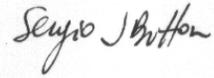


Este texto corresponde à versão final da dissertação de Mestrado defendida por Marcelo Dias em 11/02/2010



Orientador: Sérgio Tonini Button

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

# **Reaproveitamento de Resíduos de Chumbo na Fabricação de Placas de Acumuladores Elétricos Automotivos**

Autor: Marcelo Dias

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Tonini Button

20/2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

# **Reaproveitamento de Resíduos de Chumbo na Fabricação de Placas de Acumuladores Elétricos Automotivos**

Autor: Marcelo Dias  
Orientador: Prof. Dr. Sérgio Tonini Button

Curso: Engenharia Mecânica  
Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2010  
S.P. – Brasil



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

# Reaproveitamento de Resíduos de Chumbo na Fabricação de Placas de Acumuladores Elétricos Automotivos

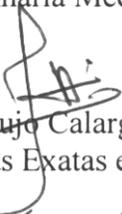
Autor: Marcelo Dias

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Tonini Button

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. Sérgio Tonini Button, Presidente  
Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP



Prof. Dr. Felipe Araujo Calarge  
Diretoria de Ciências Exatas e Tecnologia - Universidade Nove de Julho



Prof. Dr. Olivio Novaski  
Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP

Campinas, 11 de fevereiro de 2010.

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho aos meus queridos pais Noemio Dias e Adelina, por tudo que me ensinaram e me proporcionaram nesta vida.

## **Agradecimentos**

Agradeço as pessoas a seguir relacionadas, que me ajudaram, participaram e apoiaram na elaboração deste trabalho:

A minha querida esposa Maria Delma e aos meus queridos filhos Bruno , Pedro e Taís por todo apoio que me dão nestas minhas empreitadas.

Prof. Dr.Sérgio Tonini Button, que aceitou ser meu orientador mesmo com todas as suas atividades, me ajudando com muita paciência e coleguismo.

Professores doutores Felipe Araújo Calarge e Olívio Novaski por aceitarem o convite para compor a banca examinadora.

Aos meus colegas de trabalho, integrantes deste projeto, por compartilhar seus conhecimentos.

Agradeço a Deus pela minha vida.

O sucesso é a habilidade de se ir de  
fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo  
(Albert Einstein)

## Resumo

DIAS, Marcelo, *Reaproveitamento de Resíduos de Chumbo na Fabricação de Placas de Acumuladores Elétricos Automotivos*, 2009, 72p.

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Nas últimas décadas, a concorrência entre as indústrias vem ficando cada vez mais acirrada. Tem-se visto um movimento mundial no sentido de melhorar a competitividade, através de melhorias de qualidade nos produtos e serviços, redução de custos através da melhoria da produtividade, redução de quadro de pessoal e aumento da eficiência dos processos. O atendimento às normas e legislação ambientais também tem contribuído para a imagem das companhias, atuando a favor da sua competitividade. As empresas produtoras de baterias automotivas têm uma margem de lucro bastante reduzida por unidade produzida, portanto precisam produzir em larga escala, para serem lucrativas. A variabilidade dos processos, tanto administrativos quanto industriais, provoca desvios e gastos de recursos desnecessários, que devem ser eliminados. A intenção deste trabalho é demonstrar como ferramentas estatísticas podem ser utilizadas para reduzir a quantidade de borra de ligas de chumbo enviada para reciclagem externa, gerada na fundição de bobinas para a expansão de grades de baterias automotivas, através da utilização da filosofia *Seis Sigma*. O objetivo do trabalho foi atingido como se pode observar pela expressiva redução do nível de PPM atingido e sua conseqüente redução de custo. A redução de 55,4 % na quantidade de borra gerada significou menos resíduos de chumbo em circulação nas estradas e menos manuseio do material que, embora transportado na fase metálica, possui uma parte que se oxida e fica na forma de pó.

*Palavras-chaves:* Estatística aplicada, melhoria contínua, gestão da qualidade.

## Abstract

DIAS, Marcelo, *Reuse of Waste Lead in the Manufacture of Electrical Automotive Accumulators*, 2009, 72p.

Thesis (Master degree) - School of Mechanical Engineering, State University of Campinas, Campinas.

In recent decades, the competition between industries is becoming increasingly fierce. It has seen a worldwide movement to improve competitiveness through quality improvements in products and services, reducing costs by improving productivity, reducing staff and increasing the efficiency of processes. The service standards and environmental legislation has also contributed to the image of companies, acting in favor of its competitiveness. The manufacturers of automotive batteries have a profit margin greatly reduced per unit of output, so they must produce on a large scale to be profitable. The variability of processes, both administrative and industrial to deflections and spending unnecessary resources, which must be eliminated. The intention of this work is to demonstrate how statistical tools can be used to reduce the amount of sludge lead alloys sent for recycling outside, generated in the casting reels for expanding grids of automotive batteries through the use of Six Sigma philosophy. The objective was achieved as shown by the significant reduction in the level of PPM achieved and the consequent cost reduction. The 55.4% reduction in the amount of sludge generated meant less waste lead in circulation on the roads and less handling of material that, while carried in metallic phase, has some rust and it is in powder form.

Keywords: Applied statistics, continuous improvement, quality management.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xi
<b>Capítulo 1</b>	
<b>Introdução, Objetivos e Justificativas</b>	
1.1 – Introdução	01
1.2 – Objetivos do trabalho	02
1.3 – Organização do Trabalho	02
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Revisão Bibliográfica</b>	
2.1 – Histórico	04
2.2 – A Filosofia Seis Sigma	07
2.3 – Descrição do Chumbo e Suas Propriedades	09
2.4 – Fluxograma de Processo	12
2.5 – Os Projetos <i>Seis Sigma</i>	14
2.6 – Custos da Não Qualidade	24
2.7 – O Projeto <i>Seis Sigma Johnson Controls</i> – Modelo	26
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Metodologia</b>	
3.1 – O Projeto <i>Seis Sigma Enertec</i> : Redução da Geração de Borra	35
<b>Capítulo 4</b>	
<b>Apresentação e Análise dos Resultados</b>	
4.1 – Dados Iniciais do Projeto	56
4.2 - Novos Dados Após a Implantação das Soluções I e II	56
4.3 - Comparação entre os Dados Iniciais de Projeto e Resultados das Soluções	59
4.4 – Análise Estatística após a Implantação das Soluções Propostas	59
4.5 – Considerações Finais Sobre os Resultados Obtidos Neste Trabalho	63
<b>Capítulo 5</b>	
<b>Conclusões</b>	
	64
<b>Referências</b>	66

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
2.1 - Modelo de processo de negócios	12
2.2 – Variáveis independentes (X) e dependentes (Y)	14
2.3 - Fases de desenvolvimento de um projeto <i>Seis Sigma</i>	18
2.4 - Diagrama IPO – <i>Input, Process, Output</i> (entradas, processo, saídas)	29
2.5 - Diagrama de Causa e Efeito	31
2.6 - Os cinco por quês	31
3.1 - Dados iniciais – produção de borra em g/kg de bobina	39
3.2 - Mapa do processo inicial	43
3.3 - Resultados da análise de variância	45
3.4 - Diagrama de causas e efeitos de geração de borra	46
3.5 - Valores médios e dispersão antes e após a implantação da Solução I	49
3.6 - Valores médios e dispersão antes e após a implantação da Solução II	50
3.7 - Novo mapa de processo após o uso da Solução I	51
3.8 - Novo mapa de processo após a implantação da Solução II	52
3.9 - <i>Lay-out</i> do reciclador de borra da Solução II	53
4.1 – Histogramas dos dados iniciais e dos resultados obtidos após a implantação da Solução I	60
4.2 – Histogramas dos resultados obtidos após a implantação da Solução I e da Solução II	61
4.3 – Médias e desvios-padrões obtidos após cada fase do projeto	62
4.4 – Variação dos valores individuais e da amplitude móvel após cada etapa do projeto	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
2.1 - Ganhos Seis Sigma	08
3.1 - Projeto Enertec: Custo da Não Qualidade	38
3.2 - Projeto Enertec: Diagrama de Entradas, Processo e Saídas	42
3.3 - Resultados de repetitividade e reprodutibilidade (R&R)	44
3.4 - Teste de hipóteses para analisar as causas potenciais da geração de borra	47
3.5 - Soluções apresentadas para melhoria	48
4.1 – Dados iniciais de projeto	56
4.2 – Resultados obtidos após implantação da Solução I	57
4.3 – Resultados finais obtidos para geração de borra após a implantação da Solução II	58
4.4 – Resultados da geração de borra	59

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 - Introdução

Nas últimas décadas, mais do que nunca, a concorrência entre as indústrias vem ficando cada vez mais acirrada.

Tem-se visto um movimento mundial no sentido de melhorar a competitividade, através de melhorias de qualidade nos produtos e serviços, redução de custos através da melhoria da produtividade, redução de quadro de pessoal e aumento da eficiência dos processos.

O atendimento às normas e legislação ambientais também tem contribuído para a imagem das companhias, atuando a favor da sua competitividade.

As empresas produtoras de baterias automotivas têm uma margem de lucro bastante reduzida por unidade produzida, portanto precisam produzir em larga escala, para cobrir seus custos operacionais e serem lucrativas.

A necessidade de redução de custos torna-se essencial nestes casos, como questão de sobrevivência da empresa.

Os custos da não-qualidade são muito grandes, como se houvesse uma “fábrica oculta” que devora a margem de lucro.

A variabilidade dos processos, tanto administrativos quanto industriais, provocam desvios e gastos de recursos desnecessários, que devem ser eliminados.

Os excessos já foram cortados e mais redução de pessoal significa deixar coisas que deveriam ser feitas de lado.

Portanto, processos “enxutos” e confiáveis são de vital importância para prosperidade da empresa.

## **1.2 – Objetivos do trabalho**

A intenção deste trabalho é demonstrar como foram utilizadas as ferramentas estatísticas para reduzir a quantidade de borra de ligas de chumbo enviada para reciclagem externa, gerada na fundição de bobinas para a expansão de grades de baterias automotivas, através da utilização da filosofia *Seis Sigma*.

A economia gerada será de grande importância para o resultado financeiro da empresa, uma vez que o processo de reciclagem externa da borra é muito caro.

O transporte deste resíduo, além de caro, envolve um risco ambiental associado, necessitando de um certificado especial emitido pela agência estadual de controle ambiental.

## **1.3 – Organização do Trabalho**

O presente trabalho é dividido em cinco capítulos, conforme descrito a seguir:

O Capítulo 1 apresenta uma introdução com as necessidades econômicas atuais das empresas, bem como as exigências de qualidade e ambientais, os objetivos e estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta a revisão conceitual, um breve histórico da Enertec do Brasil Ltda., a filosofia seis sigma, uma descrição do chumbo e suas propriedades, uma descrição das ferramentas *Seis Sigma* utilizadas no projeto, bem como uma descrição sobre os custos da não-qualidade.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada, conforme modelo padrão da *Johnson Controls Inc.*, abordando as fases de reconhecimento, definição e medição do projeto de geração de borra.

O Capítulo 4 apresenta os resultados do projeto, abordando as fases de análise, melhoria e controle do projeto de geração de borra, comparando os resultados de antes e depois da implantação do projeto.

O Capítulo 5 apresenta a conclusão da implantação do projeto e comentários finais.

## **Capítulo 2**

### **Revisão Conceitual**

#### **2.1 – Histórico**

##### **A Saturnia S/A**

De acordo com o jornal interno Saturnia (1956) a empresa Eletrochimica Saturnia Limitada foi fundada em 1931 em São Paulo, pelo italiano Giovanni Rabioglio, um pioneiro do setor industrial, sendo denominada mais tarde de Saturnia S/A – Acumuladores elétricos. Foi a primeira indústria do gênero a instalar-se na América do Sul, cujas marcas principais de baterias automotivas eram Heliar e Saturno.

##### **A Microlite S/A**

Em 1940, chegava ao Brasil o Dr. Zygfryd Flank, jovem advogado refugiado da 2ª guerra após a ocupação da polônia pelas tropas russas.

Após muitas dificuldades iniciais, trilhou uma carreira de sucesso, passando pela gerência de representações de empresas do antigo banco Comind e presidente da UNRRA (United Nations Relief and Rehabilitation) – instituição das Nações Unidas, quando, em 1948, decidiu começar o seu próprio negócio. Fundou, juntamente com outro polonês, a Z.Flank & Cia. Ltda, cuja atividade principal era importar produtos para revender no mercado brasileiro, dentre os quais se destacavam as pilhas elétricas para rádios.

Naquela época, a distribuição de energia elétrica somente atingia os grandes centros e fora destas regiões mais populosas existia um mercado apreciável para baterias de grande porte e

tensão elevada. Pela mesma razão, havia um consumo considerável de pilhas secas para lanternas e faroletes.

Esta perspectiva promissora do mercado de pilhas do Brasil foi reforçada por dois fatores: as licenças de importação estavam cada vez mais difíceis de se obter e as pilhas Ray-O-Vac não chegavam com regularidade suficiente ao Brasil para fazer frente à concorrência da Everedy, que começava a ser produzida aqui pela National Carbon, mais tarde Union Carbide.

Segundo a opinião de um americano que conheceram no Brasil, fabricante de lanternas nos estados Unidos, o Brasil ressentia de um fornecimento regular de pilhas, sendo que então, em 1951, fundaram juntos a Microlite do Brasil, que começou a funcionar num barracão em Guarulhos –SP.

Após a fundação, a qualidade do produto que fabricavam não satisfazia nem ao Dr. Flank e nem ao mercado em ascensão, sendo que este tentou uma aproximação com a Everedy para tentar a venda da empresa. Quando este grupo conheceu o tal barracão, desistiram da idéia. Restou ao Dr. Flank uma saída estratégica, o contato com a Ray-O-Vac Corporation a partir do qual obteve a licença para o uso da blindagem de aço, patente exclusiva daquela empresa americana. Com esta blindagem de aço e a marca Microlite, o produto começou a penetrar cada vez mais no mercado. Para manter esta escalada, o Dr. Flank decidiu mudar o nome da pilha para Ray-O-Vac, oferecendo 40% das ações da empresa brasileira à empresa americana.

Em 1955 a Ray-O-Vac americana sugeriu que a Varta, da Alemanha, se associasse à Microlite, o que ocasionou um crescimento mais rápido do grupo. Jornal interno Satúrnica S.A (1956).

Em 1966 a Varta interessou-se pela compra de uma fábrica de baterias em São Paulo, sendo que se tratava da Satúrnica. O negócio se concretizou e mais tarde, em 1976, a fábrica de baterias transferiu-se para o Centro Industrial de Sorocaba.

## **A Enertec do Brasil Ltda.**

Em 1996 a família Flank saiu do negócio de baterias automotivas, vendendo suas ações para a *Johnson Controls Inc.*, maior fabricante de baterias automotivas no mundo e para a Varta, que já tinha participação no grupo.

A empresa passou a se chamar JCI/Varta Baterias Automotivas Ltda., depois *Johnson Controls & Varta Baterias Automotivas Ltda.*, para finalmente, com o ingresso nesta *joint venture* do grupo IMSA do México, tornar-se a Enertec do Brasil Ltda.

Em 2002 a Varta foi comprada pela *Johnson Controls*, que passou a deter 50% do negócio.

Em 2004 a *Johnson Controls* comprou a parte do Grupo IMSA na Enertec, assumindo assim 100 % o controle da Enertec.

Hoje a empresa possui uma área de 635.000 m<sup>2</sup> , sendo 36.000 m<sup>2</sup> de área construída.

Ainda quando grupo Microlite e Saturnia, a empresa já atendia à vários Clientes de grande porte, como por exemplo as montadoras de veículos.

As exigências cada vez maiores desses clientes, que sofriam com a falta de qualidade dos seus fornecedores, foram moldando o seu Sistema de Garantia da Qualidade, sendo certificado de acordo com a ISO 9002 no início de 1995 .

Nesta escalada contínua de melhoria e exigências do mercado, vieram a atualização para certificação ISO 9001 e QS 9000 em 1998, certificação ISO TS 16949 em 2001 (ISO Automotiva) e ISO 14001, em 2002 (Sistemas de Gestão Ambiental).

A certificação ISO 14001, assim como as demais, além de ser uma exigência de mercado, foi uma medida tomada para demonstrar aos Clientes e a comunidade que a empresa respeita o

meio ambiente. As matérias-primas empregadas na fabricação de baterias são agressivas ao meio, portanto era necessária a implantação e certificação de um Sistema de Gerenciamento Ambiental.

## **2.2 - A Filosofia Seis Sigma**

O Seis Sigma é um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial. Segundo Pandle (2001) o Seis Sigma é singularmente impulsionado por uma estreita compreensão das necessidades dos clientes, pelo uso disciplinado de fatos, dados e análise estatística e a atenção diligente à gestão, melhoria e reinvenção dos processos de negócios.

Trata-se de um modo analítico de resolver problemas e eliminar desperdícios, com foco na redução de variações.

Ainda segundo Pandle (2001), os tipos de sucesso empresarial que se pode alcançar são amplos porque os benefícios comprovados do “Sistema” Seis Sigma são diversos, incluindo:

- Redução de custos
- Melhoria de produtividade
- Crescimento de fatia de mercado
- Retenção de Clientes
- Redução do tempo de ciclo
- Redução de defeitos
- Mudança Cultural
- Desenvolvimento de produto /serviço

Vários exemplos de melhorias aconteceram em empresas de “classe mundial”, tais como Allied Signal (1995), General Electric (1996), Dupont, Motorola, Nokia, Dow, American Express, ABB (Europa), Sony, dentre outras.

Nestes exemplos figuram entre seus resultados redução de defeitos da ordem de dez a vinte vezes, 20% de melhoria de margem, 12 a 16% de aumento de capacidade de produção e redução de custo significativa.

A tabela 2.1 exemplifica alguns ganhos reais nas empresas general Electric e Allied Signal.

Tabela 2.1 – Ganhos Seis Sigma

<b>Ganhos</b>	<b>General Electric</b>		<b>Allied Signal</b>	
	<u>1995</u>	<u>1999</u>	<u>1995</u>	<u>1999</u>
Economia – Bilhões US\$	---	2,1	---	0,6
Melhoria de margem %	18	22	13	18
Preço das ações -US\$	32	135	22	57
Fluxo de caixa -US\$	13	34	9	15
Vendas/participação %	21	33	25	28

## **2.3 – Descrição do Chumbo e Suas Propriedades**

O chumbo é um metal encontrado na natureza na forma de um mineral, denominado Galena.

Este metal sempre foi extremamente útil para a sociedade, desde o começo da era cristã, porém seu uso e disposição no meio ambiente requerem cuidados, pois sob algumas formas ele se torna tóxico, tal como o Dióxido de Chumbo (PbO<sub>2</sub>).

### **2.3.1 - O Impacto do Chumbo na Saúde e no Meio Ambiente**

A exposição aguda ou crônica ao chumbo pode causar desordens metabólicas, neurológicas e neuro-psicológicas.

Os bebês e crianças pequenas constituem um grupo de risco em especial, em caso de ingestão ou absorção.

Nos últimos anos, estudos científicos mostraram que podem ocorrer efeitos adversos em crianças apresentando níveis de chumbo no sangue mais baixos ou iguais a dez microgramas por decilitro de sangue (1). Em relatório publicado em 1991, o Centro de Controle de Doenças – *Center for Disease Control (CDC)*, dos EUA, enfatiza que “exposição severa de crianças ao chumbo pode causar coma, convulsões e mesmo morte”. Níveis mais baixos podem afetar o sistema nervoso central, rins e o sistema hematopoético. Associam-se níveis de chumbo abaixo de 10 microgramas, os quais não causam sintomas, ao rebaixamento da inteligência e a diminuição no desenvolvimento neuro-comportamental.

A esses níveis baixos também se apresentam outros efeitos como diminuição de estatura e crescimento, assim como a dificuldade de manter a postura ereta.(2).

Os sintomas neurológicos clássicos da exposição ao chumbo são a encefalopatia em crianças e a neurotoxicidade periférica em adultos (3). Esse último se caracteriza por perda do

controle muscular nas extremidades, pés e mãos caídas. Disfunções neuromotoras também foram medidas em níveis de chumbo no sangue de 50 a 70 microgramas por decilitro de sangue (4).

Além disto, o chumbo interfere na produção de hemoglobina, resultando em anemia, como se verificou em casos onde os níveis de chumbo no sangue alcançavam de 60 a 80 microgramas (5).

O chumbo também causa dano irreversível aos néfrons, levando a uma redução gradual na eficiência da excreção do ácido úrico. Constata-se igualmente correlação entre altos níveis de chumbo durante a gravidez e maior frequência de natimortos e abortos, podendo o transporte transplacentário de chumbo afetar o sistema nervoso central do feto (6).

Por isto, é muito importante que mulheres grávidas evitem exposição ao chumbo, já que não existe barreira placentária para o transporte deste metal e as evidências sugerem que o tecido cerebral do feto é particularmente sensível ao envenenamento com chumbo (7).

---

(1) "Preventing Lead Poisoning in Young Children", declaração do CDC, departamento de saúde, outubro de 1991

(2) Idem

(3) Goyer, R.A, 1986. "Toxic Effects of Metals", in Cassaret and Doull's Toxicology, The Basic Science of Poisons. CD Klaasen, MO Amdur and J. Doull (eds), Macmillian, London.

(4) Idem

(5) Organização Mundial da Saúde, 1983, Reports and Studies N° 22. Review of Potentially Harmful Substances – cadmium, lead and tin, GESAMP, Genebra.

(6) Idem

(7) Goyer, R.A, 1990, "Transplacental Transport of Lead", Environmental Health Perspectives 89, 101-105.

Também se associam níveis sanguíneos paternos com má formação congênita em crianças, pois os níveis costumeiramente encontrados em alguns locais de trabalho podem ser prejudiciais à espermatogênese (8). Finalmente há evidências limitadas de que o chumbo possa ser carcinogênico em seres humanos, sendo os cânceres de rins os associados mais estreitamente à sua exposição (9).

Os trabalhadores em fundições de chumbo e fábricas de baterias são, normalmente, os que apresentam as exposições mais altas e prolongadas à este elemento.

As fundições de chumbo são igualmente bem conhecidas por criar problemas de poluição nas áreas onde estão instaladas. Estas podem contaminar seriamente o ar, água, solo e vegetação nas suas vizinhanças, ameaçando seriamente a subsistência das comunidades locais onde operam.

### **2.3.2 - Os Riscos para o Trabalhador**

As principais atividades de risco na contaminação por chumbo são as de soldadores, galvanizadores, limadores, ferramenteiros, pintores industriais e de autos, ceramistas, chapistas, reparadores de radiadores, montadores e recondicionadores de baterias.

No ambiente de trabalho, o chumbo se apresenta como um aerodispersóide. A norma regulamentadora da Portaria 3214/78, do Ministério do Trabalho, permite uma exposição máxima de 0,1 mg/m<sup>3</sup> de ar, por 48 horas semanais. Mas sabe-se que algumas fábricas menores e reformadoras de baterias este índice é ultrapassado em até cinquenta vezes, tornando sério o risco de o trabalhador ser acometido pelo saturnismo, intoxicação aguda ou crônica do organismo pelo chumbo metálico ou seus compostos inorgânicos.

---

(8) Sallmen M, Lindbohm M, Antilla A, Taskinen H and Hemminki K, 1992 – “Paternal Occupational Lead Exposure and Congenital Malformations”. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 519-522

(9) Goyer, R.A, 1990, op.cit.

A absorção ocupacional do chumbo ocorre principalmente por via respiratória e é tão grande e rápida que cerca de 50% das partículas inaladas chegam à corrente sanguínea. Entrando na circulação periférica, o metal irá se acumular no fígado, baço, rins, coração, pulmões, cérebro, músculos e sistema esquelético, sendo que suas principais ações deletérias manifestam-se sobre os sistemas hematopoéticos, nervoso, renal, gastrointestinal e reprodutor. Sobre o diagnóstico da doença observam-se:

- a) No sistema nervoso, a presença de cefaléia, cansaço fácil, alterações de comportamento, como nervosismo, hostilidade, agressividade. Em casos graves, delírios e convulsões.
- b) No sistema digestivo, anorexias, cólicas, dores gástricas, vômitos e constipação.
- c) No sistema locomotor, dores musculares e paralisias.

## 2.4 – Fluxograma de Processo

Segundo Pandle (2001), em qualquer organização consegue-se identificar um ou vários fluxos de processo, sejam eles processos administrativos ou processos de manufatura.

Todo processo possui as entradas (x) e as suas saídas (y), conforme demonstrado na Figura 2.1, que exemplifica algumas saídas típicas.

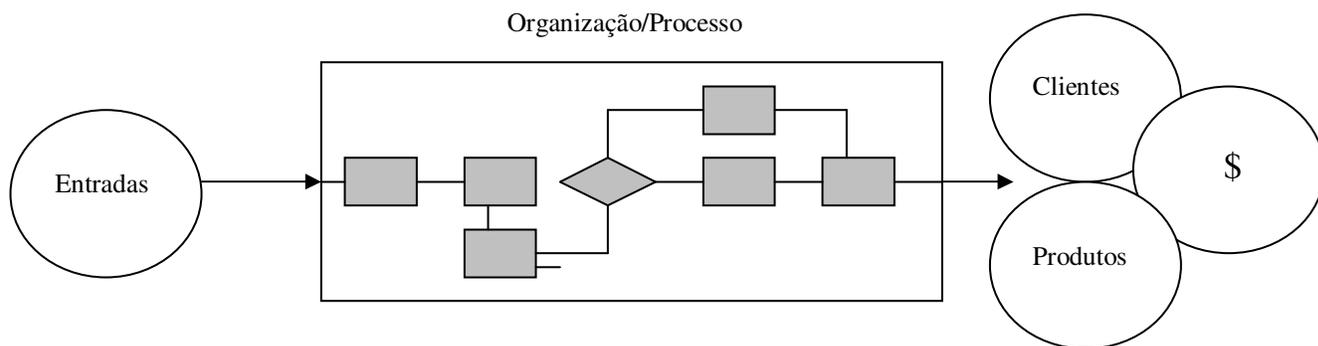


Figura 2.1 – Modelo de processo de negócios.

A seguir, na Figura 2.2, tem-se a identificação das variáveis independentes e as variáveis dependentes.

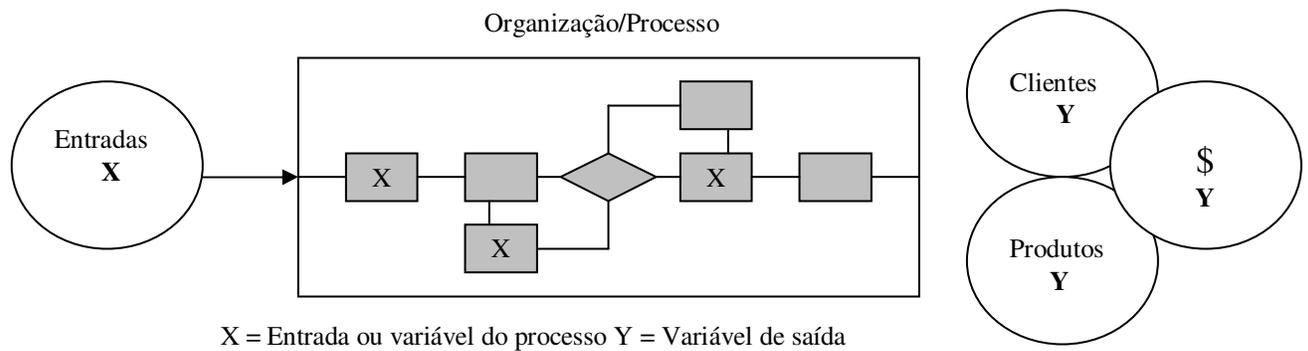


Figura 2.2 - Variáveis independentes (X) e dependentes (Y).

As variáveis de entrada (X) que aparecem na entrada e no fluxo de processo seriam indicadores de mudança ou desempenho nas partes independentes do sistema. As variáveis de saída (Y) representam medidas de desempenho dos negócios.

A representação matemática  $Y=f(X)$  é uma maneira de dizer que mudanças ou variações nas entradas e processos do sistema determinarão em grande parte as saídas ou resultados do processo.

Em função disto, segundo Pandle (2001), a filosofia Seis Sigma ajuda a:

- Compreender qual dos X ou variáveis no processo de negócios e entradas tem maior influência sobre os Y ou resultados
- Usar as mudanças no desempenho geral do processo (os Y, além de outros fatores externos) para ajustar os negócios e mantê-los em movimento sobre um caminho lucrativo.

Ainda segundo Pandle (2001), nas empresas que possuem a filosofia *Seis Sigma*, esta linguagem de X e Y se torna rotina. Mesmo assim, estas variáveis tendem a assumir vários significados, como por exemplo:

Y pode significar:

- Objetivo estratégico

- Requisitos do Cliente
- Lucros
- Satisfação do Cliente
- Eficiência geral dos negócios

X pode significar:

- Ações essenciais para alcançar objetivos estratégicos
- Influências chave sobre a satisfação do Cliente
- Variáveis do processo, como pessoal, tempo de ciclo, tecnologia aplicada, etc.
- Qualidade das entradas do processo (de Clientes ou fornecedores)

A maioria das empresas tem pouca compreensão da relação entre seus próprios X e Y.

## **2.5 – Os Projetos Seis Sigma**

### **2.5.1 – Principais Funções**

Segundo Pandle (2001), as principais funções da alta administração nos projetos Seis Sigmas são as seguintes:

- Estabelecer os papéis e a infra-estrutura da iniciativa Seis Sigma
- Selecionar projetos específicos e alocação de recursos
- Rever, periodicamente, o progresso de vários projetos e oferecer idéias e auxílio
- Servir como patrocinadores de projetos
- Auxiliar a quantificar o impacto dos esforços Seis Sigma sobre a linha de resultados da empresa
- Avaliar o progresso e identificar pontos fortes e fracos do esforço
- Compartilhar Melhores práticas com toda a organização e com fornecedores e Clientes chaves, onde for apropriado.
- Agir como removedores de barreiras, quando equipes identificarem bloqueios aparentes
- Aplicar as lições aprendidas a seus estilos pessoais de gerência

Segundo Pandle (2001), as principais funções dos facilitadores são as seguintes:

- Determinar e manter metas amplas para projetos de melhoria a seu cargo, incluindo a criação do raciocínio do projeto e assegurar que estejam alinhados com prioridades de negócios.
- Aprovar mudanças no direcionamento e escopo do projeto, se necessárias.
- Encontrar e negociar a obtenção de recursos para os projetos.
- Representar a equipe perante a Diretoria e servir como seu treinador.
- Ajudar a resolver questões ou sobreposições que surgirem entre equipes ou com pessoas fora da equipe.
- Trabalhar com proprietários de Processos para assegurar uma transição homogênea ao final de um projeto de melhoria.
- Aplicar seu conhecimento adicionado de Melhoria de processos a suas próprias tarefas de gerência.

Segundo Pandle (2001), as principais funções dos líderes da implantação são as seguintes:

- Apoiar o grupo de liderança em suas atividades, incluindo comunicação, seleção de projeto e análise de projetos.
- Identificar e/ou recomendar indivíduos/grupos para preencher papéis-chave, incluindo consultorias e suporte de treinamentos externos.
- Preparar e executar planos de treinamento.
- Ajudar os facilitadores a desempenhar seu papel de apoiadores e fomentadores das equipes.
- Documentar o progresso geral e priorizar questões que necessitem de atenção.
- Executar o “plano de marketing” interno para a iniciativa.

Segundo Pandle (2001), as principais funções dos líderes de equipe ou líderes de projeto são as seguintes:

- Rever e esclarecer o raciocínio do projeto com o facilitador.
- Desenvolver e atualizar o projeto e seu plano de implantação.
- Selecionar ou ajudar a selecionar os membros da equipe do projeto.

- Identificar e procurar recursos e informações.
- Definir e ajudar outros no uso de ferramentas *Seis Sigma*, bem como técnicas de gerência de equipes e de reuniões.
- Manter o cronograma do projeto e manter o progresso em movimento em direção a soluções e resultados finais.
- Apoiar a transferência de novas soluções ou processos para operações em andamento, ao mesmo tempo em que trabalha com gerentes funcionais e/ou proprietário do processo.
- Documentar resultados finais e criar uma “história” do projeto.

As principais funções dos membros da equipe são as seguintes:

- Integrar as equipes
- Ajudar nas idéias, nas medições, análises e melhorias do processo
- Disseminar informações sobre ferramentas e processos *Seis Sigma*
- Tornar-se parte da “força reserva” para projetos futuros

Segundo Pandle (2001), as principais funções do proprietário do processo são as seguintes:

- Responsável pelo processo em análise
- Receber a transferência de equipes de melhoria ou se tornar o proprietário de processos novos ou recém-projetados
- Dar continuidade ao trabalho e as economias iniciadas no projeto.

### **2.5.2 - O Faixa-Preta (*Black-Belt*) e o Mestre Faixa-Preta (*Master Black-Belt*)**

De acordo com Pandle (2001) a Figura do “*Black-belt*” surgiu na Motorola, no início dos anos 90, e significava indivíduos que possuíam conhecimentos especializados em estatística e técnicas de melhoria dos processos e produtos. O rótulo “faixa-preta”, é claro, foi tirado das artes marciais e sugere habilidades e disciplina altamente aguçadas, enquanto os diferentes níveis – verde, preta e mestre- reconhecem a profundidade de treinamento e experiência.

Nos primórdios do Seis Sigma, a certificação e o treinamento de “*Black-belts*” foram desenvolvidos em um esforço conjunto entre as empresas, incluindo a Motorola, a Texas

Instruments, a IBM e a Kodak. Era um papel quase que exclusivamente técnico, focalizado em melhorias relacionadas à fabricação e a produtos. Atualmente, o papel e as habilidades que o definem ficaram mais diversificados.

A responsabilidade para iniciar os Projetos Seis Sigma é dos líderes de negócio, dos facilitadores, dos mestres *Black belts*, dos *Black belts*, dos donos do processo e de qualquer empregado, cuja idéia deverá ser aprovada por uma das funções citadas acima.

### **2.5.3 - Conteúdo de um Projeto Seis Sigma**

Um projeto Seis Sigma deve conter o título, o impacto do projeto para os Clientes, o escopo do projeto e limites, a declaração do problema, referenciando os dados que o suportam, a variável de saída – descrição do defeito, as metas e benefícios e o cronograma do projeto, além da discriminação de seus membros.

### **2.5.4 – Metodologia, fases do projeto Seis Sigma e Principais Ferramentas**

Deve-se selecionar um processo de alto impacto, sendo que um *Black Belt* qualificado conduz a equipe através das fases do projeto: DMAIC (do inglês, *Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) ou, Definição, Medição, Análise, Melhoria e Controle.

O projeto será realizado em tempo integral, explorando-se como as variáveis de entrada afetam as variáveis de saídas críticas, utilizando-se as ferramentas estatísticas e técnicas analíticas, numa duração típica de 2 a 4 meses completos.

A Figura 2.3 apresenta um fluxograma com as fases de desenvolvimento de um projeto Seis Sigma.

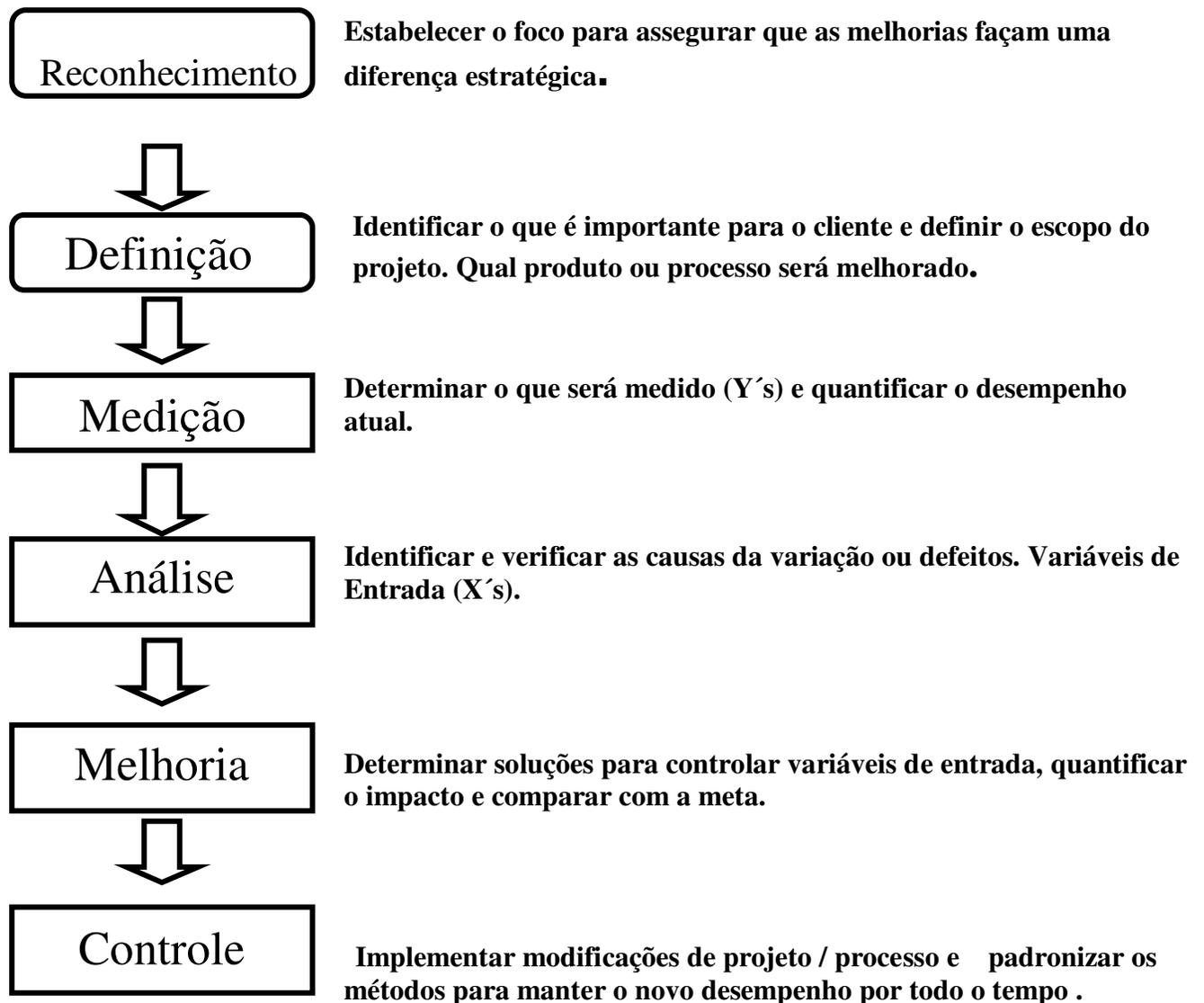


Figura 2.3 - Fases de desenvolvimento de um projeto Seis Sigma.

### 2.5.5 - Ferramentas Seis Sigma

Muitos problemas e oportunidades podem ser tratados por técnicas que todo mundo pode utilizar.

Por outro lado, de acordo com Pandle (2001), uma das chaves do sucesso do sistema Seis Sigma tem sido a aplicação de ferramentas mais sofisticadas, que trazem mais força para o

processo de aprendizagem e melhoria. Vou citar a seguir algumas ferramentas mais comuns aplicadas nos projetos Seis Sigma:

- Controle Estatístico do Processo– Identificação do problema
- Provas de Significância Estatística (Qui-Quadrado, T-test e Análise de Variância) – Definição do Problema e análise de causas-raiz
- Correlação e Regressão – Análise de soluções ótimas e validação de resultados
- Planejamento de Experimentos – análise de soluções ótimas e validação de resultados
- Análise do Modo e Efeito de Falhas (FMEA) – Priorização e prevenção de resultados
- Dispositivos à Prova de Erros - Prevenção de defeitos e aperfeiçoamento do processo

A seguir está descrita a ferramenta estatística que foi utilizada no projeto em questão.

#### **a) Testes de Significância Estatística (Qui-Quadrado, T-Test, Análise de Variância)**

Quando se mede ou analisa um processo ou produto, muitas vezes apresentam-se oportunidades de tirar conclusões válidas pela simples observação dos dados.

Acontecem situações, entretanto, em que as lições dos dados não são óbvias e muito menos seguras. Podem-se examinar os dados e não chegar a nenhuma conclusão. Pode-se ainda ter um ótimo palpite sobre o que está acontecendo, mas é preciso ter absoluta certeza de que as conclusões apóiam-se em dados.

Nestas situações, podem-se aplicar métodos de análise estatística mais rigorosos para determinar ou confirmar tendências ou configurações nos seus dados.

#### **b) Emprego dos Testes de Significância Estatística**

Os testes de significância estatística são alguns dos métodos mais importantes usados por profissionais de estatística para pesquisar configurações ou por a prova as suspeitas com relação aos dados. No Seis Sigma esta ferramenta têm várias aplicações possíveis, inclusive:

- Confirmação de um problema ou de uma mudança significativa de desempenho.
- Verificação da validade dos dados.
- Determinação do tipo de configuração ou “distribuição” em um conjunto contínuo dos dados.
- Desenvolvimento de hipóteses de causas básicas fundamentadas em configurações e diferenças.
- Validação ou rejeição de hipóteses de causas-raíz.

### **c) Os Fundamentos da Análise Estatística: A Hipótese Nula**

Muitas vezes conclusões amplas são feitas a partir de observações simples e, em muitos casos, isto não traz qualquer problema. O fato, entretanto, é que em muitas situações, as “distribuições” que se julgam estar vendo são simples variações aleatórias. É só esperar um pouco mais e haverá provas igualmente numerosas que levam a conclusões totalmente contrárias.

Em estatística, evita-se a possibilidade de que uma distribuição de amostragem falsa nos leve a conclusões errôneas adotando o que se chama a “hipótese nula”. A hipótese nula estabelece que qualquer variação, alteração ou diferença observada em uma população ou em um processo deve-se estritamente ao acaso. É o tipo de atitude de um indivíduo absolutamente céptico, que não acredita em nada a não ser que não se prove. Segundo Pandle (2001), muitas vezes a forma de convencer um céptico não consiste em provar a sua teoria, mas em rejeitar todas as outras explicações. Esta é a abordagem utilizada em provas de significância estatística.

### **Executando Testes de Significância Estatística: Métodos e Exemplos**

Existem também muitos métodos a escolher para se provar estatisticamente uma hipótese:

Teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ): esta é uma técnica usada com dados discretos e, em alguns casos, também com dados contínuos. Como exemplos, podem-se aplicar o teste de Qui-quadrado para:

- Comparar taxas de defeitos em dois locais para verificar se são significativamente diferentes.

- Verificar se as mudanças de escolha de produtos pelos Clientes de uma semana para outra indicam algum nível significativo de variação.

Teste  $t$ : Esse teste é usado para se provar a significância estatística quando existem dois grupos de amostras de dados contínuos . O teste  $t$  pode ser aplicado, como exemplo, para:

- Comparar o tempo de ciclo de uma etapa chave de seu processo durante duas semanas no decorrer de um trimestre, para verificar se ocorreu alguma alteração significativa.
- Pesquisar o nível de renda de Clientes em duas regiões para saber se está operando com Clientes de renda significativamente mais elevada ou mais baixa
- Verificar se a velocidade de busca de dois lotes separados de discos rígidos de computador é diferente

Análise de Variância: A análise de variância é mais do que um teste de significância para dados contínuos. Diferentemente do T-test, pode ser usada para comparar mais de dois grupos ou amostras. Seguindo-se os mesmos exemplos do T-test:

- Comparar o tempo de ciclo de uma etapa chave de seu processo durante cada semana no decorrer de um trimestre, para verificar se ocorreu alguma alteração significativa.
- Pesquisar o nível de renda de Clientes em quatro regiões para saber se está operando com Clientes de renda significativamente mais elevada ou mais baixa
- Verificar se a velocidade de busca de cinco lotes separados de discos rígidos de computador é diferente

#### **d) Passos Básicos em Testes Estatísticos**

A aplicação de estatística a problemas de negócios vem evoluindo atualmente. Grande parte do trabalho de cálculo foi eliminada, devido a softwares de estatística. As etapas de aplicação continuam a ser pertinentes, não importa com que velocidade os cálculos sejam feitos:

- 1- Identificar a questão em análise. Qual a questão ou preocupação básica à qual se deseja aplicar um teste estatístico? Deve-se verificar se um teste estatístico é realmente necessário; será que a resposta já não é suficientemente óbvia?
- 2- Formular a sua hipótese e a hipótese nula. Introduza a descrição da sua hipótese, conhecida como hipótese alternativa, ou aquilo que se supõe que esteja acontecendo e então negue tudo, concluindo: “Na realidade tudo não passa de probabilidades de eventos aleatórios” (a hipótese nula).
- 3- Selecionar o teste estatístico adequado. Antes de escolher uma técnica voltada para dados contínuos, reveja os dados para ver se o teste vai funcionar
- 4- Realizar o cálculo e examinar os resultados. Neste ponto existem basicamente três possibilidades:
  - a) A hipótese nula ser verdadeira, o que quer dizer que os dados não proporcionam evidências que apoiem a hipótese alternativa.
  - b) A hipótese nula não ser verdadeira, com base nos dados utilizados, indicando que algum fator significativo influenciou os dados e, portanto, a hipótese alternativa pode estar correta.
  - c) Ocorrer um erro, indicando que alguma coisa nos dados ou na ferramenta escolhida não está certa.

Durante o uso dos testes de Significância estatística, é recomendado:

- Certificar-se que os dados utilizados são válidos  
Um teste realizado com dados incorretos não tem sentido e pode ser perigoso. Se, por exemplo, o tamanho da amostra é insuficiente, pode-se concluir que existem diferenças significativas onde elas não existem.
- Selecionar o tipo de teste correto.  
Por exemplo, se os dados são discretos, o teste de Qui-quadrado é o que deve ser usado.

Durante o uso dos testes de Significância estatística, não é recomendado:

- Usar a própria habilidade de especialista como uma verificação “instintiva” da análise estatística,  
Os métodos estatísticos e a experiência devem trabalhar juntos.
- Considerar-se um “especialista” cedo demais.  
Existe uma quantidade de complexidades e nuances nestas ferramentas. Situações não usuais são bastante típicas no mundo real e por isso pode ser preciso mais do que um pouco de experiência para que se aprendam todos os caminhos da análise estatística.

#### **e) Diretrizes para a Utilização de Ferramentas**

Para utilização das ferramentas estatísticas, deve-se levar em consideração a seguintes práticas:

- Ter um objetivo claro, sempre que se decidir a usar uma ferramenta
- Considerar as opções e selecionar a técnica que mais provavelmente satisfaça às suas necessidades. Normalmente há mais de um método que poderá ser útil
- Não complicar, adequar o detalhe e a complexidade da ferramenta com a situação. As ferramentas mais básicas devem ser usadas mais freqüentemente.
- Adequar o método às necessidades

Se uma ferramenta não estiver funcionando, cessar a sua utilização

## 2.6 – Custos da Não Qualidade

### 2.6.1 - Quantificando os ganhos dos projetos

Muito embora o mais importante item a melhorar seja a satisfação do Cliente, os projetos *Seis Sigma* também trarão uma proporcional economia de dinheiro.

De acordo com o manual Johnson Controls (2001), é importante para uma organização ter um balanço de projetos focados em:

- Qualidade, advinda da perspectiva do Cliente
- Ganhos substanciais de longo prazo (satisfação do Cliente, ganhos financeiros, etc)
- Ganhos de curto prazo, cuidando para a satisfação do Cliente melhore ou que não seja afetada

### 2.6.2 - O Que é o Custo da Não-Qualidade?

De acordo com Juran (1988), o COPQ (do inglês *Cost of Poor Quality*) ou Custo da Não-qualidade são os custos provenientes de não se ter total confiança de que a qualidade dos produtos ou processos vai estar sempre perfeita. Estes custos desapareceriam se não houvesse defeitos.

### 2.6.3 - Categorias dos Custos da Qualidade

- **Custos por falha interna:** São custos que iriam desaparecer se não houvesse defeitos no produto antes da entrega ao Cliente. Exemplos: Geração de sucata, retrabalho, perda de horas, perda de rendimento, excesso de inventário, de acordo com Juran (1988).
- **Custos por Falha Externa:** São custos que iriam desaparecer se não houvessem produtos defeituosos entregue aos Clientes. Exemplos: Perda de um negócio, garantia, desconto devido a má qualidade, atendimento à reclamações.

- **Custos de Avaliação:** São custos decorrentes da análise da condição do produto. Exemplos: Inspeção de recebimento, inspeções de processo, testes destrutivos, manutenção de equipamentos de teste, auditorias de qualidade.
- **Custos de Prevenção:** São os custos decorrentes de se manter os custos de falhas e análises no patamar mínimo. Exemplos: Treinamento, manutenção preventiva dos equipamentos de produção, análise de capacidade do processo, realização de melhoria contínua (FMEA, DOE, Mecanismos à Prova de erro, etc).

#### 2.6.4 - Ganhos Tangíveis e Intangíveis

O *Seis Sigma* focaliza-se em reduzir despesas através da eliminação de defeitos e ineficiência.

De acordo com Johnson Controls (2001), existem dois tipos de ganhos:

##### a) Ganhos Tangíveis (*Hard Savings*)

- A completa remoção da despesa, melhorando o lucro da empresa.
- Ganhos baseado nos níveis de despesas atuais, não em orçamentos ou previsões
- É diretamente identificado no projeto *Seis Sigma*
- É um dos focos principais de todos envolvidos do projeto, juntamente com a Satisfação dos Clientes.

Exemplos:

- Eliminação de cargos
- Eliminação de serviços temporários
- Redução do custo de sucata, retrabalho e inspeções
- Redução de horas extras
- Redução do custo de garantia
- Redução do custo de frete

### b) **Ganhos Intangíveis (*Soft Savings*)**

- A remoção dos gastos de uma etapa do processo, que continuam existindo nas outras etapas e os recursos não podem ser realocados.
- Cria oportunidades para ganhos futuros

Exemplos:

- Elimina a necessidade de aumento futuro de mão de obra em função de melhorias realizadas no processo
- Melhoria de satisfação dos Clientes que resulta em aumento de pedidos
- Elimina necessidade de se planejar maiores gastos no orçamento futuro

## **2.7- O Projeto Seis Sigma Johnson Controls - Modelo**

O formato padrão para os projetos *Seis Sigma* na *Johnson Controls* foi desenvolvido através de uma parceria com a *Six Sigma Academy* (USA) e adotado na Enertec do Brasil, de acordo com Johnson Controls (2001).

A seguir, são citadas as fases ou etapas que deve seguir o projeto de acordo com esta metodologia e as etapas “DMAIC” citadas no item 2.5.4.

### **2.7.1 – Fase de Definição**

#### **Descrição do Problema**

- Definir o que está errado, onde e se a causa é conhecida.
- Descrever o que está errado e porque isto é um problema.
- Descrever por quê este projeto é importante para o Cliente.
- Descrever o que o Cliente quer e precisa.

## Objetivos

- Descrever quais são os objetivos
- Relacionar quais são as saídas ou benefícios desejados deste projeto.
- Citar como a Segurança pode ser melhorada através deste projeto.

## Custo da Não Qualidade - Tangíveis

- Quais são os custos que comprometem os ganhos tangíveis (*Hard Savings*)?

## Custo da Não Qualidade - Intangíveis

- Quais são os custos que comprometem os ganhos intangíveis (*Soft Savings*)

**As Seis Questões Críticas** – devem-se realizar as seguintes questões para o bom andamento do projeto:

1. Por quê o processo existe? Quais são as suas saídas? (itens tangíveis que o processo provê).
2. Quem são os Clientes do processo? Quem são os grupos de pessoas que recebem, usam ou dependem das saídas do processo? Devem-se considerar os Clientes internos e os Clientes externos.
3. O que é importante para o Cliente? Quais são as características das saídas do processo que mais importam aos Clientes? Denominar as características, como segue:  
CTQ (Crítico para a Qualidade – *Critical to Quality*)  
CTC (Crítico para o Cliente – *Critical to Customer*)  
CTD (Crítico para a Entrega – *Critical to Delivery*)

- 4 Quais características deveriam ser selecionadas para melhoria? Em quais características falha-se em fornecer o que o Cliente precisa?
- 5 Para cada característica selecionada para melhoria, especificamente qual deveria ser medida (Y) ?
- 6 Quais os limites do processo que definem a região através da qual se podem fazer mudanças para melhorar as características selecionadas?

### **Definir a Agenda do Projeto e Equipe de Trabalho**

**Agenda:** colocar a data original de finalização do projeto e a data real de finalização para o final de cada fase e realizar uma conclusão das mesmas:

#### **Time de trabalho**

Relacionar os membros da equipe e suas funções

#### **Conclusão da Fase de Definição**

Na conclusão da fase de definição, deve-se verificar se estão claramente definidos a descrição do problema, os objetivos do projeto, os ganhos tangíveis e intangíveis, o impacto na segurança e o time de trabalho.

#### **2.7.2 – Fase de Medição**

- **Definir as Entradas, Processo e Saídas**

Fazer uma lista das variáveis de entrada (X), o processo relacionado e as variáveis de saída (Y), conforme o diagrama da Figura 2.4.

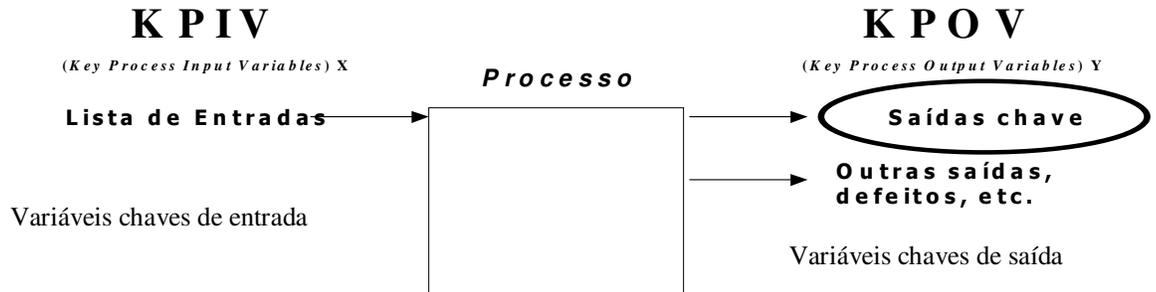


Figura 2.4 – Diagrama IPO – *Input, Process, Output* (entradas, processo e saídas)

### Mapa Inicial do processo

Fazer o mapa inicial do processo, discutir as saídas do processo, identificar as saídas relacionadas ao CTQ, identificar os passos que não agregam valor. Caso exista um estudo de tempos, relacionar os tempos do processo

### Análise do Sistema de Medição

Descrever o estudo de Análise do Sistema de Medição (MSA) realizado, para garantir a confiabilidade das medidas.

### Dados Históricos

Demonstrar quaisquer dados históricos disponíveis e como eram utilizados, identificar a fonte e a data de coleta dos dados, fazer histograma, cartas de controle, diagramas de pareto, estudos de tempo, etc.

Caso não existam dados históricos ou se existem e são inadequados, relacionar que dados devem ser coletados.

## **Capacidade Inicial do Processo**

Deve-se definir a unidade de medição do projeto, as oportunidades e os defeitos para cada etapa do processo e calcular a capacidade inicial.

## **Escopo do Projeto**

Deve-se direcionar o escopo do projeto para que seja específico e gerenciável e também identificar qual é o objetivo de melhoria.

## **Conclusão da Fase de Medição**

Para concluir esta fase, devem-se relacionar as variáveis de saída (Y), providenciar os gráficos apropriados (Cartas de controle, Histogramas, Box Plot, etc), colocar o valor da Média e Desvio Padrão, PPM e Nível Sigma e colocar os resultados do estudo de MSA.

### **2.7.3 – Fase de Análise**

#### **Identificar as Causas Potenciais da fonte de variação (ou problema)**

Definir quais as ferramentas serão usadas para identificar as causas potenciais das condições não desejadas. Exemplo: FMEA, Diagrama de Causa e Efeito, Cinco Por quês, etc. A seguir, exemplos do formato do Diagrama de causa e Efeito e dos cinco por quês.

O Diagrama de causa e efeito, na Figura 2.5, relaciona as principais causas do efeito estudado.

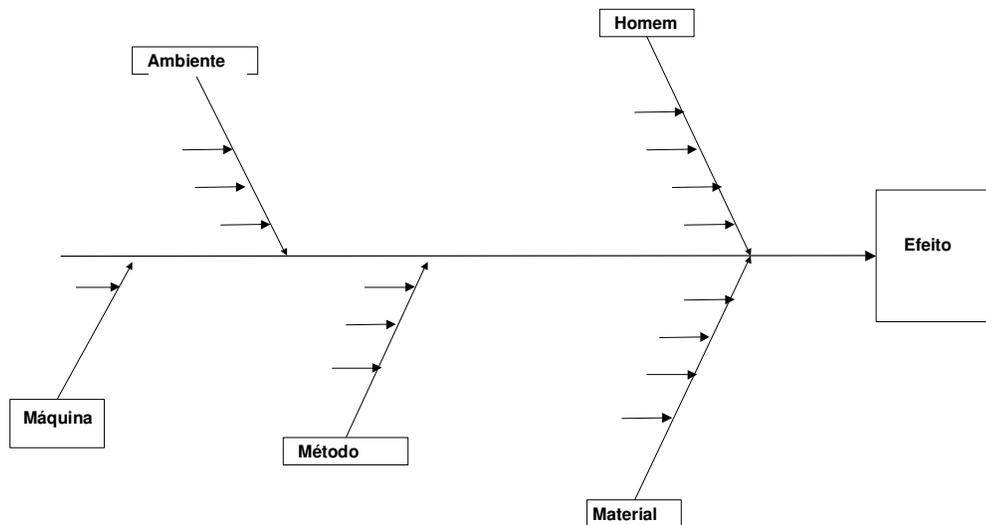


Figura 2.5 – Diagrama de causa e efeito.

**Os 5 Por Quês.** Esta ferramenta consiste em perguntar cinco vezes pelas causas potenciais daquele efeito e priorizá-las

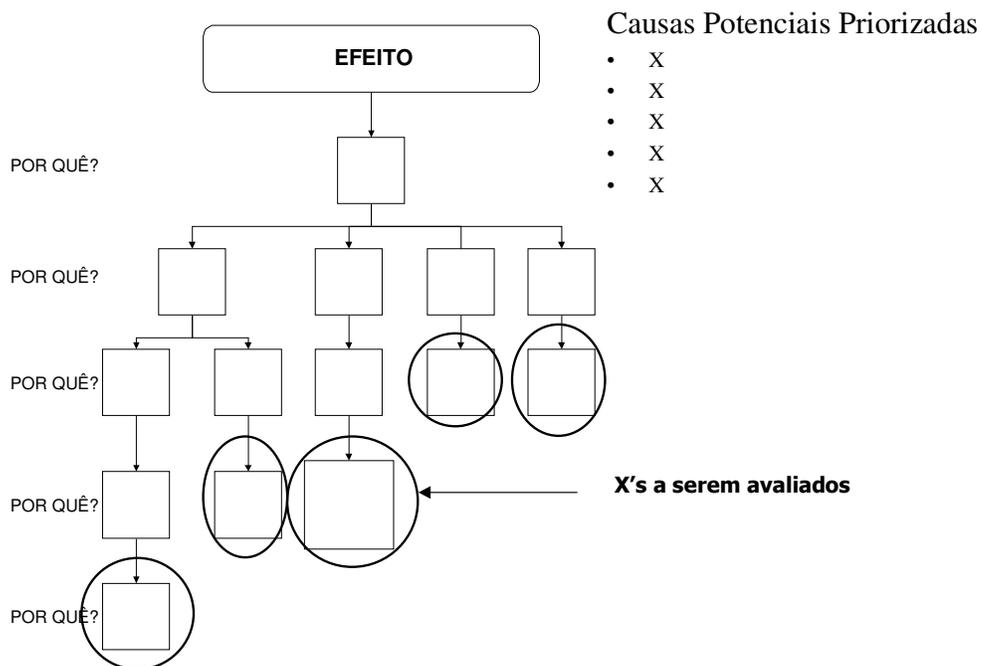


Figura 2.6 – Os cinco por quês.

## **Verificar as Causas Potenciais**

Devem-se definir quais são as causas priorizadas, relatar como a equipe verificou as causas suspeitas e discutir os testes estatísticos e análises gráficas que foram realizadas. Para cada teste estatístico, estabelecer a hipótese nula e a alternativa.

## **Refinar o Objetivo de Melhoria**

Baseado na análise das causas, definir o novo objetivo de melhoria.

## **Conclusão da Fase de Análise**

Deve-se relacionar as causas críticas (X's), demonstrar as ferramentas utilizadas, tais como o diagrama de Causa e Efeito, DOE, testes de Hipóteses, etc.

### **2.7.4 – Fase de Melhoria**

Nesta fase devem-se determinar as soluções para controlar as variáveis de entrada.

## **Determinar Soluções**

Deve-se discutir qualquer delineamento de experimentos que foi conduzido: o propósito, *lay-out* experimental, resultados e modelo matemático, analisar como o experimento ajudou a verificar as causas ou determinar os melhores níveis de operação. Também se devem discutir outros métodos utilizados (FMEA, *Brainstorming*, etc.) para gerar, avaliar e selecionar soluções para que contenham as causas verificadas.

## **Implantação e Verificação**

Deve-se verificar como cada solução foi analisada com dados antes de uma implementação em larga escala, analisar quais testes estatísticos foram realizados para verificar o

efeito de cada solução, discutir com a equipe um plano para implementação em larga escala e discutir como o dono do processo está comprometido em implementar e manter as soluções.

### **Análise do Y Colateral**

Deve-se definir o impacto das soluções propostas nos efeitos colaterais (Y's).

### **Novo Mapa de Processo**

Revisar o mapa de processo para incluir as mudanças.

### **Novo Nível de Desempenho**

Após a implantação das soluções, deve-se demonstrar a nova análise de capacidade do processo, o novo nível de desempenho em relação ao nível anterior, utilizando-se as medidas estabelecidas na fase de medição.

### **Conclusão da Fase de Melhoria**

Para concluir esta fase, devem-se relacionar as causas identificadas com as ações de contenção, demonstrar os melhores níveis para as variáveis X's e quais foram as ferramentas utilizadas..

## **2.7.5 – Fase de Controle**

### **Ações de Controle**

Relacionar as ações tomadas, quais os controles que foram adotados para controlar as variáveis X (Controle estatístico do Processo, Sistemas a prova de Erros, Controles Visuais, Procedimentos de Operação, etc.)

## **Sistemas de Medição**

Relacionar quais os novos sistemas de medição que foram estabelecidos e quais estudos de MSA(Análise do Sistema de Medição) que foram realizados.

## **Validação de Dados**

Para validação dos dados devem-se obter dados durante três meses (média mensal), validar a melhoria de forma sustentada, verificar se os objetivos financeiros foram atendidos, calcular o impacto no resultado financeiro e outros tipos de ganhos. Verificar o novo desempenho do processo para validar o atendimento aos objetivos do projeto.

## **Conclusão da Fase de Controle**

Para conclusão da fase de controle, deve-se demonstrar como as variáveis X serão controladas e como as variáveis Y serão monitoradas.

### **2.7.6 – Conclusões do Projeto**

Para as conclusões do projeto deve-se fazer gráficos comparativos da situação anterior e situação atual, comparar os resultados do projeto com situação anterior através de PPM, Nível Sigma, custos da não-qualidade, devem-se disseminar as melhores práticas em outras áreas da organização, analisar problemas e barreiras que aconteceram no projeto para que sejam evitados no futuro e tecer recomendações para futuras melhorias no processo.

## Capítulo 3

### Metodologia

#### 3.1 – O Projeto Seis Sigma na Johnson Controls e Enertec: Redução da Geração de Borra

Um projeto *Seis Sigma* na *Johnson Controls* deve ser ligado ao objetivo de negócio e crítico para satisfação do Cliente, deve ter um potencial de economia de U\$ 50.000 / ano (Economia real, validada pela área financeira). Também deve ser completado dentre de 3 a 5 meses e idealmente deve exigir pouco ou nenhum capital e ser reproduzido em outras fábricas do Grupo.

A Johnson Controls começou a entender que esta filosofia era vital para atender sua missão de continuamente exceder as expectativas dos seus Clientes, através da melhoria de:

- Qualidade
- Serviços
- Produtividade
- Redução de tempos de ciclos

Em 2001 ocorreu o início das atividades *Seis Sigma* na Enertec do Brasil. Inicialmente foi realizado um treinamento de um dia, para toda a direção, com o “Master Black Belt” (mestre faixa preta) da Johnson Controls do Brasil, divisão de assentos automotivos . Posteriormente foi realizado um treinamento de três dias, realizado pelo diretor de Seis Sigma da matriz da Johnson Controls, também realizado para a alta administração, seus futuros “Champions” (facilitadores).

Em seguida foi a vez dos “Black-Belts”(faixas pretas) serem treinados, num curso de uma semana por mês, totalizando quatro semanas de treinamento. Mais adiante serão detalhados os papéis de cada uma destas funções nos projetos Seis Sigma.

Na Enertec foi criado o departamento de CI “Continuous Improvement” (Melhoria Contínua), com uma gerência específica, para os quais passaram a se subordinar os Black Belts.

O projeto escolhido foi relativo a geração de borra no processo de fundição de chumbo, que é um item indesejável, uma vez que é considerado na Enertec um rejeito interno, aumenta a quantidade de resíduos Classe I (perigosos) que são transportados e também provoca problemas de qualidade no produto. A alta direção da empresa solicita, constantemente, a procura de soluções que minimizem esta geração.

Com o início da implantação da metodologia *Seis Sigma*, este foi um dos projetos pioneiros, cujas fases estão descritas a seguir. Com relação ao modelo descrito anteriormente, foram utilizados somente os itens pertinentes.

### **3.1.1 – Fase de Definição**

#### **Definição do Problema**

Devido à geração de borra de chumbo durante a fundição, tem-se:

- Alto custo do processo na fundidora de bobinas (*Caster*), crítico para o Cliente - (CTC)
- Oxidação da liga de chumbo na fundidora, crítico para qualidade do produto. (CTQ)

#### **Objetivos**

- Reduzir a Geração de borra (CTC)
- Aumentar a quantidade de ligas disponíveis dentro da especificação (CTQ)

#### **Desempenho Atual**

Fundidora = 805.730 PPM. Este valor de PPM reflete a quantidade de borra que ultrapassa o limite máximo estabelecido.

## **Meta Inicial**

- Fundidora = 200.000 PPM
- Economia = R\$ 225.000,00/ano

## **Custo da Não-Qualidade**

Na Tabela 3.1 têm-se os dados de quantidade de borra produzida e o custo gerado no período de janeiro/2001 a agosto/2002.

O Custo Total médio de geração de borra por ano é de R\$ 949.848,47, composto pelo custo da matéria prima, frete do transporte de ida e volta da empresa recicladora e custo da reciclagem do material.

Todos os cálculos de custo foram acompanhados e validados pelo departamento financeiro.

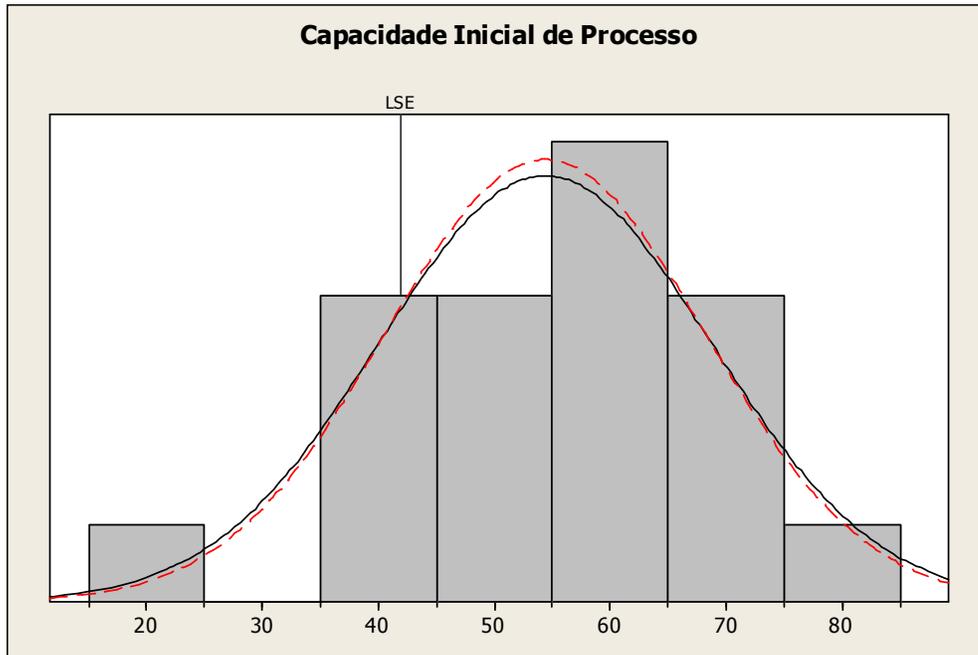
Deve-se ressaltar também que todos os resultados estatísticos apresentados na forma de gráficos e tabelas foram obtidos com o uso do software comercial Minitab®.

Tabela 3.1 Projeto Enertec – Custo da não-qualidade

<b>Mês</b>	<b>Qtde Borra (g)</b>	<b>Qtde Bobinas (Kg)</b>	<b>Borra (g)/ Bobinas (Kg)</b>	<b>Custo Total</b>
jan-01	48131000	857064	56.16	R\$ 63,532.92
fev-01	82164000	1418896	57.91	R\$ 108,456.48
mar-01	81642000	1402384	58.22	R\$ 107,767.44
abr-01	70429000	1281653	54.95	R\$ 92,966.28
mai-01	60766000	1352339	44.93	R\$ 80,211.12
jun-01	82836000	1271366	65.16	R\$ 109,343.52
jul-01	69653000	1562715	44.57	R\$ 91,941.96
ago-01	69307000	1616652	42.87	R\$ 91,485.24
set-01	72596000	1416773	51.24	R\$ 95,826.72
out-01	69789000	1254122	55.65	R\$ 92,121.48
nov-01	57949000	1158822	50.01	R\$ 76,492.68
dez-01	38969000	575334	67.73	R\$ 51,438.42
jan-02	59086000	1305113	45.27	R\$ 77,993.52
fev-02	44228000	1137768	38.87	R\$ 58,380.96
mar-02	61020000	1021430	59.74	R\$ 80,546.40
abr-02	70935000	987700	71.82	R\$ 93,634.20
mai-02	51152000	909367	56.25	R\$ 67,520.64
jun-02	54442000	693187	78.54	R\$ 71,863.44
jul-02	15282000	878089	17.40	R\$ 20,172.24
ago-02	38928120	554058	70.26	R\$ 51,385.12
Total	1199304120	22654831	52.94	R\$ 1,583,080.78
<b>Média Anual</b>	<b>719582472</b>	<b>13592899</b>	<b>54.38</b>	<b>R\$ 949,848.47</b>

### Dados Iniciais – Capacidade do Processo

Na Figura 3.1 pode-se observar a quantidade de borra gerada acima do limite de engenharia especificado de 42,0 gramas/kg de bobina.



LSE = 42,0  
 LIE = \*  
 Média = 54,37742  
 Amostra N = 20  
 Desvio Padrão = 14,35447  
 PPM=805.730

Figura 3.1 – Dados iniciais – Produção de borra em gramas por kg de bobina.

Pode-se observar que o processo não é capaz, pois a quantidade de borra gerada acima da especificação é muito maior do que o aceito pela engenharia, definido através do limite superior de engenharia (LSE)

A seguir, de acordo com o modelo proposto neste trabalho, foram realizadas as Seis Questões Críticas e suas respectivas respostas.

### As Seis Questões Críticas

1- Por quê o processo existe?

Para fornecer bobinas de chumbo ao processo de Expansão das placas da bateria.

2- Quem são os Clientes do processo?

Clientes Externos = Consumidores, Distribuidores e Montadoras.

Clientes Internos = Diretoria de Operações Industriais, Garantia da Qualidade e Meio Ambiente.

3- O que é importante para o Cliente?

O alto nível de borra gera custo (CTC), devido a perda de matéria prima e custo para reciclagem.

A oxidação da liga de chumbo (CTQ), que interfere na qualidade do produto.

4- Quais as características que deveriam ser selecionadas para melhoria?

A Superfície de oxidação de chumbo na fundidora, pois quanto maior área de contato com o oxigênio maior a formação de borra.

O abastecimento dos lingotes, pois seu tamanho e quantidade também interferem no processo.

O abastecimento de sucata da Expansora, que é a parte seguinte do processo.

5 - Para cada característica selecionada para melhoria, qual deveria ser medida (Y) ?

A quantidade de borra por bobina produzida (g borra/Kg de bobina)

6- Quais são os limites do processo que definem a região através da qual podem-se fazer mudanças para melhorar as características selecionadas?

O processo inicia-se em fornecimento dos lingotes e finaliza-se com o armazenamento das bobinas.

### **Equipe de Trabalho**

Os seguintes colaboradores fizeram parte da equipe de trabalho neste projeto:

- Engenheiro de Processo, desempenhando a função de membro de equipe.
- Operador de Máquina, desempenhando a função de membro de equipe.
- Coordenador Ambiental, desempenhando a função de membro de equipe.
- Coordenador de Manutenção, desempenhando a função de membro de equipe.
- Coordenador de Produção, desempenhando a função de dono do processo.
- Gerente de Melhoria Contínua, desempenhando a função de líder da implantação.
- Gerente de Garantia da Qualidade, desempenhando a função de facilitador.
- *Black Belt*

### **Conclusão da Fase de Definição**

A alta taxa de oxidação do chumbo na superfície de contato com o ar, durante a fundição, ocasiona um alto custo de reciclagem em recicladoras externas licenciadas, com conseqüente transporte de resíduos classe I (perigosos). Além disto, parte da liga que deveria estar sendo utilizada no processo está sendo desperdiçada em forma de borra.

O objetivo é reduzir a geração e envio de borra para reciclagem externa, reduzindo o PPM do processo de 805.730 para 200.000, com uma economia de R\$ 225.000,00.

### 3.1.2. – Fase de Medição

#### Diagrama de Entradas, Processo e Saídas

A Tabela 3.2 apresenta as entradas do processo e as saídas desejadas após a implantação do projeto proposto neste trabalho.

Tabela 3.2 – Projeto Enertec: Diagrama de Entradas, Processo e Saídas

<b>ENTRADAS</b>	<b>PROCESSO</b>	<b>SAÍDAS</b>
-Alimentação dos lingotes -Sucata da Expander -Sucata das caçambas -Resistências elétricas -Grande área oxidante de contato -Flotação dos elementos de liga (Ca, Sn)	Sistema da Caster	-Pallet com Bobinas -g borra/ Kg bobina

#### Mapa do Processo Inicial

A Figura 3.2 apresenta o processo inicial antes das modificações propostas neste projeto.

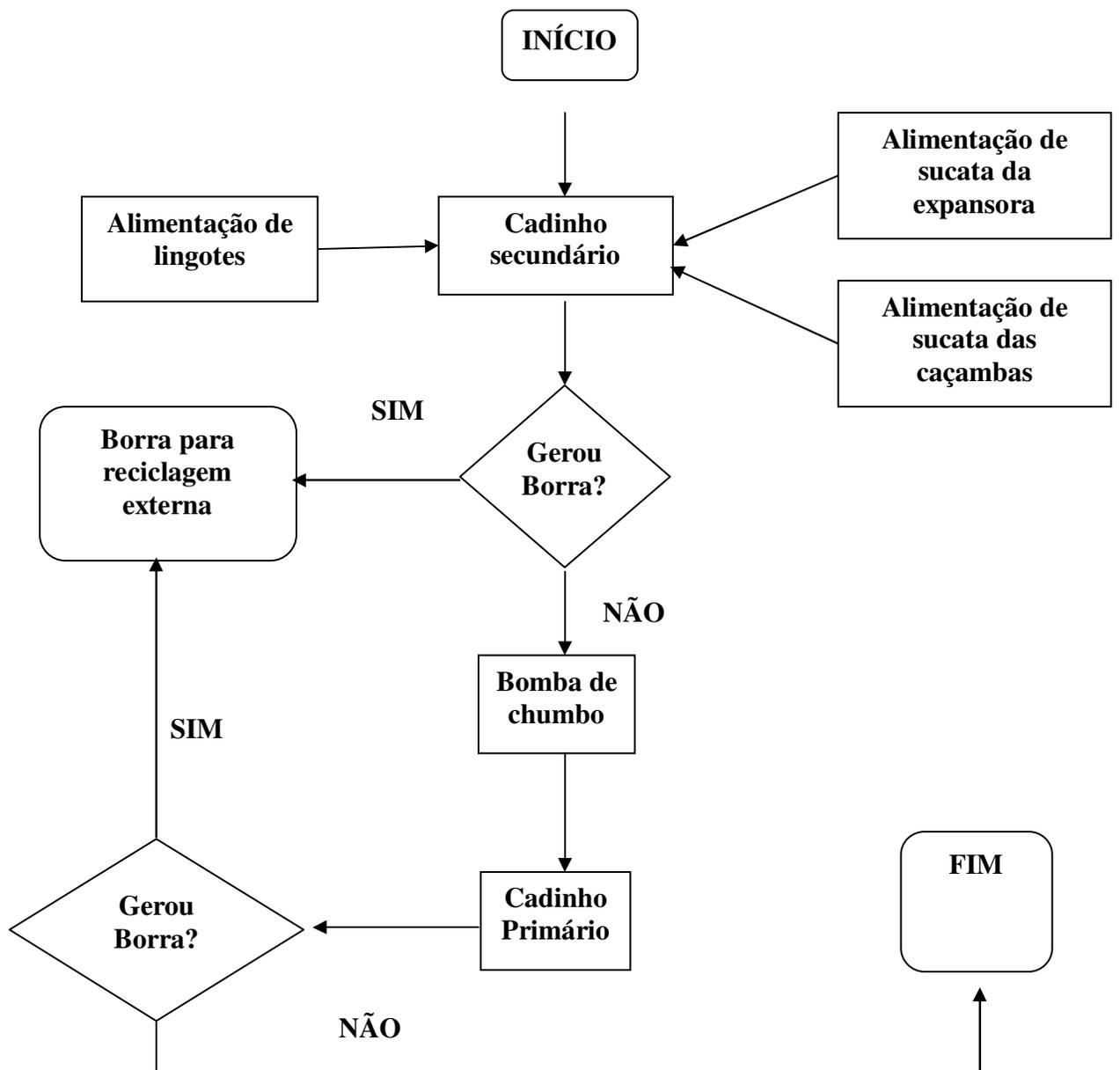


Figura 3.2 – Mapa do processo inicial.

## Análise do Sistema de Medição

A Tabela 3.3 traz um estudo de repetitividade e reprodutibilidade realizado para analisar a habilidade da escala usada para detectar a quantidade de borra que estava sendo medida.

O Estudo foi realizado com três operadores e cinco caçambas de borra com pesos variados, para analisar a interferência dos operadores no processo de medição e a interferência dos equipamentos de medição.

Tabela 3.3 – Resultados de repetitividade e reprodutibilidade (R&R)

Fonte	VarComp	%Contribuição (of VarComp)
R&R Total	0,4	0,00
Repetitividade	0,4	0,00
Reprodutibilidade	0,0	0,00
Operador	0,0	0,00
Peça-a-Peça	8135,2	100,00
Variação total	8135,6	100,00

Fonte	StdDev (SD)	Study Var (5,15*SD)	%Study Var (%SV)
R&R Total	0,6073	3,128	0,67
Repetitividade	0,6073	3,128	0,67
Reprodutibilidade	0,0000	0,000	0,00
Operador	0,0000	0,000	0,00
Peça-a-Peça	90,1954	464,506	100,00
Variação Total	90,1975	464,517	100,00

← 10% Máximo aceitável

Os resultados da Tabela 3.3 mostram que a variação do sistema de medição é proveniente do item peça-a-peça ou, neste projeto, de caçamba de borra para caçamba de borra.

O equipamento de medição, com 0,67 % de variação, é muito bom, uma vez que até 10% de variação ainda seria aceitável.

### Aplicação da ANOVA (Análise de Variâncias) na análise do sistema de medições.

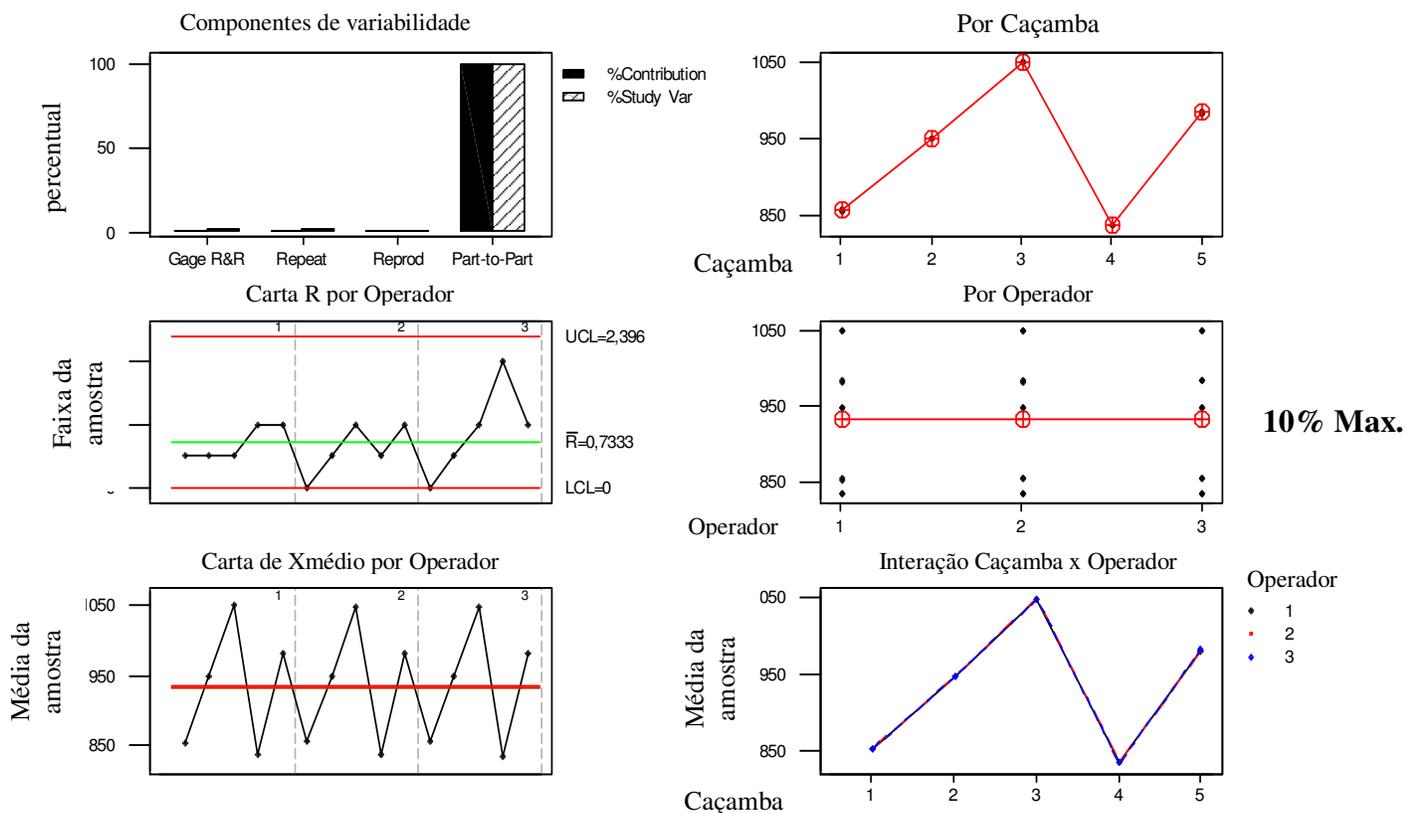


Figura 3.3 – Resultados da análise de variâncias.

A Figura 3.3 apresenta a variação de peça para peça. As variações relativas à interação dos operadores são praticamente nulas.

No gráfico de amplitudes (R Chart) nota-se que o operador 3 possui uma maior dispersão nas suas medições.

## Dados Históricos de Medição

A quantidade de borra destinada ao processo de reciclagem era contabilizada pela área responsável pelos fornecedores de chumbo. Não havia dados históricos da quantidade de geração de borra por cadinho de fundição.

## Conclusão da Fase de Medição

A intenção principal desta fase foi de identificar e quantificar o potencial do projeto, demonstrando estatisticamente suas necessidades e definindo o escopo do projeto que a equipe iria trabalhar, em função da melhoria da qualidade, redução de custo e redução dos riscos ambientais.

### 3.1.3 - Fase de Análise

A Figura 3.4 apresenta o diagrama de causa e efeito utilizado na identificação das Principais causas potenciais para a geração de borra.

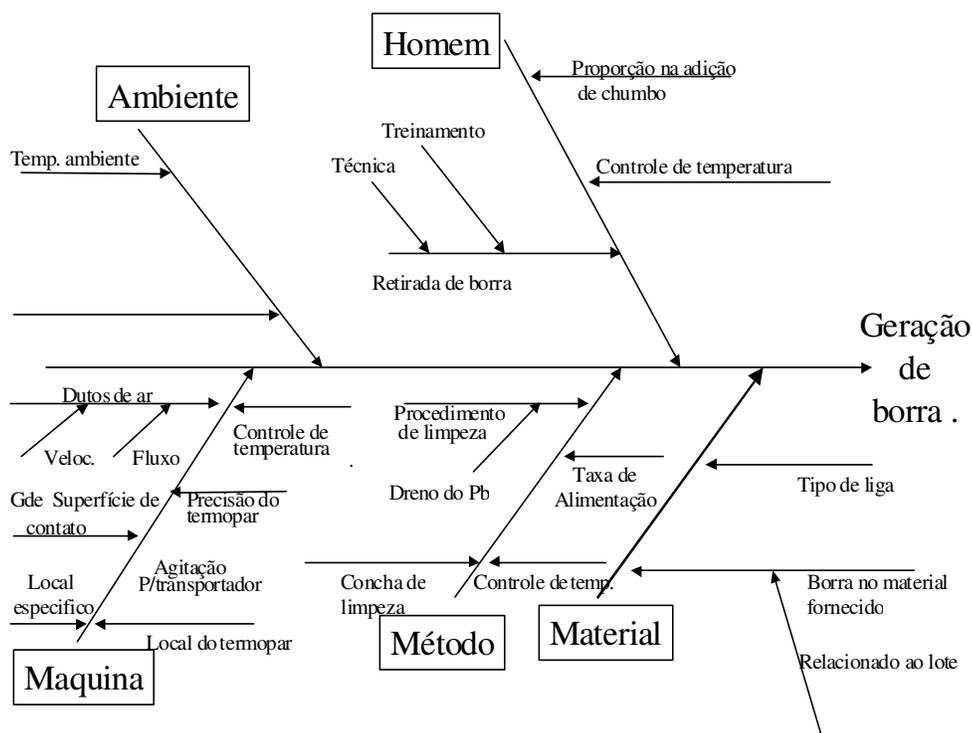


Figura 3.4 – Diagrama de causas e efeitos na geração de borra.

## Identificação das Causas Potenciais

Em função da experiência dos técnicos da equipe e de dados históricos das outras fábricas do grupo nos Estados Unidos e no México, as seguintes causas foram escolhidas pela equipe como principais a serem testadas:

1. Grande superfície de contato entre a liga de chumbo e o ar
2. Agitação da liga de chumbo no processo de transporte do cadinho secundário para o cadinho primário
3. Frequência de limpeza da borra da superfície do cadinho

## Verificação das Causas Potenciais

De acordo com a Tabela 3.4, foi realizado um teste de hipóteses para analisar as causas potenciais de geração de borra.

Tabela 3.4 – Teste de hipóteses para analisar as causas potenciais da geração de borra

Causas Potenciais Priorizadas	Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	Verificação de dados (Y)	Tipo de dados (Atributo/Variável)	Metodo de Verificação	Resultados
1-Grande superfície de contato com ar	A média de borra proporcional ao peso é igual	A média de borra proporcional é diferente	g borra por kg bobina produzida	Variável	Two Sample T Test: 10 valores proporcionais vs. Proporção inicial	Aguardando o teste com refratário
2-Agitação da liga de chumbo no transporte p/cadinho primário	A média de borra proporcional ao peso é igual	A média de borra proporcional é diferente	g borra por kg bobina produzida	Variável	Two Sample T Test: 10 valores proporcionais vs. Proporção atual	Rejeita hip. Nula: a média de borra proporcional é diferente (P = 0.000)
3-Frequência de limpeza da borra as superfície do cadinho .	O peso médio de borra da limpeza é igual	O peso médio de borra da limpeza é diferente	Peso de Borra	Variável	Two Sample T test: Média de peso atual vs média peso inicial	Aceita hip Nula: o peso médio é igual (P = 0.879)

## Conclusão da Fase de Análise

A hipótese número 1 não foi testada, uma vez que requeria investimento em tijolos refratários para realizar o teste.

Na hipótese número 2, a hipótese nula foi rejeitada, ou seja, aceitando a hipótese de que a média de borra proporcional ao peso de bobina é diferente antes e depois da agitação por transporte de liga do cadinho primário para o cadinho secundário.

Na hipótese número 3 aceitou-se a hipótese nula, sendo que a média de borra gerada, proporcional ao peso, não variou de acordo com a frequência de limpeza do cadinho.

### 3.1.4 – Fase de Melhoria

#### Determinação das Soluções

Na Tabela 3.5 observam-se as soluções assumidas como mais viáveis para implantação.

Tabela 3.5 – Soluções apresentadas para melhoria

	Eficácia	Facilidade de implementação	Custo
Ações Corretivas			
Comprar um cadinho com conceito diferente	⊙	△	△
Comprar resistências externas de contato e cobrir o cadinho atual	⊙	△	○
<u>Solução I</u> Retornar a borra do cadinho primário para o cadinho secundário.	⊙	○	⊙
<u>Solução II</u> Desenvolver um sistema de refusão de acordo com projeto JCI	⊙	○	○

**Legenda:** ⊙ Muito eficaz, fácil implementação, baixo custo  
○ Eficácia moderada, implementação moderadamente fácil, custo moderado  
△ Não muito eficaz, difícil implementação, alto custo

Por muito eficaz entende-se a solução que pode trazer os resultados da geração de borra para reciclagem para dentro do limite superior de engenharia. Eficácia moderada seria a solução que melhora o resultado porém ainda não atende o objetivo. Por baixo custo entende-se o investimento que se paga em um ano, de acordo com as regras da Johnson Controls.

Devido ao custo e facilidade de implantação, o projeto foi desenvolvido em duas fases, sendo a implementação da solução I – Retornar a borra do cadinho primário para o cadinho secundário e a implementação da solução II – Desenvolver um sistema de re-fusão de acordo com o projeto JCI (*Johnson Controls*). Cabe ressaltar que a Solução I e a Solução II foram implementadas separadamente.

### Implantação e Verificação da Solução I

A Solução I foi implantada, sendo introduzida a operação de retornar a borra do cadinho primário para o cadinho secundário. Na Figura 3.5 se encontra a comparação entre os dados de geração de borra da fase inicial e após a implantação da Solução I.

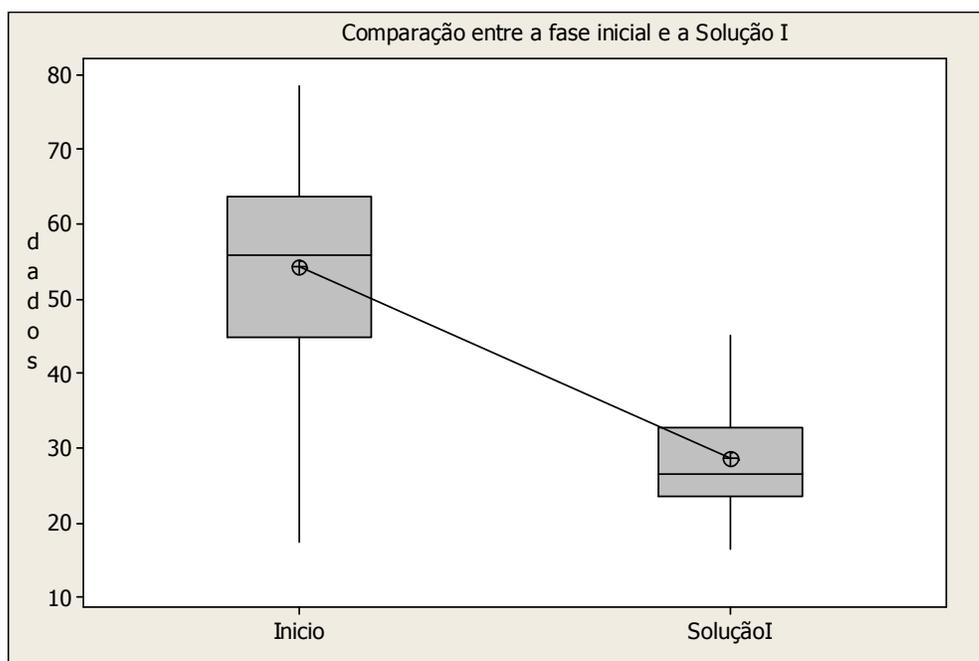


Figura 3.5 – Valores médios e dispersão antes e após a implantação da Solução I, em gramas de borra/kg de bobinas produzidas, de acordo com os dados das tabelas 3.1 e 4.2.

A média de borra gerada para reciclagem, representada neste diagrama de blocos pelo círculo, caiu sensivelmente, assim como a variação.

## Implantação e Verificação da Solução II

A solução II foi implantada através da compra e instalação de um sistema de re-fusão de borra. Na Figura 3.6 se encontra a comparação entre os dados de geração de borra após a implantação da Solução I e após a implantação da Solução II.

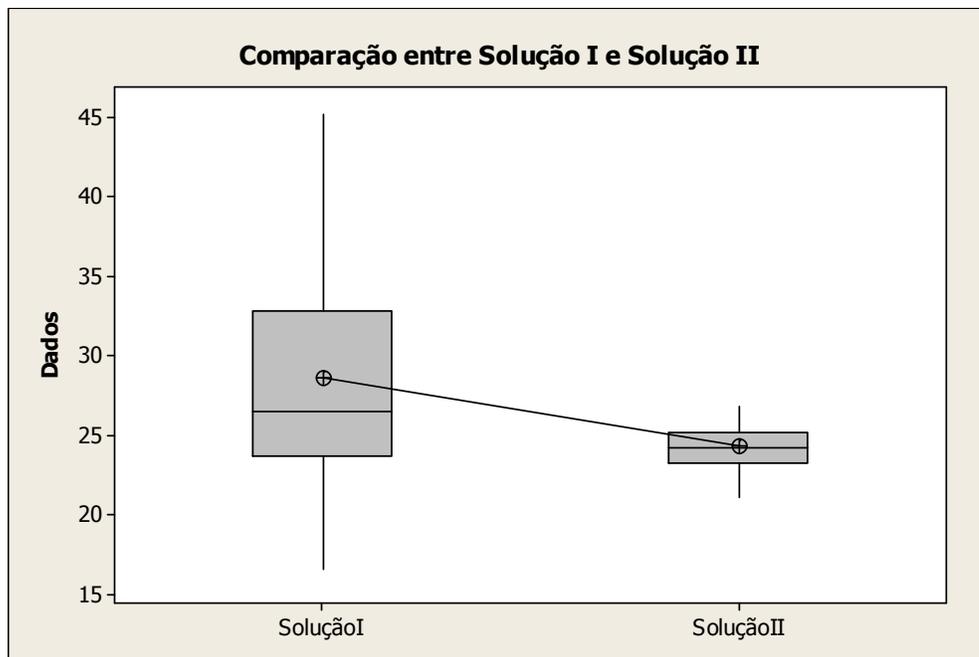


Figura 3.6 – Valores médios e dispersão antes e após a implantação da Solução II, em gramas de borra/kg de bobinas produzidas, de acordo com os dados das tabelas 4.2 e 4.3

A média de borra gerada para reciclagem, após a implantação da Solução II, caiu mais ainda, sendo também reduzida a sua variação.

### Análise do Y Colateral

O impacto previsto no Y colateral é a perda de elementos de liga devido à re-fusão. Optou-se pela solução II, pois não era mais possível reduzir a variabilidade da solução I.

## Novo Mapa de Processo

A Figura 3.7 descreve o novo mapa de processo após a implantação da Solução I, onde a borra retorna para o cadinho secundário.

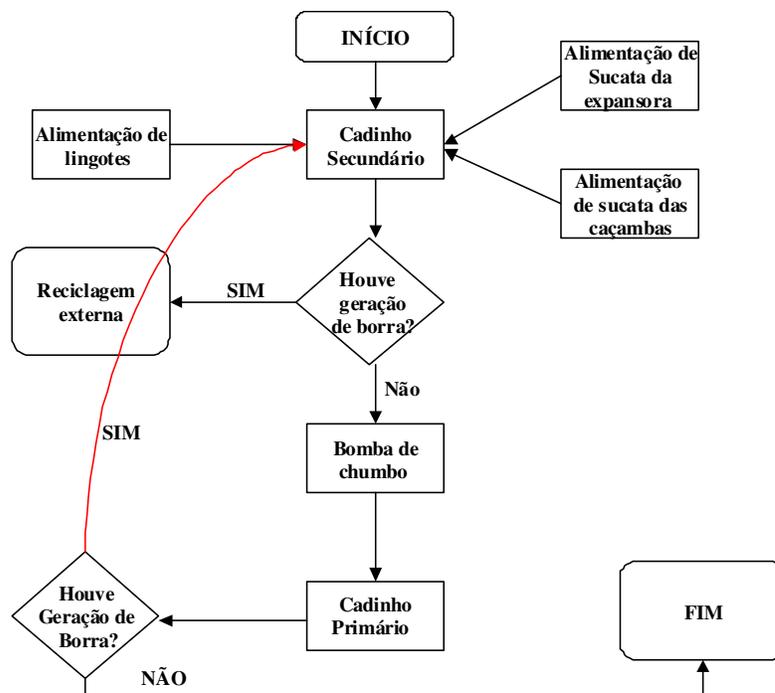


Figura 3.7 – Novo mapa de processo após o uso da Solução I.

## Novo Mapa de Processo Após a Implantação da Solução II

Na Figura 3.8 tem-se a implantação do cadinho de re-fusão.

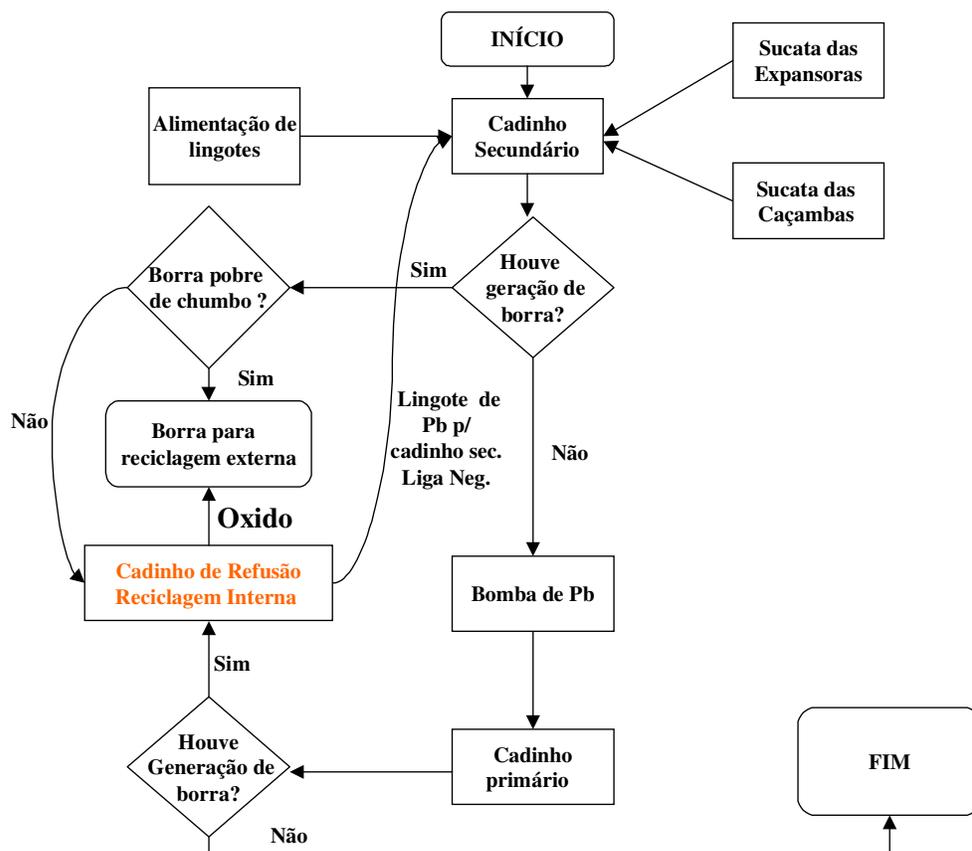


Figura 3.8 – Novo mapa de processo após a implantação da Solução II.

A Figura 3.9 apresenta o *lay-out* de instalação do cadinho de re-fusão de borra, estrategicamente posicionada entre os cadinhos secundários, de 20 Toneladas e o cadinho primário.

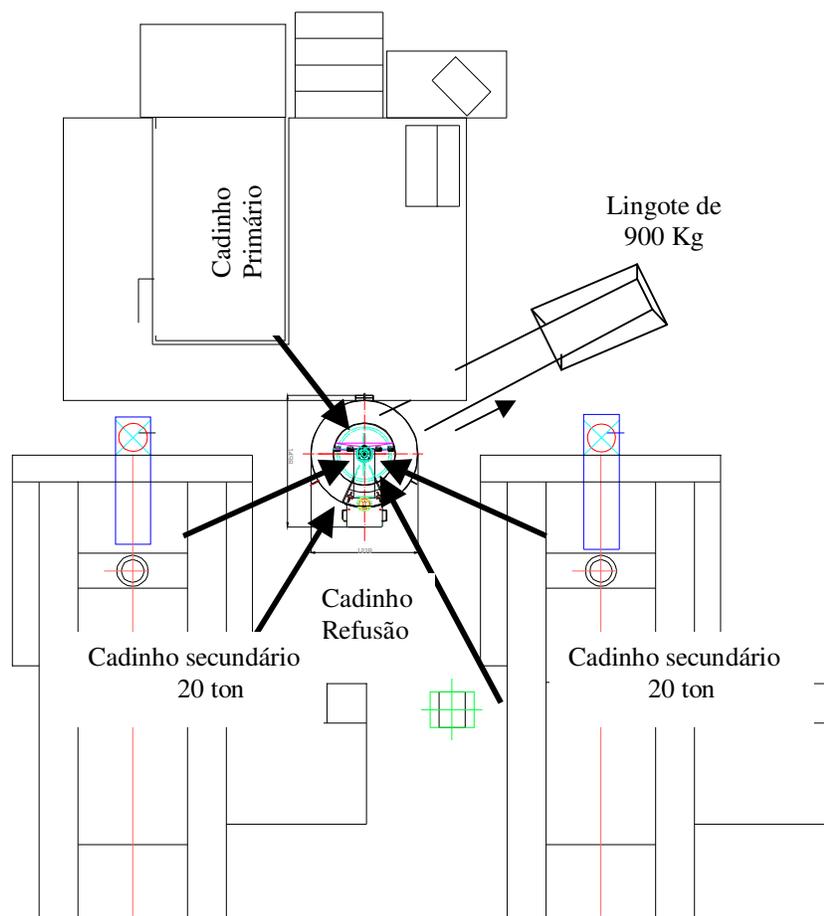


Figura 3.9 – *Lay-out* do reciclador de borra da solução II.

A borra é retirada manualmente dos cadinhos e colocada no cadinho de re-fusão.

## **Conclusão da Fase de Melhoria**

Pelos resultados apresentados nesta análise pode-se constatar a melhora significativa após a implantação da Solução I, com o retorno da borra para o cadinho secundário. Esta solução foi implantada por ter um custo menor e um prazo para instalação reduzido.

Na implantação da Solução II, houveram resultados ainda melhores, decorrentes da instalação de um cadinho para re-fusão da borra. Pode-se observar que o novo processo é bem mais centrado e muito abaixo do limite superior de controle, que é de 42,0 gramas/Kg de bobina produzida.

### **3.1.5 – Fase de Controle**

#### **Ações de Controle da Solução I**

Foi realizada a revisão da instrução de trabalho, incluindo-se as novas operações, para que as mesmas se tornassem parte do sistema de gerenciamento.

## Capítulo 4

### Apresentação e Análise dos Resultados

Em seu primeiro ano de adoção da filosofia Seis Sigma, a Johnson Controls conseguiu obter uma economia de 5 Milhões de dólares, somando-se as economias de todas as suas fábricas. No segundo ano de trabalho, a economia foi de 19 milhões de dólares.

Atualmente, a Johnson Controls obteve expressivos resultados em dez anos de implementação desta filosofia:

Funcionários treinados em Seis Sigma:	3000
Funcionários envolvidos com projetos:	9000
Países onde pratica o Seis Sigma:	24
Projetos de melhoria da qualidade concluídos:	10.500
Economia gerada pelos projetos <i>Seis Sigma</i> :	1 Bilhão de dólares

Na Enertec, no primeiro ano de atividade (2002), houve uma economia de US\$ 233.800, com 3 *Black Belts* e 6 projetos.

Em 2003, houve uma economia de US\$ 824.700, com 5 *black belts* e em 2004 o objetivo de uma economia de US\$ 1.200.000, somente no Brasil, foi atingido.

#### 4.1 – Dados Iniciais do Projeto

A Tabela 4.1 reapresenta os valores referentes à geração de borra relativa à situação anterior à implantação das soluções apresentadas neste trabalho.

Tabela 4.1 – Dados iniciais de projeto

Mês	Qtde Borra (g)	Qtde Bobinas (Kg)	Borra (g)/ Bobinas (Kg)	Custo Total
jan-01	48131000	857064	56.16	R\$ 63,532.92
fev-01	82164000	1418896	57.91	R\$ 108,456.48
mar-01	81642000	1402384	58.22	R\$ 107,767.44
abr-01	70429000	1281653	54.95	R\$ 92,966.28
mai-01	60766000	1352339	44.93	R\$ 80,211.12
jun-01	82836000	1271366	65.16	R\$ 109,343.52
jul-01	69653000	1562715	44.57	R\$ 91,941.96
ago-01	69307000	1616652	42.87	R\$ 91,485.24
set-01	72596000	1416773	51.24	R\$ 95,826.72
out-01	69789000	1254122	55.65	R\$ 92,121.48
nov-01	57949000	1158822	50.01	R\$ 76,492.68
dez-01	38969000	575334	67.73	R\$ 51,438.42
jan-02	59086000	1305113	45.27	R\$ 77,993.52
fev-02	44228000	1137768	38.87	R\$ 58,380.96
mar-02	61020000	1021430	59.74	R\$ 80,546.40
abr-02	70935000	987700	71.82	R\$ 93,634.20
mai-02	51152000	909367	56.25	R\$ 67,520.64
jun-02	54442000	693187	78.54	R\$ 71,863.44
jul-02	15282000	878089	17.40	R\$ 20,172.24
ago-02	38928120	554058	70.26	R\$ 51,385.12
Total	1199304120	22654831	52.94	R\$ 1,583,080.78
<b>Média Anual</b>	<b>719582472</b>	<b>13592899</b>	<b>54.38</b>	<b>R\$ 949,848.47</b>

Nessa Tabela observa-se que a média histórica de geração de borra era de 54,38 gramas por quilo de bobinas produzidas, representando um custo de R\$ 0,07 por quilo de bobina.

#### 4.2 - Novos Dados Após a Implantação das Soluções I e II

A Tabela 4.2 apresenta os resultados obtidos após a implantação da Solução I, de retorno de borra para o cadinho secundário.

Tabela 4.2 – Resultados obtidos para a geração de borra após implantação da Solução I

<b>Mês</b>	<b>Qtde de Borra (g)</b>	<b>Qtde Bobinas (Kg)</b>	<b>Borra (g)/ Bobinas (Kg)</b>	<b>Custo Total</b>
set-02	25879000	839856	30.81	R\$ 34,160.28
out-02	34288000	1021622	33.56	R\$ 45,260.16
nov-02	23270000	877808	26.51	R\$ 30,716.40
dez-02	25494000	794458	32.09	R\$ 33,652.08
jan-03	21505500	1298610	16.56	R\$ 28,387.26
fev-03	24969000	1273376	19.61	R\$ 32,959.08
mar-03	66077000	1463117	45.16	R\$ 87,221.64
abr-03	61009000	1555063	39.23	R\$ 80,531.88
mai-03	43141000	1639638	26.31	R\$ 56,946.12
jun-03	36894000	1520618	24.26	R\$ 48,700.08
jul-03	23738000	991906	23.93	R\$ 31,334.16
ago-03	11000000	359082	30.63	R\$ 14,520.00
set-03	21839000	932259	23.43	R\$ 28,827.48
Total	419103500	14567414	28.77	R\$ 553,216.62
<b>Média Anual</b>	<b>386864769</b>	<b>13446844</b>	<b>28.62</b>	<b>R\$ 510,661.50</b>

Como se observa, a média de geração de borra caiu de 54.38 gramas por quilo de bobinas produzidas para 28,62 gr/kg de bobina, e o custo de borra por quilo de bobina produzida caiu então de R\$ 0,07 para R\$ 0,04, representando uma redução de 42,86 %.

O custo total inclui o custo da matéria prima perdida, o frete de transporte de ida e volta da borra e matéria prima para a empresa recicladora e o custo da reciclagem.

A Tabela 4.3 apresenta os resultados obtidos após a implantação da Solução II.

Tabela 4.3 – Resultados finais obtidos após a implantação da Solução II.

Mês	Qtde de Borra (g)	Qtde Bobinas(kg)	Borra (g)/ Bobinas (Kg)	Custo Total (R\$)
out-03	35000000	1424652	24.57	R\$ 46,200.00
nov-03	27496000	1117351	24.61	R\$ 36,294.72
dez-03	25911000	1034743	25.04	R\$ 34,202.52
jan-04	35822000	1389732	25.78	R\$ 47,285.04
fev-04	27088000	1116865	24.25	R\$ 35,756.16
mar-04	22000000	910400	24.17	R\$ 29,040.00
abr-04	41264000	1690469	24.41	R\$ 54,468.48
mai-04	46063630	1904266	24.19	R\$ 60,803.99
jun-04	37429200	1617119	23.15	R\$ 49,406.54
jul-04	38970000	1701933	22.90	R\$ 51,440.40
ago-04	44744000	1889894	23.68	R\$ 59,062.08
set-04	33404000	1442551	23.16	R\$ 44,093.28
out-04	32972000	1273267	25.90	R\$ 43,523.04
nov-04	31026000	1282617	24.19	R\$ 40,954.32
dez-04	22018000	971762	22.66	R\$ 29,063.76
jan-05	58327000	2546086	22.91	R\$ 76,991.64
fev-05	48951000	2158914	22.67	R\$ 64,615.32
mar-05	57242000	2461238	23.26	R\$ 75,559.44
abr-05	49519000	2072688	23.89	R\$ 65,365.08
mai-05	59068000	2451839	24.09	R\$ 77,969.76
jun-05	51333000	2226275	23.06	R\$ 67,759.56
jul-05	57634000	2352274	24.50	R\$ 76,076.88
ago-05	36873000	1542648	23.90	R\$ 48,672.36
set-05	43372000	1947019	22.28	R\$ 57,251.04
out-05	37720000	1633388	23.09	R\$ 49,790.40
nov-05	36615000	1737903	21.07	R\$ 48,331.80
dez-05	35483000	1612036	22.01	R\$ 46,837.56
jan-06	35772000	1425747	25.09	R\$ 47,219.04
fev-06	36153000	1355060	26.68	R\$ 47,721.96
mar-06	48717000	1934005	25.19	R\$ 64,306.44
abr-06	35274000	1465476	24.07	R\$ 46,561.68
mai-06	34982300	1493693	23.42	R\$ 46,176.64
jun-06	27745000	1100555	25.21	R\$ 36,623.40
jul-06	28132000	1063190	26.46	R\$ 37,134.24
ago-06	28567000	1090452	26.20	R\$ 37,708.44
set-06	27877000	1152533	24.19	R\$ 36,797.64
out-06	37804000	1630242	23.19	R\$ 49,901.28
nov-06	31963000	1337498	23.90	R\$ 42,191.16
dez-06	34858000	1457274	23.92	R\$ 46,012.56
jan-07	33889000	1272587	26.63	R\$ 44,733.48
fev-07	34349000	1406593	24.42	R\$ 45,340.68
mar-07	37311000	1390645	26.83	R\$ 49,250.52
abr-07	36325600	1414548	25.68	R\$ 47,949.79
mai-07	57687000	2484367	23.22	R\$ 76,146.84
jun-07	42958000	1614356	26.61	R\$ 56,704.56
jul-07	42314000	1647741	25.68	R\$ 55,854.48
ago-07	29515000	1271102	23.22	R\$ 38,959.80
set-07	42569500	1657691	25.68	R\$ 56,191.74
Total	1838107230	76175285		R\$ 2,426,301.54
<b>Média Anual</b>	<b>459526808</b>	<b>19043821</b>	<b>24.27</b>	<b>R\$ 606,575.39</b>

De acordo com os resultados da Tabela 4.3, a média de geração de borra caiu de 28,62 g/kg para 24,27 g/kg e o custo por quilo de bobina caiu de R\$ 0,04 para R\$ 0,03, representando uma nova redução de 25%.

### 4.3 - Comparação Entre os Dados Iniciais de Projeto e Resultados das Soluções

A Tabela 4.4 apresenta um resumo dos resultados obtidos pela implantação das soluções propostas, de modo que se pode comparar os dados iniciais com os dados finais de redução de custo, após a implantação das soluções I e II.

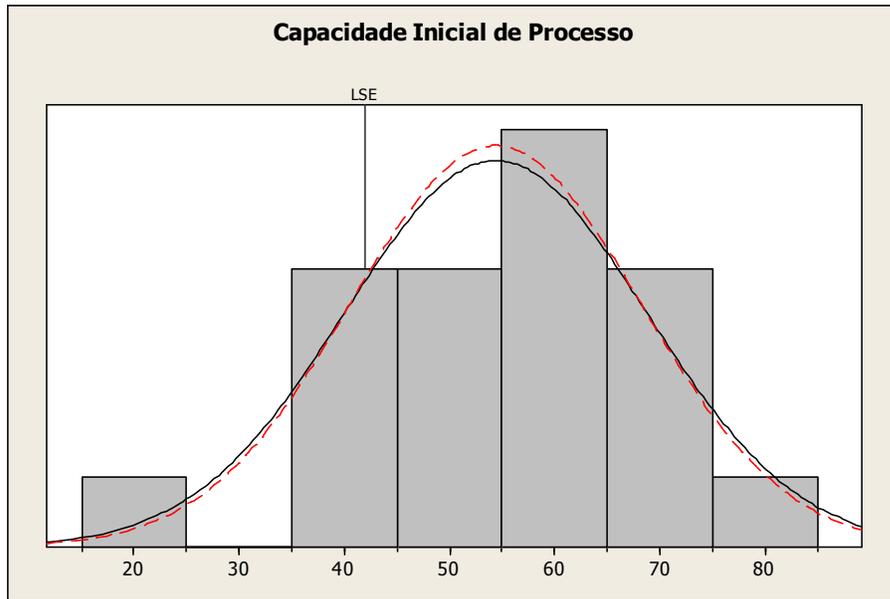
Tabela 4.4 – Resultados da geração de borra

<b>Fase</b>	<b>Média de Geração (g/kg)</b>	<b>Custo por Bobina</b>	<b>Redução de Custo por solução (%)</b>
Dados Iniciais	54,38	R\$ 0,07	0
Solução I	28,62	R\$ 0,04	42,86
Solução II	24,26	R\$ 0,03	25

### 4.4 – Análise Estatística Após a Implantação das Soluções Propostas

#### Comparação entre a Situação Inicial e a Solução I

Na Figura 4.1 pode-se notar que a média inicial do processo estava acima do limite especificado, e a mesma foi reduzida após a implantação da solução I.

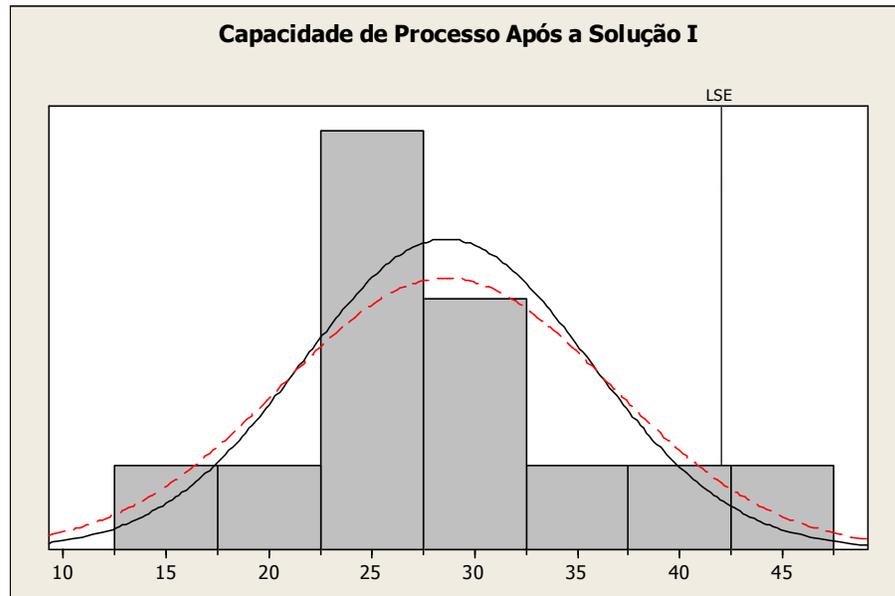


Limite Superior de Especificação (LSE) = 42,00 g/Kg bobina

Média de Geração de borra ( $\bar{x}$ ) = 54,38 g/Kg bobina

Quantidade de borra gerada acima do LSE = 805.730 PPM (Partes por Milhão)

Desvio Padrão = 14,35



LSE = 42,00 g/Kg bobina,  $\bar{x}$  = 28,62, PPM = 27.877, Desvio Padrão = 6,99

Figura 4.1 – Histogramas dos dados iniciais e dos resultados obtidos após a implantação da Solução I.

## Comparação entre a Solução I e a Solução II

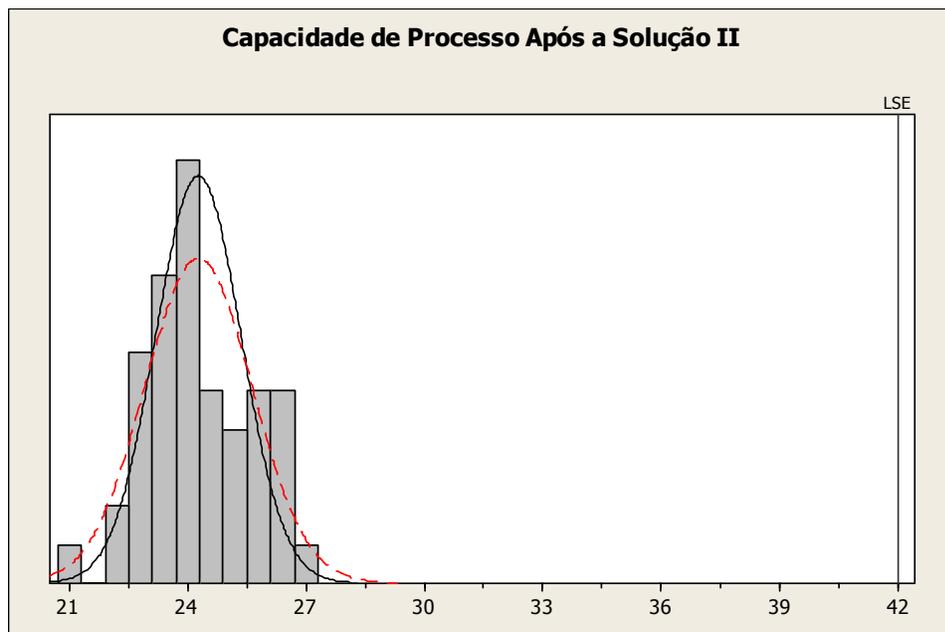
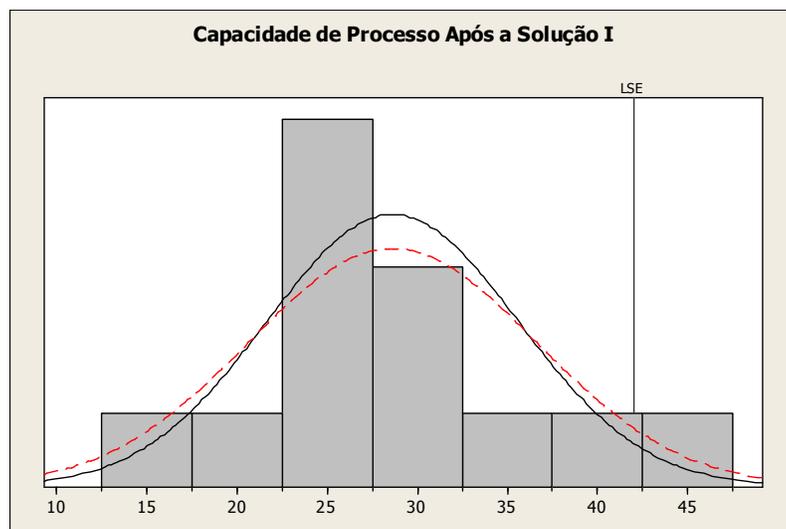
Na Figura 4.2 pode-se observar a redução significativa da quantidade de borra gerada acima do limite superior estabelecido, após a implantação da solução II. Ainda existe uma variação devido a outros fatores, como temperatura ambiente, por exemplo.

LSE = 42,00

$\bar{x}$  = 28,62

PPM = 27.877

Desvio Padrão = 6,99



LSE = 42,00,  $\bar{x}$  = 24,26, PPM = 0, Desvio Padrão = 2,29

Figura 4.2 – Histogramas dos resultados obtidos após a implantação da Solução I e da Solução II.

Na Figura 4.3 pode-se notar a diferença significativa entre as médias de geração de borra em cada etapa do projeto, com redução tanto da média como da dispersão do processo, o que também é comprovado na Figura 4.4.

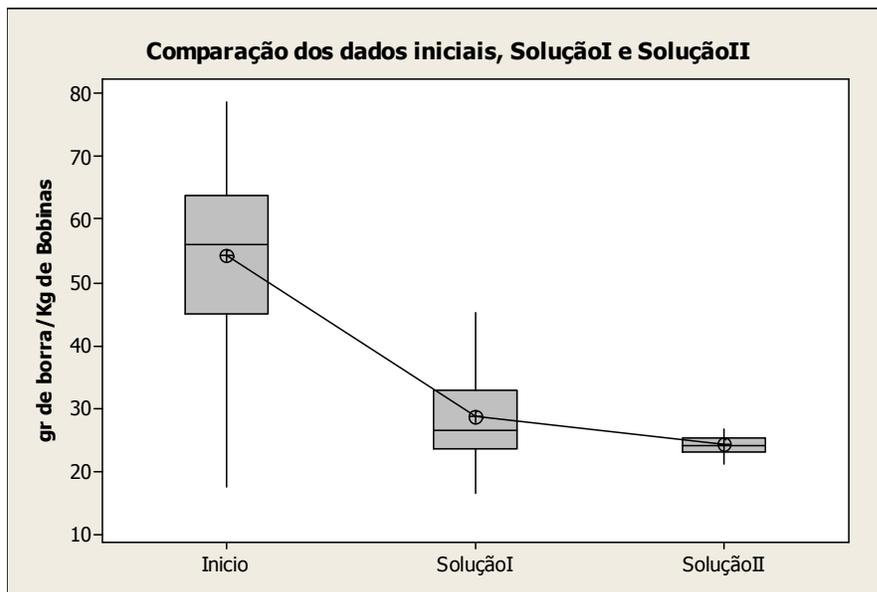


Figura 4.3 – Médias e desvios-padrões obtidos após cada fase do projeto.

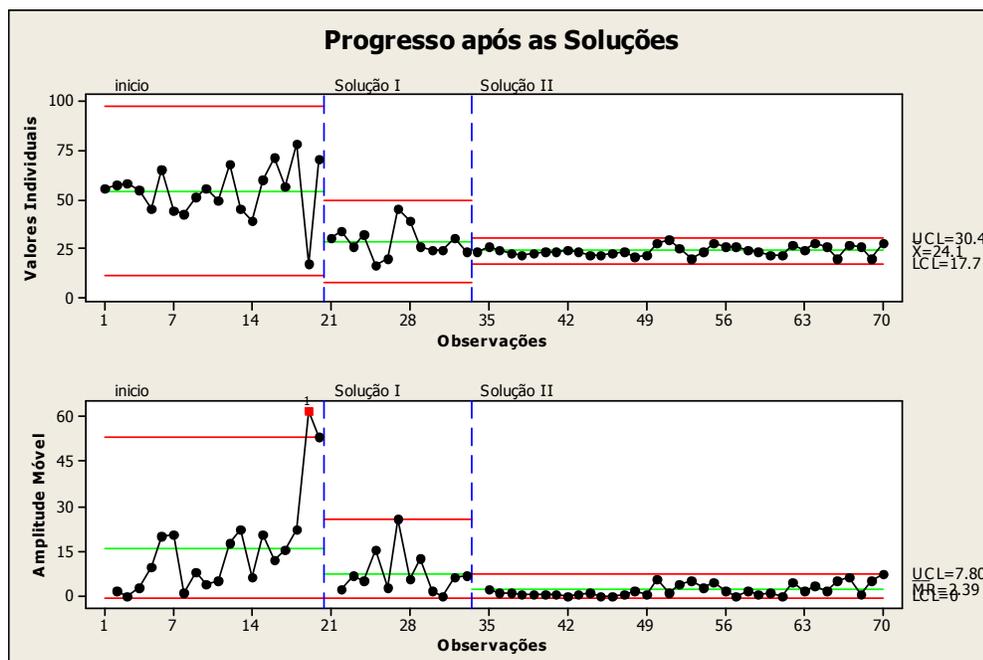


Figura 4.4 – Variação dos valores individuais e da amplitude móvel após cada etapa do projeto.

Os valores do limite superior de controle nos dados iniciais e na solução I é um mero cálculo do software estatístico, não significando nada neste projeto, pois o limite superior de engenharia é de 42,0 g/Kg de bobina produzida.

#### **4.5 – Considerações Finais Sobre os Resultados Obtidos Neste Trabalho**

A quantidade de borra gerada por bobinas produzidas foi reduzida em 55,4%, gerando uma economia de 57% por quilograma de bobinas produzidas.

Na primeira parte do projeto, quando foi implantada a Solução I, os resultados foram muito bons, porém notou-se que o lingote que retornava para o cadinho secundário flutuava, devido à presença do óxido e se tornava de difícil fusão.

Quando foi implantada a segunda parte do projeto, solução II, o lingote obtido foi muito mais puro, sem a presença do óxido de chumbo, que afunda mais facilmente no cadinho e tem um tempo de fusão muito menor. Este foi o grande ganho da solução II em relação à Solução I.

## Capítulo 5

### Conclusões

Este foi um projeto definido como o projeto de formatura do black-belt responsável e um dos primeiros projetos Seis Sigma na Enertec. Nesta ocasião, todos os envolvidos estavam aprendendo a metodologia e entendendo a utilização prática de suas ferramentas estatísticas, que na verdade são as ferramentas já conhecidas da Gestão da Qualidade.

O que realmente mudou foi o foco gerencial na redução de variações e o forte embasamento de dados estatísticos para a tomada de decisões.

O objetivo do trabalho foi atingido como se pode observar pela expressiva redução do nível de PPM atingido e sua conseqüente redução de custo. Portanto o método utilizado foi adequado.

A redução de 55,4 % na quantidade de borra gerada significou menos resíduos de chumbo em circulação nas estradas e menos manuseio do material que, embora transportado na fase metálica, possui uma parte que se oxida e fica na forma de pó.

Os operadores e demais integrantes da equipe sentiram-se valorizados por terem sido parte integrante da solução do problema.

A filosofia Seis Sigma demonstrou seu grande valor na melhoria da qualidade e redução de desperdício, ajudando na lucratividade e conseqüente competitividade da empresa.

Sendo assim, está muito claro para todos integrantes da organização que a filosofia Seis Sigma direciona as empresas para o caminho do sucesso e desenvolvimento sustentável.

### **Melhores práticas que podem ser disseminadas**

A melhor solução encontrada neste projeto também poderá ser utilizada no cadinho das fundidoras de grades.

### **Problemas e Barreiras**

No início do projeto, a participação das pessoas integrantes da equipe não era constante nas reuniões executadas. Como foi um dos primeiros projetos a ser realizado de acordo com a metodologia Seis Sigma, as prioridades não estavam bem claras para todos os integrantes. Pelo mesmo motivo, não havia no orçamento aprovado recursos para testar todas as alternativas apontadas.

### **Recomendações para futuras melhorias neste processo:**

Analisar outras soluções, tais como a implantação do enclausuramento do cadinho. A verba deve ser prevista no orçamento, caso a solução se demonstre viável.

## Referências

CDC, Declaração “Preventing Lead Poisoning in Young Children”, departamento de saúde, outubro de 1991

CHARNET, Eugênia M.R. *Apostila do curso de Estatística Industrial*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas.

ECKES, George, *How General Electric and Others Turned Process Into Profits*.

GOYER, R.A, 1986. “Toxic Effects of Metals”, in Cassaret and Doull’s Toxicology, The Basic Science of Poisons. CD Klaasen, MO Amdur and J. Doull (eds), Macmillian, London.

GOYER, R.A, 1990, “Transplacental Transport of Lead”, Environmental Health Perspectives 89, 101-105.

INTERNATIONAL, Battery Council, *Battery Service Manual*, eleventh edition.

HARRY, Michael, SCHROEDER, Richard, Six Sigma – The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World’s Top Corporations.

*JOHNSON CONTROLS, Six Sigma at Johnson Controls, Inc. Milwaukee 9-6-2001.*

JURAN J. M; GRYNA, Frank M; 1988; *Quality Control Handbook*, USA: MacGraw-Hill Book Company- Fourth Edition.

OMS, 1983, Reports and Studies N° 22. Review of Potentially Harmful Substances – cadmium, lead and tin, GESAMP, Geneva.

PANDLE, Peter S., NEWMAN, Robert P., CAVANAGH, Roland R., *Estratégia Seis Sigma*, Ed. Quality Mark – 2001.

SALLMEN, M, Lindbohm M, Antilla A, Taskinen H and Hemminki K, 1992 – “Paternal Occupational Lead Exposure and Congenital Malformations”. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 519-522

SATURNIA S.A, Acumuladores Eléctricos, *Jornal Interno*, 1956.