



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO EM UMA FÁBRICA DE
LATAS DE ALUMÍNIO: UM ESTUDO DE CASO.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO
POR

PAULA LUCIANA PEREIRA DA SILVA

Orientadora: Prof^a. Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte

RECIFE, DEZEMBRO/2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANÁLISE DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO EM UMA FÁBRICA DE LATAS DE ALUMÍNIO: UM ESTUDO DE CASO.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco- UFPE - como requisito parcial para obtenção de Grau em Engenharia de Produção

RECIFE, DEZEMBRO/2009

S586a

Silva, Paula Luciana Pereira da.

Análise de um sistema de medição em uma fábrica de latas de alumínio: um estudo de caso / Paula Luciana Pereira da Silva. - Recife: O Autor, 2009. vi, 50 folhas, il : figs., tabs.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Curso de Engenharia de Produção, 2009.

Inclui Bibliografia.

1. Engenharia de Produção. 2. Sistema de Medição – Análise. 3. Fontes de Variação. 4. Alumínio - Produção . I. Título.

UFPE

658.5

CDD (22. ed.)

BCTG/2008- 230

“Um passo a frente e você não está mais no mesmo lugar.”

Chico Science

Agradecimentos

A Deus, que é o meu maior porto seguro, com a ajuda dele tive coragem e forças para ir além dos meus limites e chegar ao fim dessa pequena jornada.

A meus pais, pelo exemplo de honestidade, amor, compreensão e perseverança. Foi através de seus puxões de orelha e conselhos que consegui chegar até aqui. Obrigada por participarem comigo dessa caminhada e acreditarem em mim.

A meus irmãos que me ensinaram a dividir e conviver com o próximo.

A Rafael, pelo companheirismo e compreensão que foram fundamentais para conclusão desse trabalho.

A meus amigos e primos que conseguia me fazer rir independente do quão estressada e preocupada estivesse.

A Profa. Dayse Duarte pela orientação para elaboração desse trabalho.

A José Messias pela disponibilidade e dedicação a mim dispensada.

Aos Professores do Curso de Engenharia de Produção, principalmente as Profas. Denise Dumke e Gisele Sena, pelos conhecimentos proporcionados.

Aos Colegas de Curso, em especial Tarcila, Luana, Petra, Eugênia e Rafael, que tornaram os últimos anos mais fáceis e divertidos.

A empresa estudada pela oportunidade de realizar o estudo e pelo aprendizado contínuo.

Resumo

Este trabalho de conclusão de curso (TCC) tem como objetivo estudar o processo do sistema de medição em uma fábrica de latas de alumínio. Contudo, um sistema de medição é essencial para operação do sistema da qualidade no que diz respeito à melhoria contínua, porque qualidade, preço e prazo são fatores que determinam a competitividade de uma Empresa. No mercado atual, desvios da qualidade são gerados ao longo de todo o ciclo produtivo, fazendo o sistema de medição se tornar essencial para minimização/eliminação de desvios. Portanto, as decisões envolvidas no gerenciamento dos processos produtivos de uma empresa devem estar baseadas em dados, que são resultantes da realização de medições. Sendo assim é fundamental avaliar a confiabilidade dos sistemas de medição para que forneçam dados adequados para uma tomada de decisão. Vale ressaltar, que a obtenção das medições de algumas variáveis ou características de interesse estão associadas a um processo produtivo de bens ou de fornecimento de serviços. Este trabalho procurou demonstrar que para assumir como confiáveis os dados fornecidos pelos processos de medição é necessário conferir as fontes de variação associadas à medição e reduzir as variabilidade até um nível aceitável, em outras palavras, é necessária uma Análise do Sistema de Medição (MAS).

Palavras Chaves: Análise do Sistema de Medição, Fontes de Variação e Processo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Justificativa	9
1.2 Objetivos	10
1.2.1 Objetivo Geral	10
1.2.2 Objetivos Específicos	10
1.3 Metodologia	10
1.4 Estrutura do Trabalho	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Sistema de Medição	12
2.2 O que é medir?	12
2.3 Objetivo da medição	12
2.3.1 Monitorar	13
2.3.2 Controlar	13
2.3.3 Investigar	14
2.4 O Processo de Medição	14
2.5 Análise do Sistema de Medição	15
2.6 A variabilidade do processo	16
2.7 Terminologia	18
2.7.1 Discriminação	18
2.7.2 Vício ou Tendência	19
2.7.3 Linearidade	20
2.7.4 Precisão e Exatidão	21
2.7.5 Repetibilidade	21
2.7.6 Reprodutibilidade	21
3. Avaliação da Precisão	23
3.1 Análise de Variância (ANOVA)	23

3.2	Cálculo da precisão com base no método da Análise de Variância	24
3.2.1	<i>Estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R)</i>	25
4.	ESTUDO DE CASO	27
4.1	Descrição da Empresa	27
4.1.1	<i>A empresa na América do Sul</i>	27
4.1.2	<i>A Empresa em Pernambuco</i>	28
4.2	Processo de Fabricação de Latas	28
4.2.1	<i>Processo de Estampagem e Lavagem Química</i>	29
4.2.2	<i>Processo de Decoração e Armazenamento</i>	32
4.3	Análise do Sistema de Medição para Aplicação do Verniz Externo	34
4.3.1	<i>Observação</i>	34
4.3.2	<i>Estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R)</i>	38
4.3.3	<i>Melhorias</i>	40
4.3.4	<i>Estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R) após as Melhorias</i>	43
5.	Considerações Finais	47
5.1	Conclusão	47
5.2	Limitações e sugestões para Trabalhos Futuros	47
6.	Referências Bibliográficas	49

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 - Mecanismo de ação dos sistemas de controle.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2.2 - O Processo de Medição Inserido no Gerenciamento de um Processo Produtivo.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.3 - Variabilidade do Sistema de Medição - Diagrama de Causa e Efeito</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2.4 - Conceito de Discriminação.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2.5 - Conceito de Vício</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.6 - Conceito de Linearidade</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.7 - Relacionamento Entre os Conceitos de Vício, Precisão e Exatidão.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4.1 - Processo de Fabricação de Latas</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4.3 - Copo de Alumínio.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4.2 - Conformação da fita de Alumínio</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4.5 - Transformações no estiramento da lata.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4.4 - Transformações no estiramento da lata.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4.6 - Corte da Parte Irregular do Corpo da Lata</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4.7 - Sincronismo da Printer na pintura da lata</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4.8 - Lata após cura do verniz.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4.9 - Latas Acabadas</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4.10 - Paletizadora</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4.11 - Pallets.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4.12 - Distribuição de verniz nos diversos pontos de medição</i>	<i>35</i>
<i>Figura 4.13 - Pontos de medição ao longo da lata</i>	<i>35</i>
<i>Figura 4.14 - Pontos de contato e abrasão</i>	<i>36</i>
<i>Figura 4.15 - Sencon Distribuição de Camada e Dispositivo Auxiliar</i>	<i>36</i>
<i>Figura 4.16 - Ponto de Medição –Base.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4.17 - Bancada de Medição com Pouco Espaço</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4.18 - Pontos de Medição</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4.19- Sencon de Camada com Guias.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4.20 - Dispositivo auxiliar com pés.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4.21 - Novo Ponto de Medição – Base</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4.22 - Ilha de Testes</i>	<i>43</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 3.1 - Exemplo de Tabela ANOVA.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 3.2 - Formulário para cálculos</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 3.3 - Exemplo de Estudo de R&R</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 3.3.4 - Faixas de tolerância para um sistema de medição.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 4.1 - Descrição dos controles químicos e mecânicos de lavagem da lata</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 4.2 - Dados para Estudo de R&R.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 4.3 - Estudo de R&R –Topo.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 4.4 - Estudo de R&R – Meio.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 4.5 - Estudo de R&R – Base</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 4.6 - Dados para estudo de R&R Após Melhorias</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 4.7 - Estudo de R&R Após Melhorias – Topo</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 4.8 - Estudo de R&R Após Melhorias – Meio</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 4.9 - Estudo de R&R Após Melhorias – Base.....</i>	<i>46</i>

1. INTRODUÇÃO

A medição é uma operação antiqüíssima e de fundamental importância para diversas atividades do ser humano. Segundo Gonçalves Jr (2002) medir é uma forma de descrever o mundo. As grandes descobertas científicas, as grandes teorias clássicas foram, e ainda são formuladas a partir de observações experimentais e esta continua em todo desenvolvimento tecnológico. É através da medição do desempenho que se avalia e realimenta o seu aperfeiçoamento.

Há quem afirme que medir é fácil, porém cometer erros de medição é ainda mais fácil. De fato, existe uma quantidade elevada de fatores que podem gerar estes erros, conhecê-los e controlá-los é uma tarefa difícil.

Como o valor de medir é sempre desconhecido, não existe uma forma mágica de checar e afirmar que o número obtido de um sistema de medição representa a grandeza sob medição. Porém existem alguns procedimentos com os quais podem ser caracterizado e delimitado a quantificação dos erros que podem afetar os resultados.

A qualidade de uma medição se avalia pelo nível dos erros envolvidos. Porém, nem sempre se deve buscar o melhor resultado, com mínimos erros. Medir com mínimos erros é muito dispendioso. À medida que, a sociedade exige um maior padrão de qualidade por desejar erros cada vez menores, os custos parecem se elevar exponencialmente. A seleção do Sistema de Medição a empregar é uma ação de elevada importância que deve equilibrar as necessidades técnicas com os custos envolvidos.

1.1 Justificativa

De acordo com Bonifácio (2004), o grande desafio de um sistema de medição robusto para uma empresa é controlar as variáveis do processo produtivo dentro de um critério pré-estabelecido pelo sistema de qualidade. As decisões envolvidas no gerenciamento dos processos produtivos de uma empresa devem estar baseadas em dados, que sejam resultantes da realização de medições adequadamente confiáveis. Sendo assim é fundamental avaliar se os sistemas de medição fornecem resultados com baixos desvios para uma tomada de decisão gerencial.

É importante observar que a obtenção das medições das variáveis de um processo está associada diretamente a produção, as quais estão sujeita à atuação de diversas fontes de variação.

O Intuito deste trabalho é reduzir estas fontes de variação para atender as exigências do cliente e a necessidade de redução de custo da empresa simultaneamente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Levantar e avaliar os possíveis problemas do sistema de medição no processo de aplicação de verniz externo em latas de alumínio dentro do contexto da empresa, de forma a garantir a confiabilidade e a qualidade do sistema.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Revisar os conceitos da Análise do Sistema de Medição (MAS);
- Levantar as variáveis que interferem no sistema de medição quanto à aplicação do verniz externo em latas de alumínio;
- Propor ações de forma a minimizar/eliminar as fontes de erros;
- Avaliar os resultados da implantação dessas sugestões propostas.

1.3 Metodologia

A metodologia realizada para este estudo, consiste, primeiramente, numa revisão bibliográfica na literatura nacional e internacional sobre os conceitos de análise de sistema de medição na doravante chamada Empresa X e apresentação de propostas de melhoria para que a variabilidade diminua.

Para a realização deste trabalho foram necessárias as seguintes etapas:

- Etapa1: Revisão bibliográfica dos conceitos de análise de sistema de medição e Metrologia.
- Etapa 2: Estudo do sistema de medição atual com aplicação de ferramentas estatísticas como o R&R (Repetibilidade e Reprodutibilidade).
- Etapa 3: Proposta e aplicação de algumas melhorias;
- Etapa 4: Análise dos Resultados;

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em 4 capítulos. No primeiro capítulo são apresentados a justificativa, os objetivos gerais e específicos e a metodologia para sua realização.

O segundo capítulo é composto por dados teóricos que fundamentam o trabalho. Nele é apresentado conceitos e termos utilizados na análise do sistema de medição.

O terceiro capítulo trata do estudo de caso da aplicação da análise do sistema de medição em um dos processos de uma fábrica de latas de alumínio.

Por fim, o quarto capítulo reporta as conclusões e sugestões para desenvolvimento de trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos teóricos para um melhor entendimento do estudo de caso proposto neste trabalho. Sistema de medição, seus objetivos e o seu processo são alguns dos assuntos apresentados, como também a terminologia básica para a Análise do Sistema de Medição (MAS).

2.1 Sistema de Medição

O sistema de medição é o meio pelo qual as medições são efetuadas. Segundo Gonçalves Jr (2008), na Metrologia, os termos sistema de medição e instrumento de medição são equivalentes, ou seja, a expressão sistema de medição tem sido usada de forma abrangente para descrever qualquer meio de medição, incluindo os instrumentos de medição mais simples como: um paquímetro e termômetro, bem como aqueles compostos por vários módulos interligados, incluindo os equipamentos de testes de tração de materiais.

2.2 O que é medir?

Se procurarmos no dicionário a definição para a palavra “medir” iremos encontrar: determinar ou verificar, tendo por base uma escala fixa, a extensão, medida ou grandeza. (Ferreira,1988)

Gonçalves Jr (2008), afirma que medir é o processo pelo qual o valor momentâneo de uma grandeza física (mensurado) é determinado como múltiplo e/ou uma fração de uma unidade, estabelecida por um padrão, e reconhecida internacionalmente.

É através de um sistema de medição que a operação medir é efetuado: o valor momentâneo do mensurado é descrito em termos de uma comparação com a unidade padrão de referencia no sistema de medição. O resultado da aplicação deste sistema de medição ao estar mensurando é um número acompanhado de uma unidade de indicação. A indicação corresponde ao valor momentâneo do mensurado no instante da medição, e é composta de um número acompanhado da mesma unidade no sistema decimal do mensurado.

2.3 Objetivo da medição

Para Werkema (2006), as decisões envolvidas no gerenciamento dos processos produtivos de uma empresa devem estar baseadas em dados, que muitas vezes são resultantes

da realização de medições. Sendo assim é fundamental avaliar se os sistemas de medição que forneçam resultados confiáveis antes da tomada de uma decisão com base em dados gerados por esses sistemas.

“Realizar medições é tão importante, que é possível dizer que qualquer avanço em controle de qualidade depende do progresso dos sistemas de medição. Portanto, é óbvio que antes de analisar um processo devemos avaliar, sob pontos de vista da estatística e da engenharia, os métodos de medição utilizados.” (Ishikawa,1993 apud Werkema 2006 p.13).

Do ponto de vista técnico, a medição pode ser empregada para monitorar, controlar e/ou investigar.

2.3.1 Monitorar

Monitorar consiste em observar ou registrar passivamente o valor de uma grandeza. O interesse pode estar no seu valor momentâneo, no seu valor acumulado ou na sua evolução histórica.

2.3.2 Controlar

A operação de controle é sempre de natureza ativa.

Sistemas de controle têm por objetivo manter uma ou mais grandezas ou um processo dentro de limites predefinidos. A essência do mecanismo de ação do controle está esquematizada na figura 2.1. O mecanismo inicia-se com a medição de uma ou mais grandezas ligadas ao processo que se pretende controlar. O valor medido é comparado com o valor de referência e, em função do resultado comparativo, o sistema de controle atua sobre a(s) grandeza(s), ou preestabelecido no controle processo, para mantê-los dentro dos níveis desejados.

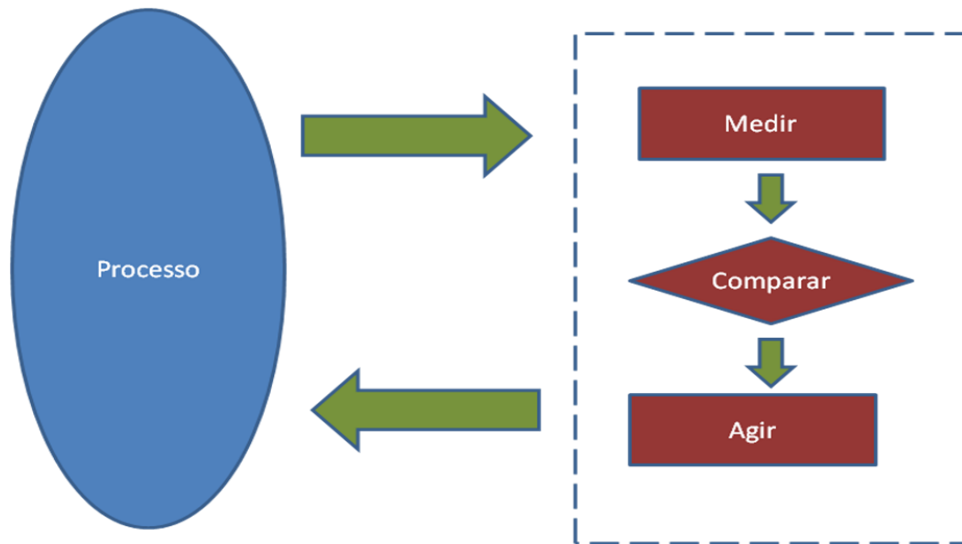


Figura 2.1 - Mecanismo de ação dos sistemas de controle

Fonte: Gonçalves Jr. (2008)

2.3.3 Investigar

A investigação requer postura proativa.

É na investigação que mais se exige dos sistemas de medição. Pequenas diferenças nas grandezas observadas podem revelar a existência de fenômenos até então desconhecidos. Dispor de sistemas de medição capazes de indicar com grande segurança essas pequenas diferenças e de pessoas capacitadas para distinguir essas diferenças das margens de incertezas é um dos maiores desafios da metrologia.

2.4 O Processo de Medição

A obtenção das medições de uma variável ou característica de interesse associada ao processo de produção de bens ou de fornecimento de serviços também estão normalmente associada a diversas fontes de variação.

A figura 2.2 mostra a relação processo de medição inserido no processo produtivo a ser gerenciado. É o processo de medição que vai dar subsídios para a tomada de decisão de ajustar ou não o processo produtivo.

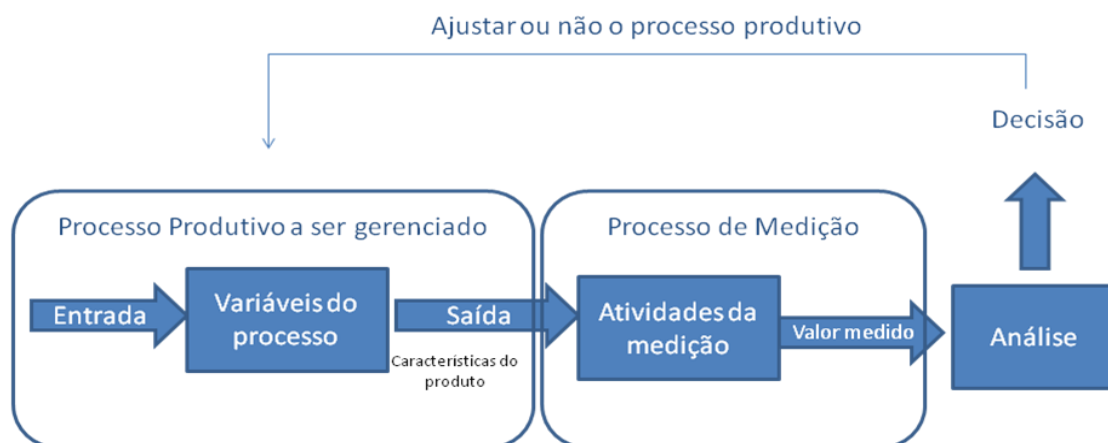


Figura 2.2 - O Processo de Medição Inserido no Gerenciamento de um Processo Produtivo

Fonte: Adaptado de Werkema (2006)

Infelizmente, a indústria tem tradicionalmente focado a atividade de medição e análise como fator isolado. O equipamento costuma ser o foco principal, quanto mais crítica for à característica a medir, mais dispendioso será o dispositivo de medição. A utilidade do instrumento, sua compatibilidade com o processo e com o ambiente, além do seu uso, são raramente questionadas. Conseqüentemente estes equipamentos de medição são muitas vezes usados de forma imprópria, devido ao fato de que não existe um sistema de aferição para o equipamento, bem como este não se encontrar em um ambiente, dentro dos padrões preestabelecidos por normas como: temperatura, pressão e umidade.

A atividade de medição e análise é um processo. Sobre este deve ser aplicado todas as normas técnicas de controle estatístico de processo.

Inicialmente, todos os clientes devem ser identificados levando em consideração suas necessidades de processo.

Os equipamentos críticos de processo são partes essenciais no sistema de medição. O gerenciamento de processo consiste em saber como usá-lo corretamente e como analisar e interpretar os resultados. A gerência deve por isso fornecer claras definições operacionais e padrões, bem como, treinamento e apoio. Por sua vez, o gerenciamento do processo tem por objetivo monitorar e controlar o processo de medição de modo a garantir resultados corretos e estáveis, que inclui uma completa visão de análise dos sistemas de medição.

2.5 Análise do Sistema de Medição

De acordo com Werkema (2006) quando a medição passa a ser visualizada como um processo sujeito à variabilidade isto é as incertezas, é primordial a percepção imediata da necessidade da quantificação das fontes de variação associadas à medição.

Portanto, é totalmente inapropriado assumir como verdadeiro que os processos de medição utilizados pela empresa fornecem dados confiáveis, sem que antes tenham sido quantificadas as fontes de variação associadas à medição. Os trabalhos conduzidos com esse objetivo são conhecidos como estudos para avaliação da capacidade de processos (ou sistemas) de medição/inspeção ou, mais resumidamente, como análise de sistemas de medição.

2.6 A variabilidade do processo

À semelhança de qualquer processo, o sistema de medição é impactado por ambas as fontes de variação, tanto a aleatória como a sistemática. Estas fontes de variação são devidas as causas comuns e causas especiais.

Segundo o Manual de referência Análise dos Sistemas de Medição (AIAG- Grupo de Ação da Indústria Automotiva, 2002), para controlar a variação do sistema de medição deve-se:

- Identificar as fontes de variação potenciais.;
- Eliminar (sempre que possível) ou monitorar essas fontes de variação.

Embora as causas específicas dependam da situação, algumas fontes de variação típicas podem ser identificadas. O acrônimo S.W.I.P.E. é utilizado para representar os seis elementos essenciais de um sistema de medição genérico que asseguram alcançar os objetivos requeridos. S.W.I.P.E. indica Padrão(*Standard*), Peça(*Workpiece*), Instrumento(*Instrument*), Pessoa/Procedimento (*Person/Procedure*) e Ambiente (*Environment*). Isto pode ser considerado como sendo um modelo de erro para um sistema de medição completo.

A figura 2.3, mostra um diagrama de causa e efeito com os seis elementos do acrônimo S.W.I.P.E.

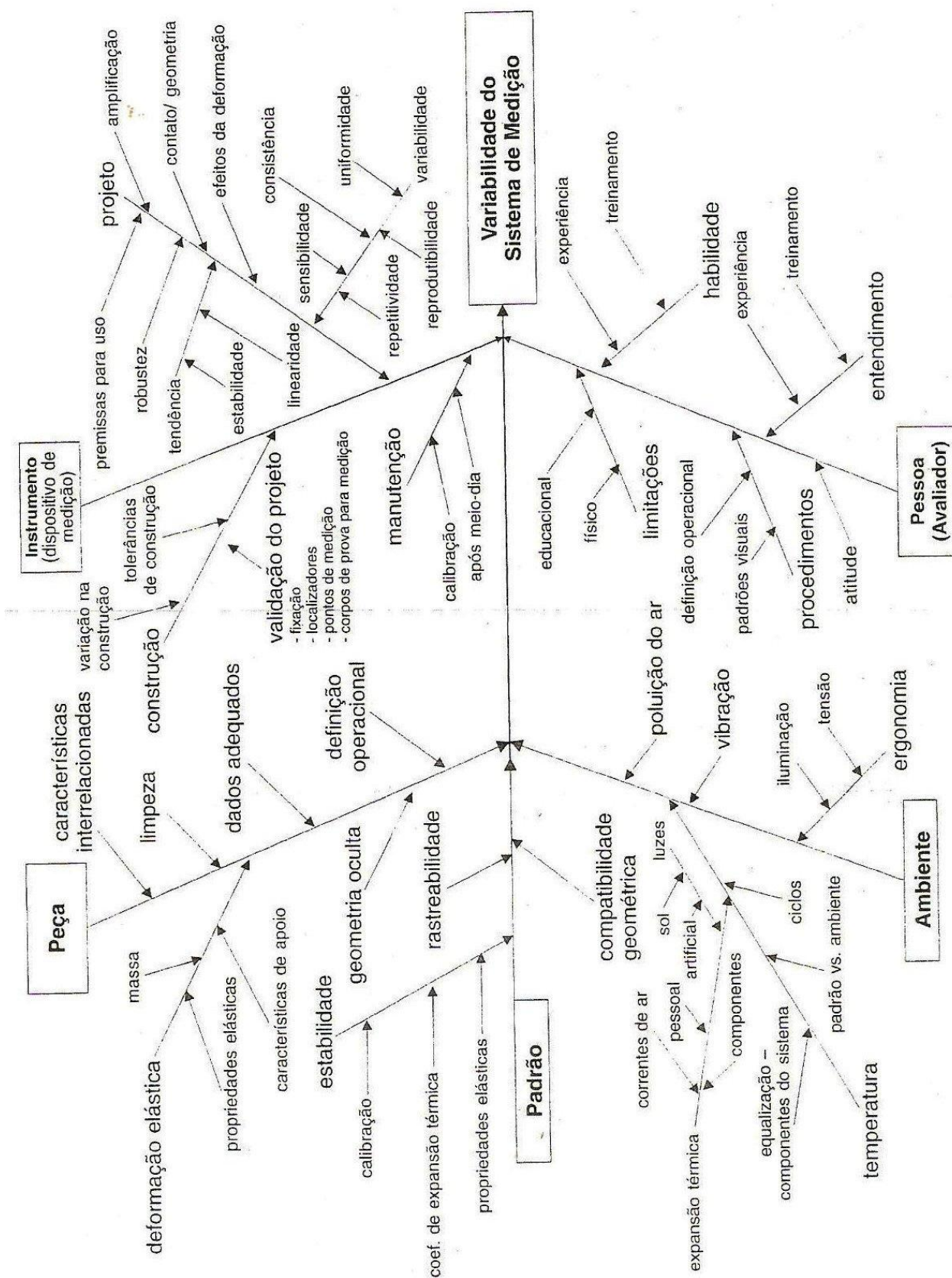


Figura 2.3 - Variabilidade do Sistema de Medição - Diagrama de Causa e Efeito

Fonte: AIAG- Grupo de Ação da Industria Automotiva, 2002

2.7 Terminologia

A discussão da análise do sistema de medição poderá se tornar confusa e mal conduzida se não houver um conjunto de termos estabelecido para descrever as propriedades estatísticas comuns e os elementos do sistema de medição associados. Portanto, nessa seção se apresenta a terminologia básica utilizada para a MAS. (*Measurement System Analysis*)

2.7.1 Discriminação

A análise do sistema de medição – MAS (*Measurement System Analysis*) é uma metodologia estatística desenvolvida para estudar e analisar o comportamento do sistema de medição e, proporcionar o aumento de confiança e certeza na leitura obtida nos instrumentos. De acordo com o Manual de referência Análise dos Sistemas de Medição (AIAG- Grupo de Ação da Industria Automotiva,2002), a discriminação é a quantidade de mudança com que a relação entre um valor de referência que um instrumento pode detectar seja confiavelmente indicado. A discriminação é também denominada de legibilidade ou resolução.

A medida desta capacidade é tipicamente o valor da menor graduação na escala do instrumento. Se o instrumento tem graduação ampla, então meia graduação poderá ser usada.

Se o sistema de medição não tem suficiente discriminação (sensibilidade ou resolução efetiva), ele pode não ser apropriado para identificar a variação do processo ou para quantificar os valores individuais da característica da peça.

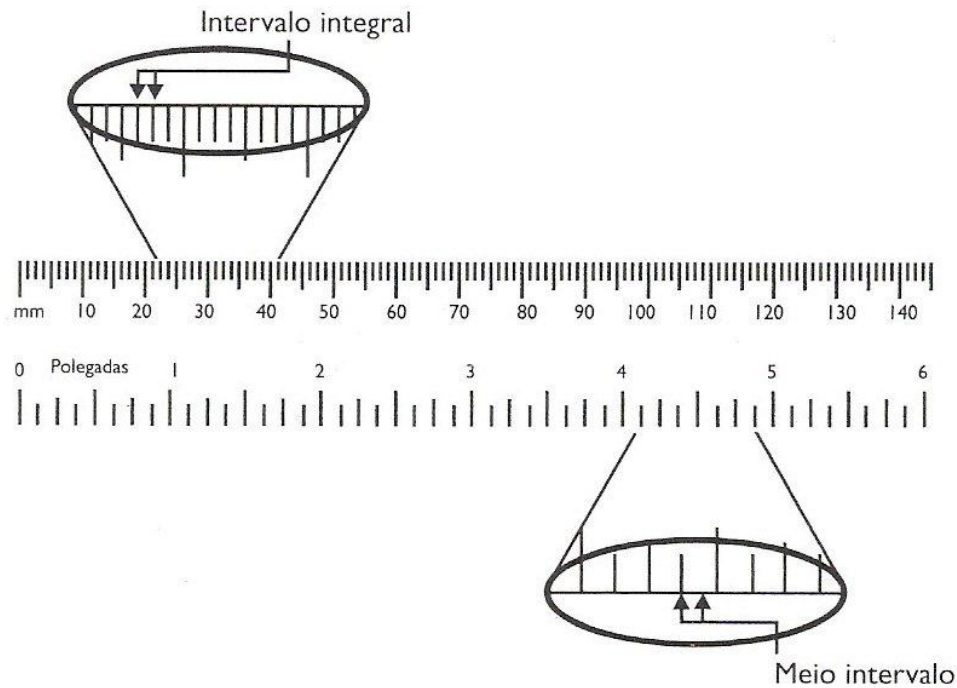


Figura 2.4 - Conceito de Discriminação

Fonte : AIAG- Grupo de Ação da Industria Automotiva,2002

2.7.2 Vício ou Tendência

O vício é a diferença entre o valor real da característica medida e a média de medições repetidas dessa característica. O vício representa uma superestimação ou subestimação sistemática do valor verdadeiro que está sendo medido.

O valor real da característica medida é, de fato, uma quantidade abstrata que será sempre desconhecida. No entanto, esse valor real pode ser estimado como a média das medidas da característica de interesse obtidas por meio do emprego de um equipamento de medição do mais alto nível que sabemos fornecer medidas confiáveis. A média das medidas obtidas nessas condições é denominada valor de referência e é então utilizada como valor real.

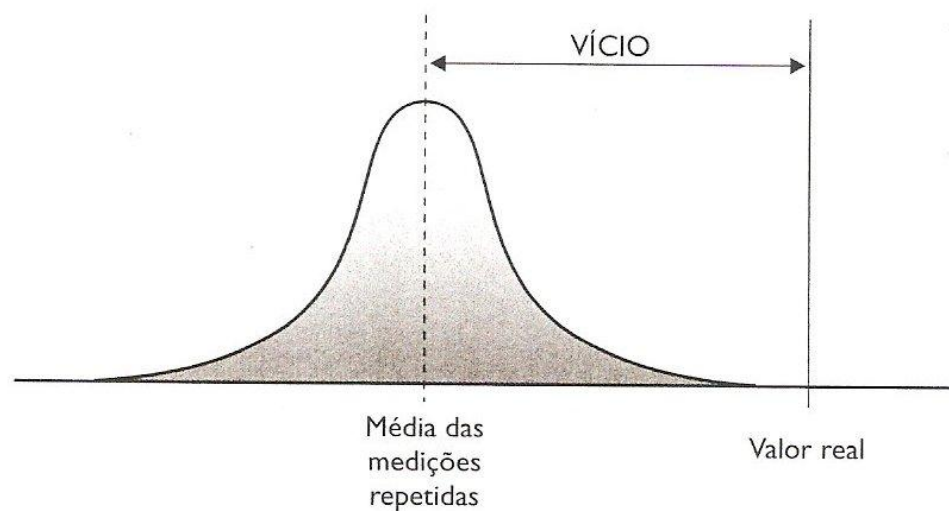
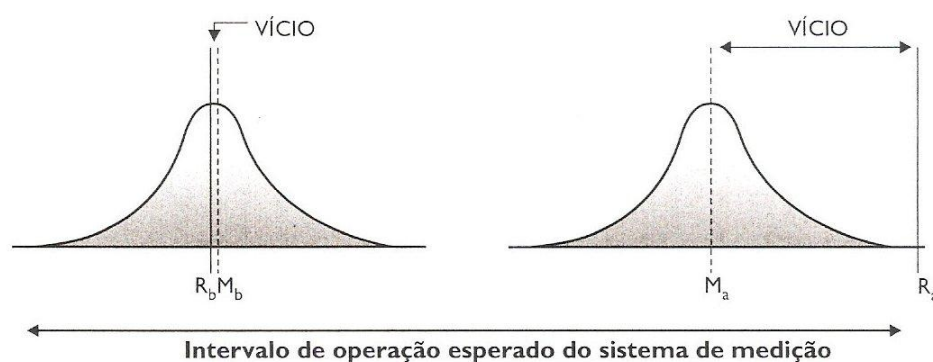


Figura 2.5 - Conceito de Vício

Fonte: Werkema(2006)

2.7.3 Linearidade

A diferença do vício ao longo do intervalo de operação esperado (medição) no equipamento é chamada linearidade. A linearidade pode ser imaginada como a variação da tendência com respeito ao tamanho (medido).



R_a e R_b = Valores reais

M_a e M_b = Médias das observações repetidas

Figura 2.6 - Conceito de Linearidade

Fonte: Werkema (2006)

2.7.4 Precisão e Exatidão

A precisão quantifica a proximidade entre as medidas individuais da característica de interesse geradas pelo sistema de medição.

Já a exatidão quantifica a proximidade entre o valor real da característica medida e os resultados fornecidos pelo sistema de medição.

A figura 7 mostra o relacionamento existente entre os conceitos de vício, precisão e exatidão.

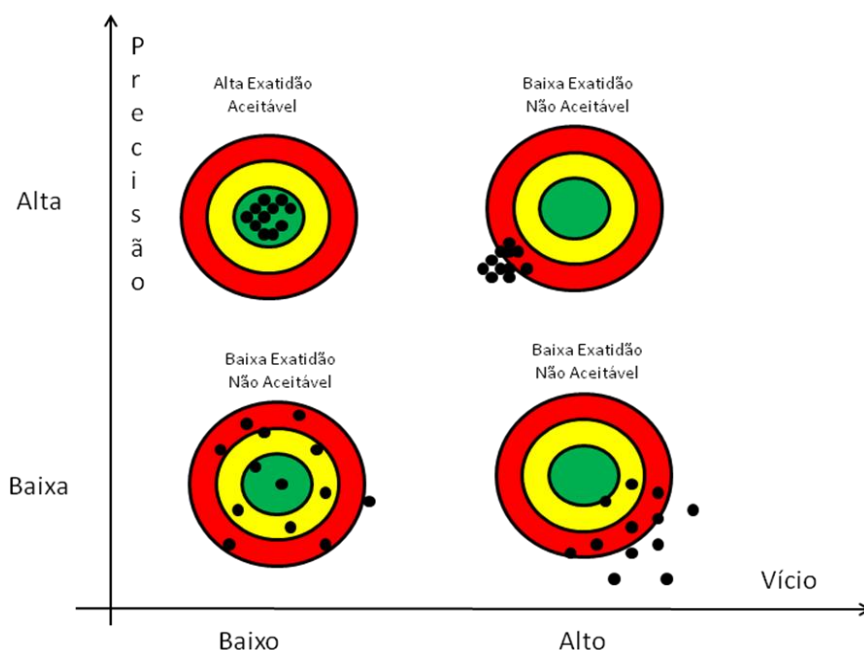


Figura 2.7 - Relacionamento Entre os Conceitos de Vício, Precisão e Exatidão

Fonte: Adaptado Werkema (2006)

2.7.5 Repetibilidade

A repetibilidade é conhecida como a variabilidade de um único avaliador. A repetibilidade é a variação das medições obtidas com um instrumento de medição, usado várias vezes por um avaliador, enquanto medindo uma mesma característica de uma mesma peça. Ela é a variação inerente ao equipamento, ou a capacidade do próprio instrumento.

2.7.6 Reprodutibilidade

A reprodutibilidade de um sistema de medição é a variação na média das medidas obtidas quando diferentes avaliadores utilizam o instrumento para medir repetidas vezes a característica de interesse dos mesmos itens. Isto é muito real para processos de medição

influenciados pela habilidade do operador. Contudo, não é real para processos de medição em que o operador não constitui na maior fonte de variação.

3. Avaliação da Precisão

Neste capítulo é apresentado o método de avaliação da precisão utilizado no estudo de caso. Análise de Variância, Cálculo da precisão com base no método da Análise de Variância e estudo de R&R são os assuntos tratados.

3.1 Análise de Variância (ANOVA)

Na ANOVA, testa-se a hipótese nula de que as médias de diferentes grupos ou processos sejam iguais (Breyfogle, 1999).

A *one-way* ANOVA é a análise de variância para um único fator controlável a vários níveis. Os experimentos feitos para cada nível do fator configuram os grupos. Cada nível do fator, na análise, corresponde a uma população com sua própria média. A média amostral é uma estimativa da média dos níveis para o total da população (Ribeiro e Caten, 2000; Breyfogle, 1999).

Os experimentos podem ser a nível fixo ou aleatório, dependendo se o efeito de cada tratamento é, respectivamente, fixo ou aleatório. Os resultados poderiam ser representados por um modelo estatístico aditivo, conforme equação abaixo, onde Y_{ij} é a observação j ($j = 1, \dots, n_i$) medida no tratamento i ($i = 1, \dots, k$), μ é a média geral de todas as observações, τ é o efeito do tratamento i e ε é o erro aleatório (Ribeiro e Caten, 2000).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

A análise de variância se baseia na decomposição da variabilidade total em suas partes componentes: a variabilidade entre níveis (grupos) e a variabilidade dentro do nível (grupo).

Os cálculos associados são realizados utilizando-se a chamada tabela ANOVA (Tabela 3.1), conforme formulário apresentado no Quadro 3.2 (Ribeiro e Caten, 2000).

Tabela 3.1 - Exemplo de Tabela ANOVA

Fonte de Variação	<i>SQ</i>	<i>GDL</i>	<i>MQ</i>	<i>Teste F</i>
Entre Grupos	<i>SQG</i>	<i>k-1</i>	<i>MQG</i>	<i>MQG/MQR</i>
Dentro Grupos	<i>SQR</i>	<i>N-k</i>	<i>MQR</i>	
Total	<i>SQT</i>	<i>N-1</i>		

Tabela 3.2 - Formulário para cálculos

$TC = \frac{(T_{..})^2}{N}$	Termo de Correção
$SQT = \sum (Y_{ij}^2) - TC$	Soma dos Quadrados Totais
$SQG = \sum \left(\frac{T_{i.}^2}{n_i} \right) - TC$	Soma dos Quadrados dos Grupos
$SQR = \sum (Y_{ij}^2) - \sum \left(\frac{T_{i.}^2}{n_i} \right) = SQT - SQG$	Soma dos Quadrados dos Resíduos
$T_{..}$ - soma de todas as observações	
$T_{i.}$ - soma das observações no grupo i	
GDL - número de graus de liberdade	
MQ - média quadrada	

A comparação do valor obtido no teste F indica a existência de diferença significativa ou não entre os grupos, respectivamente se o F calculado for maior ou menor que o F tabelado. Diferença significativa entre as médias dos grupos significa que a variabilidade entre grupos é maior que a variabilidade dentro do grupo devida ao erro aleatório.

3.2 Cálculo da precisão com base no método da Análise de Variância

Conforme definido no manual de referência Análise dos Sistemas de Medição (AIAG-Grupo de Ação da Indústria Automotiva, 2002), a Análise de Variância (ANOVA) é uma técnica estatística padrão que pode ser utilizada para analisar o erro de medição e outras fontes de variabilidade dos dados pertinentes a um estudo de sistemas de medição. Na Análise de Variância, esta pode ser decomposta em quatro categorias: peças e avaliadores e o erro de replicação devido ao dispositivo de medição (repetibilidade).

Uma vantagem do método da Análise de Variância é a sua capacidade de calcular a magnitude do efeito da interação entre avaliadores e unidades do produto (peças).

A ANOVA trabalha com as seguintes Hipóteses:

- H_0 : A interação entre avaliadores e peças não é significativa;
- H_1 : A interação entre avaliadores e peças é significativa.

Se o P-Value (O P da tabela 3.2) $\geq 0,25$, a interação entre avaliadores e peças não é significativa (isto é: vale a hipótese H_0);

Se o P-Value $\leq 0,25$, a interação entre avaliadores e peças é significativa (isto é: vale a

hipótese H_1) .

Quando $P > 0,25$ o software Minitab gera uma segunda tabela de ANOVA, omitindo o termo de Interação do modelo.

Tabela 3.3 - Exemplo de Estudo de R&R

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Medida Base

Gage name: Distribuição camada VE-Base

Date of study: 25/06/2009

Reported by: Paula Luciana

Tolerance: Min.:1,1 mg/inch²

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Amostra	4	11,3564	2,83911	203,602	0,000
Operador	2	0,5151	0,25756	18,470	0,001
Amostra * Operador	8	0,1116	0,01394	4,482	0,001
Repeatability	30	0,0933	0,00311		
Total	44	12,0764			

Alpha to remove interaction term = 0,25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,022963	6,82
Repeatability	0,003111	0,92
Reproducibility	0,019852	5,89
Operador	0,016241	4,82
Operador*Amostra	0,003611	1,07
Part-To-Part	0,313907	93,18
Total Variation	0,336870	100,00

Process tolerance = 1,1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,151535	0,90921	26,11	82,66
Repeatability	0,055777	0,33466	9,61	30,42
Reproducibility	0,140897	0,84538	24,28	76,85
Operador	0,127439	0,76463	21,96	69,51
Operador*Amostra	0,060093	0,36056	10,35	32,78
Part-To-Part	0,560274	3,36165	96,53	305,60

3.2.1 Estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R)

O R&R do dispositivo de medição é uma estimativa da variação combinada da repetibilidade e da reprodutibilidade. Dito de outra forma, o R&R é a variância resultante da soma das variâncias dentro do sistema e entre sistemas.

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{Reprodutibilidade}^2 + \sigma_{Repetibilidade}^2$$

$\sigma_{R\&R}^2$ – Variância do R&R do dispositivo de Medição

$\sigma_{Reprodutibilidade}^2$ - Variância devido à reprodutibilidade do sistema

$\sigma_{Repetibilidade}^2$ - Variância devido à repetibilidade do sistema

Este método é usado para comparar a variação do sistema de medição com a variação total do processo e/ou tolerância. Se a variação do sistema de medição representar grande

parte da proporção da variação total do processo, o sistema não é capaz de detectar a diferença existentes entre os itens.

O estudo formal de R&R é feito utilizando-se o método da média e amplitude. Este método permite distinguir a contribuição individual da repetibilidade e da reprodutibilidade para a variabilidade total do sistema. O estudo é conduzido de modo que 2 ou 3 operadores executem medições, em geral 2 ou 3 sobre uma mesma peça, para no mínimo 5 peças (Ribeiro e Caten, 2000).

Os critérios de aprovação do R&R podem ser o percentual de tolerância ou o percentual de contribuição.

Se o sistema de medição for usado para realizar comparações com a especificação do cliente, como no estudo de caso, o %tolerância será a melhor medida para avaliar a precisão do sistema de medição (GlobalTech). A tabela 2.1 abaixo mostra os limites para os critérios abordados.

Tabela 3.3.4 - Faixas de tolerância para um sistema de medição

Fonte: Globaltech

% Tolerancia	% Contribuição	O sistema é...
<10%	<1%	Aceitável
10%-30%	1% - 9%	Marginal
>30%	>9%	Inaceitável

4. ESTUDO DE CASO

Este Capítulo apresenta uma descrição da empresa estudada, o processo produtivo de latas de alumínio, bem como a análise do sistema de medição para aplicação do verniz externo e as melhorias realizadas durante o desenvolvimento deste estudo.

4.1 Descrição da Empresa

A Empresa estudada faz parte de um grupo britânico, doravante denominada de Empresa X, especializada na produção de embalagens para produtos de enlatados . Suas principais áreas de atuação ocorrem nos segmentos de embalagem, como: para bebidas (latas e vidros); alimentos (e plásticos) e Embalagens para cosméticos e produtos de beleza;

Ocupando a segunda posição na liderança do mercado de embalagens mundial, sendo líder global no mercado de embalagem para bebidas e embalagens plásticas. A Empresa tem sua sede em Londres, Inglaterra, com cerca de 24 mil empregados, constituindo um conglomerado de 100 fábricas distribuídos nos continentes americanos, europeus e asiáticos. Estas unidades fabris estão localizadas em 22 países destes continentes.

A principal atividade deste conglomerado de 100 fábricas é a produção de embalagens para bebidas que corresponde a 70% das vendas da empresa e outros 30% estão distribuídos entre os demais produtos deste conglomerado. A divisão responsável pela área de embalagens para bebidas se divide em três grupos: um situado na América do Sul, outro na América do Norte e um terceiro que compreende a Europa e Ásia.

Um Centro Tecnológico especializado em design gráfico, permite aos seus clientes o desenvolvimento de produtos personalizados (*Taylor Made*). Atualmente, este processo consiste em criar em tela virtual de rótulos para diferentes embalagens tanto em formatos como padronização de cores, tanto para embalagens em latas de tamanho pequeno porte (227 ml) como em lata de tamanho médio porte (340,5 ml) e grande porte (681 ml).

4.1.1 A empresa na América do Sul

Na América do Sul esta Empresa tem o seu escritório sediado no Brasil no Rio de Janeiro. Tendo como produto de maior destaque as latas de abertura rápida (*easy-open*) que são destinadas aos segmentos de cerveja, refrigerantes, aguardente, chá e sucos.

A empresa conta com cerca de mil empregados distribuídos nas oito unidades fabris em

operação na América do Sul: sendo uma unidade em Santiago- Chile; outra unidade em Buenos Aires- Argentina; e seis outras unidades no Brasil (Rio de Janeiro,Rio Grande do Sul, Mato Grosso, Distrito Federal, Manaus,Recife (2 fábricas)).

4.1.2 A Empresa em Pernambuco

Dentre as unidades fabris existentes no Brasil, duas delas estão localizadas no estado de Pernambuco no município do Cabo de Santo Agostinho, sendo uma unidade fabril de latas de alumínio e outra de tampas para latas. Em Pernambuco, esta unidade fabril de latas (340, ml) tem a capacidade para produção de 100 milhões de unidades latas de 340,5 ml.

4.2 Processo de Fabricação de Latas

O processo de fabricação de latas inicia com a conformação de uma fita de alumínio que é transformada em copo e depois na lata propriamente dita. Após esta etapa, a lata é lavada, secada, pintada e em seu interior é inserido um verniz de proteção. Nas etapas finais a lata tem seu pescoço formado sendo paletizada para armazenamento.

A figura 3.1 mostra um esquema do processo. No decorrer do capítulo o processo é explicado com mais detalhes, para isso o mesmo foi dividido em duas etapas: Processo de Estampagem e Lavagem Química; e Processo de Decoração e Armazenamento.



Figura 4.1 - Processo de Fabricação de Latas

Fonte: www.abralatas.org.br (2009)

4.2.1 Processo de Estampagem e Lavagem Química

O processo de formação de uma lata de alumínio por estampagem e estiramento envolve a deformação do metal ao formato e espessura desejados. A estampagem é responsável por dar forma à lata enquanto que o estiramento define a espessura de suas paredes. A lubrificação é um fator crítico em ambos os processos.

3.2.1.1 Formação do Copo

A bobina de alumínio é inserida em uma prensa vertical (*Cupper Minster*) na qual o lubrificante de copos é aplicado à superfície do alumínio para facilitar a operação de estampagem dos copos. O filme residual de lubrificante no copo ajuda na formação do corpo da lata. A figura 3.2 exemplifica a conformação da fita de alumínio em copo, que é mostrado na figura 3.3.

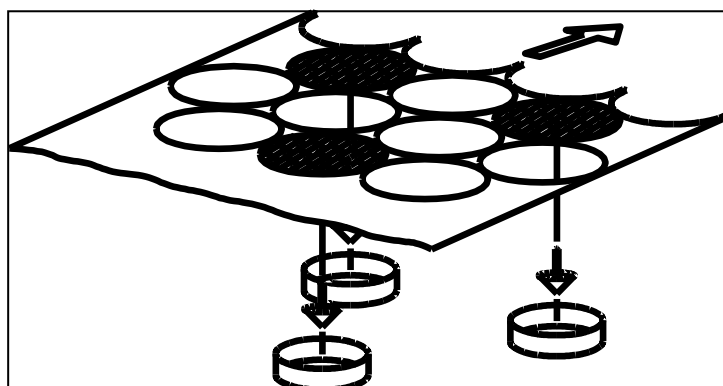


Figura 4.2 - Conformação da fita de Alumínio

Fonte: Empresa estudada (2008)

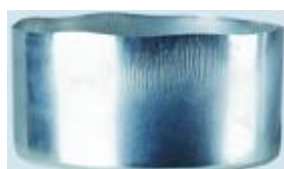


Figura 4.3 - Copo de Alumínio

Fonte: Empresa estudada (2009)

3.2.1.2 Formação da Lata

Através dos transportes os copos são levados para uma prensa horizontal (*bodymaker*) onde um lubrificante solúvel refrigerante (*coolant*) é usado para auxiliar a segunda operação de estampagem (*redrawing*) e a operação de estiramento que ocorrem na *bodymaker*. As

transformações que a lata passa no processo de estiramento podem ser vistas nas figuras 3.4 e 3.5. Após isso a parte irregular do topo da lata é cortada, como mostra a figura 3.6, normalizando a altura de todas as latas.

No processo de *redrawing* a lata entra em contato direto com óleos diversos, que precisarão ser lavados posteriormente para aplicação dos vernizes internos, externos e da tinta.

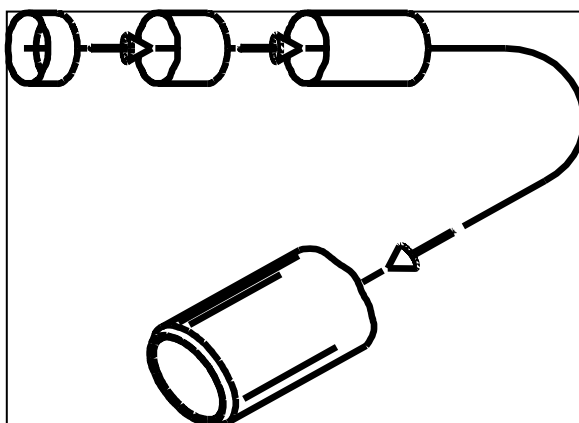


Figura 4.4 - Transformações no estiramento da lata

Fonte: Empresa estudada (2008)



Figura 4.5 - Transformações no estiramento da lata

Fonte: www.abralatas.org.br (2009)

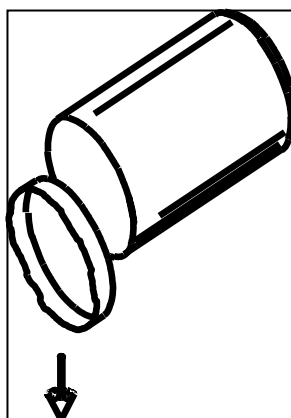


Figura 4.6 - Corte da Parte Irregular do Corpo da Lata

Fonte: Empresa estudada (2008)

3.2.1.3 Lavagem da Lata

A finalidade da lavadora de latas (*washer*) é preparar a superfície das latas para receber aplicação de camadas orgânicas de acabamento nas áreas internas e externas. Para conseguir isso, todos os resíduos deixados nas latas como resultado das operações de conformação (lubrificantes de conformação, aparas de alumínio e óleos residuais diversos) devem ser removidos.

Em seguida deve ser aplicada uma camada de conversão química ou uma desoxidação para promover aderência, evitar “manchas de lavagem”, prevenir a descoloração da parte côncava durante a operação de pasteurização processo produtivo de cerveja (por exemplo) como para aumentar a resistência contra corrosão da superfície de alumínio, em adição à proteção oxidativa da superfície de alumínio.

A secagem é feita passando todas as latas por dois fornos com combustão a gás cujo objetivo também é promover a esterilização das latas.

A tabela 3.1 mostra a descrição dos controles químicos e mecânicos necessários para garantir a lavagem das latas.

Tabela 4.1 - Descrição dos controles químicos e mecânicos de lavagem da lata

PROCESSO/DESCRIÇÃO	
1º ESTÁGIO	PRÉ-DESENGRAXE / PRÉ-LAVAGEM: Remoção do excesso de óleo solúvel e partículas de óxido de alumínio proveniente da estampagem das latas.
2º ESTÁGIO	DESENGRAXE QUÍMICO / LAVAGEM QUÍMICA: Remoção dos resíduos orgânicos e complexar resíduos inorgânicos (alumínio) das superfícies das latas.
3º ESTÁGIO	LAVAGEM / ENXÁGUE: Remover das superfícies das latas os resíduos provenientes da limpeza química efetuada no 2º estágio.
4º ESTÁGIO	TRATAMENTO QUÍMICO: Deposição da camada de conversão para receber aplicação de acabamento orgânico (verniz, tinta).
5º ESTÁGIO	LAVAGEM / ENXAGUE: Remover das superfícies das latas tratadas a solução de tratamento e os resíduos dos produtos de reações do tratamento químico.
6º ESTÁGIO	LAVAGEM COM H ₂ O DEIONIZADA: Completar remoção dos sais das superfícies tratadas para recebimento do acabamento orgânico.
7º ESTÁGIO	LAVAGEM COM MODIFICADOR DE MOBILIDADE: Melhorar o fluxo das latas de alumínio nos transportadores e impressoras de alta velocidade e reduzir temperatura da estufa para secagem das latas.
8º ESTÁGIO	SECAGEM: Deixar a superfície seca para receber a aplicação de acabamento orgânico.

4.2.2 Processo de Decoração e Armazenamento

O processo de decoração da lata exige muito do sincronismo das máquinas impressoras.

3.2.2.1 Pintura da Lata

Para iniciar a decoração na lata utiliza-se a impressora (*Printer*), onde através do contato da placa e o sincronismo entre eixos, o rótulo é impresso com precisão na lata, como na figura 3.7. Logo após é aplicado um verniz externo para fixar e proteger a tinta. As latas são então levadas por uma corrente pinada a um forno (*Pin Oven*), onde acontece a cura do verniz externo. A figura 3.8 mostra uma lata pintada e com o verniz curado.



Figura 4.7 - Sincronismo da Printer na pintura da lata

Fonte: www.abralatas.org.br (2009)



Figura 4.8 - Lata após cura do verniz

Fonte: Empresa estudada(2008)

3.2.2.2 Aplicação do Verniz Interno

A aplicação do verniz interno é feita para criar uma película protetora, das propriedades e do sabor da bebida, entre o líquido que será utilizado no envasamento e o alumínio. O equipamento que aplica este verniz é o *inside spray* (jato/spray interno) após a aplicação as

latas passam por um forno (*Inside Bake Oven(IBO)*) para que o verniz interno seja curado.

3.2.2.3 Formação do pescoço e conformação final do fundo da lata

O equipamento que é utilizado na formação do pescoço da lata é chamado de *necker* (formador de pescoço), esse pescoço é onde a tampa é colocada no envasamento da lata. O pescoço é formado após sucessivos estiramentos do mesmo, e a conformação final do fundo é o último processo de alteração de forma da lata. A lata acabada, em seu formato final, pode ser vista na figura 3.9.



Figura 4.9 - Latas Acabadas

Fonte: empresa estudada(2009)

3.2.2.4 Teste de Luz

Para comprovar a qualidade do produto é utilizado o *Light tester* (teste de luz), o alvo é verificar as falhas nas latas e vazamentos, este equipamento utiliza uma fonte de luz aplicada na parte externa da lata onde existe uma fotocélula muito sensível que visualiza a presença de um feixe de luz, caracterizando furo na lata. Uma vez identificada, a lata com micro furos é retirada da linha de produção por um jato de ar.

3.2.2.5 Paletização

Para melhor armazenamento das latas são formadas *pallets* com até 21 camadas, obtêm-se estes *pallets* através da paletizadora (ver figura 3.10), cuja função é empilhar as latas de forma organizada e garantindo a divisão do peso evitando que as latas amassem como mostra a figura 3.11.



Figura 4.10 - Paletizadora

Fonte: Empresa estudada(2009)

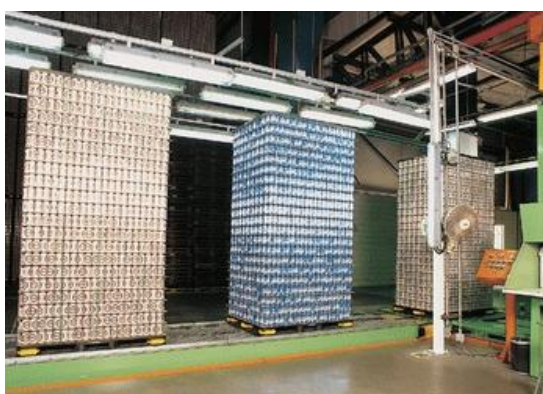


Figura 4.11 - Pallets

Fonte: empresa estudada (2009)

4.3 Análise do Sistema de Medição para Aplicação do Verniz Externo

Como descrito na seção anterior, a lata após receber a decoração (rótulo do cliente) é recoberta por uma camada de verniz para proteger e fixar a tinta.

A espessura da camada de verniz deve ser acompanhada, pois se a mesma tiver demasiadamente fina, a lata pode arranhar quando em contato com outras latas, por outro lado, uma camada muito espessa aumenta o consumo de verniz e compromete o sistema de custo da empresa.

Para tomar a decisão de aumentar ou diminuir a camada, os dados obtidos do sistema de medição devem ser confiáveis. Este trabalho estuda o sistema de medição através do instrumento de medição do fabricante Sencon para medir a distribuição de camada de verniz.

4.3.1 Observação

O primeiro passo do estudo foi observar como a medição estava sendo realizada.

3.3.1.1 O Procedimento

O procedimento interno consiste na medição da camada no topo, no meio e na base da lata perfazendo uma medição de 3 pontos ao longo da circunferência nos três pontos citados. A leitura não deve ser menor do que $1,1 \text{ mg/in}^2$ em nenhuma das 9 áreas medidas na lata para que a mesma seja aprovada.

3.3.1.2 O Processo

Pode-se perceber através da medição de vários pontos em uma mesma lata que o processo de aplicação de verniz não é uniforme. A figura 3.1 mostra os valores encontrados nos diversos pontos de medição ao longo da lata (ver figura 3.12).

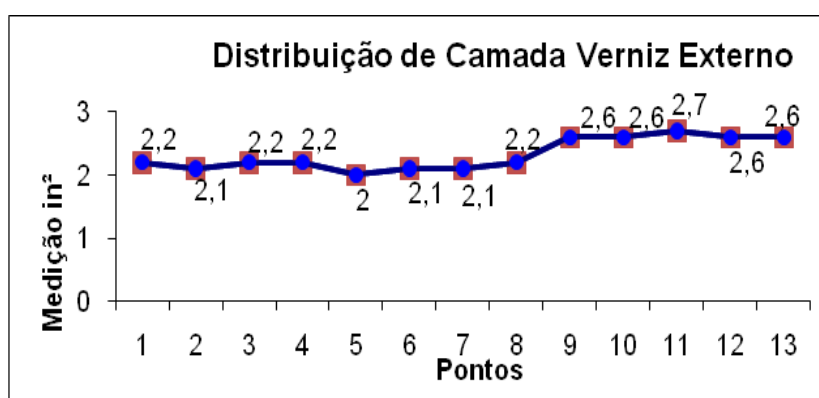


Figura 4.12 - Distribuição de verniz nos diversos pontos de medição

Fonte: A Autora(2009)



Figura 4.13 - Pontos de medição ao longo da lata

Fonte: A Autora (2009)

Como dito anteriormente, a função do verniz externo é proteger a tinta e evitar arranhões no rótulo quando a lata estiver em contato com as demais, no entanto, devido à própria forma do produto, os pontos de maior contato são o “ombro” (ponto logo abaixo da

curvatura do pescoço da lata) e a base, por este motivo, como mostra a figura 3.13, são nesses dois pontos a maior ocorrência de abrasão.



Figura 4.14 - Pontos de contato e abrasão

Fonte: A Autora (2009)

3.3.1.2 O Instrumento de Medição

O instrumento usado para medição de distribuição de camada de verniz é o Sencon de camada (figura 3.14), para facilitar a medição, a empresa adquiriu um dispositivo para apoiar a lata enquanto o operador efetua as medidas, no entanto esse dispositivo apresenta algumas falhas como:

- Dispositivo baixo, fazendo com que o operador levante a lata para introduzir no instrumento de medição;
- Dispositivo pode se mover quando operador está coletando a medida, ou seja, a lata nem sempre está na mesma direção do instrumento;
- O dispositivo evitava que o instrumento chegasse até a base da lata (ver figura 3.15).



Figura 4.15 - Sencon Distribuição de Camada e Dispositivo Auxiliar

Fonte: A Autora(2009)



Figura 4.16 - Ponto de Medição –Base

Fonte: A Autora(2009)

3.3.1.3 O Operador

O teste de distribuição de camada é realizado sempre que há trocas de rótulos, como a fábrica trabalha em 4 turnos e em cada turno existem três pessoas operando as *Printers*; 12 pessoas podiam fazer o teste de distribuição de camada.

Durante o trabalho se observou todos os inspetores realizando o teste e notadamente cada um classifica os pontos de medições de acordo com a sua própria análise, assim o topo para o operador 1 era diferente do topo para o operador 2, além disso apenas alguns poucos operadores calibravam o instrumento antes de realizar o teste.

3.3.1.4 O Ambiente

O Sencon de camada dividia espaço com alguns outros instrumentos de medição. Portanto, alguns testes eram feitos simultaneamente por operadores diferentes. A bancada destinada a metrologia era pequena e localizada no meio da fábrica, sem nenhum isolamento, portanto para realizar as medições os operadores tinham que usar os Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) e estavam expostos a um desconforto térmico grande.



Figura 4.17 - Bancada de Medição com Pouco Espaço

Fonte: Empresa estudada (2009)

4.3.2 Estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R)

Para verificar a eficácia do sistema de medição foi feito um estudo para testar a repetibilidade do instrumento e a variabilidade causada por diferentes operadores (reprodutibilidade).

Para isto, cinco amostras diferentes foram coletadas e medidas por três diferentes operadores. Cada um deles mediu o topo, o meio e a base e repetiu o processo três vezes em cada amostra.

A tabela 3.2 mostra as medidas coletadas pelos 3 operadores.

Tabela 4.2 - Dados para Estudo de R&R

Fonte: A Autora(2009)

Amostra	Operador 1			Operador 2			Operador 3		
	Topo	Meio	Base	Topo	Meio	Base	Topo	Meio	Base
1	2,5	2,4	2,8	2,6	2,3	2,8	2,7	2,5	3
	2,4	2,4	2,7	2,2	2,3	2,7	2,7	2,5	2,9
	2,4	2,3	2,7	2,6	2,3	2,7	2,6	2,5	2,9
2	1,9	2	2,5	1,4	1,9	2,5	1,7	1,9	2,7
	1,8	1,9	2,6	1,5	1,7	2,4	1,7	1,8	2,8
	1,8	2	2,6	1,6	1,8	2,6	1,7	1,9	2,8
3	2,2	1,9	1,9	2,9	1,9	1,9	3	2	2,1
	2,1	1,8	1,9	3	1,9	1,9	3,2	2	2
	2,2	1,8	1,9	2,9	1,8	1,9	3,1	2	2,1
4	2	2,4	3,2	1,7	2,3	3	1,8	2,4	3,4
	2	2,6	3,1	1,7	2,2	3	1,8	2,6	3,5
	2	2,5	3,1	1,6	2,3	3	1,8	2,6	3,5
5	1,5	1,6	1,9	1,3	1,6	1,9	1,5	1,9	2
	1,5	1,5	1,8	1,3	1,7	1,8	1,5	1,7	2
	1,5	1,6	1,9	1,4	1,8	1,8	1,4	1,7	1,9

Foi feita uma análise dos dados através do software MiniTab. Os resultados, vistos nas tabelas 3.3; 3.4 e 3.5 mostram que o sistema de medição não possui uma boa repetibilidade e reprodutibilidade (erro encontrado maior que 30%).

Tabela 4.3 - Estudo de R&R –Topo

Fonte: A Autora(2009)

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Medida Topo

Gage name: Distribuição camada VE-Topo
 Date of study: 25/06/2009
 Reported by: Paula Luciana
 Tolerance: Min.:1,1 mg/inch²
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Amostra	4	11,3391	2,83478	13,3436	0,001
Operador	2	0,2671	0,13356	0,6287	0,558
Amostra * Operador	8	1,6996	0,21244	31,8667	0,000
Repeatability	30	0,2000	0,00667		
Total	44	13,5058			

Alpha to remove interaction term = 0,25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,075259	20,53
Repeatability	0,006667	1,82
Reproducibility	0,068593	18,71
Operator	0,000000	0,00
Operator*Amostra	0,068593	18,71
Part-To-Part	0,291370	79,47
Total Variation	0,366630	100,00

Process tolerance = 1,1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,274334	1,64601	45,31	149,64
Repeatability	0,081650	0,48990	13,48	44,54
Reproducibility	0,261902	1,57141	43,25	142,86
Operator	0,000000	0,00000	0,00	0,00
Operator*Amostra	0,261902	1,57141	43,25	142,86

Tabela 4.4 - Estudo de R&R – Meio

Fonte: A Autora(2009)

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Medida Meio

Gage name: Distribuição camada VE-Meio
 Date of study: 25/06/2009
 Reported by: Paula Luciana
 Tolerance: Min.:1,1 mg/inch²

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Amostra	4	4,07111	1,01778	46,0302	0,000
Operador	2	0,16311	0,08156	3,6884	0,073
Amostra * Operador	8	0,17689	0,02211	4,1458	0,002
Repeatability	30	0,16000	0,00533		
Total	44	4,57111			

Alpha to remove interaction term = 0,25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,014889	11,86
Repeatability	0,005333	4,25
Reproducibility	0,009556	7,61
Operator	0,003963	3,16
Operator*Amostra	0,005593	4,46
Part-To-Part	0,110630	88,14
Total Variation	0,125519	100,00

Process tolerance = 1,1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,122020	0,73212	34,44	66,56
Repeatability	0,073030	0,43818	20,61	39,83
Reproducibility	0,097753	0,58652	27,59	53,32
Operator	0,062952	0,37771	17,77	34,34
Operator*Amostra	0,074784	0,44870	21,11	40,79
Part-To-Part	0,332610	1,99566	93,88	181,42

Tabela 4.5 - Estudo de R&R – Base

Fonte: A Autora(2009)

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Medida Base

Gage name: Distribuição camada VE-Base
 Date of study: 25/06/2009
 Reported by: Paula Luciana
 Tolerance: Min.:1,1 mg/inch*

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Amostra	4	11,3564	2,83911	203,602	0,000
Operador	2	0,5151	0,25756	18,470	0,001
Amostra * Operador	8	0,1116	0,01394	4,482	0,001
Repeatability	30	0,0933	0,00311		
Total	44	12,0764			

Alpha to remove interaction term = 0,25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,022963	6,82
Repeatability	0,003111	0,92
Reproducibility	0,019852	5,89
Operator	0,016241	4,82
Operator*Amostra	0,003611	1,07
Part-To-Part	0,313907	93,18
Total Variation	0,336870	100,00

Process tolerance = 1,1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,151535	0,90921	26,11	82,66
Repeatability	0,055777	0,33466	9,61	30,42
Reproducibility	0,140897	0,84538	24,28	76,85
Operator	0,127439	0,76463	21,96	69,51
Operator*Amostra	0,060093	0,36056	10,35	32,78
Part-To-Part	0,560274	3,36165	96,53	305,60

4.3.3 Melhorias

Depois de realizado o estudo de R&R, a diretoria da empresa avaliou e decidiu implantar algumas melhorias para que a confiabilidade do sistema de medição melhorasse.

4.3.3.1 No Processo

Após avaliar o processo, algumas considerações a respeito dos pontos de medição foram feitas:

- Os pontos de medição devem ser fixos;
- A Partir de então, os pontos de topo e base (pontos 1 e 3 da figura 3.17) são pontos de contato e devem ser medidos, já o ponto do meio(ponto 2 da figura 3.17) servirá para o controle de consumo do verniz externo.



Figura 4.18 - Pontos de Medição

Fonte: A Autora(2009)

4.3.3.2 No Instrumento de Medição

O instrumento de medição sofreu alterações como:

- O instrumento de medição recebeu guias para fixar o dispositivo auxiliar e evitar que o mesmo se mova na hora do teste (figura 3.18);
- O dispositivo auxiliar recebeu suportes para aumentar sua altura, assim o operador não precisa mais levantar a lata para introduzi-la no instrumento de medição (figura 3.19);
- O dispositivo auxiliar recebeu furações a fim de fixar os pontos de topo, meio e base da lata, com isso todos os operadores medirão sempre nos mesmos pontos;
- O dispositivo auxiliar sofreu uma raspagem para o instrumento alcançar a base da lata (figura 3.20).



Figura 4.19- Sencon de Camada com Guias

Fonte: A Autora(2009)



Figura 4.20 - Dispositivo auxiliar com pés

Fonte: A Autora (2009)



Figura 4.21 - Novo Ponto de Medição – Base

Fonte: A Autora(2009)

4.3.3.3 No Operador

Com o intuito de diminuir a variabilidade entre os operadores, o número de inspetores foi reduzido, apenas uma pessoa por turno é responsável, desde então, a realização de medições da distribuição de camada de verniz externo, além disso, um treinamento *in loco* foi realizado para alinhar o conhecimento dos quatro operadores.

4.3.3.4 No Ambiente

Foi criada uma ilha para realização de testes (figura 3.21), a novo local de medição é isolado acusticamente e possui a temperatura controlada através de sensores, evitando assim que os instrumentos se desgastem com o calor.



Figura 4.22 - Ilha de Testes

Fonte: A Autora (2009)

4.3.4 Estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R) após as Melhorias

Após as melhorias, foi feito um novo estudo de R&R para comprovar se as melhorias foram eficazes.

O Procedimento foi o mesmo do estudo anterior, cinco amostras diferentes foram coletadas e medidas por três diferentes operadores. Cada um deles mediu o topo, o meio e a base e repetiu o processo três vezes em cada amostra.

A tabela 3.6 mostra as medidas coletadas pelos 3 operadores.

Tabela 4.6 - Dados para estudo de R&R Após Melhorias

Fonte: A Autora(2009)

Amostra	Operador 1			Operador 2			Operador 3		
	Topo	Meio	Base	Topo	Meio	Base	Topo	Meio	Base
1	2	2,6	2,8	1,9	2,5	2,8	2	2,5	2,8
	2	2,6	2,9	2	2,4	2,8	2	2,5	2,7
	2	2,7	2,8	2	2,5	2,9	2	2,6	2,8
2	1,6	1,9	2,4	1,7	2	2,5	1,6	2	2,4
	1,7	1,9	2,5	1,6	2	2,4	1,6	2	2,5
	1,6	1,9	2,5	1,6	2	2,4	1,6	2	2,5
3	1,9	2,4	2,4	1,8	2,2	2,4	1,8	2,4	2,4
	1,9	2,3	2,4	1,8	2,3	2,4	1,8	2,4	2,4
	1,9	2,4	2,4	1,9	2,3	2,4	1,8	2,4	2,4
4	2,1	2,6	2,9	2,1	2,6	2,8	2,1	2,7	2,7
	2,2	2,6	2,8	2,2	2,6	2,8	2,2	2,6	2,7
	2,1	2,7	2,7	2,2	2,6	2,7	2,2	2,6	2,8
5	1,5	1,6	2,4	1,4	1,5	2,4	1,4	1,6	2,5
	1,4	1,6	2,5	1,4	1,7	2,4	1,4	1,6	2,5
	1,4	1,6	2,5	1,4	1,6	2,4	1,2	1,6	2,4

O resultado de estudo para o Topo foi aceitável pois, o erro total foi menor que 30%, é possível notar, na tabela de resultado 3.7, que a variabilidade causada por diferença de operadores diminuiu bastante, o erro antes de 142,86 reduziu para 7,99% .

Tabela 4.7 - Estudo de R&R Após Melhorias – Topo

Fonte: A Autora(2009)

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Medição Topo

Gage name: Distribuição de camada VE-Topo
Date of study: 02/09/09
Reported by: Paula Luciana
Tolerance: 1,1 mg/inch2
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Amostra	4	3,28222	0,820556	254,655	0,000
Operador	2	0,01200	0,006000	1,862	0,217
Amostra * Operador	8	0,02578	0,003222	1,208	0,328
Repeatability	30	0,08000	0,002667		
Total	44	3,40000			

Alpha to remove interaction term = 0,25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Amostra	4	3,28222	0,820556	294,779	0,000
Operador	2	0,01200	0,006000	2,155	0,130
Repeatability	38	0,10578	0,002784		
Total	44	3,40000			

Gage R&R

%Contribution

Source	VarComp	(of VarComp)
Total Gage R&R	0,0029981	3,19
Repeatability	0,0027836	2,97
Reproducibility	0,0002144	0,23
Operator	0,0002144	0,23
Part-To-Part	0,0908635	96,81
Total Variation	0,0938616	100,00

Process tolerance = 1,1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,054754	0,32853	17,87	29,87
Repeatability	0,052760	0,31656	17,22	28,78
Reproducibility	0,014643	0,08786	4,78	7,99
Operator	0,014643	0,08786	4,78	7,99
Part-To-Part	0,301436	1,80861	98,39	164,42

Apesar do erro total do R&R ter sido inaceitável para o Meio (maior que 30%) pode-se observar ,na tabela de resultado 3.8, uma melhora na variabilidade causada pela repetibilidade e reprodutibilidade. O erro total do R&R caiu de 66,56% para 36,96%; o de repetibilidade reduziu de 39,83% para 25,71% e o de reprodutibilidade migrou de 53,32% para 26,56%.

Tabela 4.8 - Estudo de R&R Após Melhorias – Meio

Fonte: A Autora(2009)

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Medição Meio

Gage name: Distribuição de camada VE-Meio
 Date of study: 02/09/09
 Reported by: Paula Luciana
 Tolerance: 1,1 mg/inch2
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Amostra	4	6,57911	1,64478	177,281	0,000
Operador	2	0,01911	0,00956	1,030	0,400
Amostra * Operador	8	0,07422	0,00928	4,175	0,002
Repeatability	30	0,06667	0,00222		
Total	44	6,73911			

Alpha to remove interaction term = 0,25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,004593	2,46
Repeatability	0,002222	1,19
Reproducibility	0,002370	1,27
Operador	0,000019	0,01
Operador*Amostra	0,002352	1,26
Part-To-Part	0,181722	97,54
Total Variation	0,186315	100,00

Process tolerance = 1,1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,067769	0,40661	15,70	36,96
Repeatability	0,047140	0,28284	10,92	25,71
Reproducibility	0,048686	0,29212	11,28	26,56
Operador	0,004303	0,02582	1,00	2,35
Operador*Amostra	0,048496	0,29098	11,24	26,45
Part-To-Part	0,426289	2,55773	98,76	232,52

Assim como para o Topo, o estudo de R&R para o ponto da Base foi considerado aceitável, o erro total ficou em 29,10%, com destaque para a reprodutibilidade, onde o erro despencou de 76,85% para 3,88%.

Tabela 4.9 - Estudo de R&R Após Melhorias – Base

Fonte: A Autora(2009)

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Medição Base

Gage name: Distribuição de camada VE-Base
 Date of study: 02/09/09
 Reported by: Paula Luciana
 Tolerance: 1,1 mg/inch2
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Amostra	4	1,38978	0,347444	142,136	0,000
Operador	2	0,00711	0,003556	1,455	0,289
Amostra * Operador	8	0,01956	0,002444	0,846	0,571
Repeatability	30	0,08667	0,002889		
Total	44	1,50311			

Alpha to remove interaction term = 0,25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Amostra	4	1,38978	0,347444	124,295	0,000
Operador	2	0,00711	0,003556	1,272	0,292
Repeatability	38	0,10622	0,002795		
Total	44	1,50311			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0028460	6,92
Repeatability	0,0027953	6,79
Reproducibility	0,0000507	0,12
Operator	0,0000507	0,12
Part-To-Part	0,0382943	93,08
Total Variation	0,0411404	100,00

Process tolerance = 1,1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,053348	0,32009	26,30	29,10
Repeatability	0,052871	0,31722	26,07	28,84
Reproducibility	0,007119	0,04271	3,51	3,88
Operator	0,007119	0,04271	3,51	3,88
Part-To-Part	0,195689	1,17414	96,48	106,74
Total Variation	0,202831	1,21699	100,00	110,64

Percebe-se através do estudo de R&R que as melhorias empregadas durante o estudo de caso, embora simples, foram eficazes diminuindo a variabilidade do sistema de medição e aumentando a sua confiabilidade.

5. Considerações Finais

Este capítulo apresenta as conclusões em relação ao desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso e as limitações e sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

5.1 Conclusão

Um sistema de medição é fator decisivo para o controle de produtos numa produção, é a partir do que conferimos no instrumento que decidimos o que fazer com o produto, ou seja, aprová-lo ou não. Este trabalho procurou demonstrar que para assumir como confiáveis os dados fornecidos pelos processos de medição é necessário quantificar as fontes de variação associadas à medição, em outras palavras, é necessária uma Análise do Sistema de Medição.

Através de um estudo de repetibilidade e reprodutibilidade, pode-se observar que o sistema de medição para distribuição de camada de verniz externo era inapropriado. Baseado nisso, iniciou-se um trabalho para levantar as possíveis causas deste problema para posteriormente gerar ações para tentar reduzir a variabilidade e melhorar a confiabilidade do sistema de medição.

Os resultados obtidos depois da implantação das ações foram bastante favoráveis. Com a redução da variabilidade e dados mais confiáveis para uma tomada de decisão gerencial.

Apesar da ênfase que se tem colocado sobre o desenvolvimento de modernos equipamentos de medição, cada vez mais versáteis e melhor exatidão, o ser humano é ainda o elemento insubstituível para se alcançar sucesso no sistema de medição. Por isso, a formação de recursos humanos especializados em diferentes níveis na áreas da metrologia, assim como certificação de empregados nesta área leva as empresas para uma maior competitividade industrial brasileira.

5.2 Limitações e sugestões para Trabalhos Futuros

Este trabalho teve o foco apenas em um processo - Aplicação de Verniz Externo. Portanto, como sugestão para trabalhos futuros pode desenvolver análises dos demais processos de medição da empresa.

Como todo trabalho de melhoria, é importante a conscientização de todos os empregados envolvidos no processo de fabricação de latas de alumínio. São os empregados que precisam perceber a importância de dados confiáveis para a empresa.

A elaboração deste trabalho possibilitou um grande aprendizado para mim onde foi possível aprimorar alguns dos conhecimentos adquiridos no curso de graduação em engenharia de produção.

6. Referências Bibliográficas

ABRALATAS – Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade. *Da chapa à latinha: Como a chapa de alumínio se transforma em latinha*. Disponível em: <http://www.abralatas.org.br/comofab_chapalata.asp> Acessado em 10/08/2009:

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (AIAG). *Measurement Systems Analysis. Reference Manual*, 3a ed. Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation: Detroit, 2002.

BONIFÁCIO, EVALDO DA SILVA. Medição: agregando valor ao processo produtivo. *Revista Metrologia e Instrumentação*. Banas: Março, 2004.

BREYFOGLE, FORREST W. *Implementig Six Sigma: Smarter solutions using statistical methods*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 1999.

CANOSSA, SÉRGIO. Gerenciando o sistema de medição. Disponível em: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/Medi%C3%A7%C3%A3o.pdf>; Acessado em 10/07/09.

Departamento de Engenharia de Produção. *Manual do estudante para elaboração e Apresentação do Trabalho de Conclusão de curso de Graduação em Engenharia de Produção*. Universidade Federal de Pernambuco: Recife, 2003

DIAS, JOSÉ LUCIANO DE MATTOS – *Medida, Normalização e Qualidade: Aspectos da história da metrologia no Brasil*. Inmetro _ Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial: Rio de Janeiro, 1998

FARUOLO, LUCIANO BRUNO. *Análise do Sistema de Medição do peso de veículos em movimento nas estradas*. In: ENQUALAB 2005 _Encontro para Qualidade de Laboratórios. São Paulo, 2005. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/producaointelectual/obras_intelectuais/6_obraIntelectual.pdf
Acessado em: 15/08/09.

Ferreira, Aurelio B. de Holanda. Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa. Nova Fronteira: Rio de Janeiro, 1988

GLOBALTECH. Ferramentas Estatísticas da Qualidade. Apostila de treinamento MiniTab 15

GONÇALVES Jr, ARMANDO ALBERTAZZI -fundamentos de Metrologia científica e industrial. Laboratório de Metrologia e Automatização, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

HUANG, P.; KACKER, R. Repeatability and Reproducibility Standard Deviations in the Measurement of Trace Moisture Generated Using Permeation Tubes. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. Vol.108, 2003.

ISHIKAWA, KAORU. Controle da Qualidade Total: À maneira Japonesa.Campus: Rio de Janeiro,1993.

MARISCO, LENISA VEIGA. MAS - Análise do sistema de medição. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/116_analise_do_sistema_de_medicao_lenisa_e_jocelito.pdf>. Acessado em 21/09/09.

RIBEIRO, JOSÉ L.; CATEN, CARLA T. Controle Estatístico de Processos – Apostila de Curso. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre: UFRGS, 2000.

SILVA, JOEL ALVES DA – Desempenho do sistema de medição. In:ENQUALAB 2004 _Encontro para Qualidade de Laboratórios.São Paulo, 2004

SILVA, W. Experiência na Implantação da Rotina de Análise de Sistemas de Medição em uma Indústria de Auto Peças. Revista de Educação Tecnológica. Vol. 7, 2002.

Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia - VIM; INMETRO;4a. edição; 2005

WERKEMA,MARIA CRISTINA CATARINO – *Avaliação de Sistemas de medição*. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006.