motivos de refugo da empresa, o que irá auxiliar a empresa em busca de ser mais competitiva no mercado automotivo, sendo mais eficiente no atendimento aos seus clientes e elevando os índices de qualidade.

REFERÊNCIA

- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. E.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: aplicações na ciência e na indústria**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. 414p.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. E.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. 1. ed. Campinas: Editora Unicamp, 1995. 278p.
- CALEGARE, A. J. A. **Introdução ao Delineamento de Experimentos**. 1. ed. Edgard Blucher Ltda, 2001. 130 p.
- CARPINETTI, L. C. R. **Planejamento e Análise de Experimentos**. 4. ed. São Carlos: Editora EESC-USP, 2009. 217 p.
- COLEMAN, D. E.; MONTGOMERY, D. C. *A systematic approach to planning for a designed industrial experiment*. *Technometrics*, 1999. v.35, n.1. Recuperado em mar. 2012 em <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00401706.1993.10484984>
- DURAKOVIC, Benjamin. *Design of Experiments Application, Concepts, Examples: State of the Art*. **Periodicals of Engineering and Natural Sciences**, Sarajevo Bosnia and Herzegovina, v. 5, n. 3, p. 421-439, dez. 2017.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 7. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2019.
- MIGUEL, P. A. C.; NAKANO, D. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.) **Metodologia da Pesquisa Científica em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier (ABEPRO), 2012. cap. 4.
- MONTGOMERY, D. C. *Design and Analysis of Experiments*. 5 ed. New York: John Wiley & Sons, 2001. 684 p.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2004. 513 p.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada a probabilidades para engenheiros**, 6. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2016. 652 P.
- MINITAB. **Pesquisa Suporte ao Minitab 18**. Disponível em < <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/getting-started/designing-an-experiment/>>, Acesso em: 26 janeiro 2019.
- RANGA, Sonam *et al.* **A Review on Design OF Experiments (DOE)**. *International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences*, v.3, n.1, p. 216-224, jan. 2014.



XXXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
“Os desafios da engenharia de produção para uma gestão inovadora da Logística e Operações”
Santos, São Paulo, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2019.

SLACK, NIGEL. **Administração da Produção (Edição compacta)**. São Paulo: Editora

Atlas, 2007.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Planejamento e análise de experimentos: como identificar e avaliar as principais variáveis influentes em um processo**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

