

unesp  UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

**Flávio Rodrigo Castelli Polizelli**

**Método de Taguchi aplicado a um processo de corte por fusão de um tecido sintético**

Guaratinguetá

2011

FLÁVIO RODRIGO CASTELLI POLIZELLI

Método de Taguchi aplicado a um processo de corte por fusão de um tecido sintético

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. MSc Ricardo Batista Penteado .

Polizelli, Flávio Rodrigo Castelli

P769m      Método de Taguchi aplicado a um processo de corte por fusão de um tecido sintético / Flávio Rodrigo Castelli Polizelli. – Guaratinguetá : [s.n.], 2011

54 f.: il.

Bibliografia: f. 52-54

Trabalho de Graduação em Produção Mecânica –  
Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de  
Guaratinguetá, 2011

Orientador: Prof. MSc. Ricardo Batista Penteado

1. Taguchi, Método de (Controle de qualidade) 2.  
Planejamento experimental I. Título

CDU 658.56

Método de Taguchi aplicado a um processo de corte por fusão de um tecido sintético

Flávio Rodrigo Castelli Polizelli

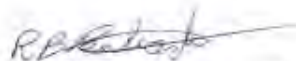
Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do título de  
Graduado em Engenharia de Produção Mecânica

Aprovado em sua forma final pelo conselho de curso de graduação

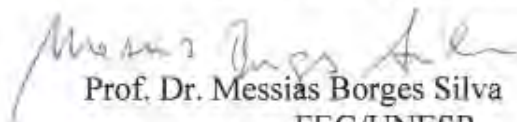


Prof. Dr. Valério A. P. Salomon  
Sub-coordenador  
No Exercício da coordenação

Banca Examinadora:



Prof. MSc. Ricardo Batista Penteado  
FEG/UNESP (Orientador)



Prof. Dr. Messias Borges Silva  
FEG/UNESP



Prof. MSc. Fabricio Maciel Gomes  
FEG/UNESP

Dezembro de 2011

## **DADOS CURRICULARES**

**Flávio Rodrigo Castelli Polizelli**

NASCIMENTO 20.10.1987 SÃO JOSÉ DO RIO PRETO/SP

FILIAÇÃO Valdecir Polizelli  
Maria de Fátima Castelli Polizelli

2007/2011 Curso de Graduação em Engenharia de Produção  
Mecânica, na Faculdade de Engenharia do Campus de  
Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista

## **DEDICATÓRIA**

Eu dedico este Trabalho de Graduação a meus pais que me deram todo o apoio necessário em todos os momentos da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a empresa por liberar os dados e imagens do presente trabalho. Agradeço principalmente ao meu colega de empresa Ivanildo Silva pela ajuda e entendimento do funcionamento do equipamento abordado no presente trabalho e ao operador Paulo que teve paciência e compreensão em me ajudar.

Gostaria de agradecer também a meu orientador, Ricardo Penteado pelo tempo dedicado e por todo respaldo que tive durante este ano para que este trabalho de graduação fosse desenvolvido.

A minha turma, Produção de 2007, amizades e aprendizados que certamente levarei por toda a vida. Assim como a minha república minha família e refugio nesses cinco anos de graduação.

Agradeço a meus irmãos Luciana e Valdecir Jr e aos meus pais Valdecir e Maria de Fátima que estiveram comigo em todos os momentos de minha vida, nos bons e nos maus momentos.

Por fim a UNESP de Guaratinguetá instituição responsável pelo meu amadurecimento tanto pessoal como técnico, levarei com muito carinho a satisfação de ter estudado em uma das mais renomadas universidades brasileira.

## EPÍGRAFE

“O que eu ouço, eu esqueço. O que eu vejo, eu lembro. O que eu faço, eu entendo.”

Confúcio



Polizelli, F, R, C. **Método de Taguchi aplicado a um processo de corte por fusão de um tecido sintético**. 2011. 54 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## **RESUMO**

Uma empresa deve ter pleno conhecimento e controle das suas operações para assim atender as exigências do mercado e cumprir as suas metas de produção. Dessa forma o presente trabalho utiliza o método de Taguchi para ampliar o controle operacional de uma máquina de corte por fusão de tecido sintético no sentido longitudinal.

Para análise do processo e rastreamento das possíveis causas do problema em questão foram utilizadas técnicas pertinentes a Engenharia de Produção como o diagrama de causa efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa, e o planejamento de experimentos, esse em especial foi aplicado para o delineamento de técnicas de Taguchi.

Por fim a preparação do entendimento do método e o delineamento de experimento deu-se pelo uso do software MINITAB v15®, o qual revelou que a velocidade de enrolar o tecido após o corte é determinante para o controle de toda a operação.

**Palavras-Chave:** Planejamento de Experimentos, Diagrama de Ishikawa e Método de Taguchi

Polizelli, F, R, C. **Taguchi method applied to a cutting process by fusion of synthetic a fabric**. 2011. 54 f. Graduate Work (Graduate in Industrial Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## **ABSTRACT**

A company must have full knowledge and control of its operations so as to meet the market requirements and meet their production goals. Thus this paper uses the Taguchi method to extend the operational control of a cutting process by fusion of a synthetic fabric in the longitudinal direction.

For process analysis and tracking of possible causes of the problem techniques of Production Engineering as the cause and effect diagram, also known as Ishikawa diagram, and design of experiments were used, the last one was applied to the design techniques of Taguchi.

Finally the preparation method of understanding and design of experiment was due to the use of the software MINITAB v15 ®, which showed that the speed of rolling the fabric after cutting is crucial for controlling the entire operation.

Keywords: Design of Experiments, Diagram of Ishikawa, Taguchi method

## LISTA DE FIGURAS

Quadro 1 – Polos têxteis desempenho.....	14
Quadro 2 – Polos têxteis paulistas.....	14
Quadro 3 – Características do Poliéster.....	16
Quadro 4 – Principais arranjos de Taguchi.....	30
Quadro 5 – Análise de Variância.....	35
Quadro 6 – Fatores e seus níveis.....	39
Quadro 7 – Arranjo Ortogonal L9.....	40
Quadro 8 – Dados experimentais.....	41
Quadro 9 – Economia (kg/hora).....	48
Quadro 10 – Economia mensal.....	48
Figura 1 – Descrição dos processos produtivos.....	15
Figura 2 – Principais elementos da máquina.....	17
Figura 3 – Controle operacional durante a operação.....	18
Figura 4 - Resumo de um processo.....	21
Figura 5 - Comportamento função perda.....	27
Figura 6 - Característica da curva menor é melhor.....	29
Figura 7 - Característica da curva maior é melhor.....	30
Figura 8 - Diagrama de Ishikawa.....	37
Figura 9 - Localização fatores.....	39
Figura 10 – Influência dos fatores quanto a % de perda.....	42
Figura 11 – % de perda com grau de liberdade ao resíduo.....	43
Figura 12 – Influência dos fatores quanto ao número de correções.....	44
Figura 13 – Número de correções com grau de liberdade ao resíduo.....	45
Figura 14 – Configuração entre A e D quanto ao kg de resíduos.....	46
Figura 15 – Configuração entre A e D quanto ao número de correções.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparar método clássico com o de Taguchi.....	26
Tabela 2 – Arranjo Ortogonal três fatores com dois níveis.....	31
Tabela 3 - Resposta para % de perda.....	41
Tabela 4 – Análise de variância quanto à % de perda.....	43
Tabela 5 – Colocação dos fatores quanto ao número de correções.....	44
Tabela 6 – Análise de variância quanto ao N° de correções.....	47
Tabela 7 - Configuração dos parâmetros de validação.....	47
Tabela 8 – Configuração utilizada pela empresa.....	47
Tabela 9 – Configuração Atual x Teste de Validação.....	48

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 INDÚSTRIAS TÊXTEIS .....	13
1.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO .....	15
1.3 TECIDO SINTÉTICO – POLIÉSTER.....	15
1.4 MÁQUINA DE CORTE DE TECIDO SINTÉTICO POR FUSÃO NO SENTIDO LONGITUDINAL .....	16
1.5 PROBLEMA .....	18
1.6 OBJETIVO.....	19
1.6.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	19
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>21</b>
2.1 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS .....	21
2.2 FATORIAL COMPLETO.....	22
2.3 FATORIAL FRACIONADO .....	23
2.4 MÉTODO TAGUCHI.....	24
2.5 PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA O MÉTODO DE TAGUCHI .....	24
2.6 FUNÇÃO PERDA.....	26
2.6.1 PARÂMETROS E QUALIDADE DA FUNÇÃO PERDA.....	27
2.6.1.1 NOMINAL MELHOR .....	28
2.6.1.2 MENOR É MELHOR.....	28
2.6.1.3 MAIOR É MELHOR.....	29
2.7 ARRANJO ORTOGONAL DE TAGUCHI .....	30
2.8 ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM EXPERIMENTO TAGUCHI.....	31
2.8.1 SOMAS QUADRÁTICAS .....	32
2.8.2 GRAUS DE LIBERDADE.....	33
2.8.3 QUADRADO MÉDIO .....	34
2.9 FATORES DE CONTROLE E DE RUÍDO .....	35
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>37</b>
<b>4 ANÁLISE E RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>6. AÇÕES FUTURAS.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A confecção têxtil talvez seja uma das atividades mais antigas já realizadas pelo homem, a ideia base da produção continua a mesma. A obtenção de um tecido plano consiste em utilizar um dispositivo chamado tear para entrelaçar dois conjuntos de fios que se cruzem em ângulo reto. Os fios dispostos no sentido horizontal são definidos com fios de trama <sup>1</sup> enquanto os dispostos no sentido vertical são definidos como fios de urdidura<sup>2</sup>.

O trabalho tem como finalidade analisar o processo de obtenção de toalhas industriais a partir do corte longitudinal de um tecido plano do tipo sintético. Por ser utilizado na indústria automobilística é muito importante que as toalhas finalizadas respeitem as especificações definidas pelo cliente. Dessa forma o primeiro passo consiste em analisar o cenário da indústria têxtil brasileira e uma breve descrição do processo produtivo. Por fim analisar a fibra de poliéster, utilizada nos ensaios do presente trabalho, e concluir com a descrição das etapas da máquina em questão.

### 1.1 Indústrias têxteis

Segundo Coan e Kon (2007) a indústria têxtil brasileira teve origem no período colonial, o seu desenvolvimento tornou-se acentuado a partir do século XX atingindo a sua maturidade na década de 1940, devido a Segunda Guerra Mundial, chegando a ocupar o segundo lugar na produção têxtil mundial, exportando para a maior parte do mundo.

Entretanto as décadas que seguiram não foram favoráveis, a recuperação econômica da Europa pós-guerra e a recessão econômica brasileira nas décadas de 70 e 80 fizeram com que essa indústria perde-se espaço como exportador tornando-a sucateada quando comparados às concorrentes norte-americanas e europeias. A recuperação econômica e abertura de mercado ocorridos no país na década de 90 fizeram com que o segmento recebesse investimentos o que possibilitou a sua modernização e expansão.

De acordo com Bastian e Onishi (2009) atualmente o setor têxtil brasileiro investe uma média de US\$ 1 bilhão por ano para manter seus parques atualizados. A indústria paulista apresentou um crescimento de 5% no seu faturamento no ano de 2007, expandindo de US\$ 12,5 bilhões em 2006 para US\$ 13,1 bilhões.

---

<sup>1</sup> Fios que se cruzam no sentido transversal da peça, cruzados pelos da urdidura.

<sup>2</sup> Série de fios estendidos longitudinalmente em tear e através dos quais é depois lançada a trama

No Quadro 1 são apresentados os dados registrados no ano de 2009.

Quadro 1 – Polos têxteis desempenho (adaptado Bastian e Onishi, 2009)

<b>Polos Têxteis</b>	<b>Características produtivas</b>
Faturamento	US\$ 12,9 bilhões
Balança comercial	US\$ 227 milhões de déficit contra US\$ 88 milhões de déficit em 2006
Exportações de SP	US\$ 561 milhões contra US\$ 535 milhões no mesmo período em 2006
Importações de SP	US\$ 788 milhões contra US\$ 623 milhões no mesmo período em 2006
Empregos	465 mil empregos diretos
Produção	Têxtil cresceu 5,28% e vestuário em 3,46%
Varejo	Crescimento de 12,46%
ICMS Paulista	12% para indústrias

O Quadro 2 apresenta os principais polos têxteis paulistas, bem como as suas principais características produtivas.

Quadro 2 – Polos têxteis paulistas (adaptado Bastian e Onishi, 2009)

<b>Polos Têxteis</b>	<b>Características produtivas</b>
Região de Americana	Cadeia têxtil integrada, desde fibras até confecção, mais voltada para a linha artificial e sintética, envolvendo os Municípios de Americana, Santa. Bárbara d'Oeste, Nova Odessa, Sumaré e Hortolândia.
Tietê/Cerquilha	Confecção em geral – predominância de moda
Cerquilha	Confecção em geral – predominância de jeans e indústrias voltadas às fábricas de confecção para brinquedos.
Cidade de São Paulo (zonas Leste e Sul)	Cadeia têxtil integrada mais voltada a algodão e moda praia.
Região de Amparo, Itatiba e Jundiá.	Cadeia Têxtil voltada à malharia retilínea envolvendo os Municípios de Lindóia, Serra Negra e Socorro.

## 1.2 Descrição do processo produtivo

A sequência de um processo produtivo têxtil pode ser resumido pela Figura 1.

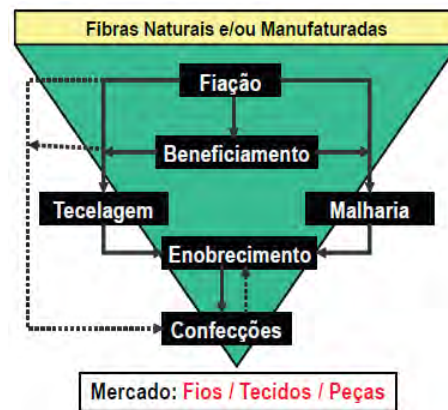


Figura 1 – Descrição dos processos produtivo (adaptado Bastian e Onishi ,2009)

1. Fiação: Etapa de obtenção do fio a partir das fibras têxteis.
2. Beneficiamento: Etapa de preparação dos fios envolvendo atividades que agregam valor ao mesmo como tingimento e engomagem.
3. Tecelagem e Malharia: Etapa de elaboração de tecido plano a partir dos fios têxteis.
4. Enobrecimento: Etapa que agrega valor ao tecido plano, tingimento, estamparia e acabamento de tecidos.
5. Confecções: Transforma o tecido plano enobrecido em artigos e peças têxteis.

## 1.3 Tecido Sintético – Poliéster

De acordo com o manual técnico da Vincunha (2008) as fibras de poliéster, juntamente com as acrílicas e as de poliamida, constituem as principais fibras sintéticas da indústria têxtil. O poliéster tem como base o Polietilenotereftalato, um composto químico obtido pelo policondensado termoplástico linear. Segundo Vincunha (2008). As fibras são caracterizadas por serem elásticas, ou seja, com boa resistência à tração e a fricção. São estáveis quando expostas a luz, a ácidos, aos oxidantes e a solventes. Por fim possui uma qualidade que facilita o seu uso na indústria têxtil, a de apresentar fácil higienização e reduzido tempo de secagem.

As atuais tecnologias nos segmentos de malharia, fiação, tecelagem e beneficiamento, permitem com que a fibra sintética consiga ser viável economicamente e que supra a



exigência da sua aplicação. Tais características fazem do poliéster uma das mais versáteis fibras têxteis podendo ser utilizadas na fabricação de artigos têxteis, em tecidos específicos e na indústria automobilística.

O Quadro 3 contempla as principais características físicas e químicas do poliéster.

Quadro 3 – Características do Poliéster (Vincunha, 2008)

<b>Característica</b>	<b>PROPRIEDADES</b>
Base Química	Polietilenotereftalato
Peso específico	1,38 g/cm <sup>3</sup>
Tenacidade (resistência a tração)	2,4 – 4,5 cN/dtex (a seco ou molhado)
Alongamento	15 – 40 %
Elasticidade após alongar	1% 98% (perda da elasticidade com temperaturas acima de 230°C)
Absorção de umidade (Regain)	0,40%
Ponto de fusão	258 °C
Ação do suor	Nenhum efeito sobre a resistência
Ação dos solventes orgânicos	Solúvel em nitrobenzol, metacrezol e fenol. Insolúvel na maioria dos álcalis, em benzeno, dioxano, dimetilformamida. Insolúvel nos solventes empregados na lavagem a seco.

#### **1.4 Máquina de corte de tecido sintético por fusão no sentido longitudinal**

O equipamento em questão trata-se de um protótipo adaptado e desenvolvido para corte contínuo por fusão de tecido sintético testado apenas para poliéster e poliamida que possuem gramatura inferior a 150 g/m<sup>2</sup>. O dispositivo possui baixo índice de automação, o que torna o processo dependente da atenção e da experiência do operador.

O equipamento é composto por cinco partes principais, enumerados na Figura 2.

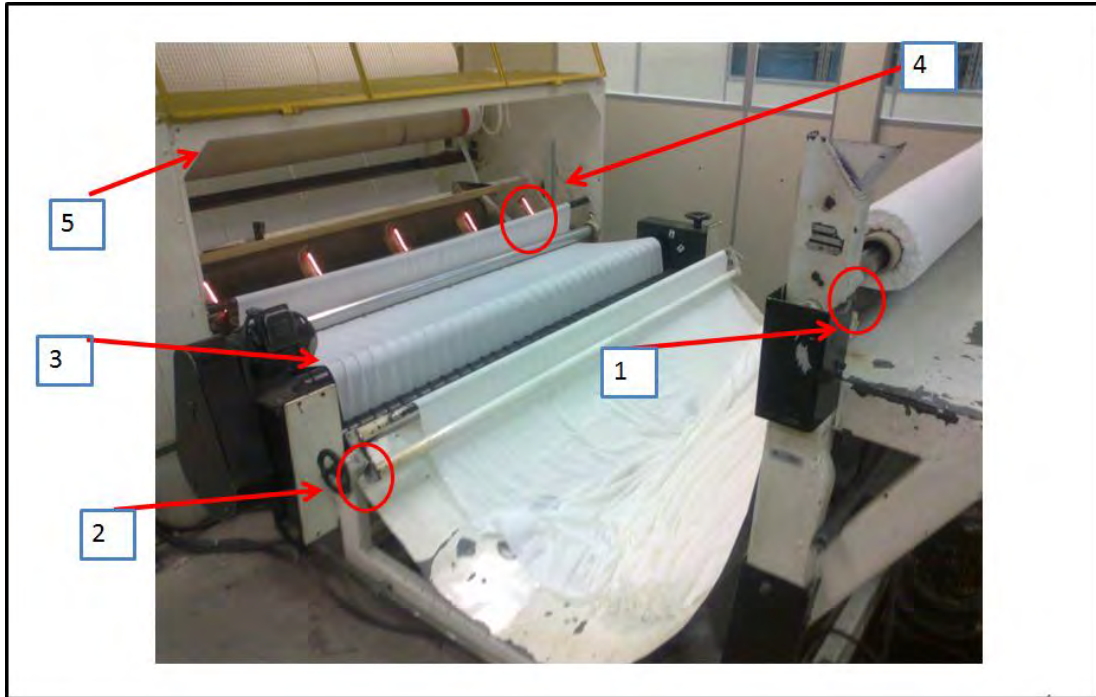


Figura 2 – Principais elementos da máquina. (autor, 2011)

1. Desbobinar: Conjunto eletromecânico, com a função de desenrolar o tecido sobre uma chapa convexa em forma de “J” (jota), de aço galvanizado, com a finalidade de aliviar a tensão do tecido. Todo esse conjunto trabalha sobre uma base oscilante que permite o alinhamento do tecido no ponto de entrada para o corte. O cilindro de desbobinar do tecido possui apenas uma velocidade de funcionamento, o que limita as demais etapas.
2. Ângulo de entrada: Tem influencia no quão tensionado o tecido seguirá para o cilindro abridor
3. Cilindro abridor: Conjunto eletromecânico: tem por finalidade minimizar os problemas de enrolamento e dobragem do tecido antes do corte.
4. Fio térmico: Consiste numa liga de níquel cromo, responsável pela divisão do tecido plano em quatro toalhas de quarenta e um centímetro (com tolerância de um centímetro para mais ou para menos) e na obtenção de dois filamentos de resíduo, que fazem o acabamento nas extremidades do tecido plano.

5. Cilindro enroladores: Conjunto eletromecânico, que movimentava dois cilindros com a finalidade de embobinar o tecido em quatro toalhas contínuas e em duas faixas de resíduo.

### 1.5 Problema

Como dito anteriormente a máquina em questão é um protótipo. Seu planejamento fora feito para corte de embalagens plástico, produto de composição e propriedades diferente da fibra sintética.

Vale ressaltar que a sua atual configuração foi definida por tentativa e erro ou por experiência do próprio operador e não por fabricante ou por algum método científico. A falta de padronização infere diretamente na dependência do processo ao operador.

Sendo assim verifica-se que o grande problema do dispositivo em questão é o controle operacional. Durante o funcionamento o tecido tende a escapar ora para a direita ora para esquerda como esquematizado na Figura 3.

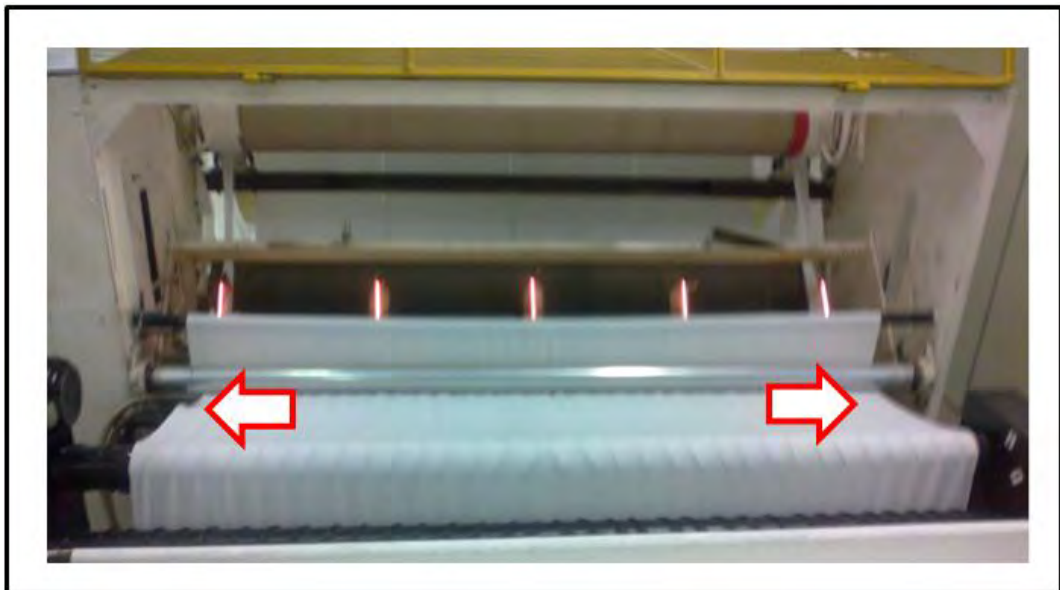


Figura 3 – Controle operacional durante a operação (autor, 2011)

O fato de o tecido oscilar durante o funcionamento do equipamento interfere diretamente na quantidade de resíduo formado, que é maior do que a planejada (de seis a oito centímetros), por consequência parte das toalhas acaba se perdendo durante a operação elevando assim o custo operacional.

## 1.6 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo identificar quais parâmetros existentes no processo interfere diretamente na operação de corte. Ao identificar e corrigir esse parâmetro será possível aumentar qualidade e a confiabilidade do sistema em questão.

### 1.6.1 Objetivos específicos

1. Identificar os parâmetros que podem ser controlados.
2. Identificar a amplitude dos parâmetros.
3. Coleta de dados utilizando o método robusto de Taguchi, configuração “L9”.
4. Avaliar resultados.
5. Propor nova configuração de trabalho.
6. Comparar as duas configurações de trabalho.
7. Obter ganho em produtividade, redução do kg perdido.
8. Análise financeira do estudo, mostrar a viabilidade do estudo.

## 1.7 Estrutura do Trabalho

A ferramenta utilizada nessa monografia é o DOE (*Design of Experiments*, também conhecido como Delineamento de Experimentos), que consiste em um conjunto de ensaios estabelecido com critérios científicos e estatísticos, com o objetivo de determinar a influência de diversas variáveis e suas interações nos resultados de um dado processo. O foco do presente trabalho está nos experimentos de Taguchi

O capítulo 1 faz uma introdução ao produto têxtil presente no estudo de caso e na análise do máquina em questão, assim como definiu o problema abordado e os objetos do presente trabalho.

O capítulo 2 faz uma revisão teórica sobre DOE e demonstra as vantagens em se utilizar o método robusto de Taguchi.

O capítulo 3 expõe a metodologia utilizada para coleta dos dados e introduz o software utilizado para a análise estatística.

O capítulo 4 mostra os resultados obtidos experimentalmente assim com a análise dos mesmos em relação a resposta pretendida.

O capítulo 5 propõe uma análise e uma conclusão sobre o método escolhido e os resultados obtidos. Por fim o Capítulo 6 deixa propostas para atividades futuras.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Ballantyne, Mitchell e Oorschot (2007) a otimização de novos processos é uma das atividades que mais consomem tempo durante o desenvolvimento de um produto ou método. Para pequenos procedimentos, envolvendo um número limitado de variáveis em poucos níveis, a estratégia fatorial é comumente utilizada, entretanto em experimentos complexos que envolvem quatro ou mais fatores com três ou mais níveis passam a exigir um grande número de experimentos e por consequência um maior tempo para coleta de dados passa a ser exigido.

O capítulo fará uma abordagem sobre planejamento de experimentos e de técnicas de análise como: fatorial completo, fatorial fracionado e método robusto de Taguchi.

### 2.1 Planejamento de experimentos

Segundo Montgomery (2001) planejamento de experimentos é uma prática utilizada por pesquisadores, de qualquer campo de pesquisa, que visam descobrir particularidades de algum processo ou sistema. A prática consiste basicamente em realizar um teste, ou uma série de testes, com o propósito de variar os parâmetros de entrada de um processo para estudar e entender como a saída (resposta) do sistema responde a essas mudanças. A Figura 4 exemplifica essa ideia.

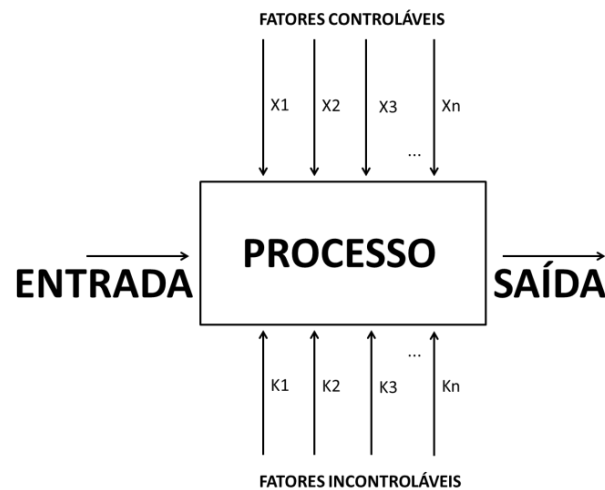


Figura 4 - Resumo de um processo (adaptada Montgomery, 2001)

A Figura 4 permite observar que o planejamento experimental não só delimita no sistema os fatores controláveis, mas também aquele que não podem ser delimitados e que possivelmente exercem influência sobre o mesmo.

Para Caten e Ribeiro (1996) identificar o problema é uma etapa de grande importância para definir qual será o objetivo do estudo e no direcionamento que o planejamento de experimento tomará. Essa etapa, de preferência, é realizada com uma equipe multidisciplinar, de forma a obter informações e diversos entendimentos em relação ao problema abordado.

A utilização de ferramentas da estatística para validação do experimento realizado, deve-se pelo fato da estatística tratar-se de uma ciência objetiva que permite uma análise clara e precisa sobre os parâmetros escolhidos para análise, assim como apontar evidências de falha experimental como erros de medição, instrumento mal calibrado, etc.

Para Laul et al. (2005) um bom planejamento de experimentos tende a facilitar no entendimento e delineamento dos seguintes parâmetros:

1. Entendimento do processo, ou sistema, abordado.
2. Descrição das etapas.
3. Identificação dos parâmetros de controle.
4. Identificação de particularidades presentes no processo.

## 2.2 Fatorial Completo

O fatorial completo consiste em uma técnica para testar as possíveis combinações entre os fatores controláveis, nesse tipo de configuração cada fator é verificado o mesmo número de vezes assim como os seus níveis de trabalho, isso que garante a ortogonalidade do método. Segundo Paiva (2006) os níveis devem ser definidos respeitando as especificações dimensionadas pelo fabricante, ou seja, devem estar dentro do nível de atuação recomendado.

Tal técnica permite avaliar estatisticamente os efeitos dos fatores escolhidos para os ensaios assim como a interação entre eles influenciam na variável resposta. O número de experimentos é definido pela quantidade de níveis que os fatores assumirão durante o ensaio elevado ao número de fatores controláveis do experimento. Dessa forma o número de experimentos pode ser resumido pela seguinte equação (1):

$$N = x^k \tag{1}$$

Onde:

N: Corresponde ao n° de ensaios a ser realizados

x: A quantidade de níveis dos parâmetros

k: O número de parâmetros presentes

Segundo Ross (1991) o fatorial completo é um experimento em que o seu uso é recomendável quando existem poucos fatores a serem analisados, uma vez que a mínima combinação possível é o fatorial do tipo  $2^k$ . Dessa forma um experimento com sete fatores e com dois níveis por fator, exigiria 128 ensaios para que a sua ortogonalidade fosse garantida. Essa elevada quantidade de combinações deixa o método pouco atrativo já que o experimento tende-se tornar caro e trabalhoso.

### **2.3 Fatorial Fracionado**

O fatorial completo como dito anteriormente em situações em que é desejável analisar uma maior gama de fatores exigirá um grande número de experimento. Segundo Souza (2006) existe situações em que as interações entre parâmetros não são significativas ou não possuem sentido prático, dessa forma é possível confundir esses elementos com o efeito principal, reduzindo assim o número de experimentos necessários, mas garantindo que a sua ortogonalidade seja mantida.

Para Souza (2006) a técnica de confundimento consiste em arranjar combinações de um experimento do tipo fatorial completo em blocos com pequenos números de combinações, utilizando das interações não significativas para resposta desejada. Um experimento do tipo fatorial  $2^k$  pode ser escrito com delineamento de  $2^p$  blocos incompletos, resultando em um número de experimentos na ordem  $2^{k-p}$ , o que proporciona 2,4,8 ou mais blocos com um número idêntico de combinações.

Sendo assim, somente uma parte de todas as combinações possíveis para estimar os principais efeitos dos fatores e suas interações será considerada. Nesse caso, um experimento com 7 fatores poderá ser reduzida em até um oitavo o número mínimo de ensaios (16 combinações) . Essa possibilidade de reduzir o número de experimentos, segundo Ross (1991) torna o fatorial fracionado vantajosa e atrativa tanto no aspecto financeiro quanto no aspecto pratico fato comprovado pelo menor tempo reservado a coleta de dados.



## **2.4 Método Taguchi**

O método Taguchi surgiu no Japão na década de quarenta com o objetivo de melhorar a qualidade do serviço telefônico japonês, reduzindo os gastos na engenharia. Segundo Moita (2007) Trata-se de um método extremamente versátil sua aplicação está registrada na medicina, engenharia, em processos fabris e até na área de marketing.

Obviamente existem mais estudos e casos presentes na área de processos de fabrica, por ser uma área em que os objetivos e os parâmetros são claros e bem definidos durante todas as etapas do processo. Para Hoa (1994) a grande vantagem do método esta na possibilidade de investigar os principais efeitos dos parâmetros de forma individual. Smith e Tawfik (2009) ressalta que a eficiência do método por ser de fácil aplicação e não requerer grandes quantidades de tempo e recursos para realizar durante os ensaios e analise, possibilita a realização de uma filosofia de melhoria contínua.

Independente da área estudada inicia-se a analise pela definição e identificação do problema para em seguida saber quais respostas serão avaliadas. Tendo definido a respostas, buscam-se no processo quais parâmetros é relevante a essa variável resposta e aos seus respectivos níveis de trabalho. Terminada a fase de definição dos parâmetros seleciona-se a matriz que viabilize o estudo seguido pela etapa de coleta de dados. A verificação da influência dos dados coletados experimentalmente será consolidada pela análise da variância (ANOVA). O teste de variância tende a indicar um ou mais fatores que influenciam no problema abordado. Por fim é realizado um ensaio de validação dos resultados obtidos, verificando o quão eficaz foi a aplicação do método. Em caso de resultado negativo a recomendação é retornar para a etapa inicial, ou seja, ao planejamento experimental.

## **2.5 Planejamento de Experimentos para o método de Taguchi**

Este tópico será focado o planejamento de experimentos, proposto por Taguchi para procedimentos na pesquisa de campo. Taguchi afirma que as especificações devem estar próximas aos valores nominais das dimensões especificadas no projeto. Sendo assim o planejamento busca uma configuração ótima dos parâmetros controláveis envolvidos no processo, que os aproximem das condições normais de funcionamento.

O uso da estatística visa manter o processo em faixas de controle, denominadas limites de controle. A média da dimensão nominal prevista pelo projeto não coincide com aquele presente no processo.

Para Moita (2007) a grande finalidade do experimento é:

1. Identificar fatores que influenciam na saída do processo.
2. Ajustar os fatores controláveis para que se obtenham respostas as mais próximas dos valores nominais (Calegare, 2001)
3. Fazer com que o projeto tenha menos influencia quanto aos fatores de ruídos seja externo ou interno. A robustez de um produto é observada em bons projetos do que em situações de rigidez dos controles de fabricação (BOX, HUNTER e HUNTER, 1978).

Um projeto pode ser considerado robusto quando na sua saída obtêm-se resultados satisfatórios independente da presença dos ruídos externos, mas com o mínimo de ruído interno, ou seja, mesmo em condições não ideais a resposta obtida é a melhor possível (Calegare, 2001).

O DOE clássico era constituído considerando apenas regras combinatórias de arranjos o mesmo, sendo desenvolvido em 1920 na estação de pesquisa agrícola de Rothamsted (Londres) por Sir Ronald A. Fisher.

Para Demirel et al. (2004) as duas maiores contribuições de Taguchi para a engenharia de qualidade esta no uso da soma quadrática de Gauss na função perda para quantificar a qualidade e o desenvolvimento de projetos robustos (parâmetro e tolerância do planejamento de experimentos) e na constituição dos arranjos ortogonais de Taguchi A tabela 1 relaciona as principais diferenças das etapas do método de Taguchi com o método clássico desenvolvido por Fisher.

Tabela 1 – Comparar método clássico com o de Taguchi, (adaptado Nunes 2007)

<b>Etapa</b>	<b>Método Taguchi</b>	<b>Método Clássico</b>
	Foco nas funções de engenharia	Brainstorm dos fatores e respostas
<b>Planejamento</b>	Escolha dos fatores, dos níveis e das respostas com o objetivo de reduzir interações.	Análises estatísticas mais simples.
	Garantia de 80 a 90% de probabilidade de sucesso	Consideração de risco $\alpha$ e $\beta$ para tamanho da amostra
<b>Seleção de Arranjo Ortogonal</b>	Recomendação dos Arranjos L12, L18 e L36 por incorporarem as pequenas interações.	Uso de uma plataforma de arranjos ortogonais se for necessário
<b>Condução do Experimento</b>	Atribuição de fatores às colunas para redução de custo/tempo associados à experiência.	Aleatoriedade da ordem do experimento para distribuição de fatores de ruído.
<b>Análise de dados</b>	Análise dos dados através do conceito de SR, reduzindo as interações. Escolha do conceito SR adequado  Uso de gráficos de análise SR Normalização dos fatores das equações de previsão	Uso da ANOVA e da regressão para análise dos dados  Uso de testes de significância matemática para seleção de fatores das equações de previsão.

Segundo Montgomery (2001) os métodos de Taguchi usam geralmente três ou mais níveis nos parâmetros do projeto enquanto o planejamento de experimentos clássico costuma utilizar apenas dois níveis por parâmetro, como demonstrado no fatorial completo e no fatorial fracionado.

## 2.6 Função perda

A função perda de Taguchi é caracterizada por uma função quadrática de característica de desempenho “y” e por um valor alvo de característica “m” sendo representada pela equação (2):

$$y = f(y, m) \quad (2)$$

A base para a filosofia de Taguchi é a prevenção. Segundo Ross (1991) O método mostra que quando as características funcionais de um determinado produto “y” se afastam do

seu valor nominal “m”, a perda será minimizada se o desempenho do produto ou processo estiver dentro da expectativa do projeto nominal. Entretanto a perda cresce quando o desempenho é desviado acima ou abaixo das especificações nominais. Portanto para  $y = m$ , a perda causada será zero, para valores de “y” acima ou abaixo de “m” a função perda crescerá, conforme demonstrado na Figura 5.

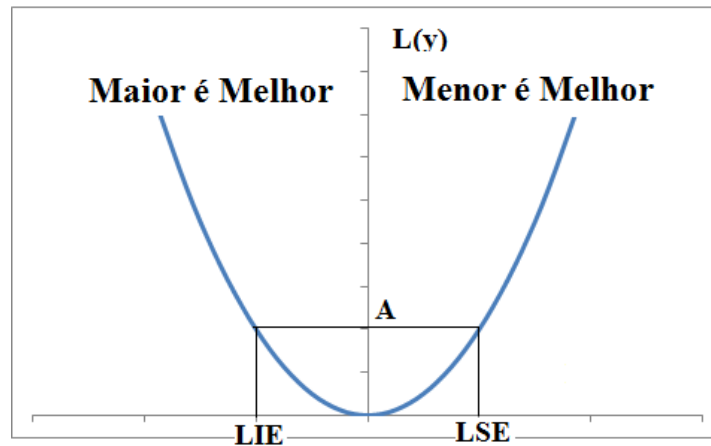


Figura 5 - Comportamento função perda (adaptado Ross 1991)

Sendo uma perda devido a uma não conformidade definida como “A”. A função perda definida como  $L(y)$  é derivada de uma série de Taylor em torno do valor nominal  $m$ , observada na equação (3):

$$L(y) = \frac{A}{\Delta^2} \sum_{k=1}^k \sigma_k^2 = L(m) + \left[ \frac{L'_m}{1!} \right] \times (y - m) + \left[ \frac{L''_m}{2!} \right] \times (y - m)^2 + \dots \quad (3)$$

Sendo os dois primeiros termos da equação acima igual a zero, ao se despreze os termos de ordem superior a 2 a equação reduz-se como observado na equação (4):

$$L(y) = \left[ \frac{L''_m}{2!} \right] \times (y - m)^2 \leftrightarrow L(y) = k(y - m)^2 \quad (4)$$

Ross (1991) define que a constante  $k$  é uma constante de proporcionalidade desconhecida que pode ser calculado sabendo-se a perda para qualquer valor de  $y$ .

### 2.6.1 Parâmetros e qualidade da função perda

A função perda pode assumir três características, para análise.

#### 1. Nominal é melhor

2. Menor é melhor

3. Maior é melhor

### 2.6.1.1 Nominal melhor

De acordo com Ross (1991) esse tipo de característica é desejável em produtos ou serviços em que o valor nominal é o alvo, como por exemplo, o diâmetro de um pneu para o setor automotivo, nesse caso os itens devem estar o mais próximo possível do valor estabelecido na etapa de projeto, o comportamento da função perda para esse comportamento pode ser observado na equação (5)

$$L_{(y)} = k(y - m)^2 = \frac{A}{\Delta_2} (y - m)^2 \quad (5)$$

No qual:

L – Perda devida ao desvio da característica

y – Valor da característica de qualidade do produto

m – Valor nominal da característica de qualidade

k – Coeficiente de perda de qualidade

A – Custo da perda ao se afastar da medida nominal

$\Delta_2$  – Tolerância total

### 2.6.1.2 Menor é melhor

Para Ross (1991) essa resposta tem como valor alvo zero, situação ideal. Esse tipo de problema em que a característica menor é melhor pode ser observada, por exemplo, no tempo de espera em um restaurante, ou na formação de resíduo em um processo. Tais situações apresentam a função perda como mais vantajosa mesmo quando o valor encontrado está abaixo do valor nominal estabelecido.

A constante de custo k pode ser calculada de modo similar à situação “nominal é melhor”. Existe determinada perda associada a um valor específico de y. A perda é então calculada para qualquer valor de y, baseando-se no valor de k. Essa função é idêntica à situação “nominal é melhor” quando  $m = 0$ , o menor valor para essa condição, logo pode concluir que pela equação (6):

$$L_{(y)} = ky^2 = \left(\frac{A}{y_u^2}\right)y^2 \quad (6)$$

O intervalo da Figura 6 resume que quanto mais próximo de zero melhor será a resposta da função perda.

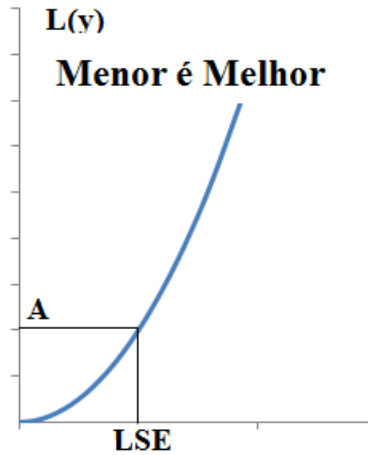


Figura 6 - Característica da curva menor é melhor (adaptado Ross, 2001)

### 2.6.1.3 Maior é melhor

Nessa situação é desejável obter resultados iguais ou acima do valor nominal estabelecido como alvo, como exemplo pode-se usar a vida útil de uma ferramenta, de um produto ou até mesmo um rendimento de uma turbina em um ciclo de refrigeração. Em tais casos quanto maior o valor da característica, melhor será a qualidade do produto ou serviço (Ross, 2001).

Pode-se calcular a constante de custo tomando-se, como base, determinada perda associada a um valor específico de  $y_1$ , conforme prevê a equação (7).

$$L(y) = \left(\frac{k}{y^2}\right) = (Ay_1^2)y^2 \quad (7)$$

O intervalo da Figura 7 mostra que quanto mais próximo de zero melhor será a resposta da função perda.

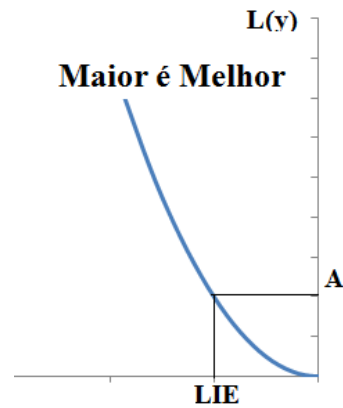


Figura – 7 Característica da curva maior é melhor (adaptado Ross, 2001)

## 2.7. Arranjo Ortogonal de Taguchi

O arranjo ortogonal de Taguchi é facilmente identificado pela presença da letra “L”, de acordo com Cardoso, Chaves e Santos (2006), uma vez que foi baseada no estudo dos quadrados latinos, a direita da letra “L” normalmente esta presente o número de ensaios que o arranjo suporta. Exemplo pode-se citar o L16, arranjo pré-definido que mantém a ortogonalidade com até 16 experimentos.

O Quadro 4 contem os principais arranjos de Taguchi assim como o número de elementos que os mesmos suportam.

Quadro 4 – Principais arranjos de Taguchi.

Arranjo Ortogonal	Número de Ensaios	Número máximo de fatores
L <sub>4</sub>	4	3
L <sub>8</sub>	8	7
L <sub>9</sub>	9	4
L <sub>12</sub>	12	11
L <sub>16</sub>	16	15

## 2.8 Análise de variância em experimento Taguchi

De acordo com Ross (1991) análise de variância, ou ANAVA, consiste em um experimento para isolar uma fonte de variação da outra, ou seja, tem como finalidade auxiliar

na tomada de decisão estatisticamente baseada de acordo com as causas de variação num experimento.

O número de fatores determina o tipo de análise a ser realizada, assim como os seus graus de liberdade. O grau de liberdade pode ser definido como o número de medições independentes disponíveis para que se possam estimar partes de informações a partir de uma série de dados (Ross, 1991).

Para entendimento de como proceder a essa análise tomemos como exemplo uma ANAVA com três fatores subdivididos em dois níveis, segue na Tabela 2 a configuração experimental do ensaio.

Tabela 2 – Arranjo Ortogonal três fatores com dois níveis

	B 1	B 2	
A 1			C 1
A 2			C 2
A 1			C 1
A 2			C 2

Nesse exemplo a variação total pode ser decompostas nos seguintes componentes.

- Variação devido ao fator A
- Variação devido ao fator B
- Variação devido ao fator C
- Variação devido à interação entre os fatores A, B e C
- Variação devido ao erro



### 2.8.1 Somas quadráticas

A equação (8) que descreve a variação total ocorrida durante o experimento pode ser escrita dessa forma:

$$SQ_T = SQ_A + SQ_B + SQ_C + SQ_{AXB} + SQ_{AXC} + SQ_{BXC} + SQ_{AXBXC} + SQ_e = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{T^2}{N} \quad (8)$$

Na qual  $SQ_i$  corresponde à soma quadrática do termo  $i$  (variância do termo  $i$ ),  $AXB$ ,  $AXC$ ,  $BXC$ ,  $ABC$  representam respectivamente as interações dos fatores A com B, A com C, B com C e por fim a interação entre todos os fatores envolvidos no ensaio  $AXBXC$ . O termo T representa é a soma de todas as observações e N o número total de observações.

A variação do fator A pode ser calculado tomando como base a equação (9).

$$SQ_A = \sum_{i=1}^{K_A} (A_i^2) - \frac{T^2}{N} \quad (9)$$

Onde:

$K_A$  = número de níveis do fator A

Análogo à equação para calculo da variação do fator A pode-se obter as variações dos outros dois fatores (B e C).

Agora para calculo da variação sofrida pela interação dos fatores  $AXB$  utiliza-se a equação (10). A variação sofrida nas interações  $AXC$  e  $BXC$  é calculada de forma semelhante à equação (10)

$$SQ_{AxB} = \sum_{i=1}^n (AXB)_i^2 - \frac{T^2}{N} - SQ_A - SQ_B \quad (10)$$

Por fim o calculo da variação da interação dos fatores  $AXBXC$

$$SQ_{AxBxC} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{(AXBXC)_i^2}{n(AXBXC)_i} \right) - \frac{T^2}{N} - SQ_A - SQ_B - SQ_C - SQ_{AXB} - SQ_{AXC} - SQ_{BXC} \quad (11)$$

Sendo assim pode-se calcular o erro obtido pelo experimento utilizando a equação (12)

$$SQ_e = SQ_T - SQ_A - SQ_B - SQ_C - SQ_{AXB} - SQ_{AXC} - SQ_{BXC} - SQ_{AXBXC} \quad (12)$$

### 2.8.2 Graus de liberdade

O grau de liberdade é definido como o número de determinações independentes (dimensão da amostra) menos o número de parâmetros estatísticos a serem avaliados na população. Nesse esse tipo de experimento podem ser calculados pelas equações (13) à equação (22).

$$\vartheta_T = N - 1 \quad (13)$$

$$\vartheta_T = \vartheta_A + \vartheta_B + \vartheta_C + \vartheta_{AXB} + \vartheta_{AXC} + \vartheta_{BXC} + \vartheta_{AXBXC} + \vartheta_e \quad (14)$$

$$\vartheta_A = K_A - 1 \quad (15)$$

$$\vartheta_B = K_B - 1 \quad (16)$$

$$\vartheta_C = K_C - 1 \quad (17)$$

$$\vartheta_{AXB} = (\vartheta_A)(\vartheta_B) \quad (18)$$

$$\vartheta_{AXC} = (\vartheta_A)(\vartheta_C) \quad (19)$$

$$\vartheta_{BXC} = (\vartheta_B)(\vartheta_C) \quad (20)$$

$$\vartheta_{AXBXC} = (\vartheta_A)(\vartheta_B)(\vartheta_C) \quad (21)$$

$$\vartheta_e = \vartheta_T - \vartheta_A - \vartheta_B - \vartheta_C - \vartheta_{AXB} - \vartheta_{AXC} - \vartheta_{BXC} - \vartheta_{AXBXC} \quad (22)$$

Lembrando que  $K_i$  corresponde ao número de níveis presentes no fator  $i$

### 2.8.3 Quadrado Médio

Os quadrados médios “MS” são quocientes entre as somas quadráticas pelo grau de liberdade, podendo ser obtidos pela equação (23) à equação (30).

$$MS_A = \frac{SQ_A}{\vartheta_A} \quad (23)$$

$$MS_B = \frac{SQ_B}{\vartheta_B} \quad (24)$$

$$MS_C = \frac{SQ_C}{\vartheta_C} \quad (25)$$

$$MS_{AXB} = \frac{SQ_{AXB}}{\vartheta_{AXB}} \quad (26)$$

$$MS_{AXC} = \frac{SQ_{AXC}}{\vartheta_{AXC}} \quad (27)$$

$$MS_{BXC} = \frac{SQ_{BXC}}{\vartheta_{BXC}} \quad (28)$$

$$MS_{AXBXC} = \frac{SQ_{AXBXC}}{\vartheta_{AXBXC}} \quad (29)$$

$$MS_e = \frac{SQ_e}{\vartheta_e} \quad (30)$$

#### 2.8.4 Teste F

O teste F é uma ferramenta que auxilia na decisão, com certo nível de confiança, sobre o quanto um fator ou a interação desses influenciam sobre o valor da média para a população, ou seja, verificam qual ensaio será aprovado no teste de hipótese.

Antes de realizar a análise do teste F deve-se primeiro calcular o F a partir dos dados da tabela, observado pela equação (32) e o F crítico calculado conforme mostra a equação (31).

Para o Fator A:

$$F_{\text{crítico}} = F_{(1-\alpha; \vartheta_A; \vartheta_e)} \quad (31)$$

Onde  $\alpha$  corresponde ao risco, logo  $1 - \alpha$  representa a confiança para o parâmetro.

$$F_{\text{dados}} = \frac{MQ_A}{MQ_e} \quad (32)$$

O próximo passo consiste em interpretar esses resultados em duas categorias

1. Fatores em que o F (dados) esta acima do valor crítico
2. Fatores em que o F (dados) esta abaixo do valor crítico

Na presença da situação 1, Montgomery (2001) afirma que os fator analisado exerce influência sobre o valor da média para a população, enquanto a situação 2 o fator em questão não exerce influencia sobre o valor da média experimental. Analogamente ao fator A o calculo é repetido para os demais fatores.

Dessa forma com os cálculos da soma quadrática, dos graus de liberdade e da média quadrática foi possível obter o quadro 2, denominado quadro de análise de variância.

Quadro 5 – Análise de Variância

Fonte	SQ (Soma Quadrática)	g (Grau de Liberdade)	MQ (Média Quadrática)	F (dados)
A	$SQ_A$	$\theta_A$	$MQ_A$	$F_A$
B	$SQ_B$	$\theta_B$	$MQ_B$	$F_B$
C	$SQ_C$	$\theta_C$	$MQ_C$	$F_C$
AXB	$SQ_{AXB}$	$\theta_{AXB}$	$MQ_{AXB}$	$F_{AXB}$
AXC	$SQ_{AXC}$	$\theta_{AXC}$	$MQ_{AXC}$	$F_{AXC}$
BXC	$SQ_{BXC}$	$\theta_{BXC}$	$MQ_{BXC}$	$F_{BXC}$
AXBXC	$SQ_{AXBXC}$	$\theta_{AXBXC}$	$MQ_{AXBXC}$	$F_{AXBXC}$
E	$SQ_e$	$\theta_e$	$MQ_e$	
T	$SQ_T$	$\theta_T$	$MQ_T$	

## 2.9 Fatores de Controle e de Ruído

Taguchi distingue os fatores em dois grupos principais: Fatores de controle e de ruído. Segundo Ross (1991) os de controle é aqueles definidos pelo fabricante durante o projeto, por essa razão não podem sofrer alterações pelo usuário ou consumidor do produto. Por outro lado os fatores de ruídos são aqueles em que o consumidor tem maior influencia, ou seja, são fatores que dependem fortemente do ambiente e do habito do usuário (Ross, 1991). Tais fatores dividem-se em três categorias.

- Ruído interno
- Ruído externo
- Ruído de produto

Ruídos externos tem forte ligação com as condições ambientais como temperatura, umidade, pressão, pessoas (operadores). Em suma ruídos externos são fatores que provocam alterações externas do produto, como desaparecimento gradual da cor, desgaste, deterioração, encolhimento, etc. Diferente dos ruídos externos os internos causam alterações no interior dos produtos, enquanto o ruído do tipo de produto manifesta-se como variação de peça para peça. Um produto pode sofrer sensibilidade a todos os tipos de ruídos.

Taguchi afirma que esforços para manter a qualidade do produto quanto aos ruídos interno e externos, estão presentes durante o desenvolvimento do projeto e define esses esforços como controle de qualidade (CQ) fora da linha enquanto os esforços de referentes à qualidade da produção, o que diminui a variação peça a peça aproximando-o do valor nominal, é definido como controle de qualidade na linha (CQ na linha) .

O próximo capítulo focará na metodologia adotada para escolha das variáveis respostas assim como no procedimento executado para a coleta de dados.

### 3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta-se os métodos e os experimentos utilizados no presente estudo, mostrando como foram definidos os parâmetros, até a utilização do arranjo ortogonal de Taguchi.

O primeiro passo do estudo foi entender o funcionamento do processo e tentar rastrear as possíveis causas que levam ao problema de baixo controle operacional. Para auxiliar nessa primeira etapa fez-se uso de uma técnica da engenharia de produção conhecida como diagrama de causa-efeito ou diagrama de Ishikawa.

O Diagrama permite estruturar hierarquicamente os motivos de determinado problema ou eventualmente oportunidades de melhoria. Pode ser utilizado também com outros propósitos, uma vez que permitir estruturar qualquer sistema que envolva respostas com um ou mais fatores responsável como afirma Reyes (2011).

Um brainstorming foi realizado juntamente com o único operador da máquina e com o técnico de controle de qualidade, obtendo uma estrutura prévia que facilitou no raciocínio e na análise do problema em questão compreendida pela Figura 8.

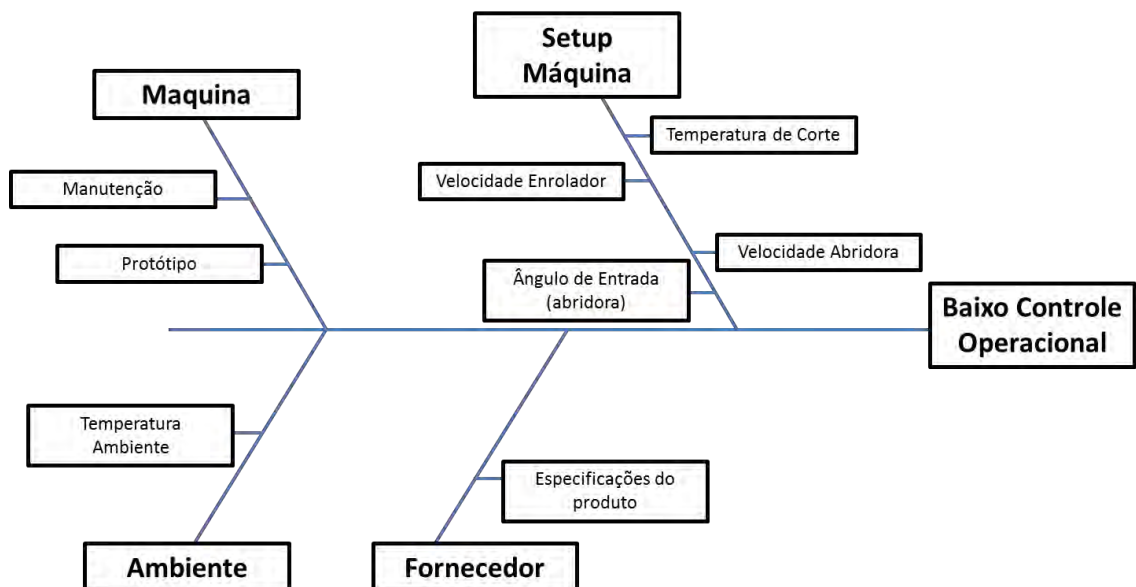


Figura 8 - Diagrama de Ishikawa (autor, 2011)

Com o diagrama foi possível perceber a existência de alguns parâmetros controláveis, mas também a presença de fatores que não podem ser eliminados. Analisando a máquina como problema percebe-se que o fator protótipo é uma condição que não pode ser eliminada,

por se tratar de uma adaptação. O segundo fator manutenção é controlável e já existe uma filosofia na empresa de manutenção preventiva, o que descarta essa hipótese.

Quanto ao fator ambiente pode ser considerado como um fator interessante, uma vez que o mesmo pode ter influência nas propriedades do tecido sintético como, por exemplo, a temperatura ambiente. Entretanto, o ambiente em que se encontra a máquina não possui instrumentos capazes para controlar a temperatura local, o que torna esse fator um ruído do tipo não controlável.

Por fim têm-se setup da máquina que ao comparado com as demais hipóteses levantadas foi identificado como o problema a ser resolvido a fim de se obter um maior controle operacional. Identifica-se que nesse problema todos os fatores podem ser controlados, e possuem mais de um nível de trabalho. A velocidade do rolo enrolador tem intervalo de atuação entre 15 a 20 cm/s, enquanto a velocidade angular do rolo abridor esta na ordem de 8 a 16 (nesse caso não se sabe quanto essas velocidades correspondem em radianos/s, sabe-se apenas que são fatores de potenciômetro indicados no painel de operações). A temperatura da resistência de corte foi fixada entre 58°C a 62°C, a faixa de temperatura nesse caso é limitada por dois fatores: 58°C corresponde à temperatura mínima de corte enquanto 62°C corresponde à máxima temperatura em que o acabamento do corte passara no controle de qualidade sem que o tecido seja danificado. Por fim o ângulo de entrada. Esse fator é curioso apesar de ser controlável, o mesmo era mantido fixo durante todo o processo dessa forma existia grande possibilidades da sua configuração não ser a ideal.

. Quanto à última possibilidade, a do fornecedor, bastou analisar quais deles atendiam as exigências da empresa. Durante a fase de testes para evitar a variabilidade do processo foi definido realizar todos os ensaios com apenas um fornecedor.

Dessa forma o problema em questão permite utilizar um arranjo ortogonal de Taguchi do tipo L9, tal configuração é caracterizada por aceitar até quatro variáveis com três níveis de controle cada uma. A Figura 9 mostra a localização dos fatores escolhidos.

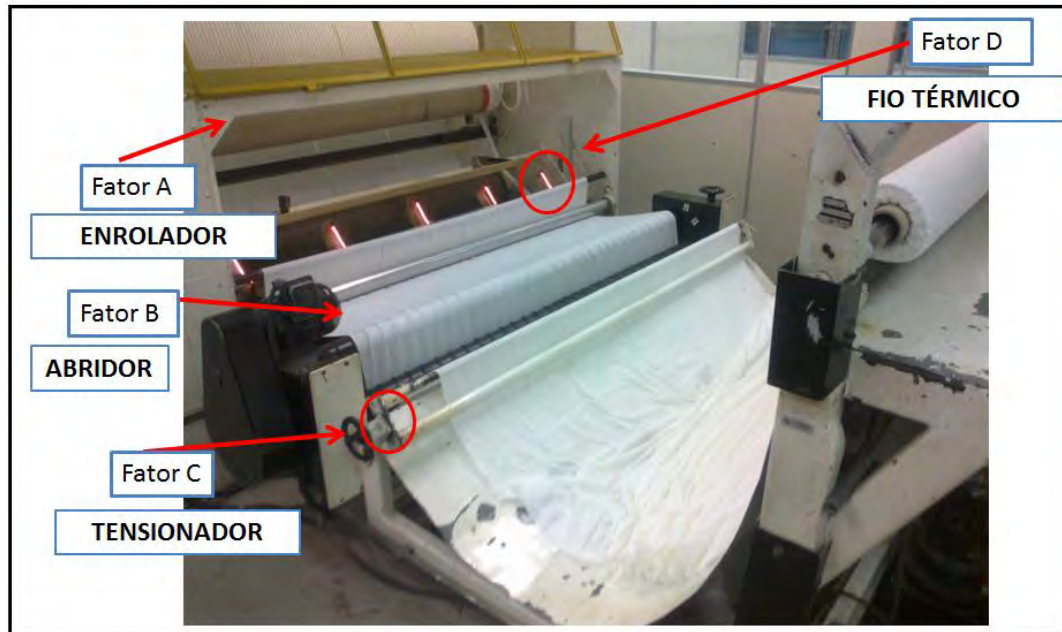


Figura 9 – Localização fatores. (autor, 2011)

Os níveis de cada parâmetro foram definidos como mostra o Quadro 6.

Quadro 6 – Fatores e seus níveis

	FATOR A - Velocidade Enrolador (cm /s)	FATOR B -Velocidade Abridora	FATOR C - Ângulo de Entrada (°)	FATOR D - Temperatura de Corte (°C)
<b>Nível</b>	16	8	25	58
	17	12	30	60
	19	16	33,8	61

O arranjo ortogonal L9, é composto por nove ensaios previamente configurados como demonstra o Quadro 7. Esse arranjo foi escolhido pela sua capacidade de comportar os quatro fatores escolhidos com os seus três níveis de atuação.



Quadro 7 – Arranjo Ortogonal L9

<b>Ensaio</b>	<b>Fator A</b>	<b>Fator B</b>	<b>Fator C</b>	<b>Fator D</b>
<b>1</b>	1	1	1	1
<b>2</b>	1	2	2	2
<b>3</b>	1	3	3	3
<b>4</b>	2	1	2	3
<b>5</b>	2	2	3	1
<b>6</b>	2	3	1	2
<b>7</b>	3	1	3	2
<b>8</b>	3	2	1	3
<b>9</b>	3	3	2	1

Antes de realizar a coleta de dados escolheu-se qual seria a variável resposta a ser obtida para assim fazer a análise dos resultados. Foram definidas duas resposta a primeira seria o número de correções que o sensor hidráulico faria durante todos os ensaios, ou seja, sempre que o tecido fugisse do seu curso o sensor é acionado e somada em uma unidade à contagem para quantificar o número de correções. A segunda resposta será porcentagem de perda, que é o quociente entre quilograma de resíduos obtido pelo quilograma total de cada evento. Vale ressaltar que cada ensaio teve a duração de uma hora.

O próximo capítulo mostrará qual foi o resultado obtido na coleta de dados assim com fará a verificação estatística dos resultados obtidos experimentalmente, definindo assim qual fator tem maior influencia sobre o controle operacional e até mesmo a confiabilidade do estudo proposto. Essa análise será feita no próximo capítulo.

#### 4. ANÁLISE E RESULTADOS

O capítulo dedica-se, exclusivamente, em analisar os resultados obtidos em teste realizado em campo. O quadro 8 revela os dados experimentais obtidos pelos ensaios.

Quadro 8 – Dados experimentais

Ensaio	kg de Resíduo	Kg total	Nº de Correções	% Perda
1	8,2	209,9	443	7,37%
2	7,7	208,8	469	7,08%
3	7,8	204,85	603	7,44%
4	7,3	228,9	567	6,06%
5	5,8	229,85	488	4,84%
6	7,3	230,3	383	5,99%
7	8,2	237,7	442	6,34%
8	9,5	230,25	623	7,30%
9	8,4	236,52	635	6,64%

Pelo fato de estar sendo analisadas duas variáveis respostas, duas matrizes foram inseridas no software, ambas do tipo menor-melhor. A primeira tratou-se de analisar o percentual de perda existente em cada processo como mostra o Quadro 8.

Para o estudo dos resultados foi utilizado o software MINITAB v15®, instrumento que auxilia no cálculo estatístico além de possuir módulos específicos para projeto e análise de experimentos, outra característica é a possibilidade de visualizar graficamente os resultados.

Inserindo os dados do Quadro 8 foi obtido a Tabela 3, que demonstra a importância dos fatores quanto à variação da resposta escolhida (% de perda).

Tabela - 3 Resposta para % de perda

Nível	A	B	C	D
1	7,297	6,59	6,887	6,283
2	5,63	5,407	6,593	6,47
3	6,76	6,69	6,207	6,933
<b>Variação</b>	1,667	0,283	0,68	0,65
<b>Posição quanto a influência</b>	1	4	2	3

Pode-se observar que o fator A possui grande influencia para o ensaio em questão mais do que o dobro de variação é constatada quando comparado com os fatores C e D. A análise gráfica feita pela Figura 10 permite uma abordagem mais clara do atual cenário quanto aos fatores quando analisados em relação a primeira variável resposta, deixando claro que o fator A tem grande influencia nessa situação.

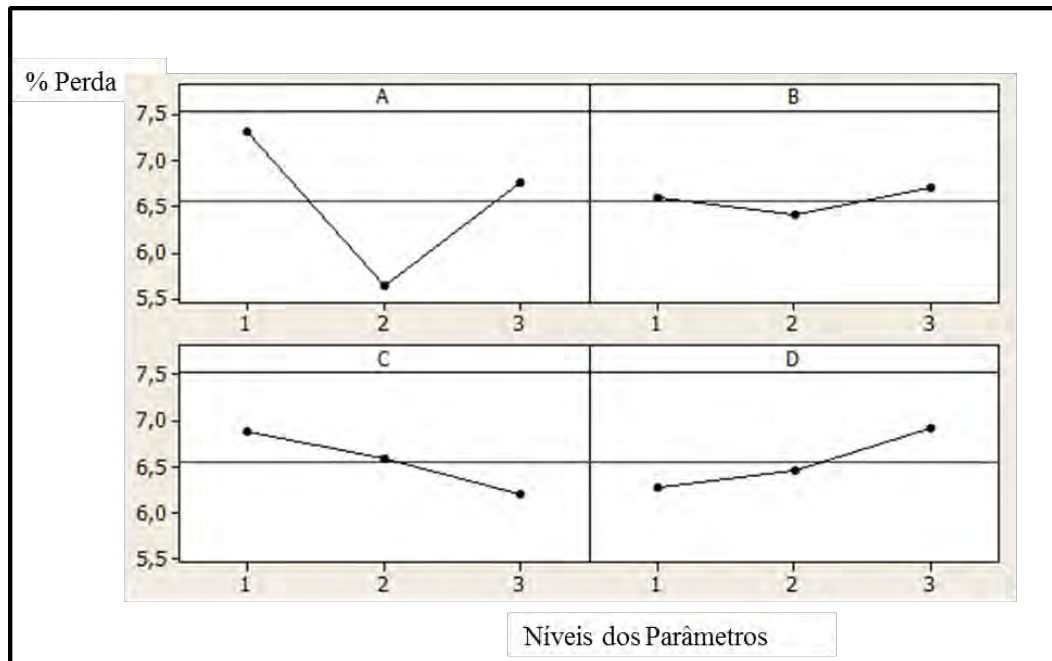


Figura 10 – Influência dos fatores quanto a % de perda

A análise gráfica também deixa clara que o fator B independente do seu nível de trabalho pouco interferência na resposta, dessa forma uma segunda análise foi feita, eliminando esse parâmetro do estudo. A estratégia de eliminar um fator do estudo está no objetivo de abrir graus de liberdade no ensaio na mesma ordem do fator eliminado, no caso dois, podendo agora ser calculado o erro residual na análise da variância. A Figura 11 verifica como se comportam as demais variáveis após ser eliminado o fator B do sistema.

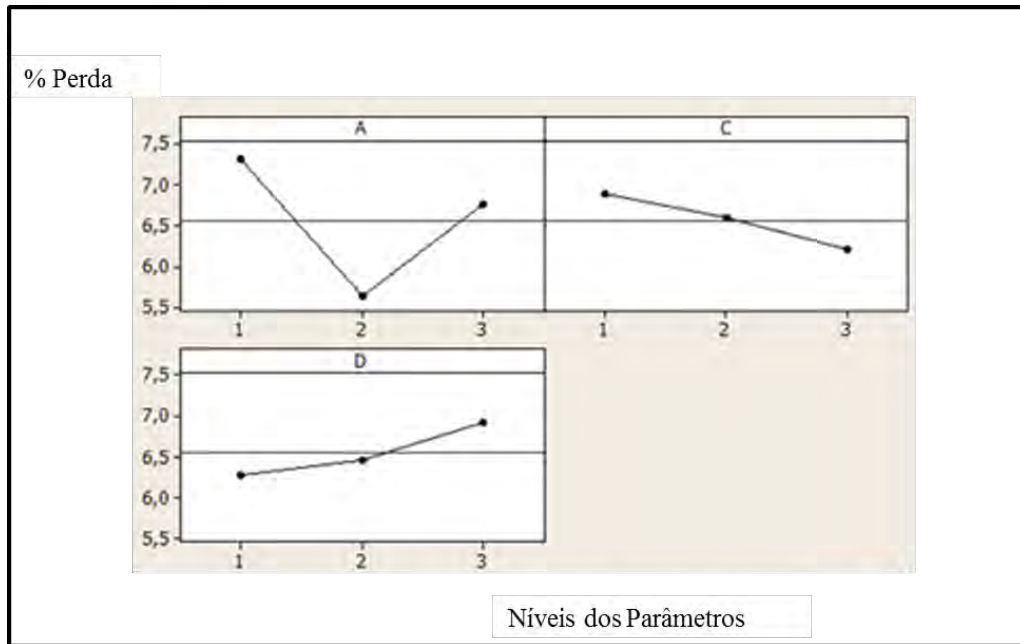


Figura 11 – % de perda com grau de liberdade ao resíduo.

A Figura 11 demonstra que mesmo eliminando a variável B os fatores remanescentes mantiveram o mesmo comportamento. Para análise dos resultados foi feito no software um teste de hipótese com a seguinte característica:

$H_0$ : Os fatores analisado não exercem influencia na variável resposta

$H_1$ : Um ou mais fator analisado exerce influencia na variável resposta

Tabela 4 – Análise de variância quanto à % de perda

Fonte	Graus de Liberdade	SQ (Soma Quadrática)	MQ (Média Quadrática)	F (dados)	P - Valor
A	2	4,3427	2,17134	35,05553762	0,028
C	2	0,698	0,34898	5,634162092	0,151
D	2	0,672	0,336	5,424604456	0,156
Residuo	2	0,1239	0,06194		
Total	8	5,8366			

A Tabela 4 corresponde ao calculo variância, serie de cálculos indicadas no capítulo 3, tomando como base um erro  $\alpha = 0,05$ , percebe-se que apenas o fator A demonstrou um P - Valor inferior a 0,05 o que o torna o único a ter influencia no sistema com um nível de significância de 95%.

A segunda análise, agora tomando como referencia o número de correções descritas no Quadro 8 que o sensor hidráulico realizou durante cada arranjo, a Tabela 5 mostra a analise

dos resultados obtidos experimentalmente, mostrando a influência de cada fator para a variável resposta (número de correções).

Tabela 5 – Colocação dos fatores quanto ao número de correções

Nível	A	B	C	D
1	505,0	483,7	478,0	522,0
2	479,0	523,0	557,0	430,7
3	562,7	540,0	410,7	594,0
<b>Variação</b>	83,7	56,3	78,0	163,3
<b>Posição quanto a influência</b>	2	4	3	1

Pela Tabela 5 é possível concluir que o fator D é aquele que exerce uma maior influência no arranjo, sendo o nível 2 ótimo para obter uma melhor resposta do tipo menor é melhor para a variável resposta escolhida. Assim como no estudo anterior o fator B teve pouca influência na resposta escolhida. A Figura 12 permite uma fácil visualização da relação dos efeitos nesse cenário.

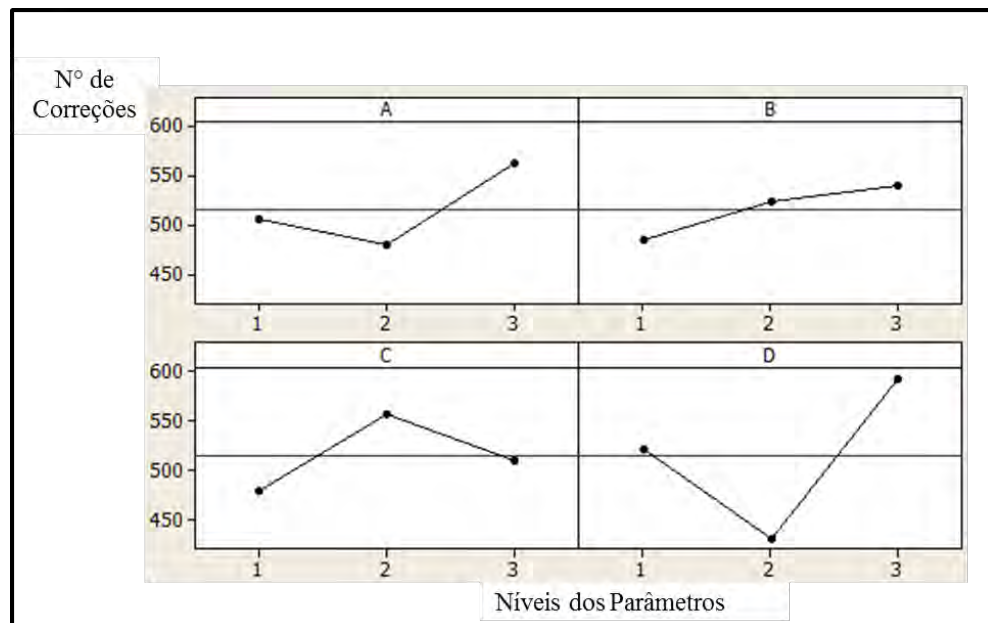


Figura 12 – Influência dos fatores quanto ao número de correções

Novamente para verificar o erro presente no estudo adota-se a opção de eliminar um fator do ensaio, abrindo assim graus de liberdade na mesma ordem do fator eliminado transferindo esses graus de liberdade ao erro (resíduo). O parâmetro B novamente foi

eliminado, uma vez que, assim como no caso anterior essa variável teve pouca interferência com a variável resposta. A Figura 13 mostra o comportamento das variáveis após a eliminação do fator B.

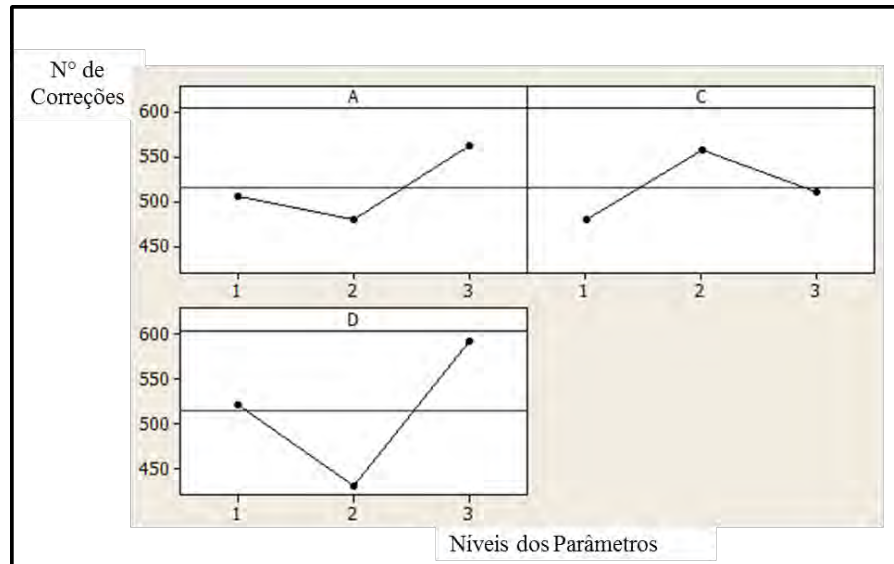


Figura 13 – Número de correções com grau de liberdade ao resíduo.

A análise da Figura 13 permite dizer que os comportamentos dos fatores matem-se igual, mesmo eliminando o fator B. Abaixo na Tabela 6 está a análise de variância para o número de correções efetuadas.

Assim como no caso anterior software realiza o teste de hipótese da seguinte maneira:

$H_0$ : Os fatores analisado não exercem influencia na variável resposta

$H_1$ : Um ou mais fator analisado exerce influencia na variável resposta

Tabela 6 – Análise de variância quanto ao N° de correções

Fonte	Graus de Liberdade	SQ (Soma Quadrática)	MQ (Média Quadrática)	F (dados)	P - Valor
A	2	11002	11002	2,20	0,313
C	2	9234	9234	1,84	0,352
D	2	40204	40204	8,02	0,111
Resíduo	2	5010	5010		
Total	8	65450			

Como previsto pela Figura 13, o fator D é observado como aquele que exerce maior influência na variável resposta. Entretanto ao analisar o P – valor contempla-se que para um nível de significância de 95% nenhum dos fatores é determinante ao processo, mas pode-se

afirmar que o fator D na ordem de 89% tem significância como influente para a variável resposta escolhida.

Tendo determinado quais foram os fatores influentes para as duas variáveis respostas, pode-se por meio do software verificar qual é a melhor interação entre eles, ou seja, a melhor configuração para os parâmetros A e D para cada variável resposta. A Figura 14 apresenta os níveis dos fatores quanto a porcentagem de resíduo formada, sendo A na abcissa e o fator D na ordenada.

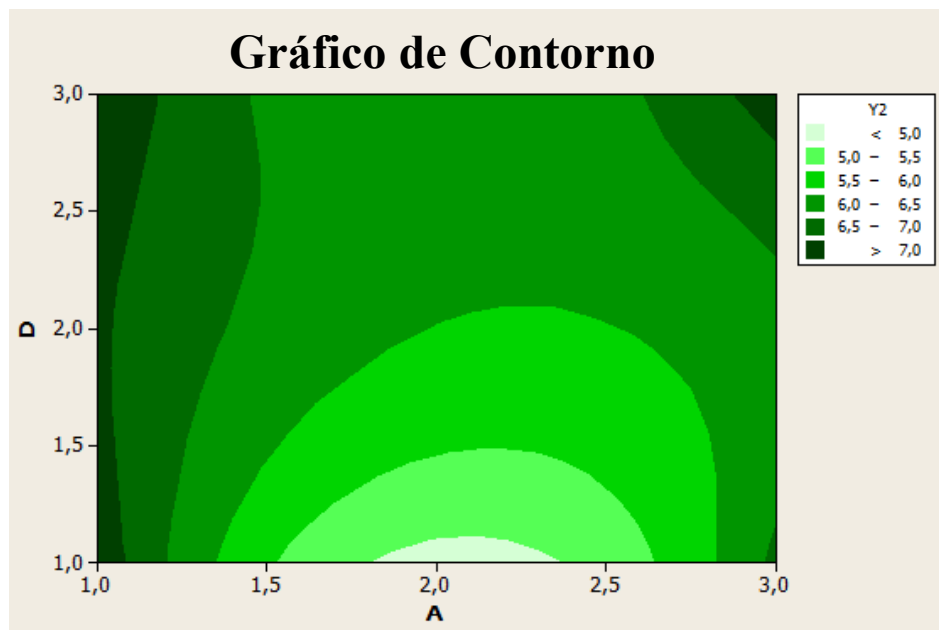


Figura 14 – Configuração entre A e D quanto ao kg de resíduos.

Conclui-se pela figura que para obter se uma menor porcentagem de perda no processo, é recomendável operar o fator A na condição 2 e o parâmetro D na condição 2.

Por fim também se realizou a análise gráfica da interação entre os fatores A e D, mas agora tomando como referencia a variável resposta número de correções por ensaio como mostra a Figura 15.

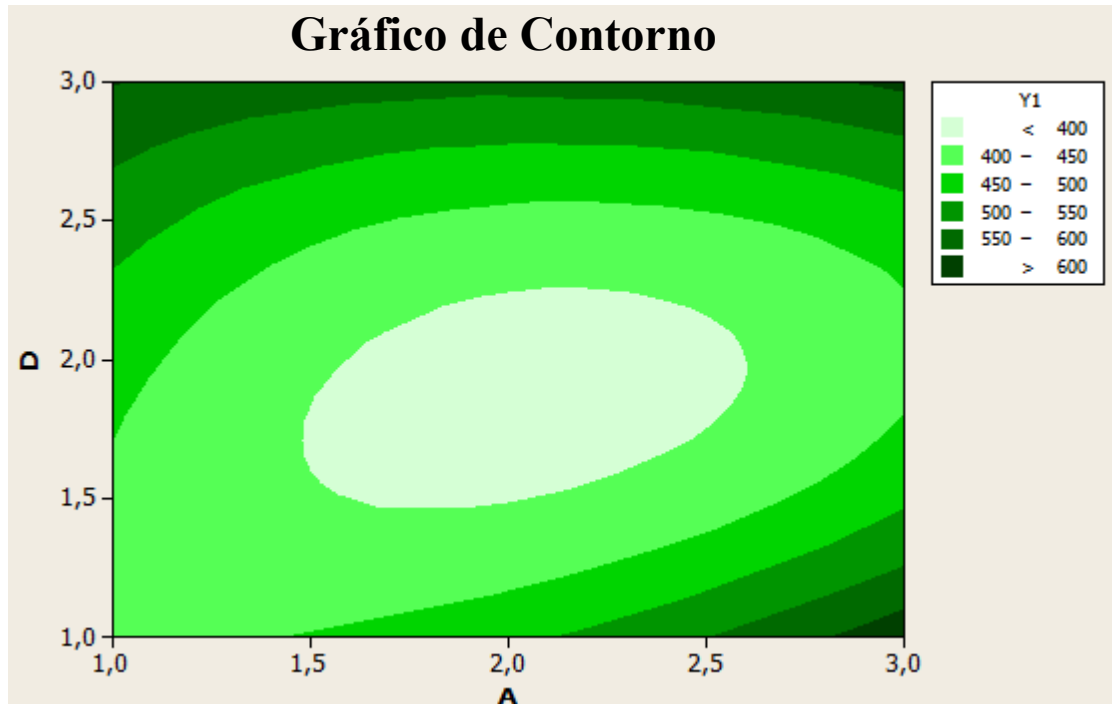


Figura 15 – Configuração entre A e D quanto ao número de correções.

Pela Figura 15 é possível afirmar que o fator A, novamente apresenta a configuração ótima no nível 2 enquanto a variável D, diferente do estudo anterior, apresenta agora como melhor configuração o nível intermediário como condição ótima de funcionamento. Dessa forma por apenas o primeiro estudo (porcentagem de perda) ter tido significância quando analisado o P – valor na ANOVA foi realizado um ensaio de validação com os parâmetros em seus níveis ideais para essa variável resposta. A Tabela 7 mostra configuração do teste de validação

Tabela 7 - Configuração dos parâmetros de validação

	<b>FATOR A</b>	<b>FATOR B</b>	<b>FATOR C</b>	<b>FATOR D</b>
Nível	2	2	2	1

A Tabela 8 mostra a configuração utilizada pela empresa.

Tabela 8 – Configuração utilizada pela empresa

	<b>FATOR A</b>	<b>FATOR B</b>	<b>FATOR C</b>	<b>FATOR D</b>
Nível	2	1	2	2



A Tabela 9 mostra o resultado que compara as duas configurações.

Tabela 9 – Configuração Atual x Teste de Validação

	<b>Configuração Atual</b>	<b>Teste de Validação</b>
<b>Porcentagem de perda</b>	6,80%	6,20%

Após termino da validação verifica-se pela Tabela 9 uma melhora do processo na ordem de 0,6% por hora de ensaio realizado.

Considerando a economia de 0,6% foi calculado quanto essa economia corresponde em kg diário e a economia mensal em reais (R\$). Sabendo que por hora de ensaio na velocidade de 17 cm/s do fator A, a média de Kg processado é de 229,7 quilogramas. O Quadro 9 mostra a economia de quilogramas por hora.

Quadro 9 – Economia (kg/hora)

<b>Consumo (kg / hora)</b>	<b>Economia (% / hora)</b>	<b>Economia (kg / hora)</b>
229,70	0,60%	1,38

O dispositivo funciona em apenas um turno diário de 8 horas durante seis dias na semana, entretanto como cada hora de ensaio equivale à uma hora e quinze minutos do turno, sendo esses 15 minutos o tempo utilizado para *setup*, limpeza do setor e eventuais paradas ocorridas durante o processo. Assim tempo útil diário do dispositivo é de 6 horas e 24 minutos. Com esses dados pode-se calcular a economia em quilogramas diário e a economia mensal em reais (R\$) apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Economia mensal

<b>Economia (kg / hora)</b>	<b>Preço (R\$/kg)</b>	<b>Turno (horas)</b>	<b>Economia Diária (kg)</b>	<b>Economia Diária (R\$)</b>	<b>Economia Mensal (R\$)</b>
1,38	23,50	6,40	8,82	207,28	4.871,11

Verifica-se um ganho de R\$ 4.871,11 mensais tornando o processo mais competitivo do que a sua atual condição. A economia no período de um ano corresponderia a um valor de R\$ 58.453,32.

## 5. CONCLUSÃO

O Trabalho estudou duas variáveis respostas sendo que a resposta porcentagem de perda obteve significância para  $\alpha$  igual a 5%. Dessa forma a hipótese inicial de que pelo menos um dos fatores teria influencia quanto ao controle operacional da máquina foi verificada com sucesso e validada por métodos estatísticos.

O ensaio de validação foi realizado com uma configuração diferente daquela existente e utilizado pela empresa, esse ensaio permitiu obter um percentual de perda na ordem de 6,2% comparado com os 6,8% de histórico da empresa. Essa economia de 0,6% no processo corresponde a um ganho na ordem de R\$ 4871,11 mensais, resultando em um processo mais competitivo.

Por fim conclui-se que o método de Taguchi foi uma boa alternativa para o problema em questão, considerando que para realização do experimento não foi exigido investimento em material ou equipamentos e que apenas 9 horas foram dedicadas para a coleta de dados, demonstrando a eficiência e importância desse método no ambiente fabril.

## 6. AÇÕES FUTURAS

Apesar de o processo ter obtido um resultado positivo entende-se que uma importante ação futura seria realizar uma segunda coleta de dados visando assim eliminar ou até mesmo verificar indícios de erros de medição durante os ensaios, principalmente naqueles em que a variável resposta numero de correções estava sendo analisada.

Uma ferramenta útil para verificar se houve erro de medição durante a coleta de dados é o teste GAGE R&R, teste que verifica a repetitividade e a reprodutividade dos ensaios. Sendo a repetitividade uma variação aleatória de sucessivas medições que tem como finalidade verificar a precisão das ferramentas de medição como no caso a balança utilizada nos ensaios, enquanto a reprodutividade mede como o processo responde a diferentes usuários, nesse caso os operadores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTIAN, E; ONISHI, Y. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. São Paulo: CETESB: SINDITÊXTIL, 2009.

BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. **Statistics for Experimenters**. New York: John Wiley & Sons. Inc., 1978. 653 p.

CALEGARE, J A. **Introdução ao delineamento de experimentos**. São Paulo: 1ª ed. Ed Edgar Blucher, 2001.

CATEN,S; Ribeiro, J, L. **Etapas na Otimização Experimental de Produtos e Processos: Discussão Estudo de Caso**. São Paulo: Revista da Produção, vol.6, nº1 São Paulo, 1996.

CARDOSO, A,A; CHAVES, C, A; SANTOS, Silvio N (Unitau) 2006. **Uso do delineamento de experimento em uma aplicação didática para engenharia**. São Paulo: Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, 2006.

COAN, C, D; KON, A. **Transformações da indústria têxtil brasileira: A transição para a modernização**. São Paulo: Revista de Economia Mackenzie, Ano 3, nº 3, 11-34p, 2007.

K.N. Ballantyne; R.A. van Oorschot a; R.J. Mitchell. **Reduce optimisation time and effort: Taguchi experimental design methods**. Melbore: Forensic Science International: Genetics Supplement Series 1, 2008.

LAUL, C,F et al. **Perspectives on chemical hazard characterization and analysis process at DOE**. Novo México: Division of Chemical Health and Safety of the American Chemical Society Elseiver Inc, 2005.

DEMIREL, S; HUANG, C, H; JORDAN, V; MAGHSOODLOO, S; OZDEMIR, G. **Strengths and Limitations of Taguchi's Contributions to Quality, Manufacturing, and Process Engineering.** Estados Unidos: Alabama, 2004 p 91.

MAZUNDAR,S, K; Hoa, S, V **Application of Taguchi method for process enhancement of on-line consolidation technique.** Montreal: Concordia Center for Composites, Department of Mechanical Engineering, Concordia University, 1995

MOITA, N,V,C. **Implementação do método Taguchi e análise de experiências na fase de testes de moldes para injeção de plásticos.** Lisboa:: Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica – UNIVERSIDADE TECNICA DE LISBOA, 2007

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments.** John Wiley & Sons, 5 ed., 2001. p 699

PAIVA, A. P. **Metodologia de Superfície de Resposta Multivariada – Uma proposta de otimização para processos de manufatura com múltiplas respostas correlacionadas.** Itajubá: Tese de Doutorado –UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá 2006.

ROSS, P. J. **Aplicações das Técnicas Taguchi na Engenharia da Qualidade.** Editora Makron, McGraw-Hill. São Paulo,1991.

REYES, A,E,L. **QUALIDADE TOTAL - DIAGRAMA DE ISHIKAWA.** Piracicaba: DME-ESALQ/USP, 2011. Disponível em <<http://www.esalq.usp.br/qualidade/ishikawa/pag1.htm>>, acessado dia 28 de Outubro de 2011.

SOUZA, O, A .**Delineamentos de Experimentos em Ensaios Fatoriais Utilizados em Preferência Declarada: Uma Aplicação em Benchmarking.** Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol. 8, nº 1, Jan/Jun 2006

SMITH, R,W ; TAWFIK T. A. **Employing the Taguchi method in optimizing the scaffold production process for artificial bone grafts.** Ontario: Journal of materials processing technology, 2009.

VINCUNHA TEXTIL S/A. **Manual técnico de polyester.** Americana: 2008