

REDUÇÃO DA VARIAÇÃO DE GRAMATURA DAS FITAS AUTO-ADESIVAS DURANTE A APLICAÇÃO DO ADESIVO.

Edgar F. dos Santos¹ – santos_edgar@ibest.com.br

Julio M. Filho² – jmalva@conbr.jnj.com

(1) Graduando do Curso de Especialização Engenharia da Qualidade da Universidade de Taubaté.

(2) Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Resumo. O trabalho proposto tem como objetivo uniformizar a gramatura, o peso em gramas de adesivo sólido aplicado sobre sub-estrato de tecido, aplicando os métodos desenvolvidos por Taguchi. Durante o processo de aplicação, aparecem distorções principalmente na direção transversal, tanto na gramatura, como na espessura, acarretando custos adicionais para a empresa. O método Taguchi consiste em agregar conhecimentos de estatística, engenharia e das rotinas do processo produtivo para determinar quais são as variáveis envolvidas mais relevantes. Através de uma lista de todas as variáveis envolvidas, desenha-se uma matriz de priorização, onde são escolhidas as variáveis que se julgam mais importantes para o processo. Com estas variáveis elabora-se o projeto de experimento DOE, método para se obter dados do processo de forma organizada, rápida e econômica. Com base nesta solução, faz-se um experimento comprobatório para verificar a melhoria alcançada. A metodologia empregada envolve estudos sobre processos e resultados estatísticos. Palavras-chave: Adesivos, Taguchi, Processo, Custo.

REDUCTION OF THE VARIATION OF GRAMATURE OF SELF-ADHESIVE RIBBONS DURING THE APPLICATION OF THE ADHESIVE.

Abstract. The proposed paper has as objective standardized the application of adhesive gramature. It is one of the production phases in order to manufacture a product to treat wounds. During the application on the production process is observed many weight distortions, mainly on the cross direction. These kinds of problems impact the adhesives' gramature and thickness increasing manufacturing costs. In order to study the manufacturing problem the Taguchi's Method is used. This method is composed by statistic knowledge, engineering and productive routine process to determine what are the relevant variables involved on the production process that is impacting the process negatively. As one of the phases of the Taguchi's Method, a prioritization matrix is worked out using a list of production process variables. After that is chosen the most important variables to the process. With those important process variables, a second method called DOE (Design of Experiments) is utilized. It is a method to obtain process dates in an organized, fast and economic way. In sequence, with the sample of variables is calculated a signal / noise's relation for each variable and through its results the relevant variables are obtained to get the optional solution to the process. Finally, with the results an experiment is done to verify and testify the improvement obtained. As conclusion the Taguchi's Method has decreased the process variations and, as consequences, improvements on the uniformity of adhesive application, better precision and a decrease in the manufacturing cost are reached.

Key words: Adhesives, Taguchi, Process, Cost.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade é um fator básico na decisão dos consumidores para produtos e serviços. Com isso, o aperfeiçoamento da qualidade é uma atividade essencial na maior parte das organizações para manter seus clientes e conquistar novos mercados, além de tornar novos produtos e tecnologia mais competitiva. No século XIX, os esforços para eliminar as variações inerentes ao processo eram muitas vezes bem sucedidos devido à simplicidade de seus produtos manufaturados. Atualmente, com a maior complexidade dos sistemas de fabricação e montagem, grande atenção é despendida no controle da variação das características do produto em torno do valor nominal (PROVOST e NORMAN, 1990). A partir de 1984, tem ocorrido uma mudança de pensamento com relação à qualidade e à tecnologia da engenharia através da aplicação dos Métodos de Taguchi. Embora esta mudança tenha ocorrido lentamente devido às controvérsias estatísticas, esta tecnologia está começando a promover os maiores efeitos nos produtos do que qualquer outro conceito ou método individual apresentado, conforme relata (SULLIVAN, 1987). Método Taguchi é uma abordagem da engenharia de qualidade "off line" (fora da linha) que busca aumentar a robustez dos produtos por meio da diminuição dos efeitos dos parâmetros "ruídos" (medida de performance) no seu desempenho. O método Taguchi, Projeto Robusto pode ser entendido como uma nova abordagem da qualidade voltada para o projeto do produto e do processo. Segundo Taguchi (1990), a qualidade é medida pelo desvio que uma característica funcional apresenta em relação ao valor esperado da mesma. Os fatores chamados "Ruídos", temperatura, umidade, poeira, deterioração, causam desvios e resultam em perda de qualidade do produto. Este prejuízo pode ser avaliado através de uma função perda que foi inicialmente proposta pelo professor (TAGUCHI, 1990). A proposta do método Taguchi é a de determinar a função perda do produto e aperfeiçoala empregando técnicas estatísticas e matemáticas que são ferramentas úteis para o desenvolvimento, melhoria e otimização de processos produtivos. Essas técnicas são igualmente importantes para o projeto e desenvolvimento de novos produtos, bem como para a melhoria de produtos existentes e é uma ferramenta que determina qual a importância da relação entre qualidade e preço. Nesse contexto, é particularmente importante aplicar essas técnicas na identificação de fatores que influenciam alguma característica de qualidade de processos ou produtos. Através das análises realizadas dos dados estatísticos, consegue-se identificar os parâmetros ótimos de projeto que minimizam ou atenuem as influências dos fatores ruídos no desempenho do produto. Assim, em lugar da tendência tradicional de isolar o produto dos fatores ruído, o que pode ser de difícil execução e/ou encarecer o processo produtivo, o método de Taguchi ambiciona realizar projetos que atenuem os efeitos dos fatores ruído no produto. O estudo deste trabalho é realizado no processo de adesivagem de fitas auto-adesivas cuja função é de proteger as articulações durante a prática de esportes que exigem esforços nestas áreas. Para a melhoria do processo de adesivos, deixando uniforme a gramatura é proposto neste trabalho o uso do Método de Taguchi, onde será estudada a importância da relação entre qualidade e preço, sendo necessário um equilíbrio entre a perda da qualidade e o preço do produto. O preço representa para o consumidor uma perda na hora da compra, e a baixa qualidade representa uma perda adicional para ele durante o uso do produto. Um dos objetivos deste método deve ser redução da perda total para o consumidor. (TAGUCHI, 1990). Estabelecida deste modo uma relação qualidade-preço, deve-se prever uma perda de qualidade nas etapas de projeto, do processo é da produção do produto. Considerando que produtos não-conformes quando identificados, não são enviados ao mercado, Taguchi argumenta que somente produtos que são entregues causam problemas da qualidade aos consumidores. Por esta razão, uma perda causada pela não-expedição de produtos nãoconformes deve ser considerada como custo e não como perda da qualidade. A perda da qualidade é definida como o prejuízo que certo produto causa à sociedade a partir do momento em que é liberado para a venda. (TAGUCHI, 1990). Baseando-se neste conceito, o custo de uma variação do processo que gera uma nãoconformidade ocorre à insatisfação dos clientes, que por sua vez, conduzem os custos de reputação da empresa. Os custos da qualidade foram abordados pela primeira vez por Juran na publicação do livro Quality Control Handbook, em 1951, que sinalizava aos gerentes os impactos das ações de qualidade sobre os custos industriais, em especial os decorridos das falhas internas e externas nos produtos. Juran demonstrou com base em fatos e dados a evidência dos custos da qualidade ou da não qualidade e que o ideal seriam ações preventivas para reduzir custos.

Devido a todas estas informações de custos de não qualidade de um produto, é realizado o estudo da variabilidade do processo de adesivação. E para o desenvolvimento deste estudo, é necessário conhecer os conceitos teóricos de Taguchi sobre variabilidade que consiste em estudar as seguintes idéias centrais: fontes de ruídos, qualidade robusta, controle de qualidade off-line e on-line, função perda, relação sinal/ruído é etapas básicas. Aqui as características principais da idéia deste método são: os custos são as características mais importantes de um produto; os custos não podem ser reduzidos sem influência da qualidade; a qualidade pode ser aumentada sem aumentar os custos; os custos podem ser reduzidos através da melhoria da qualidade. Pelos princípios apresentados, a redução da variabilidade e, conseqüentemente a melhoria da qualidade, estão intrinsecamente ligadas aos custos. A meta, portanto, é reduzir as variáveis funcionais a fim de atingir a melhor qualidade com o custo mais baixo através da função perda, que o resultado implicará em uma melhor satisfação econômica para o produtor e usuário.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para o desenvolvimento deste artigo, foram desenvolvidas pesquisas na Internet e em leituras sobre controle estatístico da Qualidade, Matriz de Priorização, Engenharia Robusta usando Métodos Taguchi e Relação Sinal/Ruído.

2.1 Controle estatístico da qualidade

A Estatística é uma ciência que utiliza teorias probabilísticas para explicação de eventos, estudos e experimentos. Tem por objetivo obter, organizar e analisar dados, determinar as correlações que apresentem, tirando delas suas conseqüências para descrição e explicação do que passou e previsão e organização do futuro. A Média - A média aritmética é mais a utilizada, que é obtida dividindo-se a soma das observações pelo número delas. É um quociente geralmente representado pela letra M ou pelo símbolo \bar{x} . Se tivermos uma série de N valores de uma variável x, a média aritmética simples será determinada pela Equação 1:

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Medidas de variabilidade - É necessário indicar junto com a média uma medida de variabilidade. As medidas mais usadas são: o desvio padrão, variância e a amplitude. Amplitude R - O valor obtido da subtração entre o maior e menor números observados Variância - Na teoria da probabilidade e na estatística, a variância de uma variável aleatória é uma medida da sua dispersão estatística, indicando quão longe em geral os seus valores se encontram do valor esperado, segundo a Equação 2.

$$S^2 = \frac{1}{n-1} * \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

Desvio padrão - É a medida mais comum da dispersão estatística. O desvio-padrão define-se como a raiz quadrada da variância. É definido desta forma de maneira a dar-nos uma medida da dispersão que seja: um número não negativo; use as mesmas unidades de medida que os nossos dados. Quando o desvio padrão é pequeno, os valores observados estão concentrados em torno da média, enquanto que valores elevados de S indicam uma grande dispersão.

$$S = \sqrt{S^2} \quad (3)$$

2.2 Matriz de Priorização

Para a construção de uma matriz de priorização primeiramente é necessário o conhecimento das rotinas do processo produtivo para determinar quais são as variáveis de entrada envolvidas mais relevantes. Após o conhecimento das variáveis de entrada devem ser seguidas as seguintes etapas para a construção de uma matriz de priorização. Descrição da matriz de priorização: Etapa 1. Relacionar todas as variáveis de entrada a serem priorizadas (Ex: Temperatura extrusora; Tela de extrusora; Pressão extrusora; etc) X_j , $j = 1...m$. Etapa 2. Definir as variáveis de saída (Ex: Gramatura; Espessura) Y_i , $i = 1...n$. Etapa 3. Dar peso as variáveis de saída em relação ao grau importância no processo (Usar pontuações: 1-Fraca, 5-Moderada e 9-Forte) P_i , $i = 1...n$. Etapa 4. Pontuar as variáveis de entrada em relação ao grau de importância nas variáveis de saída (Usar pontuações: 1-Fraca, 5-Moderada e 9-Forte) N_{ji} Etapa 5. Para obter o valor total da importância de cada variável de entrada no processo, seguir conforme a fórmula abaixo:

$$V_j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_{ji} * P_i \quad (4)$$

Exemplo:

$$V_1 = \sum_{i=1}^2 N_{1i} * P_i \Rightarrow V_1 = N_{11} * P_1 + N_{12} * P_2 \Rightarrow V_1 = 9 * 5 + 1 * 9 = 54$$

Etapa 6. As variáveis a serem priorizadas serão aquelas com maiores valores totais.

Tabela 1. Matriz de priorização.

		Y1	Y2	
	Variáveis	Gramatura	Espessura	Total
X_i	Nota/Peso	5	9	V_i
X1	Temperatura extrusora	9	1	54
X2	Tela da extrusora	1	1	14
X3	Pressão extrusora	1	1	14
X4	Freio superior	5	5	70
X5	Freio inferior	1	5	50
X6	Temperatura da massa	5	1	34
X7	Banco de massa	5	1	34
X8	Temperatura cilindro superior	9	5	90
X9	Temperatura cilindro central	9	5	90
X10	Temperatura cilindro inferior	5	9	106
X11	NDC alvo	9	9	126
X12	Pressão do roll bender	9	9	126
X13	Pressão cilindro inferior	5	9	106

2.3 Método de Taguchi

O Método Taguchi tem como objetivo determinar a função perda do produto, otimizando o processo produtivo, através da melhoria das variáveis controláveis do processo, utilizando técnicas estatísticas para minimizar o efeito do ruído, com isto tornando o produto mais robusto. Assim, em lugar da tendência tradicional de isolar o produto dos fatores ruído, o que pode ser de difícil execução e/ou encarecer o processo produtivo, o método de Taguchi ambiciona realizar projetos que eliminem os efeitos dos fatores ruído no produto. Fontes de Ruído - Ruídos ou fatores de perturbação são os fatores que causam a variabilidade da função do produto. Fontes de Variação: podem ser controláveis (arranjo interno), como por exemplo, setup, matéria-prima, etc ou incontroleáveis (arranjo externo ou ruído), como por exemplo, variáveis ambientais, deterioração, desgaste, imperfeições, etc. São de difícil eliminação. Qualidade Robusta - É uma abordagem para a garantia da qualidade, também chamada de método Taguchi em referência ao seu criador, com enfoque no projeto do produto e do processo e no controle da estabilidade de processos e produtos, principalmente de manufatura. Seu princípio fundamental é de assegurar uma qualidade consistente, deve-se procurar projetar produtos que sejam insensíveis a despeito de flutuações que venham ocorrer no processo de produção e no ambiente de uso do produto, ou seja, o produto e o processo de produção, devem ser projetados de modo que o seu desempenho seja o menos sensível a todos os tipos de ruídos. Controle de Qualidade "off line" (ou fora da linha) - São os esforços aplicados à qualidade do projeto, o que inclui qualquer atividade de projeto e desenvolvimento que ocorre antes da fabricação do produto. É o controle da qualidade aplicado durante o projeto do produto e durante o projeto do processo. Tem como objetivos reduzir a variação, reduzindo a sensibilidade do produto a certas fontes de variação ao invés de controlar essas fontes, é também de selecionar apropriados níveis para parâmetros controláveis. Controle de Qualidade "on line" (ou na linha) - É o controle de qualidade exercido durante a produção ou manufatura do produto. Função Perda - São as perdas monetárias pagas pela sociedade, devido ao desvio da característica de desempenho do produto do seu valor ideal. Segundo TAGUCHI (1990), a perda da qualidade ocorre quando a característica funcional de um produto desvia-se do valor nominal, não importando o tamanho do desvio. Sinal de Ruído - A função perda de Taguchi (perda para a sociedade), e a relação sinal/ruído (S/N) são elementos críticos deste procedimento de otimização. A relação S/N é uma medida de desempenho, que serve para escolher os níveis das variáveis que melhor se comportam com o ruído. Este relação depende da média e da variabilidade. O Fluxo da Relação Sinal/Ruído (S/N) pode ser observado conforme Fig. 1 abaixo.

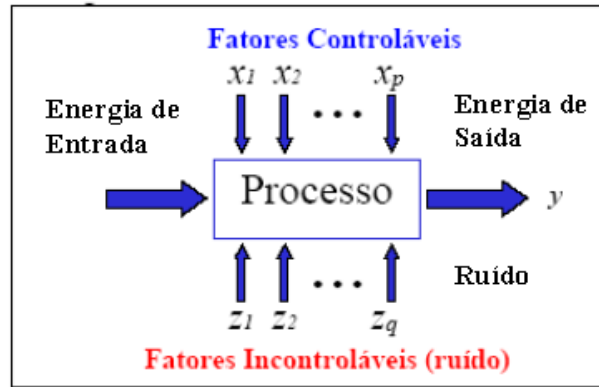


Figura 1. Fluxo da relação sinal-ruído

São definidas quatro formas de relação sinal/ruído, conforme as formulas 5, 7, 8, 9, relacionadas abaixo:

Nominal-Melhor

$$\eta = 10 \log_{10} \left(\frac{\bar{Y}^2}{S^2} \right) \quad \text{trocar a formula}$$

(6)
onde;

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (5)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (6)$$

Menor-Melhor

$$n = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (7)$$

Maior-Melhor

$$n = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (8)$$

Dinâmica-Melhor

$$\eta = 10 \log_{10} \frac{\beta^2}{S_e^2} \quad (9)$$

Onde:

η = Transformação Sinal/ Ruído medido em decibéis (dB);

n = Número de medidas em cada rodada;

y_i = i -nêssima resposta observada para cada rodada;

\bar{y} = Média das respostas observadas para cada rodada;

s^2 = Variância das respostas observadas para cada rodada;

s_e = Desvio Padrão dos erros de estimativa da reta proposta;

β^2 = Slop (inclinação da reta);

s = Desvio padrão;

2.4 Descrição das etapas para a implementação de um projeto de experiências, Engenharia Robusta.

A Metodologia de Taguchi para implementar a idéia do controle robusto consiste basicamente dos seguintes passos: formulação do problema, planejamento do experimento, análise dos resultados e confirmação do experimento (se a meta for atingida, adotar os novos níveis. Se a meta não for atingida, voltar na formulação do problema). Formulação de Problema Nesta etapa realiza-se a identificação dos fatores através de uma matriz de priorização (ruído e fatores principais do ambiente e processo de fabricação) e os parâmetros de produto (processo) relevantes. Para cada um deles são previstas as possíveis influências e interações com os demais. Esta é uma etapa importante, pois a não consideração de um determinado fator ou parâmetro pode distorcer ou impedir a obtenção da função perda, a qual irá guiar os projetistas em direção ao projeto mais robusto. A formulação do problema envolve as seguintes etapas: determinar as características da resposta: Menor melhor, Maior melhor, Nominal melhor; listar as variáveis que afetam a resposta do produto (ou processo) e classificá-las em controláveis ou incontroláveis, listar os pares de fatores cuja interação podem potencialmente afetar na característica de resposta; decidir sobre os níveis de cada fator. Usualmente dois níveis por variável resultam em um número menor de experimentos, mas algumas características podem ser sacrificadas, como por exemplo, a monotonicidade da resposta.

Planejamento do Experimento

Depois de finalizar o projeto e protótipos do produto realiza-se a etapa de planejamento da coleta de dados experimentais. Estes dados irão permitir a construção da função perda e da relação sinal /ruído. Isto é feito utilizando-se conceitos de planejamento de experimentos, em especial os planejamentos fatoriais. Aliás, o emprego destes planejamentos é uma das características fundamentais do método Taguchi. Para realizar o planejamento deve-se iniciar pela escolha do tipo de planejamento, ou seja, pela escolha da matriz ortogonal que melhor se aplica ao problema. A escolha das matrizes depende principalmente do número de fatores e da quantidade de corridas (ou seja, de casos de experimentos) que poderiam ser realizados conforme a disponibilidade de tempo e custo. Em seguida são especificados valores para os diferentes níveis dos parâmetros. Com estes dados basta aleatorizar as corridas e programar a realização dos ensaios. Ao final deste trabalho, com o plano de testes 'em mãos', são realizados os ensaios e as coletas de dados respeitando os cuidados exigidos pelo tipo de teste específico. Este passo envolve duas fases, que são o projeto da Matriz do Experimento e a Condução dos Experimentos juntamente com a coleta

de dados. O Planejamento de Experimentos (Design of Experiments, DOE) é uma técnica utilizada para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletadas durante um determinado experimento, buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo. É, portanto, uma técnica de extrema importância para a indústria, pois seu emprego permite resultados mais confiáveis economizando dinheiro e tempo, parâmetros fundamentais em tempos de concorrência acirrada. A sua aplicação no desenvolvimento de novos produtos é muito importante, onde uma maior qualidade dos resultados dos testes pode levar a um projeto com desempenho superior seja em termos de suas características funcionais como também sua robustez.

Análise dos Resultados

É realizada uma otimização dos parâmetros do produto levando-se em consideração a relação sinal/ruído. Isto significa obter um modelo estatístico desta relação com os dados coletados no experimento e aplicar, neste modelo, técnicas de otimização para encontrar os valores dos parâmetros ótimos dos produtos. Ao final desta etapa tem-se um conjunto de valores de parâmetros (ou características) do produto que tornam seu desempenho robusto e estável em relação às características ambientais e às variações do processo. A análise dos resultados pode ser de dois tipos: análise da Média: Definição dos níveis ótimos dos fatores em termos de desempenho; análise da Variância: Determinação da importância relativa dos vários fatores e avaliação do erro.

Experimento de Confirmação

Como os níveis ótimos dos parâmetros obtidos anteriormente são frutos de um modelo estatístico e, portanto uma aproximação da realidade deve-se realizar uma etapa de validação dos resultados encontrados, ou seja, verificação dos níveis ótimos especificados para os parâmetros. Isto é feito conduzindo um experimento com um protótipo cujos parâmetros são ajustados conforme os valores ótimos obtidos na fase anterior. Os resultados deste experimento devem coincidir com àqueles encontrados por meio do modelo, dentro, é claro, da devida margem de segurança. Caso isto ocorra significa que o modelo obtido é confiável e, portanto podem-se aprovar estes parâmetros como especificações para o projeto. Ao contrário, ocorrendo uma significativa diferença entre os modelos, devem-se reavaliar os resultados dos experimentos e seu planejamento. Provavelmente algum parâmetro do produto ou fator ruído não tenha sido considerado ou algum problema tenha ocorrido durante a condução dos experimentos, entre outras possíveis distorções. A finalidade nesse estágio do projeto é verificar se as condições ótimas sugeridas realmente são melhorias. Se essas novas condições não oferecem melhorias, deve-se concluir que o modelo adotado não é bom. Alguns recursos devem ser ainda tentados: encontrar uma melhor função Sinal Ruído (S/R); rever os fatores, níveis e arranjos; considerar interações entre os fatores.

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso realizado consiste na aplicação da Engenharia Robusta, utilizando o método de Taguchi em uma empresa do setor de produtos adesivados farmacêuticos. O objetivo é de melhorar a combinação de fatores de controle que alteram a gramatura e a espessura de adesivos depositados em sub-estratos, com isto, tornando o produto de melhor qualidade e reduzindo o custo.

3.1 Formulação do problema

A empresa realizou o estudo, constatou a má qualidade e o alto custo para a fabricação do produto semi-acabado de Tapes, devido a isto, foi realizado este projeto no processo produtivo com o intuito de melhorar a uniformidade da espessura e da gramatura dos adesivos que estavam impactando em perdas do produto e gerando baixo rendimento para a empresa. A equipe de pesquisa e desenvolvimento aplicou para a resolução do problema o método de Taguchi para a análise das causas das variações do processo, cujas principais causas apontadas na matriz de priorização são: temperatura da extrusora, freio superior, temperatura do cilindro superior, temperatura do cilindro central, temperatura do cilindro inferior, NDC alvo, pressão do roll bender e a pressão do cilindro inferior. A calandra é o principal equipamento do processo de tecido adesivado, onde foram estudadas as possíveis variáveis e detectadas principais causas das variações. Estas causas foram detectadas e estudadas através da análise do processo produtivo, em que foram relacionadas todas as possíveis variáveis com o auxílio do Brainstorming e diagrama de causa e efeito - Ishikawa, duas ferramentas muito importante na detecção da causa raiz, isto é, as variáveis do processo que poderia estar impactando na qualidade do tecido adesivado, conforme figura 2, que representa o processo que está sendo estudado.

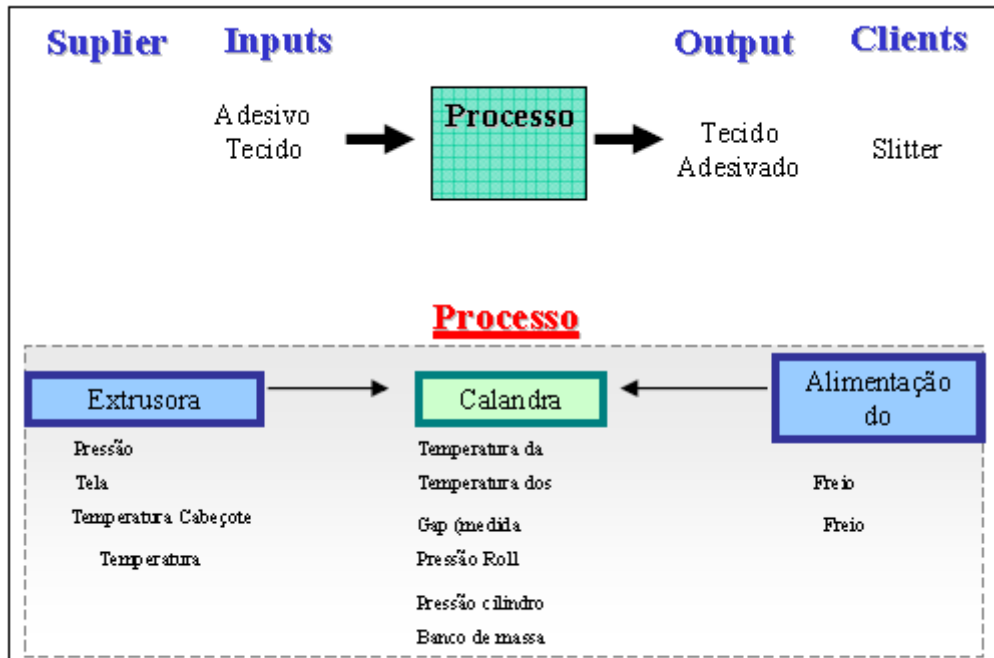


Figura 2. Processo de formação do tecido adesivado.

Os fatores de controle do processo foram testados em três experimentos em diferentes níveis, conforme Tab. 2 abaixo.

Tabela 2. Fatores de Controle do Processo.

Fatores de Controle	Nível 1	Nível 2	Nível 3
A. Pressão cilindro inferior (Op / Drv)	72/75	77/80	
B. Temperatura extrusora	140	150	160
C. Temperatura rolo central	55	60	65
D. Temperatura rolo inferior	85	90	95
E. Temperatura rolo superior	115	120	125
F. Tensão no freio superior	85	95	105
G. Leitura do NDC (Alvo)	85	90	95
H. Pressão do Roll Bending (bar)	25	35	45

Interação entre fatores de ruídos e fatores de controle, permite a detecção para atingir a robustez, que é obtido através da análise via relação sinal/ruído. O melhor método de aumentar a eficiência da pesquisa é obter resultados de experimentos de pequena escala que possam ser usados na produção em alta escala. A interação entre os fatores de ruídos e fatores de controle, quando não analisados corretamente pode distorcer e impedir a função perda, a qual a equipe de pesquisa e desenvolvimento está trabalhando para alcançar o projeto mais robusto. Para o cálculo da relação sinal/ ruído do processo de calandragem de adesivos sólidos foi utilizado a equação 9 (nominal-melhor) do método de Taguchi, que é constituída por dois elementos: variância e posição relativa da média da característica de desempenho de uma série de produtos. Portanto, para se minimizar a perda para a sociedade, a característica do produto deve estar centralizada no valor nominal e a variância daquela característica precisa ser reduzida.

3.2 Planejamento do Experimento

Para a execução do planejamento do experimento, é necessário construir a melhor matriz ortogonal da metodologia de Taguchi, estabelecendo 18 experimentos, conforme Tab. 3 abaixo:

Tabela 3. Arranjo Ortogonal $L_{18} (2^1 3^7)$

Experimento Nº	Variável							
	Pressão	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Tensão	NDC	Pressão
	Cil. Inferior	Extrusora	Cil. Central	Cil. Inferior	Cil. Superior	Freio Sup	Alvo	Roll Bender
Unidade	bar	°C	°C	°C	°C	lb	g/m2	bar
1	72/75	140	55	85	115	85	85	25
2	72/75	140	60	90	120	95	90	35
3	72/75	140	65	95	125	105	95	45
4	72/75	150	55	85	120	95	95	45
5	72/75	150	60	90	125	105	85	25
6	72/75	150	65	95	115	85	90	35
7	72/75	160	55	90	115	105	90	45
8	72/75	160	60	95	120	85	95	25
9	72/75	160	65	85	125	95	85	35
10	77/80	140	55	95	125	95	90	25
11	77/80	140	60	85	115	105	95	35
12	77/80	140	65	90	120	85	85	45
13	77/80	150	55	90	125	85	95	35
14	77/80	150	60	95	115	95	85	45
15	77/80	150	65	85	120	105	90	25
16	77/80	160	55	95	120	105	85	35
17	77/80	160	60	85	125	85	90	45
18	77/80	160	65	90	115	95	95	25

3.3 Análise dos Resultados

Após realizar os experimentos do arranjo ortogonal, os diferentes valores da espessura e gramatura coletados do processo são utilizados no cálculo sinal/ruído, após o cálculo é analisado os resultados obtidos e escolhida a melhor combinação das variáveis. No cálculo da Relação Sinal/Ruído foi utilizado a fórmula Nominal-Melhor. A Tabela 4 mostra a Relação Sinal/Ruído da gramatura.

Tabela 4. Relação Sinal/Ruído da Gramatura.

Exp. N°	Gramatura															Média	Desv Padrão	SR
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
1	93	84	89	87	91	100	93	96	91	96	94	83	85	83	91	90	5,18	24,84
2	98	91	91	90	99	94	96	98	92	93	93	82	86	83	93	92	5,12	25,08
3	101	94	94	95	94	96	89	92	88	99	101	97	104	102	95	96	4,65	26,3
4	93	81	84	82	95	95	81	83	83	96	109	95	94	95	105	91	8,77	20,36
5	95	86	94	92	99	90	86	96	93	91	93	86	90	84	90	91	4,23	26,66
6	96	94	98	94	99	99	88	90	87	96	97	85	88	85	96	93	5,1	25,2
7	89	88	93	89	103	88	83	87	85	86	84	85	89	97	87	89	5,26	24,55
8	92	91	95	88	89	97	94	102	95	99	95	92	90	88	95	93	4,03	27,3
9	86	81	82	81	86	98	93	100	97	100	93	87	92	90	96	91	6,7	22,64
10	91	86	88	84	95	91	83	87	84	91	96	96	93	93	98	90	4,85	25,4
11	95	86	89	87	97	108	99	102	101	107	113	106	109	107	113	101	8,94	21,08
12	91	88	94	95	95	92	87	90	85	91	94	84	86	82	88	89	4,16	26,66
13	91	91	101	96	91	99	94	101	98	95	94	87	92	90	95	94	4,13	27,16
14	91	82	81	82	95	100	89	92	92	103	92	91	92	92	104	92	6,92	22,47
15	97	101	105	95	100	101	96	104	101	105	92	85	87	90	100	97	6,35	23,7
16	100	94	97	94	100	92	85	88	87	97	94	83	92	89	94	92	5,15	25,07
17	100	91	98	95	99	92	87	90	90	99	90	85	90	87	96	93	4,88	25,56
18	99	91	97	91	83	98	91	92	90	97	105	105	110	106	109	98	8,02	21,71

A Tabela 5 mostra a Relação Sinal/Ruído da Espessura.

Tabela 5. Relação Sinal/Ruído da Espessura.

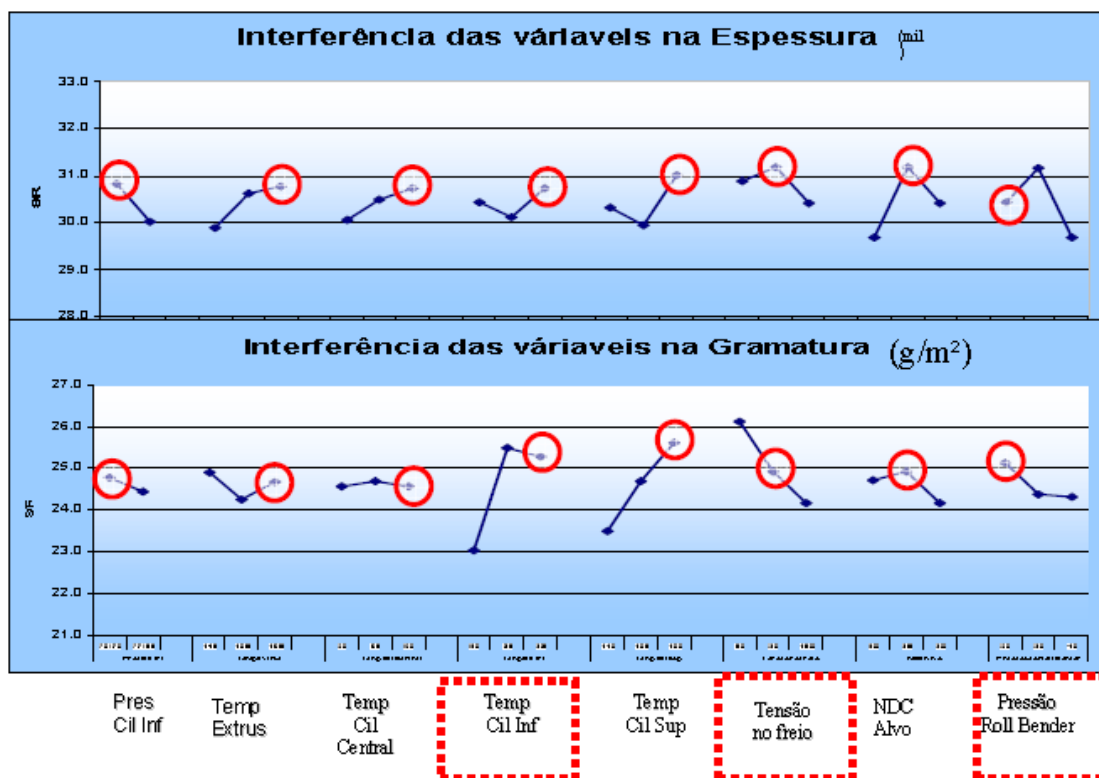
Exp. N°	Espessura																	Média	Desv Padrão	S/R				
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3				4	5	6	7
1	9,4	8,7	8,6	9	8,9	8,8	9	9,5	8,8	8,8	8,9	8,6	8,6	9	9,5	8,8	8,8	8,9	8,6	8,6	9	8,9	0,28	30
2	9,7	9,1	9,1	9,4	9,1	8,9	8,9	9,7	9,1	9,3	9,4	9,2	9,4	9,6	9,7	9	8,9	9,1	9	9,1	9,5	9,2	0,27	31
3	9,4	9	8,8	9,1	8,8	8,8	9,1	9,6	9,2	9,2	9,3	9	8,9	8,9	9,6	9,1	9,2	9,2	9	8,9	9,1	9,1	0,23	32
4	9,3	8,7	8,7	8,8	8,6	8,8	9,4	9,1	8,8	8,8	8,8	8,6	9,2	9,8	10	9,2	9	9,1	8,8	8,9	9,2	9	0,37	28
5	9,2	8,7	8,9	9	8,7	9,3	9,5	9,3	8,7	9	9	8,7	9	9,4	9,3	8,6	8,7	8,8	8,7	9	8,9	9	0,27	30
6	9,4	9	9,2	9,2	8,8	9	9	9,2	9	9,1	9,1	9	9,1	9,2	9,4	8,9	8,9	8,9	8,8	8,6	9,4	9,1	0,21	33
7	9,3	9	8,9	9,3	8,8	8,8	9,2	9,3	8,7	8,9	9,1	8,7	8,6	8,6	9,2	9	9,1	9,1	8,6	8,6	8,9	8,9	0,25	31
8	9	8,6	8,8	9,3	8,8	8,7	9,1	9,4	9,1	9,1	9,2	8,8	8,8	8,9	9,4	9	9,2	9,2	8,9	8,7	8,9	9	0,23	32
9	9,1	8,8	8,6	8,5	8,3	8,4	8,7	9,1	8,8	8,8	9	8,8	8,6	8,8	9,3	8,8	8,9	9	8,6	8,7	8,8	8,8	0,24	31
10	9,6	9	8,8	8,9	8,7	9,1	9,5	9,5	8,9	9,1	8,9	8,7	8,8	8,8	9,5	9,4	9,5	9,5	9,1	9,1	9,5	9,1	0,32	29
11	9,4	9	8,8	9,2	9,1	9,1	9,1	9,7	9,1	9,3	9,1	9,1	9,2	9,6	10	9,5	9,4	9,4	9,5	9,5	9,5	9,3	0,29	30
12	9,6	8,7	9	9,3	8,7	8,7	8,7	9,5	9,4	9,4	9,5	9,5	9,2	9,1	9,2	8,6	9	9,2	8,7	8,4	8,4	9	0,38	27
13	9,4	8,7	8,9	9,1	8,8	8,7	8,8	9,3	8,8	9	9,1	9,1	9,3	9,1	9,4	9	8,8	9	8,8	8,8	8,8	9	0,22	32
14	9,3	8,5	8,6	8,7	8,6	8,8	9,2	9,5	8,9	8,8	8,7	8,7	8,7	9,4	9,5	8,9	8,8	8,7	8,7	8,7	9,4	8,9	0,33	29
15	9,4	9	9,1	9,4	9	8,8	8,9	9,1	8,7	8,8	9,1	8,8	8,7	8,8	9,3	8,9	9	9,1	8,8	8,7	8,7	9	0,22	32
16	9,3	8,7	9	9,1	8,9	9	9,2	9,2	8,6	8,6	8,8	8,5	8,7	9	9,4	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	9,4	8,9	0,28	30
17	9,6	9,1	9	9,2	9	8,9	9,5	9,5	9,1	8,9	9,2	8,8	9,1	9,2	9,4	9	9	8,8	8,7	8,9	8,9	9,1	0,25	31
18	8,7	8,6	8,9	9,1	8,9	8,7	8,5	9,2	8,8	9,1	9	9	8,6	8,5	9,4	9,2	9,2	9,5	9,4	9,3	9,4	9	0,32	29

Para minimizar a variabilidade, combinam-se os níveis dos fatores de controle que fornecem a maior relação Sinal/Ruído, conforme Tab. 6 abaixo:

Tabela 6. Relação Sinal/Ruído

	Espessura			Gramatura		
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 1	Nível 2	Nível 3
Pressão do Cilindro Inferior	A1 30,83	A2 30,02		A1 24,77	A2 24,31	
Temperatura da Extrusora	B1 29,89	B2 30,63	B3 30,76	B1 24,9	B2 24,26	B3 24,47
Temperatura do Cilindro Central	C1 30,06	C2 30,49	C3 30,73	C1 24,56	C2 24,69	C3 24,37
Temperatura do Cilindro Superior	D1 30,44	D2 30,11	D3 30,73	D1 23,03	D2 25,31	D3 25,29
Temperatura do Cilindro Inferior	E1 30,32	E2 29,94	E3 31,02	E1 23,31	E2 24,7	E3 25,62
Tensão do Freio	F1 30,69	F2 29,43	F3 30,96	F1 26,04	F2 22,94	F3 24,56
Medida NDC	G1 29,68	G2 31,18	G3 30,42	G1 24,72	G2 24,92	G3 23,99
Pressão Roll Bender	H1 30,43	H2 31,16	H3 29,69	H1 24,94	H2 24,37	H3 24,32

Os valores de parâmetro do produto encontrados, conforme assinalados na fig.3 abaixo, são as variáveis que serão necessárias para ocorrer a alteração, devido a isto tornando mais robusto o processo. A Figura 3 mostra os resultados da relação sinal/ ruído para as variáveis relacionadas com a espessura e gramatura do tecido adesivado:


Figura 3. Resultados da relação sinal/ ruído

Na apresentação da solução ótima o melhor nível para cada variável é aquele que obteve o maior resultado da relação sinal/ruído, sendo assim, a Tab. 5 representa o resultado da solução ótima:

Tabela 5. Resultado da Solução Ótima.

Resultado da solução ótima	
Variável	Nível
Pressão do Cilindro Inferior (Nível 1)	72/75 bar
Temperatura Extrusora (Nível 3)	160°
Temperatura Cilindro Central (Nível 3)	65°
Temperatura Cilindro Superior (Nível 3)	125°
Temperatura Cilindro Inferior (Nível 3)	95°
Tensão do Freio (Nível 2)	95
Medida NDC (Nível 2)	90
Pressão Roll Bender (Nível 1)	25

3.4 Experimento de Confirmação

Nesta fase, será apresentada a aplicação da solução ótima, ou seja, os melhores níveis de cada variável, os níveis ótimos dos parâmetros obtidos, passam por uma etapa de validação dos resultados, conduzindo o experimento a parâmetros ajustáveis dentro da margem de segurança com isto deixando o modelo confiável para a aprovação dos novos parâmetros como sendo as especificações do projeto. A Fig. 4 representa o resultado da aplicação da solução ótima.

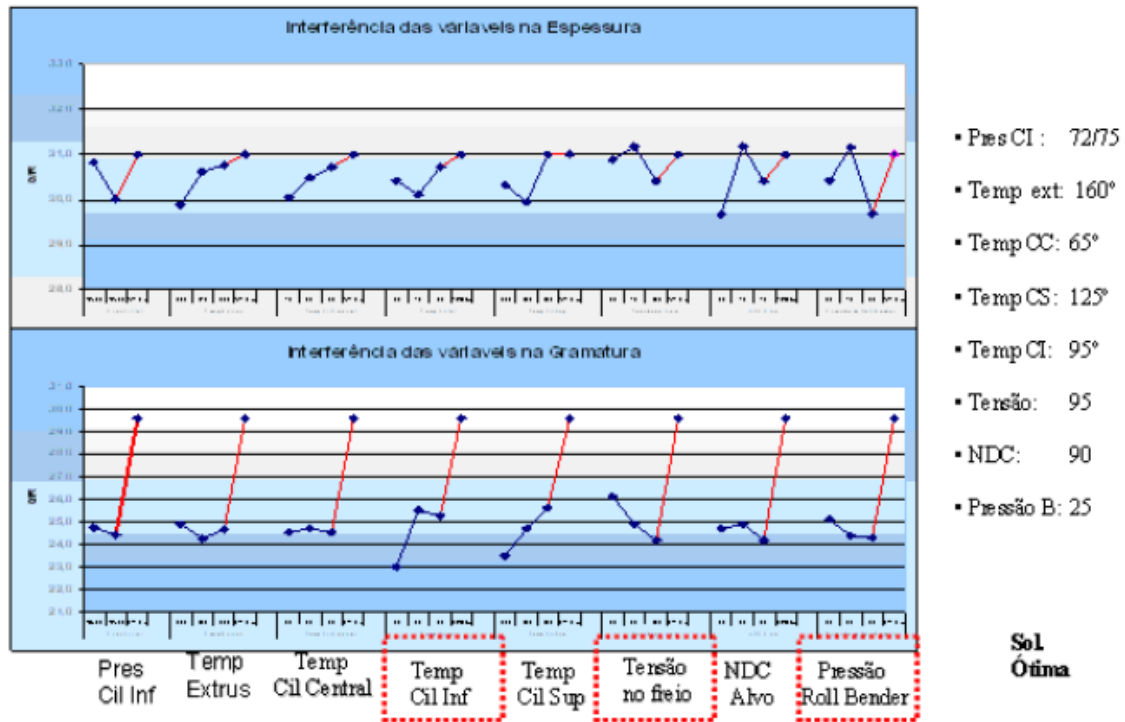


Figura 4. Resultados da aplicação da solução ótima.

4. CONCLUSÕES

Com a necessidade de sempre estar melhorando para atender o mercado, às organizações exigem que seus processos produtivos sempre estejam sendo otimizados até que conquiste um parâmetro confiável, tudo isto com o objetivo de estarem reduzindo seus custos e de melhorar a qualidade. Estas melhorias no processo é uma questão vital para o funcionamento de uma organização, pois é necessário assegurar a credibilidade dos clientes através de aplicações de inovações nos processos, com o intuito de tornar mais robustos. O estudo apresentado utilizando o método de Taguchi mostrou que é possível utilizar técnicas no processo produtivo, sem que sejam necessários investimentos tecnológicos, atingindo a satisfação do cliente, através da qualidade do produto e a redução do custo, que é um dos objetivos das empresas. O objetivo deste estudo foi de encontrar uma solução ótima de qualidade e custo para atender a constante cobrança do mercado. As organizações estão sendo sensibilizadas para adotarem novas posturas de comportamentos e de trabalho. Isto revela que o processo de melhoria contínua do processo, é fundamental para os conceitos modernos de engenharia de projetos, sendo então algo irreversível. O comércio global do cenário atual, mostra que as empresas conseguem se manter no mercado quando mudam sua postura no âmbito dos processos produtivos, melhorando intensivamente a qualidade dos produtos, e deixando seu processo cada vez mais flexível, tornando seu processo robusto e atendendo a exigência dos empresários na redução de custo. Conclui-se que a organização adequada para o sistema mercadológica no âmbito do controle do processo e a preservação do seu funcionamento eficiente, tende sempre em vista os clientes, resultando, por certo, em êxitos quanto à eficiência, eficácia e economicidade.

REFERÊNCIAS:

- AMARAL, Daniel. DOE(Design of Experiments). São Paulo, 1999. Disponível em: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/DOE.html#Informações>. Acesso em 21 mar. 2006.
- COLLIN, Luciana Renné de Oliveira; PAMPLONA, Edson Oliveira. A utilização da função perda de Taguchi na prática do controle estatístico de processo. Itajubá, 2001. Disponível em: <www.iem.efei.br/edson/download/Collin.doc>. Acesso em: 3 jun. 2006.
- CEV – Consultores em Engenharia do Valor. Método Taguchi. Lisboa, 2000. Disponível em: <http://www.cev.pt/ind-servicos.cgi?http://www.cev.pt/infotecnica/GestaoValor/Met_Taguchi.html>. Acesso em: 30 mai. 2006.
- DINIZ, Marcelo Gabriel. Desmistificando o controle estatístico do processo. 1. Ed. São Paulo: Artliber, 2001. p. 11-15.
- FERREIRA, Rita C.R.; SIQUEIRA, João R.C.. Planejamento e otimização de experimentos via método Taguchi: uma aplicação no processo de cromação de anéis. Itajubá, 2001. Disponível em: <www.iem.efei.br/dpr/td/dezembro2001/pdf/20td1201.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2006.
- FICAGNA, Nádia Carraro. História da estatística. Rio Grande do Sul, 2004. Disponível em: <www.pucrs.br/famat/viali/posgradua/educem/trabalhos/Word/Nadia.doc>. Acesso em: 30 jun. 2006.
- MOURA, Eduardo C.; SAMPAIO, Luiz Fernando. Engenharia robusta usando métodos Taguchi. 5.5 Ed. Campinas: Qualiplus, 1998. PRATES, Gláusia Aparecida. Ecodesign utilizando QFD, Método Taguchi e DFE. Florianópolis, 1998. Disponível em: <<http://www.deps.ufsc.br/teses98/glaucia/>>. Acesso em: 16 jul. 2006.
- TOLEDO, José Carlos; AZEKA, Fábio; AMARAL, Daniel Capaldo. Projeto robusto/Método Taguchi. São Paulo, 1999. Disponível em: <http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/Projeto_robustov5.html>. Acesso em: 30 mai. 2006
- WERRKE, Rodney; BORNIA, Antonio Cezar. Considerações a cerca dos conceitos e visões sobre os custos da qualidade. Curitiba, 2000. Disponível em: <http://www.fae.edu/publicacoes/pdf/revista_da_fae/fae_v3_n2/consideracoes_acerca_dos.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2006.
- WERKEMA, Maria Cristina Catarino. As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos. 6. Ed. Belo Horizonte: DG, 1995. p. 10-11.
- WIKIPÉDIA – A enciclopédia livre. Estatística. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Estat%C3%ADstica>>. Acesso em: 02 jul. 2006. WIKIPÉDIA – A enciclopédia livre. Média Aritmética. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9dia_aritm%C3%A9tica>. Acesso em: 02 jul. 2006.