

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ISABELLE DE BARROS ALVES

**OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS DE UMA MALHARIA POR MEIO
DA APLICAÇÃO DO *DESIGN OF EXPERIMENTS***

JUIZ DE FORA

Julho /2017

ISABELLE DE BARROS ALVES

**OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS DE UMA MALHARIA POR MEIO
DA APLICAÇÃO DO *DESIGN OF EXPERIMENTS***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientadora: Mariana Paes da Fonseca Maia

JUIZ DE FORA

Julho/2017

ISABELLE DE BARROS ALVES

**OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS DE UMA MALHARIA POR MEIO
DA APLICAÇÃO DO *DESIGN OF EXPERIMENTS***

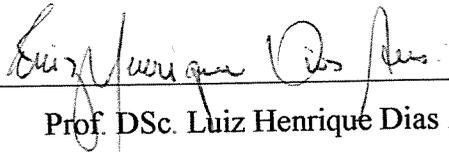
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial
para a obtenção do título de Engenheiro de
Produção.

Aprovada em 7 de julho de 2017.

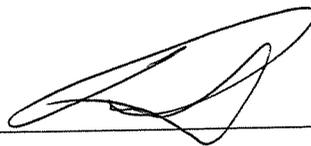
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a MSc. Mariana Paes da Fonseca Maia
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. DSc. Luiz Henrique Dias Alves
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. DSc. Roberto Malheiros Moreira Filho
Universidade Federal de Juiz de Fora

ISABELLE DE BARROS ALVES

**OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS DE UMA MALHARIA POR MEIO
DA APLICAÇÃO DO *DESIGN OF EXPERIMENTS***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 7 de julho de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Mariana Paes da Fonseca Maia
Universidade Federal de Juiz de Fora

Luiz Henrique Dias Alves
Universidade Federal de Juiz de Fora

Roberto Malheiros
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Mariana Paes da Fonseca Maia, pelo conhecimento e experiências compartilhados, sugestões e orientação.

Aos professores, Luiz Henrique Dias Alves e Roberto Malheiros, pelo grande conhecimento na área, auxílio e orientação.

Aos Professores do Departamento de Engenharia de Produção da UFJF pelos ensinamentos adquiridos durante todo o curso.

Ao Sinésio Agripino, dono malharia estudada, por me proporcionar a realização deste trabalho e pelo apoio incondicional no desenvolvimento do mesmo.

Aos amigos da UFJF pela amizade e companheirismo.

À minha família pelo suporte, incentivo e confiança em todos os momentos.

RESUMO

Em um cenário de concorrência global, organizações cujos processos conseguem entregar os *outputs* desejados para o cliente, conforme os prazos e qualidade exigidos por ele, conseguem alavancar sua competitividade. Buscando otimizar os processos a fim de ganhar mais competitividade, são utilizados experimentos para conhecer o processo empiricamente, entender a influência de determinados fatores e tomar melhores decisões sobre os mesmos. O DOE (*Design of Experiments*) é uma técnica para planejamento de experimentos que utiliza ferramentas de controle estatístico para analisar as variáveis que impactam no processo e melhorá-lo continuamente. Em um cenário de crise no setor têxtil e expansão do mercado asiático, é importante que as empresas desenvolvam estratégias diferenciadas. O presente trabalho propõe o estudo dos processos de uma malharia e aplicação do DOE com objetivo de aperfeiçoar os processos da empresa e potencializar seus resultados.

Palavras-chave: Experimento, processo, otimização, malharia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção	13
Figura 2 - Diagrama de Ishikawa	16
Figura 3 - Matriz Volume x Variedade	17
Figura 4 – Exemplo de símbolos para fluxograma.....	21
Figura 5 - Planejamento fatorial sem interação.....	29
Figura 6 - Planejamento fatorial com interação	29
Figura 7 - Processo de Produção de Meias.....	34
Figura 8 - Máquina MAGIC 2000S	37
Figura 9 - Variável Resposta I x Experimento	41
Figura 10 – <i>Boxplot</i> da Variável I nos Experimentos	41
Figura 11 – Pareto dos Efeitos Padronizados.....	45
Figura 12 – Resíduos da Variável Resposta.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Caso Geral: Experimento Fatorial de dois Fatores	30
Quadro 2 - Equação 1: Experimento Fatorial de dois Fatores	30
Quadro 3 – Meias Infantis	35
Quadro 4 – Meias Adultos.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análise SIPOC	20
Tabela 2 - Tipos de arranjos ortogonais	32
Tabela 3 - Variáveis e seus Níveis de Fatores	38
Tabela 4 - Composição das meias utilizadas.....	39
Tabela 5 - Matriz de experimentos.....	39
Tabela 6 – Variáveis e níveis de fatores dos experimentos.....	40
Tabela 7 - Comportamento da Variável Resposta nos experimentos.....	40
Tabela 8 - Informações dos Fatores	42
Tabela 9 – Estrutura de Aliases	42
Tabela 10 - Análise de Variância	42
Tabela 11 - Sumário do Modelo.....	43
Tabela 12 – Coeficientes Codificados.....	44
Tabela 13 - Equação de Regressão.....	44
Tabela 14 - Ajustados e Diagnósticos para Observações Atípicas	45

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANOVA – ANÁLISE DE VARIÂNCIA

ABIT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA TÊXTIL

CIJF –CENTRO INDUSTRIAL DE JUIZ DE FORA

DOE – DESIG OF EXPERIMENT

GL – GRAU DE LIBERDADE

PDCA – PLAN, DO CHECK, ACT

PFJ – PREFEITURA DE JUIZ DE FORA

SIPOC – SUPPLIER, INPUT, PROCESS, OUTPUT, CUSTOMER

SN – SINAL RUÍDO

SUMÁRIO

<u>1. INTRODUÇÃO.....</u>	<u>10</u>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 ESCOPO DO TRABALHO	11
1.3 OBJETIVOS	12
1.4 METODOLOGIA	12
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
<u>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</u>	<u>15</u>
2.1.1 PLANEJAMENTO DO PROCESSO	15
2.1.2 DEFINIÇÃO DE PROCESSO.....	15
2.1.3 CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO.....	16
2.1.4 TIPOS DE PROCESSO	17
2.1.5 MAPEAMENTO DE PROCESSOS	19
2.1.6 OBJETIVOS DE DESEMPENHO.....	21
2.2 PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO DE EXPERIMENTO (DOE)	23
2.2.1 TERMOS E DEFINIÇÕES.....	23
2.2.2 ETAPAS DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	24
2.2.3 FORMAS DE EXPERIMENTAÇÃO	28
<u>3. DESENVOLVIMENTO.....</u>	<u>33</u>
3.1 A EMPRESA.....	33
3.1.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE MEIAS	33
3.1.2 MIX DE PRODUTOS	35
3.2 RECONHECIMENTO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	36
3.3 ESCOLHA DAS VARIÁVEIS E NÍVEIS DE FATORES	37
3.4 DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO.....	38
3.5 REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	39
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	40
3.6.1 OBSERVAÇÃO DOS DADOS	40
3.6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	42

4. CONCLUSÃO	47
5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	48
6. REFERÊNCIAS	49
7. ANEXOS.....	54
7.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DA MEIA	54
7.2 DISTRIBUIÇÃO F-SNEDECOR	55
7.3 TABELAS DE COLETA DE DADOS.....	56
7.4 TERMO DE AUTENTICIDADE	58

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil brasileira possui quase 200 anos e é uma das únicas cadeias produtivas completas, ou seja, detém produção de fibras, fiações, tecelagens, confecções, forte varejo e até desfiles de moda (ABIT,2016). Segundo o Perfil do Setor, gerado pela Associação Brasileira de Indústria Têxtil (2016), o país possui o quarto maior parque produtivo de confecção do mundo, é o quinto maior produtor têxtil mundial e quarto maior produtor de malhas do mundo. Esse setor é o segundo maior gerador do primeiro emprego e maior empregador da indústria de transformação brasileira, sendo responsável por 16,7% dos empregos e 5,7% do faturamento da Indústria de Transformação.

Apesar dos diversos pontos positivos levantados pela pesquisa e citados anteriormente, esse trabalho também revela que o faturamento da cadeia têxtil e de confecção caiu de US\$ 53,6 bilhões em 2014 para US\$ 39,3 bilhões em 2015, os investimentos no setor diminuiram de US\$ 1.091 milhão em 2014 para US\$ 869 mil em 2015, a produção média de confecção em 2015 foi de 6,7 bilhões de peças (vestuário, meias, acessórios de cama, mesa e banho), contra 6,1 bilhões de peças em 2014 e a produção média têxtil foi de 1,8 milhão de toneladas em 2015, contra 2,2 milhões de toneladas em 2014. Em 2015, houve um aumento da produção do setor e ainda assim os resultados alcançados foram inferiores ao ano anterior, o que mostra que o País perdeu competitividade no setor têxtil e de confecções.

Em Juiz de Fora, o cenário é o mesmo. As malharias começaram a surgir a partir da década de 60, com a chegada de imigrantes alemães (PJF, 2004) e por muito tempo a cidade foi referência no setor, sendo conhecida inclusive por Manchester Mineira. Segundo o jornal Tribuna de Minas (2011), a indústria têxtil, que já foi umas das mais importantes da cidade, está em declínio, principalmente devido a chegada dos produtos chineses.

Atualmente, o setor têxtil da cidade tem vivenciado um momento de crise. Em 2015, houve diminuição das vendas e a redução do número de empregos no setor. No mercado interno a retração pode ter chegado a 15%, segundo o Centro Industrial de Juiz de Fora (2016). Em 2016, a situação não foi diferente. A indústria têxtil registrou, só no primeiro semestre, 9,7% de diminuição no número de empregos na Zona da Mata, a maior queda se comparada a outros setores durante esse período (G1, 2016).

Dado o cenário de crise apresentado, o presente trabalho aplica o planejamento de experimento com o objetivo de conhecer sobre o desempenho das máquinas utilizadas em uma malharia local em busca da otimização da performance da empresa.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em um cenário de crise econômica brasileira e expansão do mercado asiático, é importante que as empresas do setor têxtil e de confecções desenvolvam estratégias competitivas diferenciadas fundamentadas em inovações tecnológicas e melhoria contínua de seus processos (COSTA e ROCHA, 2009).

De acordo com Montgomery (2001), os experimentos têm como objetivo desenvolver processos robustos, minimamente afetados por fontes externas de variabilidade. A metodologia de Design of Experiments (DOE), desenvolvida por Fisher, utiliza ferramentas de controle estatístico para analisar as variáveis que impactam no processo e melhorá-lo continuamente (BUTTON, 2016).

A empresa onde será realizado o presente trabalho é uma malharia de pequeno porte que produz diversos tipos de meias, em larga escala, para atender ao sudeste e nordeste brasileiros atualmente. O produto final da empresa possui baixo valor agregado, porém, é vendido em larga escala, por isso até pequenos ganhos no processo produtivo têm impacto significativo dado o grande volume de produção.

Devido à situação da empresa em estudo, que também está em fase de reconstrução, e ao cenário econômico atual brasileiro, o presente trabalho busca otimizar os processos produtivos da empresa por meio do DOE.

1.2 ESCOPO DO TRABALHO

A empresa estudada é uma malharia de pequeno porte localizada em Juiz de Fora, MG. A empresa, que já está no mercado desde 2004, foi incendiada em maio de 2016, o que levou à perda de grande parte dos recursos produtivos.

Atualmente a área produtiva da empresa já está instalada em novo local e operando normalmente. Visando atender a todos os seus clientes e a produzir mais que na antiga unidade, foram adquiridas novas máquinas para a produção de meias.

O processo de produção das meias é extremamente automatizado e suas variáveis são apenas as combinações de fios utilizadas para produzir cada uma das meias. Geralmente, esse tipo de estudo em malharias considera como variáveis as características dos fios, como elasticidade, gramatura, entre outras. Porém, a empresa utiliza apenas um tipo de material, assim a variável escolhida foi o mix utilizado para fabricação do produto final. Foram

identificados quais tipos de fios são independentes, ou seja, sua quantidade não é impactada por outros fatores, para que a aplicação do DOE fosse possível.

O presente trabalho busca, portanto, aplicar os conhecimentos sobre processos e as técnicas de Planejamento de Experimentos para estudar o desempenho das máquinas e encontrar as condições em que sua performance é a melhor possível.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é avaliar a aderência e efetividade das ferramentas de planejamento de processos, a exemplo do DOE, na instalação das novas máquinas em uma malharia a fim de alavancar a competitividade da fábrica.

Como objetivos secundários, destacam-se:

- Conhecimento dos processos;
- Seleção das variáveis estudadas;
- Construção de hipóteses sobre o processo;
- Realização e análise dos experimentos;
- Identificação das melhores condições de operação para otimização da performance da máquina.

1.4 METODOLOGIA

Segundo Miguel (2010), as pesquisas, de acordo com sua natureza, se dividem em básica e aplicada. Este é um trabalho de natureza aplicada, pois seu objetivo é gerar conhecimentos para aplicação prática, a fim de solucionar um problema específico (GERHARDT e SILVERA, 2009).

Este trabalho tem objetivo exploratório e explicativo.

Exploratório, pois, proporciona maior familiaridade com o problema, a fim de torná-lo mais compreensível e de construir hipóteses para solucioná-lo (GERHARDT e SILVERA, 2009). Mas também explicativo, já que aplica metodologia experimental para identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência de fenômenos (GIL, 2002).

A abordagem desta pesquisa é quantitativa, já que é embasada em números e resultados de desempenho dos processos. Esse tipo de abordagem “recorre à linguagem matemática para

descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, entre outros.” (GERHARDT e SILVERA, 2009). Também possui viés qualitativo, uma vez que busca avaliar a aderência de ferramentas de planejamento de processos ao caso selecionado. Por esse motivo, os meios empregados serão experimentos e a pesquisa-ação.

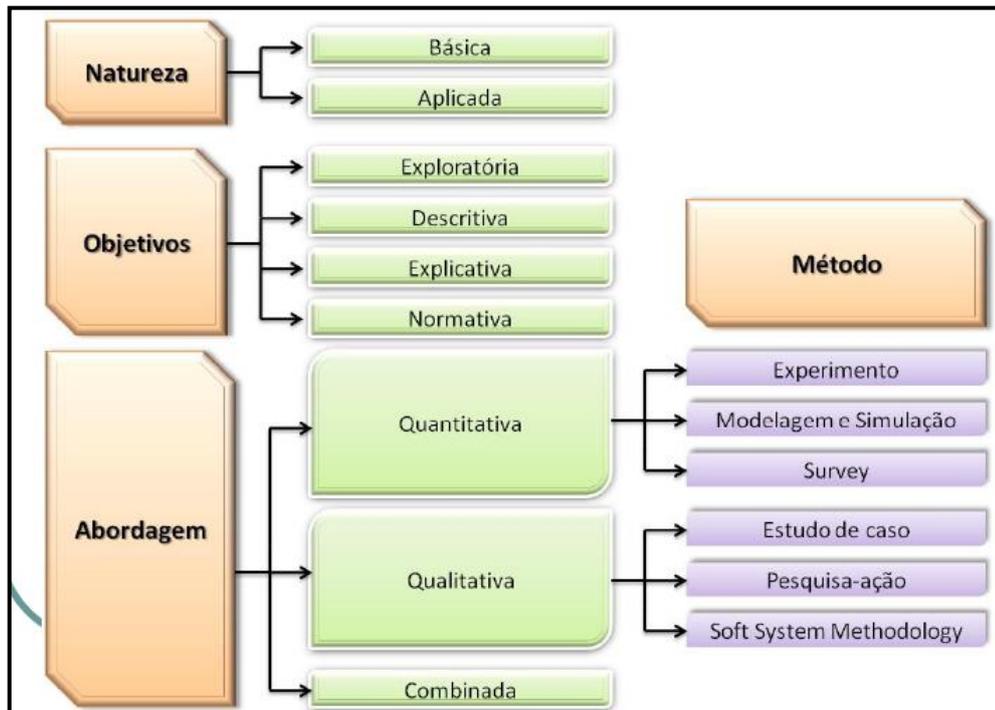


Figura 1 - Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção
 Fonte: Miguel, 2010 (Adaptado)

A primeira etapa do trabalho correspondeu a revisão bibliográfica sobre processos e *Design of Experiments*. Em seguida, ao longo do desenvolvimento do TCC, foram realizadas as atividades planejadas durante a qualificação.

A realização do TCC ocorreu segundo as seguintes etapas:

- Visitas para conhecimento da empresa, do processo e das pessoas que trabalham no local;
- Ajustes ao planejado na qualificação para melhor aplicação do projeto à fábrica: uma das mudanças feitas durante a aplicação do planejamento de experimento foi quanto às variáveis escolhidas.
- Reuniões com o dono e os funcionários da empresa para alinhamento das expectativas e comunicação do trabalho;
- Planejamento do experimento, incluindo definição das variáveis, seus níveis de fatores e da variável resposta. As meias podem ser produzidas com qualquer combinação de

fios, por isso foram analisados vários mix a fim de encontrar aquele em que a máquina alcança melhor performance. Dentro das combinações apresentadas, apenas duas variáveis são independentes, o que limitou o número de fatores do experimento.

- Realização do experimento;
- Análise dos dados, por meio do *software minitab*;
- Conclusões e recomendações do trabalho realizado;

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo está organizado em quatro capítulos, sendo os dois primeiros referentes ao Memorial de Qualificação. O Capítulo I abrange a introdução do trabalho, justificativa da elaboração do mesmo, escopo e metodologia.

O segundo capítulo traz uma revisão bibliográfica de assuntos relacionados ao problema e está dividido em duas partes. Primeiramente são discutidos os conceitos relativos a processos, desde sua definição a métodos de medição de performance e controle dos mesmos. Em seguida, é apresentado o Planejamento de Experimentos por meio do DOE como forma de avaliar estatisticamente o desempenho de um processo a fim de melhorá-lo continuamente.

O terceiro capítulo demonstra a aplicação das questões já discutidas nos processos da malharia estudada. Neste capítulo são apresentados os processos da malharia, os experimentos realizados e os resultados obtidos a partir desses.

Em seguida, no Capítulo IV há a conclusão deste trabalho.

Este documento conta ainda com o referencial bibliográfico utilizado e os anexos necessários para melhor entendimento do trabalho desenvolvido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 PLANEJAMENTO DO PROCESSO

Atualmente os projetos de processo têm ganhado cada vez mais importância, já que os processos podem tanto restringir as possibilidades de fabricação de um produto quanto alavancar a competitividade do mesmo (CORREA, 2004). Em um cenário de concorrência global, empresas cujos processos conseguem entregar os *outputs* desejados para o cliente, conforme os prazos e qualidade exigidos por ele, conseguem alavancar sua competitividade.

2.1.2 DEFINIÇÃO DE PROCESSO

De acordo com Nigel Slack (2009), processo é um conjunto de mecanismos, dentro de cada operação, que transforma *inputs* em *outputs*. Para que o processo ocorra deve haver um fluxo de recursos entre as atividades.

A NBR ISO 9001(2008) define processo como “o conjunto de atividades inter-relacionadas ou interagentes que transforma entradas em saídas”. De acordo com a norma, cada processo possui partes interessadas que são afetadas pelo mesmo. As partes interessadas são diretamente responsáveis pelas saídas do processo, já que os *outputs* devem atender às necessidades e expectativas dessas.

De uma forma diferente, mas mantendo a mesma ideia, Falconi (2004) define processo como “um conjunto de causas que provoca um ou mais efeitos”. Falconi utiliza o diagrama de Ishikawa para definir processo. De acordo com o autor, as causas (máquinas, mão de obra, materiais, meio ambiente, medidas e métodos) são os fatores que provocam o efeito do processo: seu objetivo final.

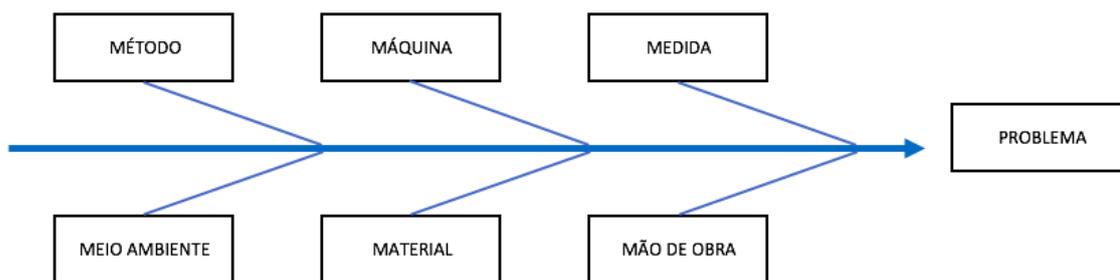


Figura 2 - Diagrama de Ishikawa
Fonte: Autor

As três definições de processos, embora descritas de formas distintas, mostram que processo pode ser resumidamente compreendido como um conjunto de atividades realizadas sequencialmente de forma metódica para, a partir de um ou mais *inputs*, gerar o *output* desejado para atender às necessidades e expectativas das partes interessadas.

Processos são ativos de grande valor para as organizações, já que por meio deles as empresas criam diferencial competitivo. Os processos transformam a estratégia da empresa (missão, visão, valores) em atividades rotineiras, demonstram como a organização funciona e são diretamente responsáveis pela geração de valor para o cliente (CAMPOS, 2012).

2.1.3 CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

Uma empresa é movida por um conjunto de operações, cada operação por sua vez é formada por vários processos que devem ser interconectados. Dessa forma, cada processo é simultaneamente cliente do anterior e fornecedor do seguinte.

Os *inputs* do processo são divididos em recursos transformadores e transformados (SLACK, 2009). Recursos transformadores são os agentes da transformação – máquinas e funcionários – e os recursos transformados são aqueles que são modificados para dar origem ao *output*, como materiais, informações e consumidores.

Os *outputs* possíveis de um processo podem ser produtos ou serviços. Algumas características são utilizadas para diferenciar esses tipos de *output*. A principal delas é a tangibilidade, já que, em geral, produtos são tangíveis e serviços intangíveis. Mas também pode-se analisar outros fatores, como estocabilidade, transportabilidade, contato com o cliente, simultaneidade e qualidade. Diferentemente dos serviços, que são intangíveis, os produtos podem ser estocados e transportados. Quando o *output* é um serviço, em geral, o contato com o consumidor é bem maior que na fabricação de produtos e também ocorre a simultaneidade,

ou seja, o serviço é produzido e consumido ao mesmo tempo. A qualidade do output é determinada pelo consumidor, mas essa avaliação é mais objetiva para produtos que para serviços.

2.1.4 TIPOS DE PROCESSO

Existem vários tipos de processos produtivos. As duas principais características utilizadas para diferenciar os tipos de processos produtivos, de acordo com Slack (2009), são volume e variedade de *output*. Segundo Correa (2004), por mais diferentes que os processos produtivos possam ser, classificar os processos com base nessas características é uma forma de tentar identificar padrões em meio a essa grande diversidade.

Processos que produzem maior volume de *output* geralmente são mais padronizados e automatizados e seus *outputs* possuem baixo custo unitário. Já processos com alta variedade não conseguem produzir de forma altamente padronizada e em larga escala pois seus produtos são mais customizados e, conseqüentemente, possuem maior valor agregado. É possível observar os tipos de processo de manufatura por meio da matriz de volume x variedade abaixo.

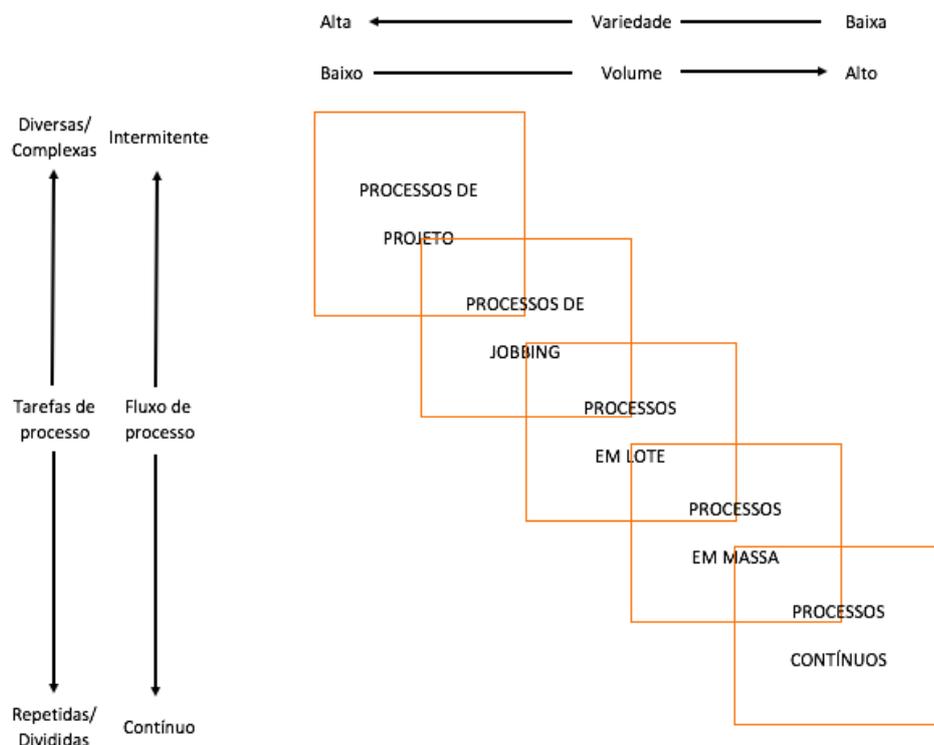


Figura 3 - Matriz Volume x Variedade
Fonte: Adaptado de Slack *et al.* (2009)

As indústrias siderúrgica e de extração de petróleo são exemplos de processos contínuos. O processamento desses materiais não ocorre em fluxo discreto, sua produção é muito automatizada e a organização das máquinas é a mesma que a do fluxo de produção. De acordo com Correa (2004), os recursos produtivos e os *outputs* são altamente padronizados, o processo produtivo é simples e com uso intensivo de equipamentos, sendo esses responsáveis pela maior parte dos custos de materiais. Isso permite que esse tipo de processo opere com trabalhadores altamente especializados em suas funções e seja capaz de gerar um grande volume de produção, porém com baixa variedade de *output*. Os produtos gerados por esses processos são de baixa complexidade produtiva e possuem grande demanda, o que justifica o alto investimento feito em equipamentos. Os processos em massa se assemelham muito aos contínuos. A diferença entre eles é que o processamento dos materiais nas operações em massa ocorre em fluxo discreto, como nas montadoras de veículos e eletrodomésticos.

Os processos de lote possuem médios volume e variedade quando comparados aos demais. Isso ocorre devido à sua produção ser relativamente flexível, permitindo maior variedade que os processos anteriores. É similar aos processos de *jobbing*, por apresentar especialização e dedicação de funcionários aos equipamentos. Esse tipo de operação é muito utilizado em indústrias químicas (CORREA, 2004).

Processos de *Jobbing* são executados por equipamentos flexíveis e grupos de trabalhadores multitarefados responsáveis por produzir todo o produto, o layout é orientado por processos e a produção é sob encomenda. Esse modelo é caracterizado por produção altamente flexível e produtos customizados, por isso possui baixo volume e alta variedade de *outputs*. Ferramentarias e fábricas de móveis planejados são exemplos de *jobbing*.

Os processos de projeto são utilizados para produtos altamente customizados cujo tempo de fabricação é alto, por isso possuem baixo volume e alta variedade. Devido à grande customização, as atividades da execução do projeto não são padronizadas, o produto é único, é um empreendimento singular, por isso os funcionários devem ser altamente qualificados e multifuncionais. Esse tipo de processo possui equipamentos flexíveis e produção com baixa automação. Navios e grandes filmes são produzidos por projetos (CORREA, 2004).

Além da análise de volume e variedade de *output*, também existem outros dois aspectos importantes que caracterizam um processo: variação da demanda de *output* e grau de visibilidade do cliente.

Segundo Correa (2004), quanto maior a variação da demanda, maior a dificuldade de se planejar de forma a otimizar o uso dos recursos disponíveis. Por isso, a operação deve ser flexível, sua capacidade deve ser modificada durante o ano de acordo com a previsão da

demanda afim de evitar capacidade excessiva ou deficiente e, conseqüentemente, elevar os custos do negócio. Quanto mais estável a demanda, mais fácil é o planejamento da capacidade e da alocação de recursos e menores são os custos unitários.

O grau de visibilidade do cliente é o tanto que a operação é percebida pelo consumidor ou o tanto que é exposta ao mesmo (CORREA, 2004). Quanto maior o grau de visibilidade, maior a necessidade dos funcionários possuírem boa habilidade interpessoal que passa a ser crítica para avaliação do produto pelo cliente. Nesse caso, o contato com o funcionário é interpretado como parte da qualidade do produto e o grau de espera do cliente pelo produto é relativamente baixo. Já quando o grau de visibilidade é baixo, o consumidor está disposto a esperar um pouco mais pelo produto e não há necessidade de os funcionários possuírem boa habilidade de contato com o cliente, assim é possível padronizar mais as tarefas e centralizar as operações em um único local físico, o que diminui os custos de operação se comparado a situações de alto grau de visibilidade do cliente.

2.1.5 MAPEAMENTO DE PROCESSOS

Segundo Costa e Politano (2008), o mapeamento de processos consiste basicamente na captura dos fluxos de informações, materiais e trabalho ao longo dos processos, e registro desses para que possam ser entendidos por outras pessoas interessadas em seu conhecimento. É uma ferramenta gerencial e de comunicação essencial para líderes e organizações que querem promover melhorias.

Não é preciso mapear todos os processos da organização, apenas os críticos. Para avaliar se um processo é crítico, pode-se utilizar as seguintes perguntas:

- Existe alguma atividade que é crítica para outro processo?
- Há excesso de controles?
- O processo possui fraqueza operacional?
- Suas atividades consomem muitos recursos?
- As atividades são de risco aos funcionários?
- Esse processo afeta a eficiência global da organização?
- O layout é funcional?
- Essa atividade é um gargalo?

Se a resposta for positiva para uma ou mais das perguntas acima, é importante que o processo analisado seja mapeado. O mapeamento promove maior entendimento do processo, permitindo o conhecimento dos pontos fortes e fracos do mesmo e, conseqüentemente, a

melhoria da performance a partir da identificação e tratativa dos pontos de melhoria encontrados (TEIXEIRA, 2013). Além disso, esse documento com a descrição e a forma como as atividades devem ser realizadas e o detalhamento do fluxo de pessoas, materiais e informações é uma excelente ferramenta para treinamento dos operários envolvidos no processo, garantindo a capacitação dos mesmos e a padronização durante sua execução. O mapeamento de processos, segundo Teixeira (2013), também ganha importância por sua função de registro e documentação histórica da organização.

Uma ferramenta simples e de fácil uso para detalhamento do processo é a análise SIPOC, sigla formada pelas iniciais de *Suppliers* (fornecedores) – *Inputs* (entradas) – *Process* (processo) – *Outputs* (saídas) – *Customers* (clientes). Primeiramente é identificado o processo, em seguida suas saídas e posteriormente os insumos necessários. A partir das saídas, são identificados os clientes do processo e, a partir das entradas, seus fornecedores. A análise SIPOC permite uma visualização mais detalhada de um fluxograma, mostra todas as inter-relações dentro do processo.

Essa análise é utilizada em forma de tabela, como mostrado abaixo.

Tabela 1- Análise SIPOC

S	I	P	O	C
Fornecedores	Entradas	Processo	Saídas	Clientes

Fonte: Gitlow, 2005

Um outro exemplo de ferramenta utilizada para mapeamento do processo é o fluxograma, uma síntese ilustrativa dos fluxos e decisões que compõem um processo (GITLOW, 2003). Primeiramente devem ser definidos o início e o fim do processo, esses pontos são cruciais para o desenvolvimento do fluxograma, em seguida, as atividades são representadas na sequência em que ocorrem, partindo do início em direção ao fim do processo. Os símbolos utilizados no fluxograma são padronizados, de modo que todos os conheçam e entendam facilmente o fluxo.

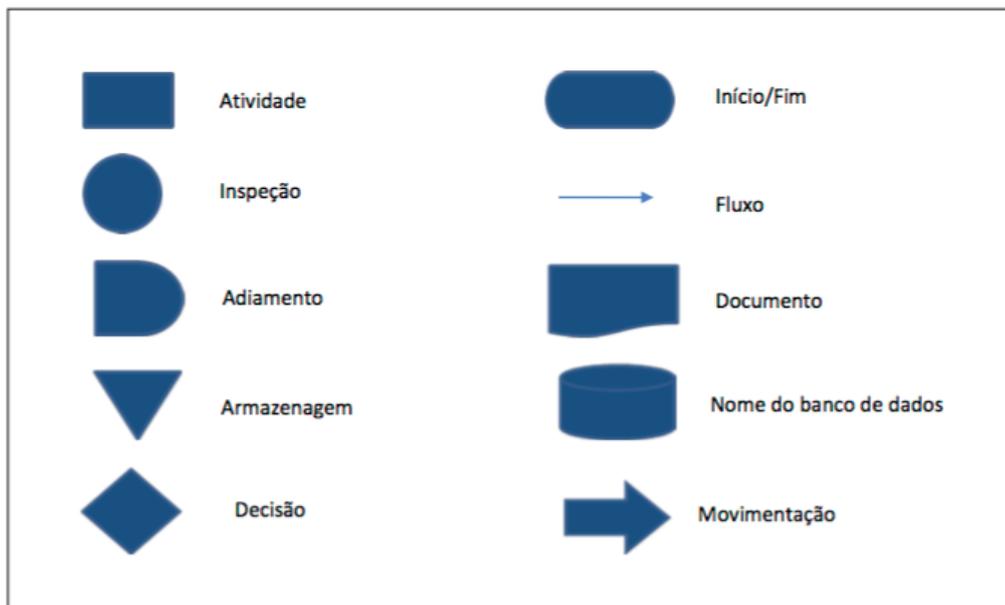


Figura 4 – Exemplo de símbolos para fluxograma
 Fonte: Damélio (2004)

Além da análise SIPOC e dos fluxogramas, o procedimento com o processo mapeado também pode conter textos explicando passo a passo cada atividade realizada.

Existem várias ferramentas que podem ser utilizadas para melhor conhecimento e entendimento do processo, por isso elas devem ser avaliadas afim de verificar qual é mais adequada à realidade da empresa.

2.1.6 OBJETIVOS DE DESEMPENHO

Os processos devem atender às necessidades e expectativas das partes interessadas, como já discutido anteriormente, sejam essas internas, como os funcionários, ou externas, como clientes, fornecedores ou acionistas. Para mensurar se os interesses dos *stakeholders* estão sendo alcançados, existem cinco objetivos de desempenho básicos: qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo.

Qualidade é produzir de maneira correta, ou seja, conceber *outputs* de acordo com as especificações preestabelecidas afim de atender às partes interessadas (Slack, 2009). É atender perfeitamente, de forma confiável, acessível e segura às necessidades dos clientes no momento certo (FALCONI, 2004). Qualidade é o grau no qual um conjunto de características inerentes do produto/serviço satisfaz a requisitos, implícitos ou explícitos, dos *stakeholders* (ISO 9000, 2005). A qualidade é o principal objetivo de desempenho, é o que gera mais valor para o cliente, impactando diretamente na sua satisfação em relação ao produto final.

A rapidez das operações internas impacta diretamente no tempo que o consumidor espera entre o seu pedido e o recebimento do produto. Além disso, quanto maior a velocidade dos processos, menor é a quantidade de estoque em processo e menores são os riscos em relação a previsões para atendimento da demanda.

Confiabilidade é cumprir com os compromissos de prazos assumidos com o cliente, ou seja, entregar o pedido no prazo combinado (CORREA, 2004). Quanto mais confiáveis forem os processos internos, menor a probabilidade de não atender ao cliente como acordado. Além disso a confiabilidade dos processos economiza tempo, devido a ausência de falhas de fornecimento, minimiza custos, pois a falta de confiabilidade pode levar a custos extras afim de cumprir com o planejado, e aumenta a estabilidade do todo.

Flexibilidade é ser capaz de alterar as atividades afim de se adaptar a mudanças nas preferências do consumidor ou simplesmente para atender aos clientes individualmente, entregando a eles exatamente o que querem (CORREA, 2004). Essas mudanças podem ser para modificar outputs, aumentar a variedade de produtos ou serviços, alterar a capacidade de produção e os tempos de entrega. A flexibilidade dos processos, em caso de imprevistos, agiliza o tempo de resposta, economiza tempo e mantém a confiabilidade.

Todos os processos possuem interesse em manter custos baixos, porém isso deve ser compatível com os níveis de qualidade, rapidez, confiabilidade e flexibilidade esperados do processo. Um indicador muito utilizado para medir o custo de um processo é a produtividade, ou seja, a razão entre *outputs* e *inputs* do processo. Todos os demais objetivos de desempenho afetam diretamente o custo, por isso, para reduzir os custos, o ideal é atuar na performance dos demais objetivos.

Diferentemente da qualidade, que é objetivo de todos os tipos de unidades produtivas, a relevância de cada um dos demais objetivos e suas metas dependem da estratégia da empresa. Em determinadas organizações, por exemplo, a flexibilidade é mais valorizada pelo consumidor do que a rapidez. Em outras, o custo pode ser o fator determinante para a escolha do cliente. Portanto os objetivos de desempenho não devem ser analisados isoladamente, mas junto ao cenário competitivo em que a empresa está inserida.

2.2 PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO DE EXPERIMENTO (DOE)

Experimento é "um tipo de pesquisa científica no qual o pesquisador manipula e controla uma ou mais variáveis independentes e observa a variação nas variáveis dependentes concomitantemente à manipulação das variáveis independentes" (KERLINGER, 1973). Os experimentos são utilizados para conhecer o processo empiricamente, entender a influência de determinados fatores e tomar melhores decisões sobre os mesmos. Assim, o experimento pode contribuir com a diminuição do tempo de processo e do custo operacional, redução da variação do processo, melhor relação entre o realizado e o planejado e aumento do rendimento do processo. De acordo com Montgomery (2001), os experimentos têm como objetivo desenvolver processos robustos, minimamente afetados por fontes externas de variabilidade.

O DOE (Design of Experiments) é uma técnica utilizada para planejamento de experimentos. É uma maneira inteligente de verificar os processos produtivos ou de prestação de serviços, ou até projetos mais amplos e complexos (FONTÃO, 2011). Essa técnica utiliza ferramentas de controle estatístico para analisar as variáveis que impactam no processo e melhorá-lo continuamente (BUTTON, 2016). De acordo com Galdamez (2002), Fisher foi quem desenvolveu e usou pela primeira vez a metodologia da variância para a pesquisa estatística do projeto experimental.

Segundo Costa (1997), o uso de um modelo estatístico para planejamento e avaliação dos resultados de um experimento é extremamente importante, já que proporciona uma interpretação mais precisa do fenômeno investigado. Button (2016) acrescenta ainda uma lista de benefícios do uso de técnicas estatísticas para planejamento do processo, como diminuição do número de testes sem comprometimento dos resultados; observação paralela de mais de uma variável, distinguindo seus efeitos; identificação da confiabilidade dos experimentos; execução do experimento por etapas; definição das variáveis que influenciam em um processo; representação do estudo por meio de modelos matemáticos; e desenvolvimento de conclusões a partir de resultados qualitativos.

2.2.1 TERMOS E DEFINIÇÕES

Para melhor entender as técnicas de experimentação e sua aplicação, é necessário o conhecimento de alguns termos.

- Unidade experimental: unidade básica para a qual será executada a medida da variável resposta (WERKEMA e AGUIAR, 1996);

- Fatores: variáveis cuja influência sobre a variável resposta está sendo estudada no experimento (WERKEMA e AGUIAR, 1996). De acordo com Galdamez (2002), os fatores podem ser de controle ou de ruído. Os fatores de controle são aqueles alterados para verificar sua influência sobre a variável resposta. Já os fatores de ruído podem ser conhecidos ou não, influenciam nas variáveis do experimento, mas nem sempre podem ser controlados.
- Níveis de um fator: diferentes modos de presença de um fator no estudo considerado (WERKEMA e AGUIAR, 1996). São as faixas das variáveis de controle. O objetivo do experimento é encontrar níveis ótimos dos fatores de controle.
- Tratamentos: combinações específicas dos níveis de diferentes fatores (WERKEMA e AGUIAR, 1996);
- Ensaio: cada realização do experimento em uma determinada condição de interesse (WERKEMA e AGUIAR, 1996);
- Variável resposta: variáveis que sofrem algum efeito no experimento, quando mudanças, provocadas propositalmente, são produzidas nos fatores. O experimento pode possuir mais de uma variável resposta (GALDAMEZ, 2002);
- Réplicas: repetições do experimento, feitas sob as mesmas condições experimentais, o que pressupõe o fato de que os demais fatores que possam afetar a variável resposta de interesse não sofram variações de uma experimentação para outra (COSTA, 1997);
- Aleatorização: tanto a alocação do material experimental às diversas condições de experimentação, quanto a ordem segundo a qual os ensaios individuais do experimento se realizam, são determinados ao acaso (COSTA, 1997);
- Bloco: é a técnica utilizada para eliminar o efeito de um ou mais fatores nos resultados dos experimentos. Com esta técnica se procura criar um experimento mais homogêneo e aumentar a precisão das variáveis de resposta que são analisadas (GALDAMEZ, 2002).

2.2.2 ETAPAS DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Afim de realizar o planejamento do experimento é essencial, de acordo com Button (2016), o domínio dos conhecimentos estatísticos necessários para o planejamento e a análise de dados. Além disso, deve-se conhecer também o objeto de estudo, meios para obter os dados

necessários e a forma como esses dados serão analisados. Fontão (2008) afirma que o uso de uma metodologia para planejamento do experimento torna os resultados mais confiáveis e a ferramenta mais eficiente. Diversos autores como Fontao (2008), Galdamez (2002) e Button (2016) utilizam as sete etapas propostas por Montgomery (1991) para planejamento do experimento.

2.2.2.1 RECONHECIMENTO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

De acordo com Montgomery (2001), nem sempre é simples identificar que um problema precisa de um planejamento de experimento para ser solucionado, por isso, é importante descrever o problema de forma clara e direta, sob o ponto de vista de diversas áreas, como operação, marketing, gestão, etc. O problema deve ser identificado por uma equipe multidisciplinar.

A fim de identificar o objetivo do experimento podem ser utilizadas perguntas como: O experimento é para criar um processo? O processo é antigo, mas deve ser otimizado? A eficiência do processo diminuiu ao longo do tempo? E se determinada matéria prima fosse substituída?

Para um melhor entendimento do processo e em busca de sua solução, um bom produto desta etapa é uma descrição objetiva do problema encontrado e dos objetivos do experimento.

2.2.2.2 ESCOLHA DAS VARIÁVEIS E NÍVEIS DE FATORES

São escolhidas as variáveis cujas influências sobre a variável resposta serão estudadas. Como já mencionado anteriormente, essas variáveis podem ser de controle ou de ruído. De acordo com Montgomery (2001), as variáveis de controle são as selecionadas para o estudo e as de ruído podem não ser interessantes ao experimento, mas como o afetam diretamente, seus efeitos devem ser estudados e mensurados.

Os fatores de ruído devem ser muito bem investigados, já que podem causar grande impacto no experimento. Esses podem ser controláveis ou não. Os fatores de ruído controláveis permitem que seus níveis sejam controlados durante o experimento, para reduzir ou eliminar a variabilidade causada por esses fatores podem ser usados blocos. Se um fator de ruído é incontrolável, mas mensurável, pode ser realizada uma análise de covariância para compensar seu efeito (MONTGOMERY, 2001).

Os objetivos desta etapa são, de acordo com Button (2016), escolher fatores, as faixas de valores em que serão avaliados, e os níveis que serão utilizados em cada ensaio. Deve-se

também definir como os fatores serão controlados nos níveis escolhidos e medidos. É essencial que essas escolhas sejam embasadas por experiência prática e profundo conhecimento teórico sobre o assunto. Todas as variáveis que podem influenciar no processo devem ser investigadas afim de selecionar os fatores do experimento. Em geral, é melhor manter baixo o número de níveis e amplas as faixas de valores (MONTGOMERY, 2001).

2.2.2.3 SELEÇÃO DA VARIÁVEL RESPOSTA

Geralmente esta etapa é realizada ao mesmo tempo em que a etapa anterior. É importante que a variável resposta realmente forneça informação útil sobre o processo estudado, de modo que haja objetividade na análise dos resultados obtidos. “O critério principal para essa escolha é de que o erro experimental de medida da variável de resposta seja mínimo, permitindo a análise estatística dos dados, com um número mínimo de réplicas” (BUTTON, 2016). A média e o desvio padrão da média são exemplos muito utilizados de variáveis de resposta, segundo Montgomery (2001). Ainda de acordo com o autor, outro fator que deve ser bem avaliado é a capacidade do medidor, pois quando esta é baixa, apenas efeitos grandes de fatores serão detectados pelo experimento ou serão necessárias réplicas adicionais. É crucial que a variável resposta seja definida e sejam identificados problemas que possam afetar na medição da mesma. De acordo com Coleman e Montgomery (1993) a realização desta etapa marca o fim do planejamento do pré-experimento.

2.2.2.4 DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO

O delineamento do experimento envolve a escolha do tamanho da amostra (número de réplicas), seqüência de execução dos ensaios, necessidade de aleatorização ou do uso de blocos (BUTTON, 2016). Essa etapa pode ser executada com o auxílio de softwares em que o usuário fornece os dados citados e o software fornece possibilidades de estratégia de experimento ou a metodologia mais adequada de acordo com os dados fornecidos (MONTGOMERY, 2001). Quanto melhor for a realização do planejamento do pré-experimento, mais simples será o delineamento do experimento.

2.2.2.5 REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

A realização do experimento deve ser monitorada com muita atenção, afim de garantir que o experimento ocorra como previsto. Erros nesta fase podem invalidar a experimentação,

por isso o planejamento durante as etapas anteriores é tão importante (MONTGOMERY, 2001). Para execução desta etapa, as pessoas envolvidas devem possuir grande conhecimento dos instrumentos, equipamentos e métodos de controle e monitoramento (BUTTON, 2016).

Segundo Coleman e Montgomery (1993), uma boa alternativa, antes de iniciar o experimento, é realizar alguns testes. Esses fornecem informações sobre a consistência dos materiais utilizados no experimento, o sistema de medição e possíveis erros. Além disso, é uma ótima oportunidade de praticar o experimento e revisar as decisões tomadas nas etapas anteriores.

2.2.2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Após a execução do experimento, devem ser utilizadas ferramentas estatísticas para análise dos resultados obtidos. Segundo Montgomery (1991), se o experimento for realizado de acordo com o planejado, esta etapa acontece de forma bem simples, cumprindo sua finalidade, ou seja, obtendo, a partir do experimento, conclusões objetivas, e não tendenciosas ou abstratas. Em geral, são utilizados softwares para análise de dados, mas Montgomery (1991) defende que apenas o uso de métodos gráficos pode contribuir significativamente para esse estudo.

É importante destacar que as técnicas estatísticas não possibilitam a conclusão sobre o efeito de determinada variável. O uso dessas técnicas define o erro associado aos resultados encontrados e garante a confiabilidade e a validade dos mesmos conforme um dado grau de confiança previamente estabelecido (BUTTON, 2017).

Montgomery (1991) afirma que a aplicação de métodos estatísticos por bons engenheiros e outros profissionais que possuem conhecimento do processo e bom senso gera boas conclusões.

De acordo com NIST (2013), a análise do DOE pode ser dividida em 5 passos:

- I. Observação dos dados. Nesta etapa os dados devem ser observados buscando erros de digitação e problemas óbvios. Devem ser gerados gráficos para obter uma imagem panorâmica do experimento. O uso dos gráficos mais adequados ao experimento pode levar a respostas óbvias para as perguntas objetivas experimentais e, nesse caso, podem ser pulados os passos 2, 3 e 4.
- II. Criação de um modelo teórico.
- III. Criação de um modelo a partir dos dados.
- IV. Teste das hipóteses do modelo usando gráficos residuais.
- V. Uso dos resultados para encontrar as conclusões do experimento.

2.2.2.7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Por fim, os resultados obtidos devem ser traduzidos em conclusões práticas e planos de ação. De acordo com Montgomery (1991), é importante entender que esse é um processo interativo: são formuladas hipóteses sobre um processo, essas são testadas por meio de experimentos e, a partir dos resultados, são criadas novas hipóteses que dão origem a novos experimentos. O planejamento de experimentos é, portanto, um ciclo de aprendizagem sobre o processo.

2.2.3 FORMAS DE EXPERIMENTAÇÃO

Existem várias formas de realizar a experimentação do processo, desde formas mais simples a mais complexas. A metodologia a ser utilizada deve ser adequada às necessidades e recursos do processo. Seguem algumas formas de experimentação.

2.2.3.1 PLANEJAMENTO FATORIAL COMPLETO

O planejamento fatorial, segundo Galdamez (2002), é indicado para a fase inicial do experimento afim de definir os fatores de controle e avaliar seus efeitos sobre a variável resposta adotada. É utilizado com o objetivo de conhecer os efeitos de duas ou mais variáveis.

O planejamento fatorial é indicado para estudar os efeitos de duas ou mais variáveis de influência. Em cada experimento, todas as combinações possíveis dos níveis de cada fator são avaliadas. Os experimentos devem ser aleatórios (BUTTON, 2006).

Considerando um planejamento fatorial qualquer com dois fatores A e B cada um com, respectivamente, a e b níveis, ao combinar todos os níveis possíveis de cada fator, obtém-se os testes. Os resultados obtidos nesses experimentos, segundo Montgomery (2001), podem ser analisados por meio de gráficos afim de identificar se existe interação entre as variáveis. Os gráficos a seguir ilustram experimentos em que as variáveis possuem e não possuem interação, respectivamente.

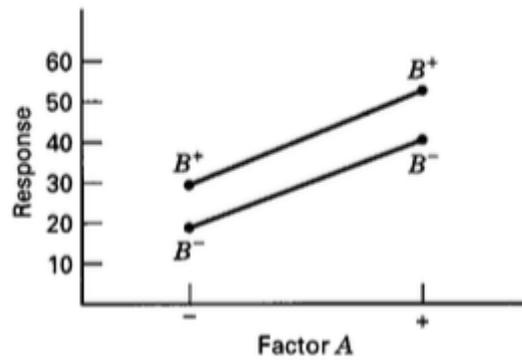


Figura 5 - Planejamento fatorial sem interação
 Fonte: Montgomery, 2001

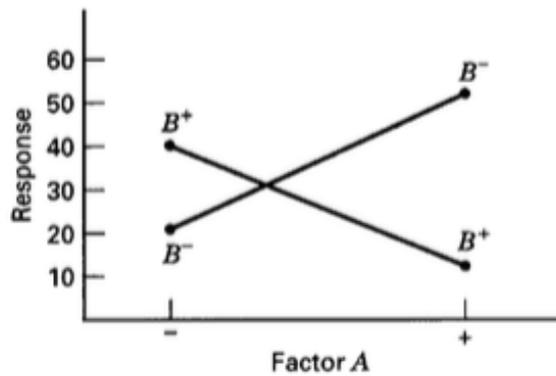


Figura 6 - Planejamento fatorial com interação
 Fonte: Montgomery, 2001

O autor afirma que apesar dos gráficos serem práticos, podem não ser uma boa escolha para mostrar resultados já que sua interpretação não é trivial. Assim, os dados devem também ser analisados algebricamente. Conforme observado por Galdamez (2002), a análise dos dados por meio do quadro permite investigar se a resposta é alterada significativamente ao variar o nível do fator A ou o nível do fator B separadamente. Permite também verificar se a resposta muda devido a interação dos fatores A e B.

A matriz abaixo mostra o planejamento para esse experimento fatorial.

Quadro 1 - Caso Geral: Experimento Fatorial de dois Fatores

		Fator B				
		Níveis	1	2	<i>b</i>
Fator A	1	$Y_{111}, Y_{112}, \dots, Y_{11n}$	$Y_{121}, Y_{122}, \dots, Y_{12n}$	$Y_{1b1}, Y_{1b2}, \dots, Y_{1bn}$	
	2	$Y_{211}, Y_{212}, \dots, Y_{21n}$	$Y_{221}, Y_{222}, \dots, Y_{22n}$	$Y_{2b1}, Y_{2b2}, \dots, Y_{2bn}$	
	:	:	:	:	:	
	<i>a</i>	$Y_{a11}, Y_{a12}, \dots, Y_{a1n}$	$Y_{a21}, Y_{a22}, \dots, Y_{a2n}$	$Y_{ab1}, Y_{ab2}, \dots, Y_{abn}$	

Fonte: Montgomery, 2001

Montgomery (2001) propõe ainda um modelo de regressão para representar estatisticamente essa análise. Segundo o autor, o experimento pode ser descrito segundo a equação:

Quadro 2 - Equação 1: Experimento Fatorial de dois Fatores

$$B_0 = B_1x_1 + B_2x_2 + B_{12}x_1x_2 + \varepsilon$$

Fonte: Montgomery, 2001

Sendo:

- β_1 : Efeito do fator 1
- β_2 : Efeito do fator 2
- β_{12} : Efeito da interação entre os fatores
- x_1 : Fator 1
- x_2 : Fator 2
- x_{12} : Interação entre os fatores 1 e 2
- ε : Erro aleatório

São vantagens desse tipo de experimento poder avaliar mais de um fator ao mesmo tempo, considerando assim a interação entre eles e não só o efeito de cada um separadamente, e poder estudar os efeitos de um fator em diversos níveis.

2.2.3.2 PLANEJAMENTO FATORIAL FRACIONADO

O planejamento fatorial fracionado é realizado quando existem diversos fatores, mas diferentemente do planejamento fatorial, não é economicamente viável realizar experimentos com todas as combinações possíveis dos níveis de cada fator (TORRES JÚNIOR, 2014). Esse método permite o estudo de dois níveis dos efeitos de k fatores em 2^{k-1} combinações de

testes. Dessa forma, apenas parte do experimento é executado, sem comprometer os resultados obtidos e reduzindo os custos e o tempo de duração dos testes (GALDAMEZ,2002). O modelo estatístico é o mesmo que o utilizado no planejamento fatorial (BUTTON, 2016), porém parte do pressuposto que os efeitos de interação entre as variáveis são desprezíveis (ABRAHAM *et al.*,1999).

2.2.3.3 MÉTODO DE TAGUCHI

Este método busca minimizar a variabilidade do produto, identificando formas de garantir robustez ao mesmo, durante o processo produtivo, perante às fontes de variação a que ele é submetido (CASTRO, 2001). O termo robusto é utilizado para identificar produtos e processos que demonstram desempenho compatível com a qualidade determinada e que sejam parcialmente insensíveis aos fatores que sejam de difícil controle (BUTTON, 2016).

Segundo Trosset (1997), Taguchi acredita no “off quality control”, ou seja, no controle de qualidade durante todo o desenvolvimento de um produto. Este processo pode ser dividido em três fases: projeto do sistema, o projeto dos parâmetros e o projeto das tolerâncias (CASTRO, 2001). Conforme Ealey (1994), na primeira etapa, a arquitetura básica do produto ou processo é determinada. Neste momento os métodos de Taguchi geralmente não são utilizados. Em seguida, no projeto dos parâmetros, são realizados experimentos afim de otimizar o desempenho do projeto do sistema, minimizar as variações resultantes dos fatores não controláveis, garantindo assim a padronização do produto ou processo. A última etapa é realizada apenas se a anterior não for suficiente para minimizar as variações. Consiste em melhorar a qualidade por meio da redução das tolerâncias dos parâmetros.

Esse método propõe também a função perda de qualidade, um modelo matemático que busca quantificar de forma monetária os ganhos com a aplicação do DOE, e consequente diminuição da variação (VIANA, 2013). A função perda deve ser utilizada conforme a característica de qualidade desejada (ROSS, 1991), podendo ser de diferentes tipos, segundo Pimenta *et al.* (2012):

- Menor é melhor: quanto menor o valor da resposta, melhor é para o processo;
- Maior é melhor: quanto maior o valor da resposta, melhor é para o processo;
- Nominal é melhor: quanto mais próximo da especificação está o valor da resposta, melhor é para o processo.

Com a finalidade de mensurar a robustez de um produto ou processo, Taguchi criou a análise SN (sinal-ruído), possibilitando o estudo da relação ente os fatores controláveis e os ruídos. Essa é, portanto, uma medida de qualidade da resposta (VIANA, 2013). Segundo Neto (1997) e Ross (1991) a relação SN busca analisar ao mesmo tempo a média e a variância da resposta, compilando em um único resultado a performance do processo ou produto.

Taguchi acreditava que a maximização do quociente SN estava diretamente ligada a redução da função perda (CASTRO, 2001) e que o uso dos quocientes SN, em geral, exclui a necessidade de analisar as interações das variáveis de influência com as fontes de variabilidade (BUTTON, 2016).

Taguchi acrescentou ao seu modelo também o uso de arranjos ortogonais, tabelas que representam o menor experimento fatorial fracionado possível (VIANA, 2013). Segundo Roy (2010), os arranjos são nomeados por “L” seguido de um número. A tabela abaixo indica alguns tipos de arranjos ortogonais, o número de níveis e fatores. A escolha do arranjo é feita com base na quantidade de fatores e interações que se deseja estudar.

Tabela 2 - Tipos de arranjos ortogonais

Arranjo Ortogonal	Número de Ensaios	Número de Níveis	Número Máximo de Fatores
L4	4	2	3
L8	8	2	7
L9	9	3	4
L12	12	2	11
L16	16	2	15
L18	18	3	8
L27	27	3	13
L32	32	2	31

Fonte: Viana, 2013

De acordo com Roy (2010), Taguchi introduziu essas novas ferramentas (robustez, função perda, arranjos ortogonais e análise SN) com o objetivo de tornar o DOE mais simples. A diferença básica entre o método de Taguchi e os demais métodos citados neste trabalho é simplesmente a montagem da matriz e a utilização da razão S/N (ALVES, 2009). A metodologia de Taguchi é facilmente aplicada e produz resultados consistentes.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 A EMPRESA

A empresa onde o DOE foi aplicado é uma malharia cujo único produto final é a meia. A empresa iniciou suas atividades em julho de 2007 e atualmente conta com 36 funcionários e opera ininterruptamente durante o ano todo. O público alvo da malharia são os varejistas do Sudeste, mas atualmente a marca vem crescendo e ganhando mercado também no Norte e Nordeste brasileiros. A unidade produtiva opera em 4 turnos e possui atualmente 15 máquinas, 16 tecelões e produção mensal em torno de 30.000 dúzias de pares de meias.

3.1.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE MEIAS

Segundo a definição de processo de Slack *et al.* (2009), os processos de produção da malharia são classificados como processos em lote, já que são automatizados, especializados e possuem funcionários dedicados aos equipamentos. A malharia possui médios volume e variedade de *output*.

Analisando os cinco objetivos de desempenho básicos já apresentados neste presente trabalho - qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo, é possível perceber que a empresa foca seus esforços principalmente em qualidade, rapidez e custo.

A única matéria prima necessária para a produção de meias são fios de algodão reaproveitado, poliéster, elástico, elanca e lycra. Cada combinação desses fios origina um produto diferente. A maior parte da produção é puxada pelos clientes que fazem seus pedidos sob encomenda. Os pedidos chegam ao escritório da empresa e são enviados junto com a matéria prima necessária para sua fabricação à unidade produtiva.

Quando um pedido chega à fábrica, os rolos dos fios são colocados na gaiola da máquina. Em seguida, o operador deve escolher o programa da meia que deseja produzir e, a cada 45 segundos (tempo que varia de acordo com o modelo), a máquina libera um novo pé de meia.

Assim que a meia sai da máquina, o operador deve virá-la (ela deve ficar do lado avesso) e formar uma dúzia. Quando a dúzia é formada, esta é levada para a área de costura, onde a funcionária, após alimentar a gaiola da sua máquina, deve descartar as aparas e separar a dúzia para a próxima etapa.

Em seguida, alguns modelos passam para a máquina de fôrmas. Os que não passam por essa etapa vão direto para a embalagem de pares e, finalmente, para o pacote fechado com

3.1.2 MIX DE PRODUTOS

A empresa conta hoje com dois tipos de máquinas para a produção de meias, uma coreana e uma portuguesa. As máquinas coreanas são minoria e produzem meias mais demoradas e de maior valor agregado: meias com calcanhar verdadeiro, aquelas que possuem uma costura diferente para melhor acomodação do calcanhar. Já as máquinas portuguesas são mais novas, existem em maior quantidade na malharia e demoram em média 45 segundos para produzir um pé de meia com calcanhar falso, ou seja, produto cujo calcanhar é apenas desenhado na meia. Considerando que as máquinas portuguesas são as mais presentes na empresa e seu volume de produção é significativamente maior que o das máquinas coreanas, o presente estudo de caso avaliará apenas o desempenho dessas máquinas.

As máquinas portuguesas atualmente são utilizadas para fabricar diversos produtos, como meias infantis com desenho e diferentes tipos de meias para adultos com e sem desenho. O que diferencia as meias são o modelo e a combinação de fios utilizada.

Os tipos de meias fabricados por essas máquinas, seu código, gênero e detalhes estão descritos nos quadros abaixo.

Quadro 3 – Meias Infantis

Código	Gênero
121	Masculino
	Feminina
120	Masculino
	Feminina
142	Masculino
153	Feminina
150	Masculino
151	Feminina

Fonte: Autora.

Quadro 4 – Meias Adultos

Código	Tipo de meia	Gênero	Detalhe
101	Esportiva	Masculino	Com desenho
			Sem desenho
106	Sapatilha	Feminina	Com desenho
			Sem desenho
108	Sapatilha	Masculino	Com desenho
			Sem desenho
141	Aeróbia	Feminina	Com desenho
			Sem desenho
131	Soquete	Masculino	Com desenho
			Sem desenho
137	Meia de malha lisa	Masculino	Com desenho
			Sem desenho
104	Meia de malha lisa	Feminina	Com desenho
			Sem desenho
136	Sapatilha lisa	Masculino	Com desenho
			Sem desenho
139	Sapatilha lisa	Feminina	Com desenho
			Sem desenho
152	Aeróbia	Feminina	Com desenho
			Sem desenho

Fonte: Autora.

3.2 RECONHECIMENTO E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A fábrica em estudo, como já mencionado anteriormente, após um acidente precisou mudar de localidade e adquirir novas máquinas e equipamentos já que as antigas foram todas perdidas. Buscando o crescimento do negócio, o dono decidiu investir em máquinas mais modernas e optou por importar máquinas portuguesas novas e altamente automatizadas: MAGIC 2000S (Figura 9).

A MAGIC 2000S, segundo o próprio fabricante, possui alto índice de eficácia em produção de meias com calcanhar falso. A máquina é versátil já que permite a fabricação de meias com desenho via programação por entrada USB. O equipamento atinge velocidade de 300rpm e processa fios de algodão, lã, elanca, poliéster, lycra, entre outros.

Dado o cenário descrito, o presente estudo busca entender o funcionamento dessa nova tecnologia incorporada ao negócio afim de otimizar a performance do equipamento. O objetivo

é estudar as variáveis que afetam o desempenho do equipamento e encontrar a janela ótima de operação do mesmo.



Figura 8 - Máquina MAGIC 2000S
Fonte: FDS <fds.pt/produtos>

3.3 ESCOLHA DAS VARIÁVEIS E NÍVEIS DE FATORES

Após discussão com o dono da fábrica e os operadores, análise do processo de produção das meias e estudos de caso em outras malharias, percebeu-se que, no caso desta máquina que será observada, as únicas variáveis existentes são os tipos de fios que alimentam a máquina.

Não há variação entre os fios de uma mesma qualidade, por exemplo, só é utilizado um tipo de fio de algodão. O mesmo serve para os demais fios, por isso não será avaliada características como elasticidade e espessura dos fios, pois são utilizados sempre os mesmos tipos de fios. Não há variação desses parâmetros.

Foi observado que o que diferencia as meias não é a qualidade dos fios, mas sim o mix utilizado para cada modelo.

Os tipos de fio utilizados na fábrica são:

- A. Algodão reaproveitado;
- B. Lycra;

- C. Elanca;
- D. Poliéster;
- E. Elástico.

O algodão reaproveitado é um fio retrabalhado e, para assegurar a qualidade da meia, o mesmo deve sempre ser utilizado junto com fios de poliéster. O algodão, o poliéster e o elástico estão presentes em todas as meias, e como nem a qualidade do fio nem sua presença variam entre os modelos de meia, esses materiais não foram considerados variáveis do processo de produção.

Foi observado o impacto do uso de diversas combinações de fios na performance da máquina, portanto as variáveis escolhidas foram as quantidades de rolos de fios utilizadas para alimentar a máquina na produção das meias. Como os únicos tipos de fios que variam são a lycra e a elanca, o experimento realizado estuda apenas o comportamento dessas duas variáveis.

A tabela abaixo mostra as variáveis e os seus níveis de fatores:

Tabela 3 - Variáveis e seus Níveis de Fatores

ID	Variáveis	Níveis de Fatores	
A	Lycra	0	4
B	Elanca	1	4

Fonte: Autora.

3.4 DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO

Foram identificadas 2 variáveis independentes e cada uma com dois níveis de fatores. Dadas essas características, optou-se por utilizar, dentre todos as formas de experimentação discutidas neste trabalho, o método Fatorial Completo, assim foram realizados 4 testes para analisar todas as combinações possíveis entre os dois níveis de fatores de cada uma das variáveis identificadas.

A experimentação por meio do Fatorial Completo foi vantajosa, pois conseguiu avaliar mais de um fator ao mesmo tempo, considerando assim a interação entre a interferência da lycra e a elanca e não só o efeito de cada um desses tipos de fio separadamente. Ou seja, a análise dos dados permitiu investigar se a resposta é alterada significativamente ao variar o nível do fator A ou o nível do fator B separadamente e também se a resposta muda devido à interação entre os dois fatores A e B.

3.5 REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Como a produção é puxada, foram necessárias várias visitas à empresa até serem encontradas as combinações de fios necessárias para serem estudadas. A tabela 4 mostra a composição das meias utilizadas para realizar o experimento.

Tabela 4 - Composição das meias utilizadas

Experimento	Quantidade de rolos utilizados				
	Algodão	Poliéster	Elástico	Lycra	Elanca
1	5	1	1	4	1
2	5	1	1	4	4
3	5	5	1		1
4	5	6	1		4

Fonte: Autora.

Todos os experimentos foram feitos com meias com desenho. Observando a tabela 4, é possível perceber que as quantidades de elástico e de algodão não variam entre os experimentos, e possuem apenas um nível. A quantidade de poliéster é variável, mas esse fator não é independente, sua quantidade está diretamente ligada à quantidade de lycra presente no produto. Portanto, para a realização deste experimento foram considerados apenas os níveis dos fatores independentes: lycra e elanca.

Para este experimento foi analisada a seguinte variável resposta:

I. Tempo de produção da meia/Peso da meia.

A tabelas abaixo mostram, respectivamente, a matriz de experimentos, as variáveis e seus respectivos níveis de fatores utilizados e o comportamento da variável resposta em cada experimento.

Tabela 5 - Matriz de experimentos

Experimento	Lycra	Elanca
1	+	-
2	+	+
3	-	-
4	-	+

Fonte: Autora.

Tabela 6 – Variáveis e níveis de fatores dos experimentos

Experimento	Quantidade de rolos utilizados	
	Lycra	Elanca
1	4	1
2	4	4
3	0	1
4	0	4

Fonte: Autora.

Tabela 7 - Comportamento da Variável Resposta nos experimentos.

Experimento	Tempo médio de produção	Peso médio do pé de meia	I
1	63,58	8,96	7,10
2	61,25	7,92	7,73
3	49,25	27,08	1,82
4	44,25	22,71	1,95

Fonte: Autora.

O tempo média de produção e o peso médio do pé de meia foram calculados para encontrar a variável resposta: tempo gasto para produzir um grama de meia. Para a obtenção do tempo médio de produção, foram medidos os tempos de 12 pés de meias sequenciais. Durante o experimento, percebeu-se que a balança utilizada na fábrica não era muito precisa, por isso os pés de meia não foram pesados individualmente, mas sim em conjunto a fim de encontrar o peso médio de cada combinação.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

3.6.1 OBSERVAÇÃO DOS DADOS

A partir dos gráficos abaixo, é possível ter uma visão mais panorâmica de todo o experimento. O gráfico da Figura 9 apresenta o comportamento da Variável Resposta (Tempo de produção da meia/Peso da meia) em cada um dos experimentos. Apenas observando os gráficos, nota-se rapidamente que os experimentos 1 e 2 tiveram piores desempenhos se comparados aos demais.

O segundo gráfico (Figura 10) exhibe a distribuição dos resultados da variável resposta nos experimentos. Nota-se, pela Figura 10, que dentro de um mesmo experimento as médias

dos resultados não sofrem grandes variações, ou seja, a variabilidade da máquina para um mesmo mix de fios é pequena. Contudo, ao realizar a comparação entre os experimentos, a diferença no comportamento da variável resposta é notável apenas pela observação do *boxplot*.

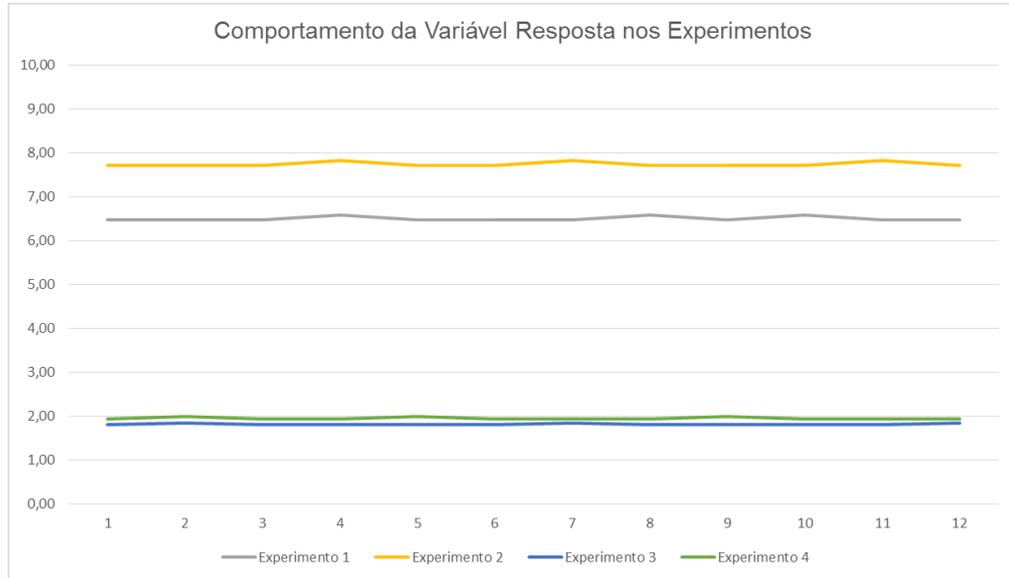


Figura 9 - Variável Resposta I x Experimento
Fonte: Autora.

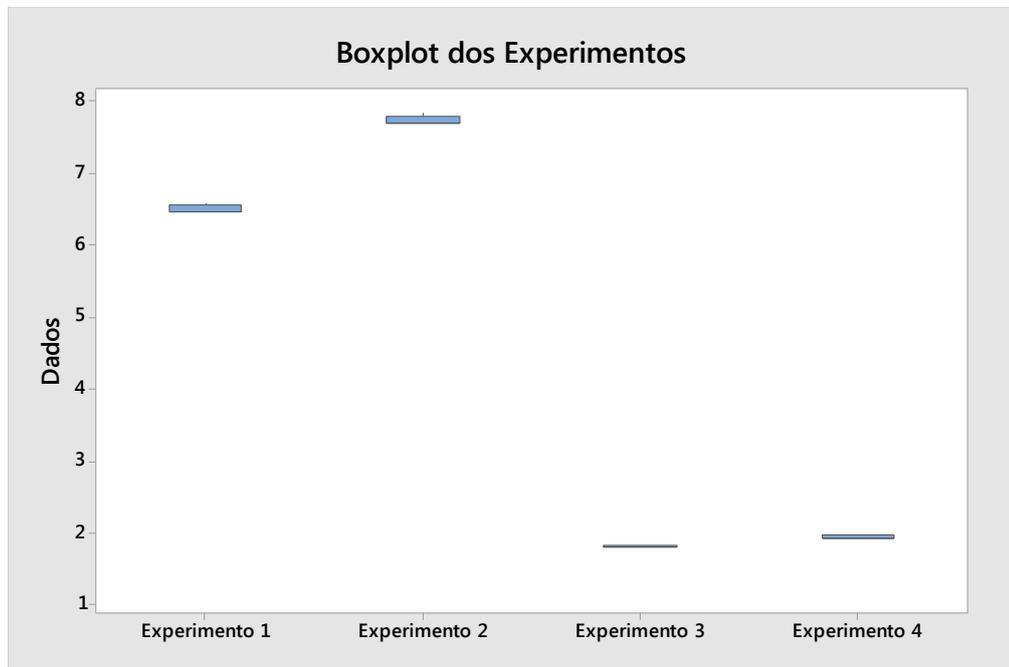


Figura 10 – *Boxplot* da Variável I nos Experimentos
Fonte: Autora.

3.6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para comparar as médias dos resultados da variável resposta (Tempo de produção da meia/Peso da meia), foram testadas as seguintes hipóteses:

I. As médias de todos os experimentos são iguais (H0):

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9$$

II. Pelo menos uma das médias dos experimentos é diferente das demais (H1):

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ para pelo menos um par } (i,j).$$

Os cálculos foram realizados utilizando o *software minitab* e os resultados gerados pelo *software* podem ser visualizados nas tabelas abaixo:

Fator	Níveis	Valores
Lycra	2	0; 4
Elanca	2	1; 4

Tabela 8 - Informações dos Fatores
Fonte: Autora.

Aliases
I
A
B
AB

Tabela 9 – Estrutura de Aliases
Fonte: Autora.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	3	337,923	112,641	69485,40	0,000
Linear	2	334,275	167,138	103103,02	0,000
Lycra	1	328,708	328,708	202771,70	0,000
Elanca	1	5,567	5,567	3434,33	0,000
Interações de 2 fatores	1	3,648	3,648	2250,16	0,000
Lycra*Elanca	1	3,648	3,648	2250,16	0,000
Erro	44	0,071	0,002		
Total	47	337,994			

Tabela 10 - Análise de Variância
Fonte: Autora.

A tabela acima (Análise de Variância) apresenta os graus de liberdade, que indicam a quantidade de informações nos dados, e a soma dos quadrados dos desvios em relação à média (SQ) para cada grupo e também entre os grupos. Há ainda os valores do quadrado médio (QM), ou seja, a razão entre SQ e os graus de liberdade. Os valores F e P também estão expostos na tabela. O valor de F é a estatística de teste usada para determinar se o fator está associado com a resposta.

Quanto menor o Valor-P, menor o risco de afirmar que existe uma associação entre os fatores e a resposta quando o mesmo não é verdade. Geralmente utiliza-se $p \leq 0,05$ para concluir que essa associação existe. Considerando a tabela acima, nota-se que o Valor-P é sempre menor que 0,05, indicando que há uma combinação estatisticamente significativa entre cada fatores analisado e a variável resposta e também entre a combinação dos dois fatores e a variável resposta.

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
0,0402626	99,98%	99,98%	99,97%

Tabela 11 - Sumário do Modelo

Fonte: Autora

A tabela de sumário do modelo determina se o modelo ajusta bem os dados e pode ser vista como um indicador de qualidade do modelo. A coluna “S” indica o desvio padrão entre os dados e os valores ajustados do modelo, ou seja, quanto menor “S”, melhor o modelo descreve a resposta. Nesse estudo, o valor de “S” é bem pequeno, aproximadamente igual a 0,04, porém, esse valor não pode ser analisado isoladamente para garantir que o modelo descreve bem os dados.

Diferentemente de “S”, quanto maior “R²”, melhor o modelo se ajusta aos dados, para tornar o R² mais exato, é necessário usar amostras maiores. Deve-se usar o R² ajustado para essa análise quando as amostras possuem tamanhos distintos. De acordo com a tabela acima, o modelo explica 99,98% do tempo de produção por grama de meia produzido.

Analisando a tabela “Sumário do Modelo”, que mostra um valor de S aproximadamente igual a 0,04 e R² maior que 99%, conclui-se então que o modelo descreve muito bem o experimento realizado.

Termo	Efeito	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P	VIF
Constante		4,50047	0,00581	774,42	0,000	
Lycra	5,23377	2,61688	0,00581	450,30	0,000	1,00
Elanca	0,68113	0,34057	0,00581	58,60	0,000	1,00
Lycra*Elanca	0,55134	0,27567	0,00581	47,44	0,000	1,00

Tabela 12 – Coeficientes Codificados

Fonte: Autora.

O coeficiente do termo, apresentado na Tabela 12, representa, em média, o quanto a variável resposta é alterada quando este termo é modificado e os demais são mantidos constantes. Os coeficientes calculados são utilizados para compor a equação de regressão (Tabela 13) que explica o comportamento da variável resposta de acordo com a variação dos fatores e a interação dos mesmos. O erro padrão do coeficiente (EP) presente na tabela indica a precisão que o modelo possui para estimar o coeficiente. Quanto menor o erro, maior a precisão. Todos os termos da tabela possuem o mesmo erro associado a seu coeficiente. A tabela acima exibe também o valor-T, ou seja, a razão entre o coeficiente e seu erro.

O fator de inflação de variância (VIF) mostrado a tabela indica quanto a variância de um coeficiente aumenta devido as correlações entre os fatores do modelo. Um VIF maior que 5, por exemplo, sugere que o coeficiente de regressão é mal estimado devido a essas correlações. Na tabela em análise, todos os valores de VIF são iguais a um, indicando que não há correlação.

$$\text{Resposta} = 1,7754 + 1,07872 \text{ Lycra} + 0,04327 \text{ Elanca} + 0,09189 \text{ Lycra*Elanca}$$

Tabela 13 - Equação de Regressão

Fonte: Autora.

O valor de referência F_{α} (2,0) presente no gráfico de Pareto (Figura 11) pode ser encontrado na tabela de F-SNEDECOR (Anexo II). Ao comparar o valor de referência F_{α} com o valor de F do modelo apresentado na Tabela 10 (69485,4), tem-se que o F do modelo é maior que o F_{α} tabelado com significância de 5% (2,0). Portanto, pode-se rejeitar H_0 , ou seja, as diferenças entre as médias dos resultados da variável resposta (Tempo de produção da meia/Peso da meia) são estatisticamente significantes entre os experimentos analisados. Ao analisar separadamente os fatores, nota-se na Figura 11 que todas as barras ultrapassam a linha de referência de F_{α} , porém o valor F para a lycra é muito maior que o valor F para a elanca e para a interação dos dois fatores. Assim, pode-se concluir que, estatisticamente, tanto a lycra, quanto a elanca e a interação entre esses fatores têm impacto significativo no comportamento

da variável resposta, porém, dentre as variáveis, a lycra é a que possui maior impacto no comportamento da variável resposta.

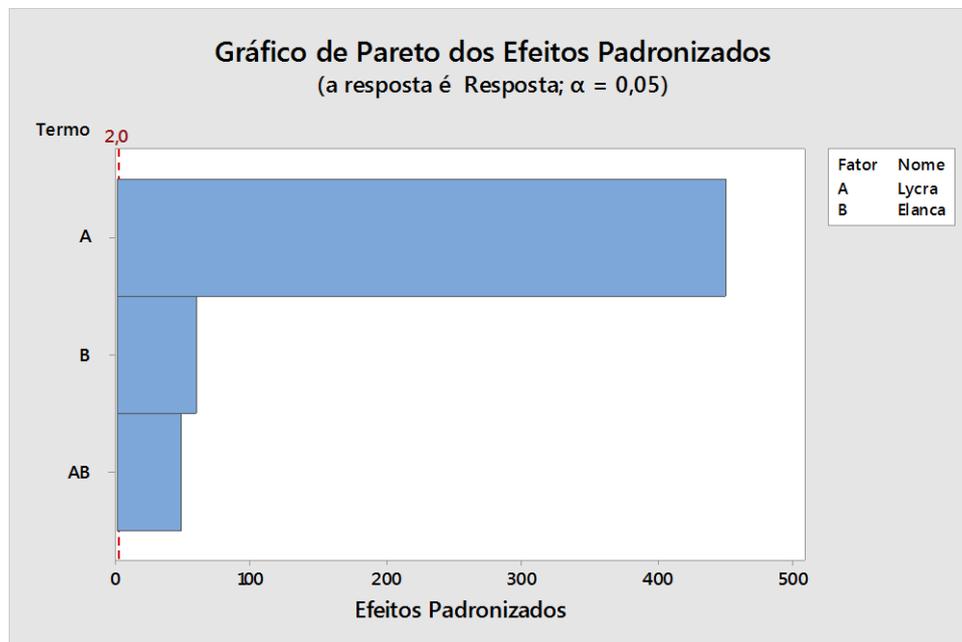


Figura 11 – Pareto dos Efeitos Padronizados
Fonte: Autora.

Obs.	Resposta	Ajuste	Resíd	Resíd Pad
4	6,5848	6,5011	0,0837	2,17 R
8	6,5848	6,5011	0,0837	2,17 R
10	6,5848	6,5011	0,0837	2,17 R
16	7,8283	7,7336	0,0947	2,46 R
19	7,8283	7,7336	0,0947	2,46 R
23	7,8283	7,7336	0,0947	2,46 R

*R Resíduo grande

Tabela 14 - Ajustados e Diagnósticos para Observações Atípicas
Fonte: Autora.

A tabela de ajustados e diagnósticos para observações atípicas acima indica que o *minitab* encontrou *outliers* na amostra, ou seja, observações muito diferentes das demais. Esses eventos não se enquadram completamente no modelo proposto, possuem resíduos muito grandes se comparados aos demais. Os gráficos de resíduos podem ser visualizados abaixo.

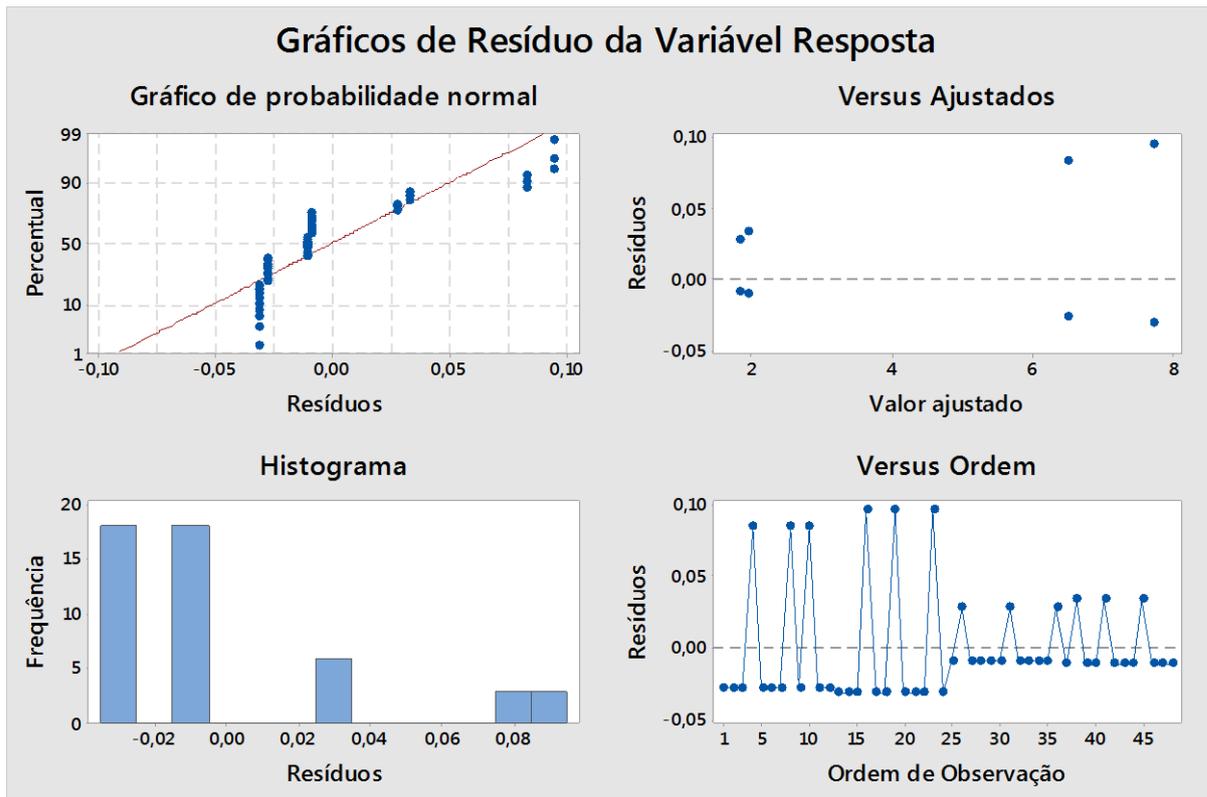


Figura 12 – Resíduos da Variável Resposta
Fonte: Autora.

Analisando os gráficos da Figura 12 junto à equação de regressão, percebe-se que todos as variáveis (lycra, elanca e interação lycra e elanca) possuem impacto significativo no comportamento da variável resposta, por isso, a fim de minimizar o tempo de produção, o ideal seria que tanto a lycra quanto a elanca fossem utilizadas em seus níveis mínimos, assim o valor da variável resposta também seria minimizado. Porém, fazendo os cálculos utilizando equação de regressão para encontrar o valor da variável resposta para as combinações de lycra em seu nível mínimo com elanca em cada um dos seus níveis, tem-se que utilizando a lycra e a elanca em seus níveis mínimos, o tempo de produção da meia/peso da meia é aproximadamente igual a 1,82s/g. Já utilizando a lycra no nível mínimo e a elanca no máximo, esse valor é de 1,95s/g. Ou seja, mantendo a lycra no nível mínimo, o impacto da variação da quantidade de elanca utilizada não é muito grande.

4. CONCLUSÃO

Observando os resultados apresentados do comportamento da Variável Resposta nos experimentos, nota-se que a combinação dos fios realmente tem impacto direto no tempo de produção das meias. À medida que se adiciona lycra à máquina, o tempo de produção cresce significativamente, podendo chegar a mais de 7 segundos por grama de meia produzido.

Como a fábrica em estudo é uma malharia que compete por custo no mercado, analisando apenas os tempos de produção mostrados, o ideal seria que todas as meias fossem produzidas apenas com elanca e que a lycra não fosse mais utilizada. O nível de elanca utilizado, como já mostrado anteriormente tem impacto no peso por grama de meia produzido, todavia esse impacto é pequeno se comparado ao da lycra. Porém, para uma melhor análise, não basta olhar apenas os tempos de produção encontrados, as meias com lycra, por exemplo, possuem pior desempenho, contudo possuem maior valor agregado.

Os resultados encontrados não são os únicos fatores que devem ser analisados, mas podem auxiliar a fábrica a tomar decisões futuras com relação a matérias primas e ao preço das meias, por exemplo, para que sua produção seja positiva para os resultados da empresa.

Com os experimentos, pôde-se conhecer melhor o processo e desmistificar alguns preconceitos que já existiam sobre o mesmo. Inicialmente o dono da empresa pressupunha que quanto maior a quantidade de rolos disponíveis em uma máquina, mais rápido era o processo. Acreditava também que as meias com lycra, que são de melhor qualidade, demoravam mais para ser produzidas e, por isso, deveriam ter maior valor agregado. A ideia inicial não foi comprovada experimentalmente, pois a meia mais rápida possui menor quantidade de rolos de fios, todavia, durante o experimento, foi confirmada a ideia de que as meias com lycra possuem maior tempo de produção se comparado às demais.

A fábrica opera 24 horas por dia e, durante o período deste trabalho, estava com uma grande quantidade de pedidos para atender, por isso, como a produção é baseada nos pedidos, foi mais demorado realizar os experimentos com todas as combinações de fios disponíveis. Além disso, também não foi possível testar novas combinações.

Apesar desses empecilhos, e baseado em tudo o que foi apresentado neste documento, conclui-se que o objetivo do trabalho foi alcançado, já que foi possível aplicar o DOE na empresa e, a partir de então, fazer recomendações para alavancar a competitividade da mesma.

5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Buscando utilizar as conclusões desta pesquisa para aplicação de novas ferramentas e métodos ligados à Engenharia de Produção, sugere-se algumas ações futuras:

- Análise dos preços das meias e comparação com os resultados de desempenho mostrados neste trabalho, para que a produção de meias utilizando lycra seja de fato benéfica para a empresa;
- Desenvolvimento de outro experimento envolvendo todas as variáveis. Este trabalho analisou apenas as combinações de meias já existentes, pois a empresa trabalha sob encomenda e tinha muitos pedidos a entregar, não podendo realizar testes envolvendo todas as variáveis possíveis. Sugere-se, portanto, um estudo envolvendo todas as variáveis, mesmo que no modelo atual elas não sejam independentes, para conhecer a fundo o comportamento das máquinas.

6. REFERÊNCIAS

Anjos, A. dos. Análise de Variância. p. 109-118. Disponível em <<http://www.est.ufpr.br/ce003/material/cap7.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2017.

Alves, L. H. D. Utilização do método de Taguchi na modelagem e otimização de vazios relacionados à solidificação em processos de fundição de aço. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2010.

Associação Brasileira Têxtil e de Confecção (ABIT). Perfil do setor. Disponível em <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em 26 nov. 2016.

ARANDA, M. H.; JUNG, C. F.; CATEN, C. S. Determinação dos parâmetros operacionais de uma inovação tecnológica através da utilização do Design of Experiments–DOE. Revista liberato: educação, ciência e tecnologia, v. 8, n. 10, p. 09-16, 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 9000, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 9001, 2008.

BUTTON, S. T. Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados, 2016.

CAMPOS, R. A. *et al.* Mapeamento de Processos: Importância para as organizações. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2012.

CASTRO, P. M. M. Método de taguchi: controle de qualidade com recurso não convencional ao desenho estatístico de experiências (DOE). Revista de Estatística, 1o quad, n. 23, 16 p., 2001. Instituto Português de Administração de Marketing (IPAM). Lisboa. Disponível em <<http://www.ine.pt/prodserv/estudos>>

CIJF. Indústria do vestuário de JF prevê mais demissões para 2016, 2016. Disponível em <<http://www.centroindustrialjf.com.br/industria-do-vestuario-de-jf-preve-mais-demissoes-para-2016>>. Acesso em 18 jun 2017.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, Carlos A. Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. 1a ed. São Paulo: Atlas, 2004.

COSTA, E. P. ; POLITANO, P. R. Modelagem E Mapeamento: Técnicas Imprescindíveis Na Gestão De Processos De Negócios. ENEGEP, 2008. Disponível em <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_069_496_11484.pdf>

DA COSTA, Ana Cristina Rodrigues; DA ROCHA, Érico Rial Pinto. Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecções e a questão da inovação. BNDES. 2009.

DA COSTA, N. A. A. *et al.* Gerenciamento de Processos - Metodologia Base para a Melhoria Continua. ENEGP, 1997. Disponível em <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEPI997_T4109.PDF>

DA SILVA COSTA, C. E. O "doe" como ferramenta da qualidade para o desenvolvimento de produtos à base de solo estabilizado com rejeitos industriais, para uso na construção civil.

DA SILVA, H. A.; DA SILVA, M. B. Aplicação de um projeto de experimentos (DOE) na soldagem de tubos de zircaloy-4. REVISTA PRODUÇÃO E ENGENHARIA, v. 1, n. 1, p. 41-52, 2008.

FDS Portugal. Sock Kinitting Machines. Disponível em <https://media.wix.com/ugd/959766_0df72da502d24774a504ab0573a70999.pdf>

FALCONI, V. TQC Controle da Qualidade Total no estilo Japonês. 8 a ed. INDG, 2004.

FONTÃO, H. PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS: aplicação de uma ferramenta Lean Seis Sigma para gestão empresarial em pequenos supermercados varejistas. 2008.

G1. Indústrias da Zona da Mata têm queda de 16% no faturamento Disponível e <<http://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2016/08/industrias-da-zona-da-mata-tem-queda-de-16-no-faturamento.html>> . Acesso em 18 jun 2017.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. Métodos de Pesquisa. UFRGS. 2009. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>

GALDÁMEZ, E. V. C. Aplicação das técnicas de planejamento e análises de experimentos na melhoria da qualidade de um processo de fabricação de produtos plásticos. São Carlos, 133p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 2002

GALDAMEZ, E. V. C.; CARPINETTI, C.R. Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos no processo de injeção plástica. Gestão e produção, v. 11, n. 1, p. 121-134, 2004.

GALDÁMEZ, E. V. C; CARPINETTI, Luiz CR. Aplicação das Técnicas de Planejamento e Análise de Experimentos No Processo de Fabricação de Produtos Plásticos. CEP, v. 13566, p. 590, 2001.

GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4 ed. São Paulo. Atlas, 2002.

GITLOW, H. S. *et al.* Six Sigma for Green Belts and Champions. Prentice Hall, 2003.

MIGUEL, P. A. C. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiments. 5ª ed. Arizona State University. John Wiley and Sons, 2001.

NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, 2013. Disponível em <<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>>. Acesso em 16 jun 2017.

PIMENTA, C. D.; SILVA, M. B.; RIBEIRO, R. B.; CLARO, F. A. E. Método Taguchi aplicado na identificação dos fatores causadores da descarbonetação do arame de aço SAE 51B35, durante tratamento térmico de esferoidização. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Ano 7, no 2, abr-jun/2012.

PJF. História da Cidade, 2004. Disponível em <<https://www.pjf.mg.gov.br/cidade/historia.php>>. Acesso em 18 jun 2017.

SANCHES, R. A. Otimização dos Parâmetros de Regulagem das Máquinas Circulares de Malharia, utilizando a metodologia Taguchi. UNICAMP, 2001.

SLACK, N. *et al.* Administração da produção. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TEIXEIRA, A. L. A. Mapeamento de processos: teoria e caso ilustrativo. Disponível em <http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2013/relatorios_pdf/ctc/IND/IND-AnaLuisaAlvesTeixeira.pdf>

TORRES JÚNIOR, N.; QUININO, R. C. O jogo da catapulta para compreender o planejamento e análise de experimentos: proposta de uma abordagem lúdica de ensino. Revista Produção Online, Florianópolis, v. 14, n. 3, p. 939-971, ago. 2014. ISSN 16761901. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1576/1187>>. Acesso em: 13 nov. 2016. doi:<http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v14i3.1576>.

LOPES, F. Saldo de 347 vagas em 10 anos no setor têxtil, 2011. Tribuna de Minas. Disponível em <<http://www.tribunademinas.com.br/saldo-de-347-vagas-em-dez-anos-no-setor-textil/>>. Acesso em 18 jun 2017.

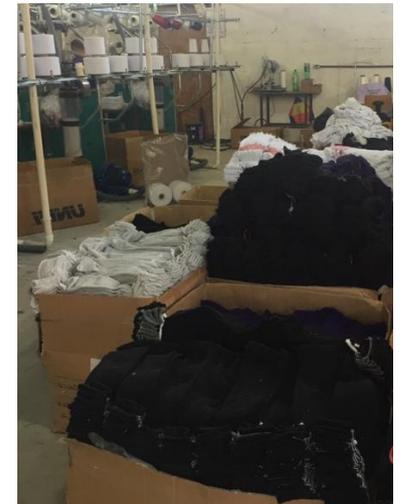
TROSSET, M. W. Taguchiand Robust Otimization. Rice University, Houston, TX, 1997.

VIANA, D. J.; FARIA NETO, A. Otimização do processo de fundição sob pressão aplicando o método de Taguchi. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 13, n. 4, p. 1435-1465, nov. 2013. ISSN 16761901. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1431/1086>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

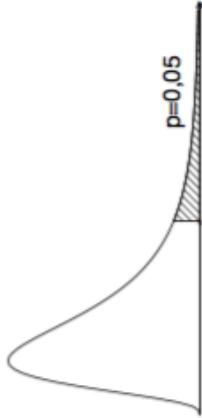
VILELA JUNIOR, G. B. ANOVA (Analysis of Variance), 2014. Disponível em <<http://www.cpaqv.org/estatistica/anova.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2017.

7. ANEXOS

7.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DA MEIA



Distribuição F de Snedecor a 5% ($p=0,05$)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	18	20	30	40	60	120
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,42	19,43	19,43	19,44	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,71	8,70	8,69	8,67	8,66	8,62	8,59	8,57	8,55
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,87	5,86	5,84	5,82	5,80	5,75	5,72	5,69	5,66
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,64	4,62	4,60	4,58	4,56	4,50	4,46	4,43	4,40
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,96	3,94	3,92	3,90	3,87	3,81	3,77	3,74	3,70
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,53	3,51	3,49	3,47	3,44	3,38	3,34	3,30	3,27
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,24	3,22	3,20	3,17	3,15	3,08	3,04	3,01	2,97
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,03	3,01	2,99	2,96	2,94	2,86	2,83	2,79	2,75
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,86	2,85	2,83	2,80	2,77	2,70	2,66	2,62	2,58
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,74	2,72	2,70	2,67	2,65	2,57	2,53	2,49	2,45
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,64	2,62	2,60	2,57	2,54	2,47	2,43	2,38	2,34
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,55	2,53	2,51	2,48	2,46	2,38	2,34	2,30	2,25
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,48	2,46	2,44	2,41	2,39	2,31	2,27	2,22	2,18
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,42	2,40	2,38	2,35	2,33	2,25	2,20	2,16	2,11
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,37	2,35	2,33	2,30	2,28	2,19	2,15	2,11	2,06
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,33	2,31	2,29	2,26	2,23	2,15	2,10	2,06	2,01
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,29	2,27	2,25	2,22	2,19	2,11	2,06	2,02	1,97
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,26	2,23	2,21	2,18	2,16	2,07	2,03	1,98	1,93
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,22	2,20	2,18	2,15	2,12	2,04	1,99	1,95	1,90
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,20	2,18	2,16	2,12	2,10	2,01	1,96	1,92	1,87
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,17	2,15	2,13	2,10	2,07	1,98	1,94	1,89	1,84
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,15	2,13	2,11	2,08	2,05	1,96	1,91	1,86	1,81
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,13	2,11	2,09	2,05	2,03	1,94	1,89	1,84	1,79
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,11	2,09	2,07	2,04	2,01	1,92	1,87	1,82	1,77
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,15	2,09	2,07	2,05	2,02	1,99	1,90	1,85	1,80	1,75
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,08	2,06	2,04	2,00	1,97	1,88	1,84	1,79	1,73
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19	2,12	2,06	2,04	2,02	1,99	1,96	1,87	1,82	1,77	1,71
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,10	2,05	2,03	2,01	1,97	1,94	1,85	1,81	1,75	1,70
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,04	2,01	1,99	1,96	1,93	1,84	1,79	1,74	1,68
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,95	1,92	1,90	1,87	1,84	1,74	1,69	1,64	1,58
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,86	1,84	1,82	1,78	1,75	1,65	1,59	1,53	1,47
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,18	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,78	1,75	1,73	1,69	1,66	1,55	1,50	1,43	1,35

Tabela 5: Quantis da Distribuição F para probabilidade $p = P[F \geq F_c] = 0,05$. Graus de liberdade do numerador dado no topo e do denominador na margem esquerda.

7.3 TABELAS DE COLETA DE DADOS

EXPERIMENTO 1				
Composição		Medições		
Quantidade de rolos	Tipo de fio	Meia (pé)	Tempo (s)	Variável Resposta I
1	Elástico	1	58	6,47
5	Algodão	2	58	6,47
4	Lycra	3	58	6,47
1	Elanca de desenho	4	59	6,58
1	Poliester	5	58	6,47
		6	58	6,47
		7	58	6,47
		8	59	6,58
		9	58	6,47
		10	59	6,58
Peso médio do pé de meia: 8,96 g		11	58	6,47
		12	58	6,47

EXPERIMENTO 2				
Composição		Medições		
Quantidade de rolos	Tipo de fio	Meia (pé)	Tempo (s)	Variável Resposta I
1	Elástico	1	61	7,70
5	Algodão	2	61	7,70
4	Lycra	3	61	7,70
4	Elanca de desenho	4	62	7,83
1	Poliester	5	61	7,70
		6	61	7,70
		7	62	7,83
		8	61	7,70
		9	61	7,70
		10	61	7,70
Peso médio do pé de meia: 7,92 g		11	62	7,83
		12	61	7,70

EXPERIMENTO 3				
Composição		Medições		
Quantidade de rolos	Tipo de fio	Meia (pé)	Tempo (s)	Variável Resposta I
1	Elástico	1	49	1,81
5	Algodão	2	50	1,85
0	Lycra	3	49	1,81
1	Elanca de desenho	4	49	1,81
5	Políester	5	49	1,81
		6	49	1,81
		7	50	1,85
		8	49	1,81
		9	49	1,81
		10	49	1,81
Peso médio do pé de meia: 27,08 g		11	49	1,81
		12	50	1,85

EXPERIMENTO 4				
Composição		Medições		
Quantidade de rolos	Tipo de fio	Meia (pé)	Tempo (s)	Variável Resposta I
1	Elástico	1	44	1,94
5	Algodão	2	45	1,98
0	Lycra	3	44	1,94
4	Elanca de desenho	4	44	1,94
6	Políester	5	45	1,98
		6	44	1,94
		7	44	1,94
		8	44	1,94
		9	45	1,98
		10	44	1,94
Peso médio do pé de meia: 22,71 g		11	44	1,94
		12	44	1,94

7.4 TERMO DE AUTENTICIDADE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral¹ e criminais previstas no Código Penal², além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, ____ de _____ de 20 ____.

NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

Matrícula

ASSINATURA

CPF

¹ LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

² Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.