

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL CATALÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM TRATAMENTO DE MINÉRIOS**

FÁBIO SILVA NEIVA FERNANDES

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE E CONTROLE
ESTATÍSTICO DE PROCESSO PARA REDUÇÃO DA VARIABILIDADE
DO PROCESSO DE DESSORÇÃO DE OURO EM CARVÃO ATIVADO**

**CATALÃO - GO
JUNHO 2016**

FÁBIO SILVA NEIVA FERNANDES

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE E CONTROLE
ESTATÍSTICO DE PROCESSO PARA REDUÇÃO DA
VARIABILIDADE DO PROCESSO DE DESSORÇÃO DE OURO EM
CARVÃO ATIVADO**

Monografia apresentada ao curso de pós-graduação em Tratamento de Minérios da Universidade Federal de Goiás – UFG, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Tratamento de Minérios.

Orientador: Prof.Dr. Antover Panazzolo Sarmiento

**CATALÃO - GO
JUNHO DE 2016**

DECLARAÇÃO

A empresa Kinross Brasil Mineração S/A, representada neste documento pelo Sr. Maximiliano Rezende Ferreira, Gerente de Produção, autoriza a divulgação das informações e dados coletados em sua organização, na elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado de Aplicação de Ferramentas de Qualidade e Controle Estatístico de Processo para Redução da Variabilidade do processo de Dessorção de Ouro em Carvão Ativado, realizado pelo aluno Fábio Silva Neiva Fernandes, do curso de Especialização em Tratamento de Minério, da Universidade Federal de Goiás Regional de Catalão, com o objetivo de publicação e/ ou divulgação em veículos acadêmicos.

Paracatu, 20 de Abril de 2016

Maximiliano Rezende Ferreira

Gerente de Produção

Kinross Brasil Mineração S/A

RESUMO

O objetivo do estudo de aplicação das ferramentas da qualidade juntamente com o Controle Estatístico de Processo foi de buscar e identificar as principais variáveis que impactam na variabilidade da eficiência do processo de dessorção de ouro em carvão ativado. A pesquisa desenvolvida, de acordo com os objetivos, classifica-se como explicativa e descritiva e os instrumentos de pesquisa utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram a pesquisa documental e a pesquisa bibliográfica. A fim de atingir os objetivos propostos, foram analisados os procedimentos realizados no setor de hidrometalurgia de uma mineradora local quanto ao processo de dessorção do ouro. Foram detalhados os procedimentos, desde a lavra até a apuração final com vistas à identificação de possíveis falhas que pudessem ser analisadas e reparadas por meio da adoção de ferramentas de controle de qualidade. Foram apresentados os fluxogramas dos processos de britagem, moagem, flotação, remoagem e espessamento e de hidrometalurgia. A partir dos dados obtidos calculou-se a variabilidade do processo de dessorção, foram construídos os diagramas de Causa e Efeito e de Pareto para priorização das variáveis para, em seguida, preencher a folha de verificação de problemas na dessorção. Os resultados demonstraram a efetividade da aplicação das ferramentas propostas uma grande análise das variáveis do processo e redução na variabilidade do processo de dessorção com a implantação das melhorias.

Palavras-chave: Qualidade, Variabilidade, Dessorção.

ABSTRACT

The purpose of the application study of quality tools with the Statistical Process Control was to seek and identify the main variables that impact on the variability of the efficiency of the desorption process of gold in activated coal. The research developed in accordance with the goals, it is classified as explanatory notes and descriptive and the research instruments used in the development of this work were to documentary research and bibliographic research. In order to achieve the objectives proposed, were analyzed the procedures performed in the sector of hydrometallurgy a local mining company regarding the process of desorption of gold. Have Been detailed procedures, since the mining until the final settlement with views to the identification of possible failures that could be analyzed and repaired through adoption of quality control tools. From the obtained data was calculated based on the variability of the desorption process, is built diagrams of cause and effect and Pareto for prioritization of variables for, then fill out the check sheet of problems in desorption. The results demonstrated the effectiveness of the implementation of the proposals a large analysis tools of process variables and reduction in the variability of the desorption process with the deployment of the improvements.

Keywords: Quality, Variability, Desorption.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Símbolos de Fluxograma..... | 17 |
| Figura 2: Fluxograma de Processo de Requisição de Materiais..... | 18 |
| Figura 3: Exemplo de Dados para Estratificação..... | 19 |
| Figura 4: Exemplo de Dados Estratificados | 20 |
| Figura 5: Folha de Verificação para Distribuição de um Processo Produtivo..... | 21 |
| Figura 6: Diagrama de Pareto para Defeitos em um Processo..... | 23 |
| Figura 7: Exemplo de Diagrama de Causa e Efeito..... | 24 |
| Figura 8 - Gráfico de Distribuição Univariada - Histograma..... | 26 |
| Figura 9: Diagrama de Dispersão: Correlação Positiva, Negativa e Nula..... | 27 |
| Figura 10: Carta de Controle Para um Serviço de Entregas | 28 |
| Figura 11: Ciclo PDCA..... | 30 |
| Figura 12: Histograma com Distribuição Normal..... | 32 |
| Figura 13: Gráfico de Controle Sob Controle..... | 33 |
| Figura 14: Gráfico com Limites de Controle (3σ) e Limites de Alerta (2σ)..... | 34 |
| Figura 15: Histórico da Produção de Ouro no Brasil..... | 36 |
| Figura 16: Fluxograma de um Processo de Lixiviação..... | 39 |
| Figura 17: Fluxograma do Processo de Britagem..... | 45 |
| Figura 18: Fluxograma do Processo de Moagem..... | 46 |
| Figura 19: Fluxograma do Processo de Flotação..... | 47 |
| Figura 20: Fluxograma do Processo de Remoagem e Espessamento..... | 47 |
| Figura 21: Fluxograma do Processo de Hidrometalurgia..... | 49 |
| Figura 22: Variabilidade do Processo de Dessorção | 51 |
| Figura 23: Diagrama de Causa e Efeito..... | 52 |
| Figura 24: Diagrama de Pareto para Priorização das Variáveis..... | 53 |
| Figura 25: Variabilidade do Processo de Dessorção (Antes e Depois)..... | 56 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Tipos de defeitos no processo de inspeção de capô de carros..... | 22 |
| Tabela 2: Dados de extração de ouro: massa inicial e final de ouro no carvão ativado; massa de ouro dessorvido e percentual de extração..... | 51 |
| Tabela 3: Folha de verificação de problemas na dessorção..... | 53 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------------------|---|
| atm | Unidade de medida de pressão atmosférica |
| CEP | Controle Estatístico de Processo |
| Cp | Índice de Capacidade |
| Cpi | Índice de Capacidade Inferior |
| Cps | Índice de Capacidade Superior |
| Cpk | Índice de Capacidade quanto à centralização do processo |
| CQT | Controle da Qualidade Total |
| H | Hora |
| HCC | Carvão carregado |
| HCD | Carvão dissolvido |
| kg | Quilograma |
| kgf/cm ² | Quilograma força por centímetro quadrado |
| LIA | Limite Inferior de Alerta |
| LSA | Limite Superior de Alerta |
| LSC | Limite Superior de Controle |
| LIC | Limite Inferior de Controle |
| m ³ | Metro cúbico |
| mm | Milímetro |
| NaCN | Cianeto de Sódio |
| NaOH | Hidróxido de Sódio |
| PDCA | <i>Plan, Do, Check, Act</i> |
| pH | PotencialHidrogeniônico |
| ppm | Partes por milhão |
| TQC | <i>Total QualityControl</i> |
| TQM | <i>Total Quality Management</i> |
| % | Porcento |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 1.1 Formulação do problema | 11 |
| 1.2 Objetivo geral | 11 |
| 1.3 Objetivos específicos | 12 |
| 1.4 Justificativa | 12 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 2.1 Qualidade: histórico e conceito..... | 13 |
| 2.2 As ferramentas da qualidade..... | 15 |
| 2.2.1 Fluxograma | 16 |
| 2.2.2 Estratificação | 18 |
| 2.2.3 Folha de verificação..... | 20 |
| 2.2.4 Diagrama de Pareto..... | 22 |
| 2.2.5 Diagrama de causa e efeito | 23 |
| 2.2.6 Histograma..... | 25 |
| 2.2.7 Diagrama de dispersão..... | 26 |
| 2.2.8 Gráficos de controle..... | 28 |
| 2.2.9 Brainstorming | 29 |
| 2.3 Ciclo PDCA | 29 |
| 2.4 Controle Estatístico de Processo – CEP | 30 |
| 2.4.1 Variabilidade de processo | 31 |
| 2.4.2 Limites de controle | 32 |
| 2.4.3 Capabilidade de processo | 34 |
| 2.5 Histórico da mineração | 35 |
| 2.5.1 Processo de beneficiamento de minérios..... | 36 |
| 2.5.2 Processo de beneficiamento de minérios de ouro..... | 37 |
| 2.5.3 Hidrometalurgia extrativa do ouro..... | 38 |
| 3 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA | 41 |
| 3.1 Tipo e descrição geral da pesquisa | 41 |
| 3.2 Caracterização da organização em estudo | 42 |
| 3.3 Instrumentos de pesquisa | 43 |
| 3.4 Participantes da pesquisa | 43 |
| 3.5 Procedimentos de coleta e de análise de dados..... | 43 |
| 3.5.1 Fluxograma da metodologia do trabalho..... | 44 |
| 4 RESULTADO DISCUSSÃO | 45 |
| 4.1 Mapeamento do processo de beneficiamento do ouro..... | 45 |
| 4.2 Análise da variabilidade do processo de dessorção | 49 |
| 4.3 Identificações das principais variáveis do processo | 52 |
| 4.4 Estabelecendo variáveis prioritárias do processo | 52 |
| 4.5 Procedimentos e ações implantadas..... | 54 |
| 4.6 Condição ótima de operação..... | 55 |
| 4.7 Resultados obtidos após aplicação das ferramentas | 56 |
| 5 CONCLUSÕES | 57 |
| REFERÊNCIAS | 59 |
| ANEXOS..... | 62 |

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da competitividade no mercado atual, promovida pela evolução tecnológica, não basta mais apenas produzir produtos e serviços em grande escala, torna-se necessário, cada vez mais, pensar em como produzir tais produtos e serviços com qualidade, de modo a atender de maneira satisfatória o mercado consumidor.

Na percepção de Oakland (1994) as organizações utilizam a qualidade de maneira estratégica no mundo todo para ganhar clientes e obter vantagens competitivas sobre os concorrentes, uma vez que a preocupação com a qualidade melhora consideravelmente o desempenho em confiabilidade, entrega e preço.

A qualidade dos produtos e serviços é um fator que caracteriza um diferencial competitivo e é buscada incessantemente pelas empresas que visam a sua sustentabilidade no mercado em que se inserem, pois está diretamente ligada ao custo deste produto para a empresa. Para se produzir um produto de qualidade é necessário processo de qualidade que reduzam os custos do produto relacionados principalmente ao retrabalho.

Paladinin (2002) sugere que, quando produtos ou serviços defeituosos são eliminados, os custos são reduzidos, pois existem mais unidades boas produzidas e as unidades produzidas custam menos, pois o custo com falhas é amortizado.

Para Oliveira (2004) a qualidade de um produto ou serviço pode ser analisada seguindo duas vertentes: a do cliente e a da organização. No caso do cliente a concepção é de um produto acabado, que atenda todas as especificações para qual foi destinado. Porém, ao se pensar do lado de quem produz (a organização) a via de mão dupla se constrói, isto é, ao mesmo tempo em que é fácil visualizar o processo de produção, é também complexo aplicar qualidade em todas as etapas para que o produto atinja às expectativas do cliente.

Partindo deste princípio, o que garante a sobrevivência das empresas neste mercado competitivo é o atendimento às metas de produção, com baixo custo, agregando valor ao produto sem esquecer-se de atender as exigências do cliente. Sob este aspecto e tendo como objetivos a competitividade e a melhoria contínua de seus processos produtivos, as empresas tem adotado várias estratégias ao longo dos últimos anos, aplicando métodos e ferramentas de qualidade que possibilitam desde a melhoria até o controle dos processos de produção.

Dentre tais ferramentas pode ser citado o Controle Estatístico de Processo (CEP) e as ferramentas da qualidade, tais como o diagrama de Pareto, o ciclo PDCA, Seis Sigma e outros, que permitem o controle através de tomadas de decisões embasadas em informações estatísticas. Para ter um produto que atenda a todas as especificações dos clientes, se faz

necessário que o processo de produção esteja estável e sob controle para que, desta forma, se tenha produtos com características previsíveis e oscilações controladas.

Montgomery (2004) define CEP como um método quantitativo para monitorar um processo periódico com a finalidade de constatar se tal processo está operando adequadamente.

Ao se produzir qualquer tipo de produto ou serviço, tem-se agregado a ele diversos tipos de custos, como salário dos empregados, manutenção de máquinas, insumos utilizados na produção e uma série de outros custos fixos e variáveis inerentes à atividade desenvolvida. Outros custos que são intrínsecos ao processo são os denominados “custos da qualidade” e, dentre esses, o que se destaca é o custo de retrabalho. O retrabalho afeta diretamente a produtividade de uma organização uma vez que ao executar uma mesma tarefa mais de uma vez não se agrega valor ao produto.

Vieira (2012) ressalta que o aumento da variabilidade de um processo ocasiona perda da qualidade e aumento de produtos não conformes no processo.

O processo de dessorção de ouro em carvão ativado é uma etapa de extrema importância na produção de ouro, pois fornece o produto para a fusão das barras de ouro e sua eficiência afeta também processos anteriores, sendo que o carvão utilizado no processo volta para a operação e, quanto maior a retirada de ouro do carvão, maior será sua eficiência ao retornar ao processo.

1.1 Formulações do problema

Diante dessa situação fundamentou-se a seguinte questão problema: Como identificar, controlar e agir para reduzir a variabilidade do processo de dessorção de ouro em carvão ativado?

1.2 Objetivo geral

Verificar se a partir da aplicação da ferramenta CEP em conjunto com as ferramentas da qualidade pode-se controlar a variabilidade do processo de dessorção de ouro em carvão ativado e identificar as principais variáveis que influenciam na qualidade do processo.

1.3 Objetivos específicos

- Mapear o processamento mineral do ouro;
- Analisar a variabilidade do processo atual de dessorção do ouro em carvão ativado;
- Identificar e analisar as variáveis do processo de dessorção do ouro, bem como avaliar as que influenciam diretamente na variabilidade do processo;
- Estabelecer variáveis prioritárias no processo;
- Revisar o procedimento de operação implantando melhorias;
- Acompanhar a estabilidade de operação do processo;
- Analisar os resultados obtidos após a implantação das ferramentas da qualidade e CEP.

1.4 Justificativa

Este trabalho se justifica pela oportunidade de aumento da eficiência do mesmo por meio da aplicação das ferramentas da qualidade e a ferramenta denominada Controle Estatístico de Processo (CEP), visando diminuir a variabilidade no processo de recuperação de ouro recorrente e eliminando retrabalhos que acarretam perda da qualidade e maiores custos na produção do metal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Qualidade: histórico e conceito

Atualmente existe uma intensa busca das organizações pela produção de produtos de qualidade, mas não como uma estratégia competitiva e sim, como condição de sobrevivência. Porém, enganam-se quem pensa que esta é uma preocupação recente. Oliveira (2004) diz que foi percorrido um longo caminho para se chegar ao nível de gestão da qualidade que estamos atualmente.

A evolução da qualidade foi caracterizada por três grandes fases que marcaram esse desenvolvimento e Oliveira (2004) as define como: era da inspeção, era do controle estatístico e era da qualidade total.

A década de 1920 ficou marcada como era a da inspeção. Lucinda (2010) a descreve como voltada totalmente para a linha de produção em que o foco era inspecionar produtos acabados nos quais existiam incertezas quanto à qualidade. O fato era que a inspeção em produtos acabados se limitava apenas a descobrir produtos com defeitos, não identificava falhas sistêmicas na produção e nem produzia qualidade.

Oliveira (2004) relata que não havia metodologia preestabelecida para execução da inspeção que, muitas vezes, era feita pelo produtor juntamente com o cliente procurando por defeitos. Na visão de Marques (2010) o aumento da produção inviabilizou este modelo, pois a inspeção era feita um a um.

Na era seguinte o controle por inspeção foi aprimorado com a utilização de técnicas estatísticas. Para Lucinda (2010) houve uma mudança no foco que passou a ser o desempenho e a qualidade de processo o que proporcionou grande evolução.

Em função do grande crescimento da demanda foi adotada a inspeção por amostragem, baseada em cálculos estatísticos. Oliveira (2004) fala que isso deu mais ênfase na localização dos defeitos sendo criados departamentos específicos e especializados em controle da qualidade.

Essa era foi característica dos anos 1930 e 1940 até começar a surgir suas falhas. Marques (2010) aponta que, apesar do sucesso inicial, as ações corretivas neste método apresentavam eficiência bem restrita e essa ineficiência aliada à grande competitividade do mercado contribuíram para o fim deste período.

O período denominado de Controle da Qualidade Total (CQT, em inglês TQC – *Total*

Quality Control) adotou um enfoque completamente novo e diferente do que havia sido apresentado até então e o ponto chave foi a grande preocupação com a satisfação do cliente, além de já adotar conceitos de melhoria contínua (MARQUES, 2010).

Oliveira (2004) destaca no período o envolvimento de todos os setores da organização na garantia da qualidade e que, para tal, é necessário que se faça a reflexão e análise sobre processos ligados à qualidade de maneira sistêmica, assegurando inter-relacionamento e interdependência em todos os níveis da organização.

De acordo com Lucinda (2010) o grande marco dessa era foi a padronização, ou seja, a garantia para o cliente que lhe seria entregue um produto seguindo determinados padrões, além da mudança do foco no produto para foco no sistema de qualidade.

O modelo de qualidade total também vem evoluindo com a crescente globalização da economia e maior competitividade do mercado. Atualmente este modelo evoluiu da fase de controle para a Gestão da Qualidade Total (GQT, em inglês TQM – *Total Quality Management*).

Para tal gerenciamento e seguindo o conceito de melhoria contínua, o modelo de gestão da qualidade total se embasa, segundo Oliveira (2004), em novos conceitos e teorias, dentre os quais se destacam: custos da qualidade, engenharia de confiabilidade e defeito zero.

Marques (2010) define o gerenciamento da qualidade total como uma filosofia organizacional que deve seguir a hierarquia da empresa sempre partindo da gerência, de cima para baixo, focalizando o processo como um todo para obter ferramentas estratégicas.

De acordo com Carpinetti (2010) os principais pontos fortes do GQT são o entusiasmo por educação e treinamento em qualidade, além da utilização de ferramentas de qualidade (Histogramas, folhas de verificação, cartas de controle etc.) e outras ferramentas avançadas em seu gerenciamento.

Para Lucinda (2010) as eras da qualidade mostraram que durante os anos, impulsionados por variações econômicas e sociais, os conceitos e as ferramentas foram se adaptando a novos cenários e os princípios não foram se anulando, mas sim se aprimorando.

A definição de qualidade envolve diferentes aspectos, pois depende da percepção e contexto em que está inserida, Lucinda (2010) define qualidade como o que nos faz bem e nos agrada, mas ressaltam que a qualidade tem significados diferentes para diferentes pessoas.

Marques (2010) cita que o principal indicativo de qualidade está relacionado à satisfação do cliente, uma vez que o mesmo é a figura principal de todo processo organizacional, pois é ele quem vai definir se determinado produto é de qualidade ou não.

Oakland (2004) cria uma ligação direta entre qualidade e confiabilidade; em sua visão um produto de qualidade atende os requisitos do cliente, mas precisa funcionar satisfatoriamente por um determinado período, o que o autor chama de confiabilidade.

Embora o conceito de qualidade possa ser definido de vários modos, Samohyl (2009) aborda necessariamente a sua operacionalidade, ou seja, identificação das características concretas em termos quantitativos, e assim a qualidade é assegurada minimizando a variabilidade nas características deste produto.

Para Lucinda (2010) não existem definições absolutas de qualidade, porque se trata de um termo complexo e de muitas facetas, porém, todas as definições citadas acima estão corretas uma vez que a qualidade tem várias formas de percepção.

2.2 As ferramentas da qualidade

A função das ferramentas da qualidade é a obtenção de uma visão sistêmica do problema e sua aplicação permite desdobrar diretrizes estratégicas na busca de uma solução (GUELBERT, 2012).

Segundo França (2002) as ferramentas da qualidade, além de garantirem diagnósticos profundos e completos, eliminam o “achismo” uma vez que elas fornecem uma base de dados concreta para a tomada de decisões.

Vergueiro (2002) afirma que as ferramentas da qualidade contribuem tanto para a identificação quanto para compreensão dos problemas de um processo, além de estabelecer um quadro completo de causas para desenvolver uma solução efetiva e aplicável.

Os próximos tópicos apresentarão as ferramentas básicas da qualidade: Fluxograma, Estratificação, Folha de verificação, Diagrama de Pareto, Diagrama de causa e efeito, Histograma, Diagrama de dispersão, Gráficos de controle e *Brainstorming*.

O Sistema de Gestão da Qualidade, segundo Mello *et al.* (2009), é orientado pelos princípios básicos, quais sejam:

a) foco no cliente: como as organizações dependem de seus clientes, é essencial que atendam suas necessidades e expectativas, atuais e futuras;

b) liderança: a existência de líderes é adequada porque estes, geralmente, conseguem estabelecer uma unidade de objetivo que, por sua vez, orientam os rumos da organização. É conveniente que os líderes estabeleçam um ambiente adequado, onde seja alcançado o envolvimento dos colaboradores com as metas organizacionais;

c) envolvimento de pessoas: todas as pessoas que colaboram em uma empresa compõem um grupo onde todos são importantes. Por isso, o envolvimento verdadeiro de todos gera benefícios para toda a organização;

d) abordagem de processo: é necessário que exista uma clara definição de qual processo deve ser executado, pois o resultado desejado é mais facilmente alcançado quando existe um processo coerente, eficiente e claro a ser seguido;

e) abordagem sistêmica para gestão: é a prática da identificação, entendimento e gerenciamento dos processos que compõem o sistema total de forma que a colaboração de um segmento participe no resultado alcançado pelo todo, sem perder o foco no sistema adotado;

f) melhoria contínua: sugere-se a realização de avaliações contínuas de modo que o aperfeiçoamento do desempenho da organização seja o objetivo de todos;

g) abordagem factual para tomada de decisão: defende que é preciso tomar decisões baseadas em dados e informações concretas e;

h) benefícios mútuos nas relações com os fornecedores: levar em conta que organização e fornecedores são elementos interdependentes. Assim, uma relação de mutuamente benéfica é vantajosa para ambos.

2.2.1 Fluxograma

Na elaboração de um planejamento sistemático de qualquer processo se torna necessário registrar a seqüência das atividades, eventos, estágios e decisões de modo que venha a ser facilmente compreendido e comunicado. Os fluxogramas são utilizados para detalhar estas atividades de maneira eficaz (OAKLAND, 1994).

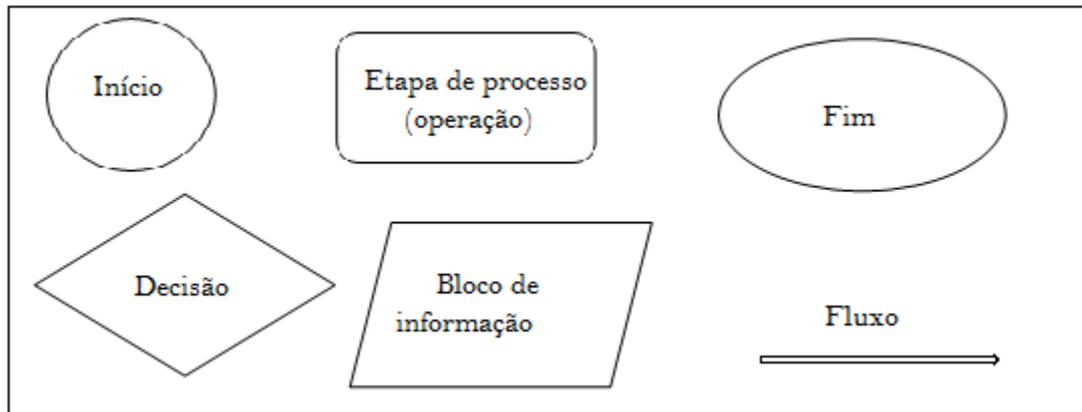
Vergueiro (2002) define fluxograma como um instrumento gráfico bastante empregado em organizações como uma ferramenta que auxilia na descrição dos processos, ajudando no entendimento deste.

O fluxograma é a representação gráfica de um processo que utiliza símbolos gráficos para fazer a descrição detalhada da natureza e o fluxo do processo. Tem como objetivo mostrar de forma clara o fluxo das informações e elementos, e também a seqüência operacional referente ao trabalho que está sendo executado.

As etapas do fluxograma são apresentadas utilizando-se figuras geométricas que podem ser círculos, triângulos, retângulos, linhas ou setas, sendo que cada símbolo possui um significado importante.

Na preparação de um fluxograma alguns símbolos são usados como padrões, como mostrado na Figura 1, sendo que na elaboração de um fluxograma de processos estes são os principais símbolos utilizados:

Figura 1: Símbolos de Fluxograma.



Fonte: Oakland (1994).

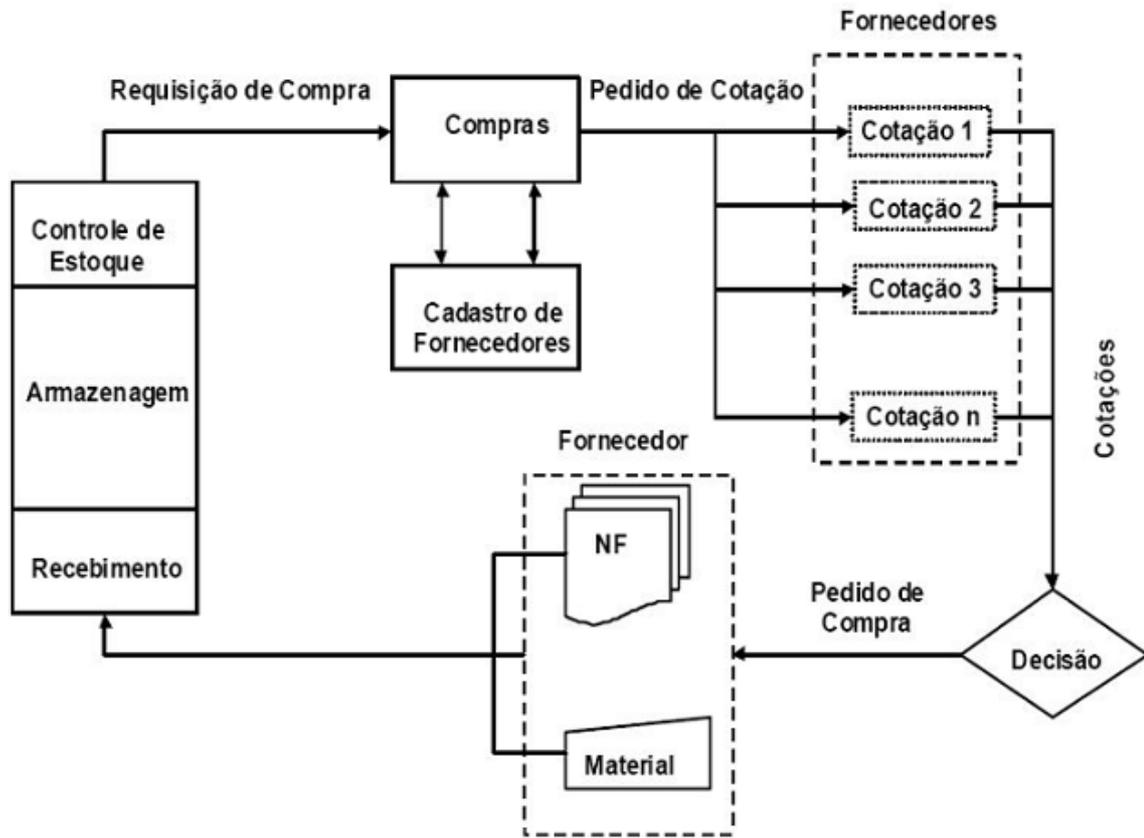
Na Figura 2 é apresentado um fluxograma de processos que detalha o processo de requisição de material em um almoxarifado.

Oakland (1994) entende que existem três tipos de fluxogramas. O primeiro tipo é o fluxograma vertical, utilizado para fazer o levantamento e análise das rotinas. Este é elaborado mediante o preenchimento de um formulário impresso, permitindo a padronização e também seu preenchimento. O formulário padrão evita o surgimento de distorções, divergências e incoerências.

Outro tipo, o fluxograma de rotinas de trabalho precede o do tipo vertical e utiliza os mesmos símbolos daquele. Entretanto, pode ser elaborado com uso de alguns recursos técnicos que facilitem uma maior compreensão da rotina. Também ajuda na investigação de fluxos de trabalho e facilita a identificação de falhas.

Outro tipo, chamado fluxograma global ou de colunas, possibilita uma visão global do fluxo de trabalho realizado. É elaborado tendo como base o fluxograma de rotinas, sendo mais apropriado para transmissão do fluxo de trabalho para todos os setores da organização.

Figura 2: Fluxograma de Processo de Requisição de Materiais.



Fonte: Paranhos Filho (2007).

Fitzsimmons (2004) aborda a ferramenta como um recurso visual bastante empregado por engenheiros de produção para analisar sistemas de produção na busca de oportunidades de melhoria e na eficiência dos processos.

2.2.2 Estratificação

As principais causas de variação que atuam nos processos produtivos constituem possíveis fatores de estratificação de um conjunto de dados: equipamentos, insumos, pessoas, métodos, medidas e condições ambientais são fatores naturais para a estratificação de dados (CARPINETTI, 2010).

Segundo Falconi (2004) estratificar é dividir um problema em “estratos” (camadas) de problemas de origens diferentes. A estratificação é uma análise do processo, pois é um método para ir à busca da origem do problema.

Ramos *et al.* (2013) dizem que a estratificação normalmente é uma tarefa mental em que o conhecimento das características da população é fundamental e quanto melhor for a

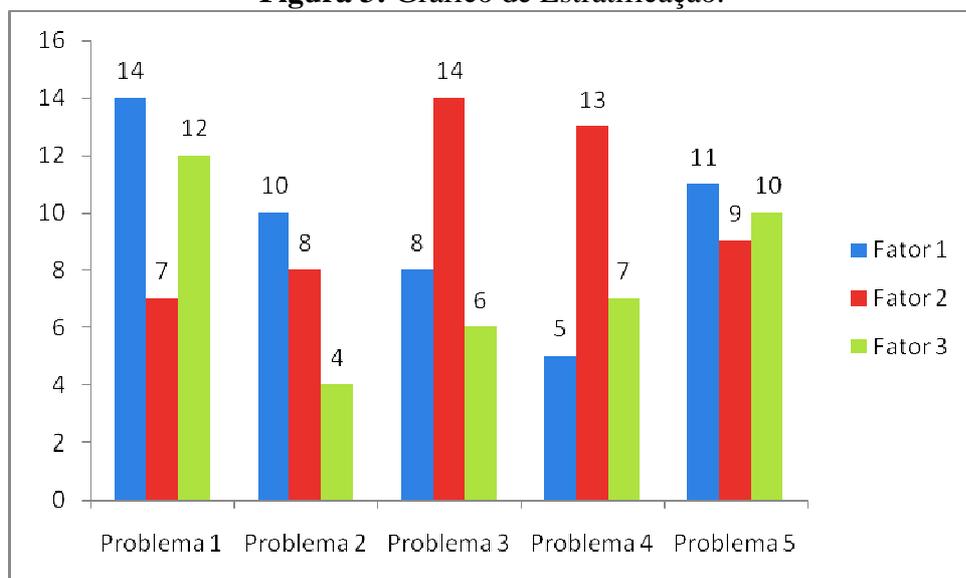
estratificação, menor será o esforço despendido para se alcançar os objetivos, pois a performance das outras ferramentas da qualidade dependem de uma boa estratificação.

Falconi (2004) propõe que a estratificação seja conduzida de forma participativa, sendo convidadas todas as pessoas inerentes aos processos que possam contribuir de alguma forma para a análise.

Carpinetti (2010) afirma que o objetivo da estratificação é identificar como a variação de cada um desses fatores interfere no resultado do processo ou problema que é alvo da análise. Pode-se, por exemplo, subdividir um determinado indicador de desempenho por turno e por operador, o que vai permitir a verificação se um determinado problema está concentrado em algum dos turnos, o que pode significar falta de condição naquele turno, ou se o problema é pontual com alguns funcionários independente do turno, o que pode significar a falta de padronização das operações.

Um exemplo de uso da estratificação é apresentado no gráfico da figura 3, onde os problemas (1 a 5) são subdivididos em fatores de estratificação (1 a 3).

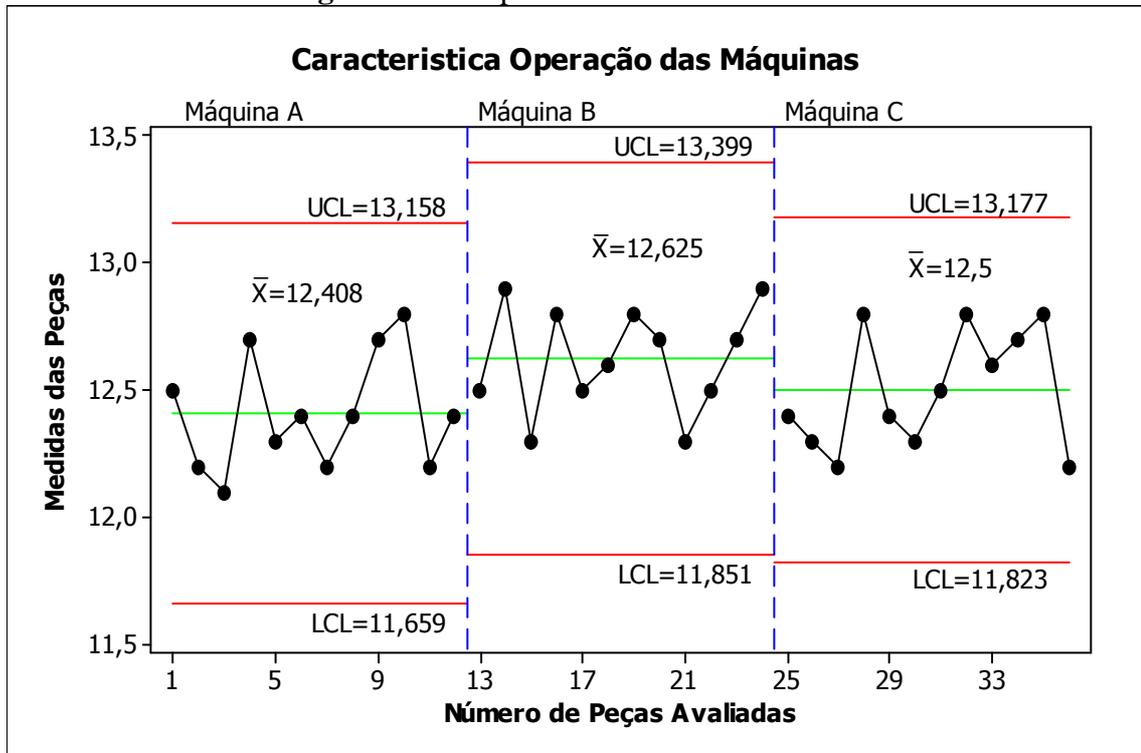
Figura 3: Gráfico de Estratificação.



Fonte: Cesar (2011)

A Figura 4 mostra dados obtidos a partir da estratificação das máquinas A, B e C.

Figura 4: Exemplo de Dados Estratificados.



Fonte: Cesar (2011)

A estratificação se torna uma ferramenta bastante útil nas análises de variabilidade de processos, entretanto, é preciso observar que para analisar os dados de maneira estratificada. É preciso que a origem destes seja identificada. Uma estratégia recomendável consiste em registrar todos os fatores que sofrem alterações durante o período de coleta dos dados (CARPINETTI, 2010).

2.2.3 Folha de verificação

De acordo com Carpinetti (2010) a folha de verificação é utilizada para planejar a coleta de dados de um processo e, desta forma, se tem uma coleta de dados mais simplificada e organizada. A folha de verificação é um formulário em que os itens a serem examinados já estão determinados.

É importante salientar que antes da coleta dos dados, o objetivo do trabalho já deve estar bem definido, ou seja, as informações coletadas devem ter sua finalidade já conhecida (RAMOS *et al.*, 2010).

Vergueiro (2002) aborda a ferramenta como um instrumento simples e de fácil

utilização e compreensão que dá a possibilidade de ter dados concretos acerca de determinado assunto, pois seu intuito é identificar o número de falhas de um processo agrupando as que se repetem para avaliar sua frequência.

Somente o fato de se ter o número de defeitos de um determinado processo produtivo não leva à tomada de medidas corretivas, entretanto, se uma folha de verificação for empregada, importantes dados podem ser obtidos para a melhoria do processo, sendo possível identificar rapidamente os defeitos de maior ou menor frequência (RAMOS *et al.*, 2013).

Na Figura 5 está apresentada uma folha de verificação utilizada em um processo de inspeção final de fabricação de um produto, onde se pode observar a frequência em que determinados defeitos ocorrem possibilitando assim, de maneira rápida, verificar a quantidade e o tipo de defeitos ocorridos no processo.

Figura 5: Folha de verificação para distribuição de um processo produtivo.

| Empresa: | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------|-----------------|---|---|---|---|-------|---|---|------------|
| Estágio de fabricação: Final | | | | | | | | | | |
| Inspetor: | | | | | | | Data: | | | |
| | Desvio | Número de peças | | | | | | | | Frequência |
| | | | | | | 5 | | | | |
| | 0,008 | | | | | | | | | |
| | 0,007 | | | | | | | | | |
| | 0,006 | | | | | | | | | |
| Especificação | 0,005 | x | | | | | | | | 1 |
| | 0,004 | x | x | | | | | | | 2 |
| | 0,003 | x | x | x | | | | | | 3 |
| | 0,002 | x | x | x | x | x | x | | | 6 |
| | 0,001 | x | x | x | x | x | x | x | x | 8 |
| 1000 | 0,000 | x | x | x | x | x | | | | 5 |
| | -0,001 | x | x | x | x | | | | | 5 |
| | -0,002 | x | x | x | | | | | | 4 |
| | -0,003 | x | x | x | | | | | | 3 |
| | -0,004 | x | x | | | | | | | 2 |
| Especificação | -0,005 | x | | | | | | | | 1 |
| | -0,006 | | | | | | | | | |
| | -0,007 | | | | | | | | | |
| | -0,008 | | | | | | | | | |
| Total | | | | | | | | | | 40 |

Fonte: Ramos *et al.* (2013).

Para Meirelles (2001) a folha de verificação tem vital importância na fase de observação estendendo-se até as fases de identificação do problema, podendo ser utilizada em

ambas as fases, pois seu objetivo é coletar informações para análise.

2.2.4 Diagrama de Pareto

Carpinetti (2010) afirma que o princípio de Pareto foi adaptado às análises de qualidade e variabilidade por Joseph Moses Juran (1904-2008) a partir da teoria do sociólogo e economista italiano Vilfredo Pareto (1843-1923). O princípio de Pareto atribui maior parte das perdas decorrentes à qualidade de uma minoria de problemas vitais.

O diagrama de Pareto é um método gráfico para apresentação de dados por ordem de tamanho, importância e prioridade onde os problemas relativos à qualidade são classificados em “pouco vitais” e “muito triviais”. Os “pouco vitais” são problemas que causam muitas perdas ou defeitos e afetam diretamente a qualidade, já os “muito triviais” afetam pouco a qualidade. Sua utilização permite identificar de forma efetiva esses tipos de problemas (RAMOS *et al.*, 2013).

Vergueiro (2002) afirma que a partir do momento em que as razões mais importantes que acarretam o aparecimento de problemas são identificadas, é possível se estabelecer uma escala de prioridade. Essa visualização dos problemas que o diagrama de Pareto oferece facilita as tomadas de decisão nas organizações.

De acordo com Falconi (2004) uma das aplicações do diagrama de Pareto é dar representatividade gráfica à estratificação, ou seja, dois ou três estratos serão definidos como prioritários e vitais para sofrerem um novo desdobramento.

Para se construir um diagrama de Pareto, é necessário utilizar os dados coletados em uma folha de verificação e organizar estes dados de maneira decrescente com resultados em percentual de ocorrência, conforme elucidado na Tabela 1 (RAMOS *et al.*, 2013).

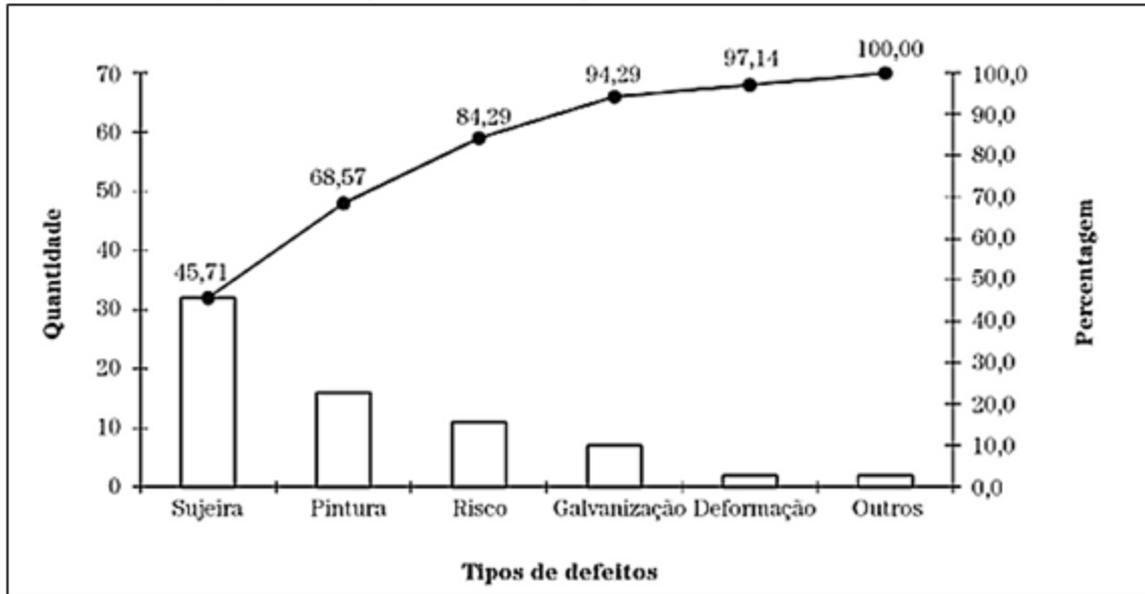
Tabela 1: Tipos de Defeitos no Processo de Inspeção de Capô de Carros.

| Defeitos | Quantidade | % Defeitos | Acumulado |
|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Sujeira | 32 | 45,71 | 45,71 |
| Pintura | 16 | 22,86 | 68,57 |
| Risco | 11 | 15,71 | 84,28 |
| Galvanização | 07 | 10,00 | 94,28 |
| Deformação | 02 | 2,86 | 97,14 |
| Outros | 02 | 2,86 | 100,00 |
| Total | 70 | 100 | - |

Fonte: Ramos *et al.* (2013)

Depois de levantados os dados, estes são plotados em um gráfico de barras que dispõe as informações de forma a tornar evidente a relação entre defeito e percentual de ocorrência, como pode se observar na Figura6:

Figura 6: Diagrama de Pareto para Defeitos em um Processo.



Fonte: Ramos *et al.* (2013).

Montgomery (2009) diz que o gráfico de Pareto é uma distribuição de frequência de dados organizados por categoria, mas que esta ferramenta não identifica automaticamente qual é o defeito mais importante, apenas identifica aqueles que ocorrem com maior frequência.

2.2.5 Diagrama de causa e efeito

Carpinetti (2010) afirma que o diagrama de causa e efeito foi desenvolvido para representar graficamente as relações existentes entre um determinado problema ou efeito do resultado de um processo e todas as possíveis causas desse problema.

O diagrama de causa e efeito tem outras denominações como “diagrama espinha de peixe” devido ao seu formato, que lembra o esqueleto de um peixe. Outra denominação é diagrama de Ishikawa, em homenagem ao professor Kaoru Ishikawa (1915-1989), que elaborou esse diagrama para exemplificar a inter-relação entre vários fatores de um processo (LUCINDA, 2010).

Segundo França (2002) o diagrama de causa e efeito tem função de identificar,

explorar e ressaltar todas as causas de um problema estabelecendo uma relação entre o efeito e todas as possíveis causas e, quando bem elaborado e detalhado, toma a forma de uma espinha de peixe.

A estrutura do diagrama tem um formato que procura identificar todas as causas potenciais para reincidência de determinado defeito ou falha. Primeiramente são levantadas as causas principais e cada causa é desdobrada até que a causa raiz seja identificada (DAVIS *et al.*, 2001).

De acordo com Carpinetti (2010) a estrutura do diagrama de causa e efeito visa estruturar as diversas causas que levam a uma situação, onde as causas para um determinado problema são genericamente dispostas em seis categorias básicas: método, mão de obra, meio ambiente, máquina, matéria e medidas. Na Figura 7 está apresentada a estrutura de um diagrama de causa e efeito.

Figura 7:Exemplo de Diagrama de Causa e Efeito.



Fonte: Ramos *et al.* (2013).

Essa ferramenta permite a estruturação hierárquica das causas de um problema bem como a mensuração de seus efeitos sobre a qualidade de um produto ou serviço. Esse diagrama também permite a visualização em uma forma gráfica e sintética (GUELBERT, 2012).

Carpinetti (2010) propõe que um diagrama de causa e efeito deva ser realizado por um grupo de pessoas envolvidas no processo considerado, pois o maior número de pessoas minimiza a possibilidade de se omitir causas relevantes.

2.2.6 Histograma

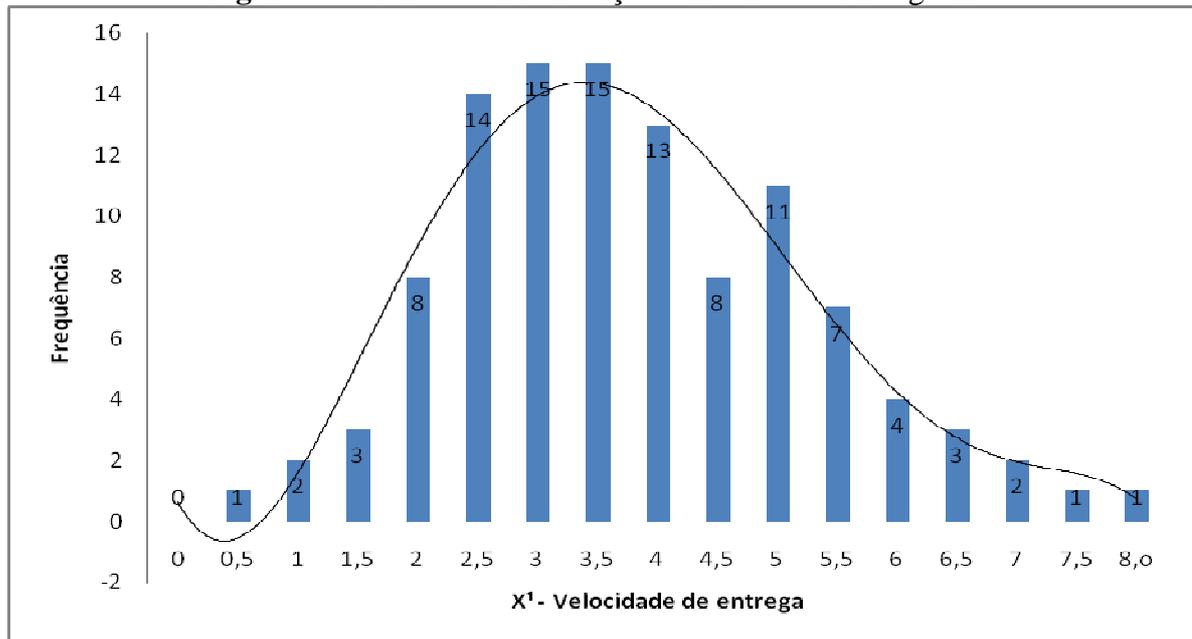
O passo inicial para buscar o entendimento da natureza de qualquer variável é caracterizar sua forma de distribuição podendo-se alcançar uma perspectiva adequada sobre a variável através de um histograma (HAIR *et al.*, 1998).

Os histogramas apresentam a variação de dados de forma visual sendo utilizados para apresentar dados nominais, ou seja, é uma ferramenta de análise e representação de dados quantitativos que permite distinguir a forma, o ponto central e a variação da distribuição (DAVIS *et al.*, 2001).

Na definição de Carpinetti (2010) o histograma é um gráfico de barras no qual o eixo horizontal é subdividido em pequenos intervalos de interesse e, para cada intervalo, é construído uma barra vertical que reproduz uma distribuição de frequência. É uma ferramenta que possibilita conhecer as características de um processo permitindo uma visão geral da variação de dados.

Cesar (2011) diz que um histograma demonstra como dados se distribuem, a tendência central de seus valores além da variabilidade (dispersão). A distribuição desses dados contribui de maneira decisiva para a identificação dos dados.

Vergueiro (2002) fala que, para a elaboração de um histograma, basicamente deve-se levantar um conjunto de dados, determinarem a amplitude em que os dados serão tabulados definindo o menor e o maior valor para controle. Em um histograma os valores das classes ficam na linha horizontal e a frequência na vertical. A Figura 8 mostra um exemplo de um histograma com dados relativos ao tempo de entrega de um determinado produto.

Figura 8 - Gráfico de Distribuição Univariada – Histograma.

Fonte: Hairet *al.* (1998).

Para Hairet *al.* (1998) o histograma pode ser utilizado para avaliar qualquer tipo de variável mensurável, desde valores originais até resíduos de uma técnica multivariada.

2.2.7 Diagrama de dispersão

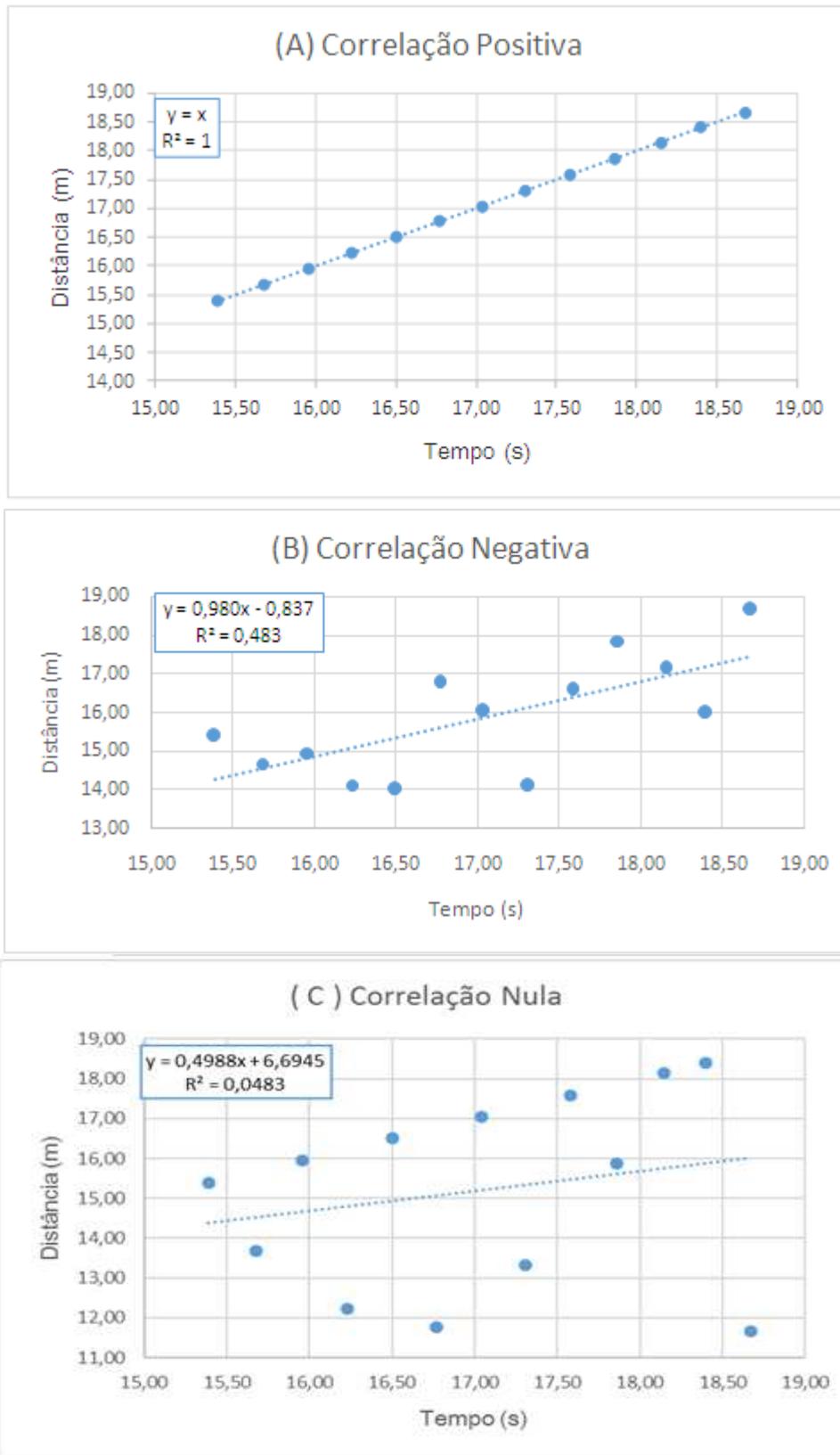
De acordo com Meirelles (2001) o diagrama de dispersão é um tipo de gráfico que possibilita a visualização do relacionamento existente entre duas variáveis de um processo. De forma geral, esse tipo de gráfico é utilizado para verificar o relacionamento entre causas e efeitos e pode ainda ser utilizado para relacionar duas causas ou dois efeitos, para facilitar o entendimento das relações existentes entre as variáveis. Isto não prova que uma variável afeta a outra, mas torna claro se existe relação e em qual intensidade.

Segundo Carpinetti (2010) um gráfico de dispersão entre duas variáveis pode apresentar os seguintes padrões de relacionamento:

- Correlação positiva: X e Y crescem no mesmo sentido, o aumento de uma variável leva ao aumento da outra;
- Relação negativa: X e Y variam em sentidos contrários, o aumento de uma variável leva a diminuição da outra;
- Relação inexistente: Se X cresce, Y varia ao acaso, a variação de uma variável não leva a uma variação sistemática da outra variável.

A Figura 9 exemplifica, respectivamente, os três tipos de correlação citados acima.

Figura 9: Diagrama de Dispersão: Correlação Positiva, Negativa e Nula.



Fonte: Vieira (2012).

Carpinetti (2010) afirma que, para a construção de um diagrama de dispersão, é necessária a coleta de pelo menos 30 pares de observações (x, y) das variáveis em questão.

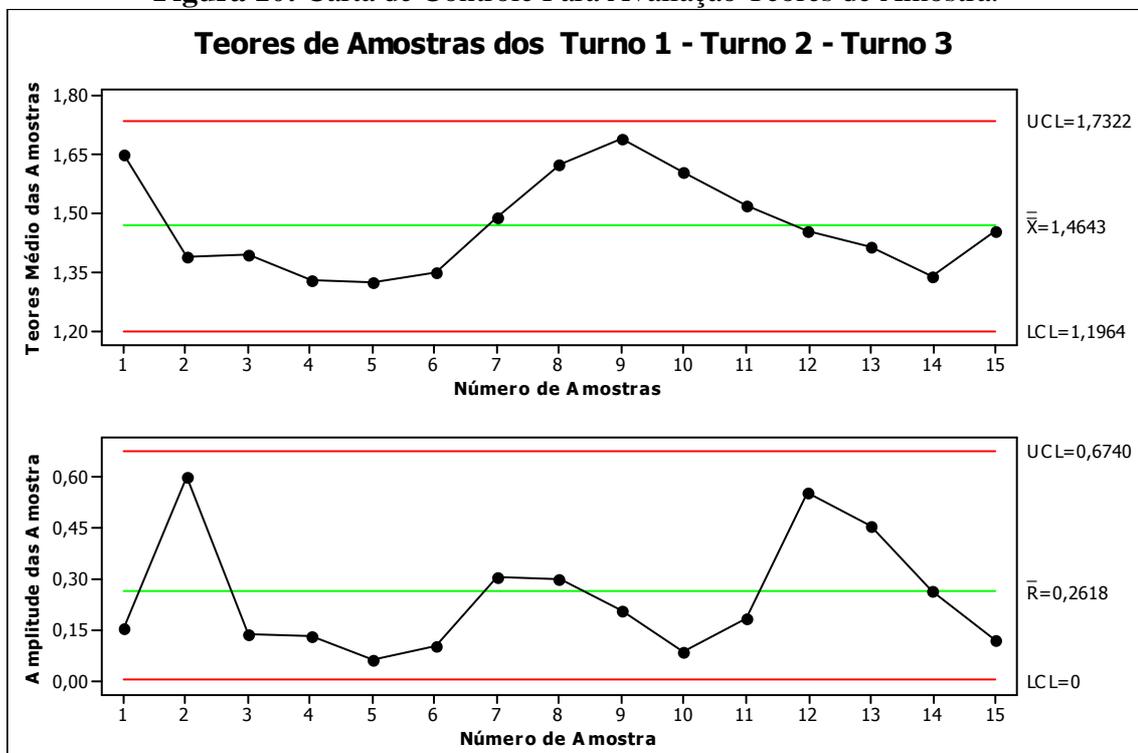
2.2.8 Gráficos de controle

Desenvolvido pelo estatístico Walter Shewhart, os gráficos de controle são utilizados para controlar as variações e as causas que originam tais variações em um processo produtivo, visto por ele como uma coleção de causas (VERGUEIRO, 2002).

Um gráfico de controle apresenta dados sequenciais de um processo junto com uma linha central e os limites de controle. As linhas de controle servem para se avaliar o desempenho. A constatação de um ponto fora dos limites de controle é uma evidência que o processo está fora de controle ou que causas especiais estão afetando adversamente o processo (COOPER; SCHINDLER, 2001).

A Figura 10 apresenta uma carta de controle em que está definido um limite máximo e mínimo para variação e a linha central é a média do processo.

Figura 10: Carta de Controle Para Avaliação Teores de Amostra.



De acordo com Carpinetti (2010) o objetivo dos gráficos de controle no controle de qualidade de um processo é garantir que ele transcorra na melhor condição possível, dentro

dos limites de controle pré-estabelecidos.

2.2.9 Brainstorming

O método *Brainstorming* foi criado pelo publicitário Alex Osborn, em 1939, como uma ferramenta associada à criatividade para ser usado exclusivamente na etapa de planejamento (busca de soluções pra problemas conhecidos). Consiste em construir e reunir uma equipe de pessoas criativas, definir o foco da reunião (normalmente um problema) e discutir o tema levantando todas as possibilidades apresentadas pela equipe (MEIRELLES, 2001).

Na visão de Vergueiro (2002) a ferramenta parte do princípio de que o homem, ao se deparar com um problema, naturalmente desenvolve duas funções na mente: criação e julgamento. Ao mesmo tempo em que explora sua criatividade, julga as idéias emergentes.

Quinn *et al.* (2012) definem *brainstorming* como uma das estratégias mais efetivas no aspecto de encontrar e encorajar a inovação coletiva. Desperta as habilidades e o conhecimento de quem participa, é uma técnica para gerar novas idéias.

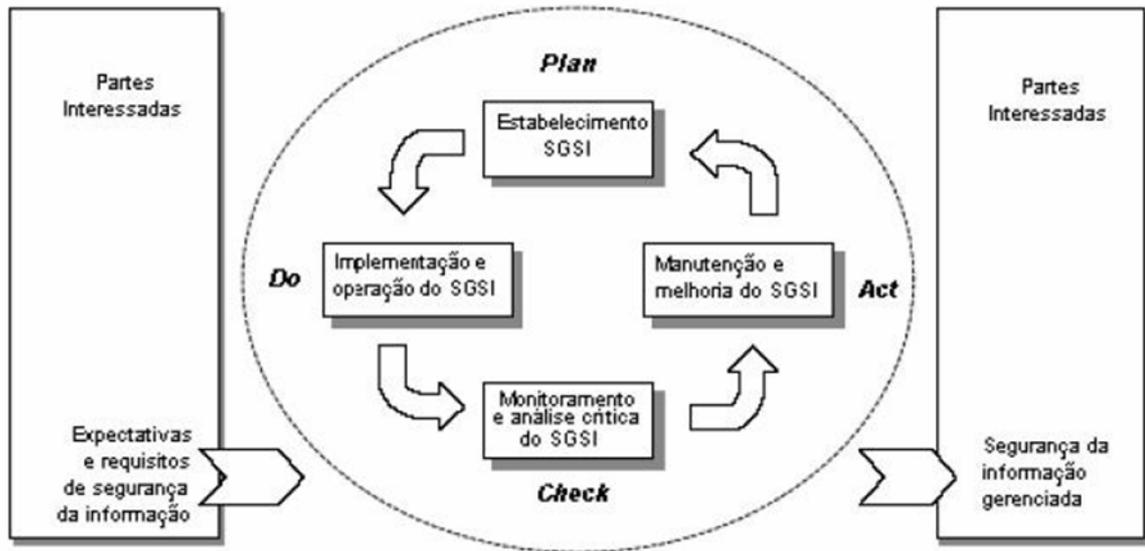
Vergueiro (2002) ressalta que, para maior sucesso da ferramenta, é essencial a presença de uma pessoa que exerça a liderança do projeto e coordene para que seja garantida a livre expressão das idéias, além também de uma pessoa para anotar todas as idéias levantadas.

2.3 Ciclo PDCA

Também conhecido como Ciclo de Deming, em homenagem ao seu criador William Deming. A sigla PDCA advém do inglês (*Plan, Do, Check, Act*) que significam: planejar, fazer, verificar e agir. Esta ferramenta introduziu uma nova abordagem na administração focada na qualidade. Desenvolveu também uma concepção sistêmica no sentido de um fluxo interdependente de ações na busca da melhoria contínua (PARANHOS FILHO, 2007).

França (2002) diz que esta ferramenta permite, de forma prática, concatenar as ações que tem como resultado a qualidade do produto ou serviço. Na Figura 11 está ilustrado como o ciclo é aplicado e as atividades de cada etapa

Figura 11: Ciclo PDCA.



Fonte: França (2002).

Segundo França (2002) cada passo da ferramenta deve ser seguido da seguinte maneira:

- Planejamento (*Plan*) – As ações devem ser planejadas de modo participativo com o comprometimento de todos os envolvidos;
- Execução (*Do*) – Executar da forma como foi planejado e realizar a coleta de dados para se fazer a verificação.
- Verificar (*Check*) – Com os dados levantados em mãos, compará-los com o que foi planejado;
- Agir (*Action*) – Se algum desvio for encontrado durante a verificação o ciclo deve ser rodado novamente.

Caxito (2008) fundamenta a utilização do ciclo PDCA devido à necessidade de interação constante e contínua entre planejamento e execução, além de ser uma ferramenta simples e com grande eficácia em melhoria contínua.

2.4 Controle Estatístico de Processo – CEP

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma metodologia quantitativa para monitorar um processo sistêmico, com o intuito de avaliar se um determinado processo está operando adequadamente. O CEP utiliza coleta de dados e faz um comparativo com os

medidores de desempenhos pré-determinados (DAVIS *et al.*,2001).

Na visão de Chase *et al.* (2004) o CEP tem função de monitorar a qualidade enquanto um produto ou serviço é produzido, objetivando proporcionar informações no tempo certo sobre a produção, se está satisfazendo as especificações do projeto e também indicar possíveis mudanças que venham afetar futuramente a qualidade do produto.

Para Slacket *al* (2006) a finalidade do CEP é de controlar a performance dos processos, mantendo-o dentro dos limites aceitáveis e também buscar a melhoria do mesmo através da redução da variabilidade em relação aos níveis predefinidos.

Contador (2010) aborda o CEP como uma das mais poderosas ferramentas criadas visando apoiar o controle efetivo da qualidade nos processos, além de alavancar a melhoria da produtividade nas operações. O CEP prega o controle da qualidade, administrado juntamente com a produção (controle de processo) ao invés da inspeção após a produção (controle de produto).

Davis *et al.* (2001) afirmam que o CEP, em linha gerais, aborda o entendimento da variação do processo, uma vez que cada processo tem uma forma de variação distinta. A análise de variação intrínseca de um determinado processo possibilita a comparação de seu desempenho atual com o planejado.

2.4.1 Variabilidade de processo

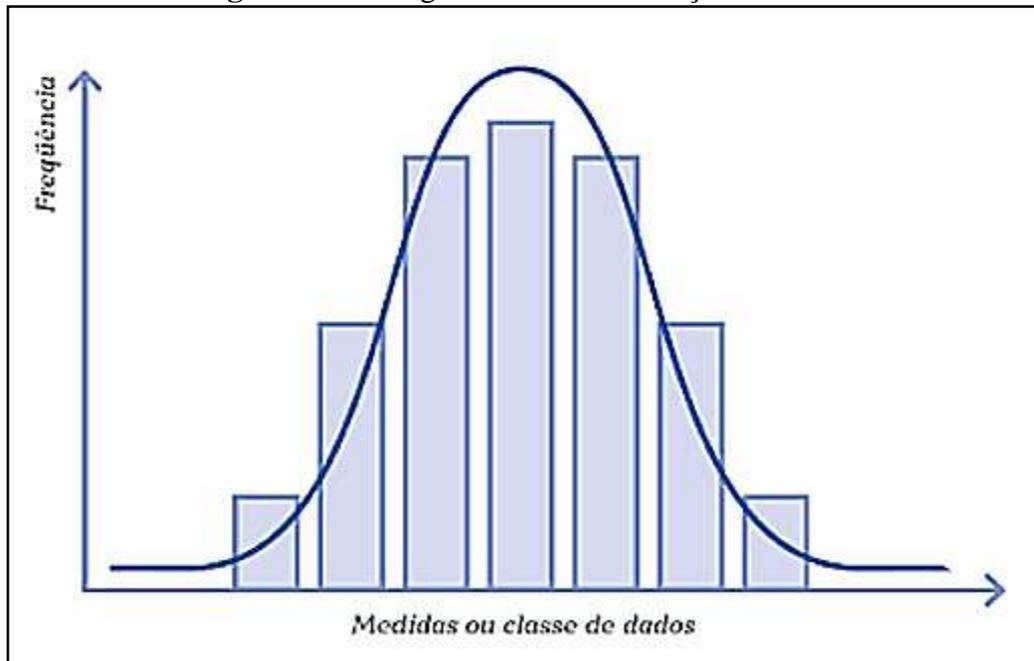
Qualquer processo apresenta variabilidade, isto é um fator inerente à sua natureza, já as variações nas características da qualidade são devido às inconsistências de pessoas, matéria-prima, equipamentos, instrumentos de medição e outros (CONTADOR, 2010).

O CEP é basicamente fundamentado em uma carta de controle, que ilustra o dinamismo de um processo e sua variação no tempo. Todos os processos variam até um determinado limite, por isso não é surpresa que uma medição de qualidade de desempenho também possa variar (SLACK *et al.*, 2006).

A variação de um processo pode ser muito bem visualizada em um histograma, pois os dados variam em torno de um valor central e essa tendência central permite observar um tipo particular de histograma onde se tem uma distribuição normal ou distribuição de Gauss. Os parâmetros principais dessa distribuição são a média aritmética dos dados e o desvio padrão representado pela letra grega σ (PARANHOS FILHO, 2007).

A Figura 12 mostra o exemplo de um histograma com distribuição normal:

Figura 12: Histograma com Distribuição Normal.



Fonte: Paranhos Filho (2007).

Navidi (2010) propõe que as variações na saída de um processo são oriundas de duas causas:

- Causas comuns ou aleatórias: são inerentes ao processo que, na maioria dos casos, são difíceis ou até mesmo impossíveis de se especificar ou mensurar.
- Causas especiais ou atribuíveis: são originadas por fatores especiais que produzem uma variabilidade adicional como, por exemplo, um equipamento descalibrado, um erro operacional, matéria prima de má qualidade, entre outras.

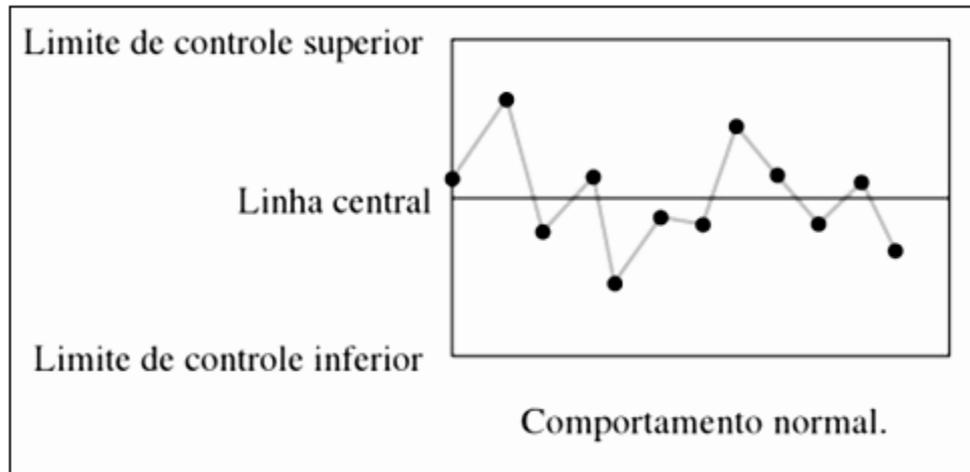
Montgomery (2009) diz que, pelo fato das características da qualidade serem variáveis, se torna necessário monitorar seu valor médio juntamente com a variabilidade. A variabilidade de um determinado processo pode ser monitorada com uma carta de controle para o desvio padrão ou para a amplitude das médias.

2.4.2 Limites de controle

A apresentação gráfica que caracteriza o controle de qualidade é o gráfico de controle e esta é a principal ferramenta do CEP. O gráfico utilizado no CEP contém uma linha central que representa a média do processo e outras duas linhas horizontais denominadas: limite

inferior de controle (LIC) e limite superior de controle (LSC) como apresentado na Figura 13. Esses controles são escolhidos de forma que, quando um processo está sob controle, praticamente todos os pontos de controle estão entre os limites (MONTGOMERY, 2009).

Figura 13: Gráfico de Controle Sob Controle.



Fonte: Jacobs; Chase (2008).

Normalmente as linhas de controles são plotadas numa distância de três desvios padrão da média amostral, como sugerido por Walter Shewart na década de 20. Em termos estatísticos, esse limite de controle de três desvios padrão define um nível de confiança de 99,73%, ou seja, se um processo é capaz de operar dentro destes limites, 99,73% dos resultados estarão dentro do intervalo estabelecido (SAMOHYL, 2009).

Montgomery (2009) afirma que a escolha dos limites de controle é a decisão mais importante no planejamento de um gráfico de controle, pois, quando se afasta os limites de controle da linha central se reduz o risco de um ponto cair fora dos limites caso o processo esteja fora do controle sem nenhuma causa especial presente. Também causa o aumento da ocorrência de causas comuns, isto é, o risco de um ponto cair entre os limites de controle quando o processo está, na verdade, fora de controle. Por outro lado, quando se aproxima os limites de controle da linha central se tem o efeito oposto.

Contador (2010) diz que, para definir os limites de controle, têm-se as seguintes fórmulas:

$$LSC = \mu + L .$$

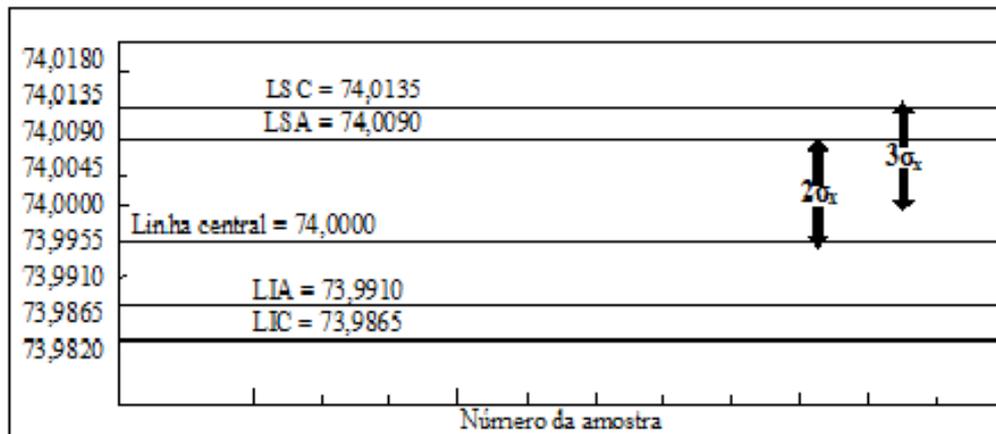
$$(1) LSC = \mu + L.\sigma$$

$$(2) LC = \mu$$

$$(3) LIC = \mu - L.\sigma \Rightarrow (4) Cp = \frac{LSC - LIC}{L}$$

Onde μ é a média amostral e L é a distância dos limites de controle à linha central, expressa em unidades de desvio padrão (σ). A Figura 14 mostra sua utilização em um determinado processo em que são apresentados tanto os limites inferior e superior de controle (LSC e LIC), quanto os limites inferior e superior de alerta (LSA e LIA).

Figura 14: Gráfico com Limites de Controle (3σ) e Limites de Alerta (2σ)



Fonte: Montgomery (2009).

Montgomery (2009) propõe, além da utilização dos limites de controle, normalmente com três sigmas, utilizar também dos chamados limites de alerta, onde são utilizados comumente dois sigmas.

2.4.3 Capacidade de processo

A capacidade do processo trata da sua uniformidade e a variabilidade em um processo é uma medida da uniformidade da produção. A análise da capacidade do processo é uma técnica estatística muito útil no ciclo de produção para analisar e quantificar a variabilidade em relação às especificações do produto (MONTGOMERY, 2009).

Samohyl (2009) aborda o índice de capacidade como uma medida de relação numérica entre os limites de controle e os limites de especificação do processo.

Para Slacketal. (2006) a capacidade faz uma análise da capacidade que um processo tem de atender às especificações. A medida de capacidade mais simples (C_p) é dada pela proporção do limite de especificação para variação natural do processo (Equação 7):

Onde:

Cp é a capacidade do processo;

LSCo limite superior de controle;

LIC o limite inferior de controle;

σ desvio padrão da variabilidade do processo.

Samohyl (2009) diz que quando um processo é capaz, os limites de controle ficam inteiramente dentro dos limites de especificação do produto e o valor do índice de capacidade (Cp) é maior que 1. Um Cp igual a 1 significa uma taxa de produtos não conformes de 0,27%. Atualmente as indústrias buscam um índice Cp acima de 1,33, se possível chegando ao valor de 2, ou seja, os limites de tolerância estão em 12 desvios padrão.

O índice de capacidade Cp não leva em conta onde a média do processo está localizada com relação às especificações, mede somente a dispersão das especificações em relação à dispersão dos seis sigmas. Quando se leva em conta a centralização do processo o índice de capacidade é denominado Cpk, onde se tem a diferença entre os limites de especificação e a média amostral (MONTGOMERY, 2009).

Para Contador (2010) o índice Cpk pode ser definido como a diferença entre os valores de capacidade inferior (Cpi) e capacidade superior (Cps), ou seja:

$$(5) Cpk = \min \{Cpi, Cps\}$$

Onde:

$$(6) Cpi = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \text{ e } Cps = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}$$

Samohyl (2009) cita que alguns processos são unilaterais, ou seja, somente um lado do processo é relevante. Em situações como essa não existe possibilidade de aplicar o Cp dos dois lados, portanto o índice de capacidade apropriado seria o Cpk.

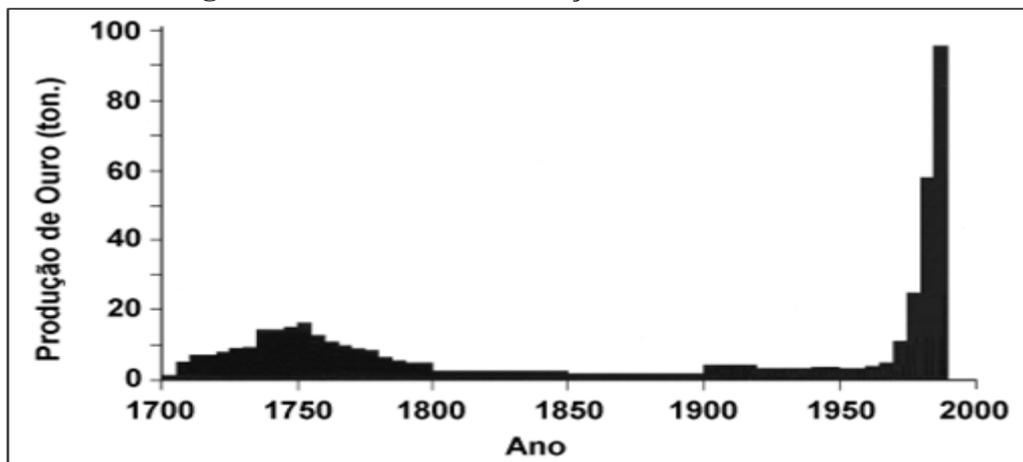
2.5 Histórico da mineração

Um mineral é todo corpo inorgânico com propriedades químicas e físicas definidas. A definição de minério é toda rocha constituída de um mineral ou um conjunto de minerais valiosos com capacidade de aproveitamento econômico; já um minério sem valor econômico é denominado ganga (LUZ; LINS, 2004).

A mineração é a principal atividade que provê recursos para o mundo e seus grandes desafios técnicos, sociais e ambientais no cenário mundial estão ligados ao aperfeiçoamento e melhoria contínua dos métodos de mineração e processamento, com intuito de minimizar impactos ambientais e simultaneamente fornecer os recursos necessários à economia (VALADÃO; ARAUJO, 2007).

Tradicionalmente, o Brasil sempre ocupou um posto de destaque na produção global de ouro sendo o maior produtor mundial durante o ciclo do ouro, proveniente, principalmente, do Quadrilátero Ferrífero, situado em Minas Gerais. Foi somente a partir dos anos 80 que a produção brasileira saltou de cerca de 20 toneladas anuais para mais de 100 toneladas, como é mostrado na Figura 15 (PORTO, 2002).

Figura 15: Histórico da Produção de Ouro no Brasil.



Fonte: Porto (2002).

Para Valadão e Araújo (2007) a humanidade sempre dependeu dos minérios para seu desenvolvimento, desde seus primórdios. O conhecimento limitado segurou o campo de atuação do tratamento de minérios nos últimos cinco séculos e, dentre os poucos minérios que foram explorados antes disso, destacam-se especialmente ouro e prata.

2.5.1 Processamento de minérios

O processo de beneficiamento de minérios é definido como um conjunto de operações que são realizadas em uma matéria-prima mineral a fim de se obter sua adequação para o comércio (VALADÃO; ARAUJO, 2007).

Para Luz e Lins (2004) o beneficiamento de minérios pode ser definido basicamente como a aplicação de operações nos bens minerais com o intuito de alterar sua granulometria,

sua concentração sem, contudo, modificar sua identidade física ou química.

Dutra (2006) define o beneficiamento de minérios como uma ciência que transforma rochas em matéria-prima para os mais diversos ramos da indústria, além de envolver diversas áreas da engenharia e da ciência.

Num panorama geral o conjunto de operações no beneficiamento de minérios tem como atividades principais a fragmentação (redução do tamanho dos blocos pela cominuição), separação por tamanho (separados materiais numa em faixas granulométricas específicas), concentração (separação do mineral de maior valor econômico), classificação, separação de sólido/líquido (recuperação de água através do desaguamento), além de diversas outras operações auxiliares (VALADÃO; ARAUJO, 2007).

2.5.2 Processamento de minérios de ouro

O ouro é encontrado no minério associado a minerais diversos como quartzo, pirita entre outros. Ocorrem com maior frequência na forma de liga metálica com a prata e/ou outros metais do grupo. O ouro também é produzido como um subproduto na extração de outros metais como cobre, zinco, chumbo e níquel (GRANATO, 1986).

O beneficiamento de minério aurífero apresenta peculiaridades que o diferencia de outros métodos de tratamento. Normalmente as rotas de processamento se restringem a uma adaptação granulométrica do minério a etapas hidrometalúrgicas, além de envolver etapas de concentração que exploram a diferença de densidade e as características hidrofóbicas (naturais ou induzidas) (PORTO *et al.*, 2002).

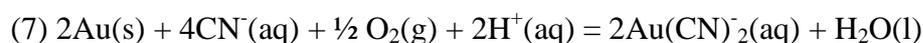
A adaptação granulométrica se dá na etapa de preparação do minério, onde estão envolvidas as atividades de britagem, peneiramento, moagem e classificação e, após, vem as etapas de concentração que podem ser pelo método gravítico através de jigues, mesas vibratórias ou concentradores centrífugos ou pelo método de flotação, em que a separação das partículas é baseada nas características polar (hidrofilicidade) ou apolar (hidrofobicidade). Espécies hidrofílicas seguem o fluxo de água e hidrofóbicas aderem às bolhas de ar. Partículas de ouro puras são naturalmente hidrofílicas, porém, uma monocamada de contaminante carbonáceo torna sua superfície hidrofóbica, que é explorada nas células de flotação (PORTO *et al.*, 2002).

2.5.3 Hidrometalurgia do ouro

A hidrometalurgia aplica-se principalmente na extração de minérios de baixo teor, pois se trata da forma mais viável de extração. O processo de hidrometalurgia é composto pelas etapas de lixiviação, adsorção em carvão ativado, dessorção e eletrodeposição do ouro (GRANATO, 1986).

Mundialmente, o processo de cianetação é o mais utilizado na lixiviação do ouro a partir de seus minérios concentrados. Fundamenta-se em uma solução diluída de cianeto de sódio ou potássio em meio aerado onde é dissolvido, preferencialmente, as partículas de ouro em relação aos outros metais presentes (PENNA; GRANATO, 1983).

Segundo Porto *et al.*(2002) a lixiviação pelo processo de cianetação baseia-se na capacidade do cianeto complexar com o ouro, realizando a dissolução do metal. Para essa dissolução é necessário uma combinação de um agente oxidante, como o oxigênio e um agente complexante, como o cianeto, em uma solução como ilustrado através da reação global:



Muitas são as variáveis envolvidas no processo de lixiviação por cianetação e a compreensão da função de cada uma dessas variáveis e sua relação com as demais é fundamental para um efetivo gerenciamento da operação de lixiviação (PORTO, 2002).

Em um processo de lixiviação devem ser feitos controles dos seguintes parâmetros de processo que determinam a eficiência da operação:

- a) Granulometria (partículas menores lixiviam mais rápido);
- b) Percentual de sólidos (deve ser ajustado a fim de permitir uma agitação eficiente da polpa);
- c) Alcalinidade (a velocidade da reação é maior na faixa de pH entre 10,2 e 11,2);
- d) Concentração de cianeto (deve ser ajustada de acordo com as características do minério variando entre 0,05 e 0,15%);
- e) Aeração (o oxigênio é fundamental para a reação de lixiviação, sendo necessário manter uma concentração de 8,2 ppm) (GRANATO, 1986).

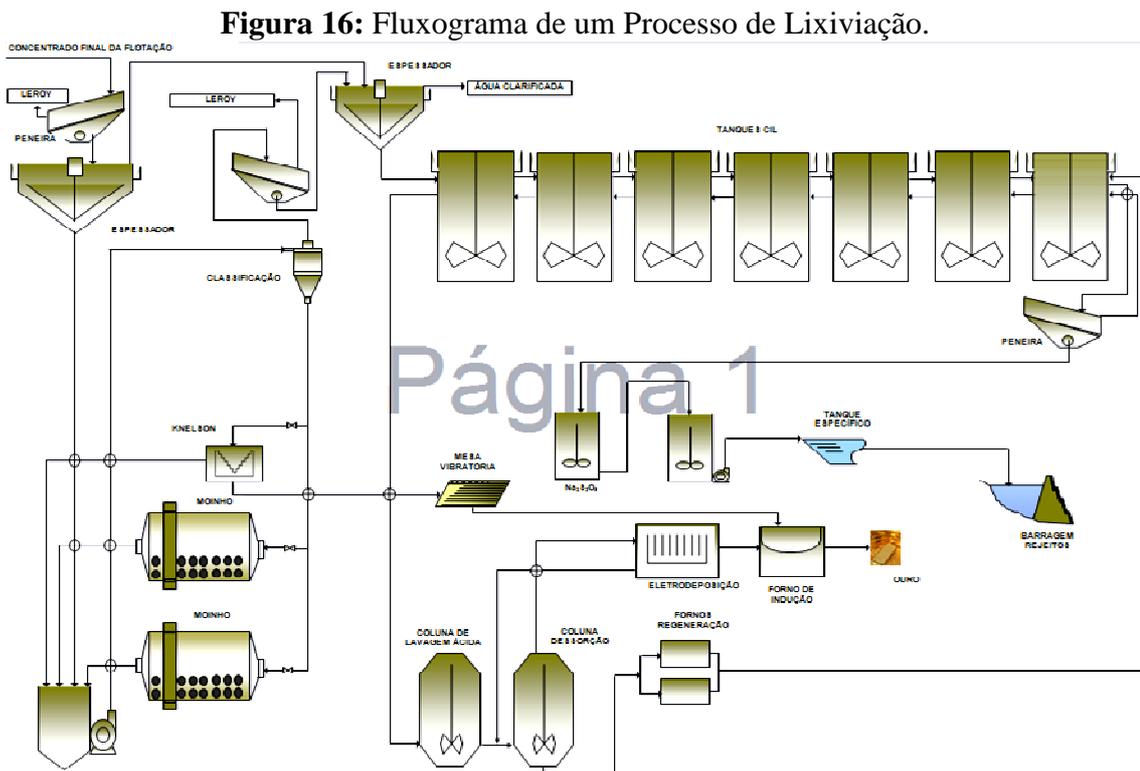
A recuperação do ouro dissolvido pelo processo de cianetação é realizada das mais diversas formas, mas atualmente, os dois principais processos utilizados na indústria são a

adsorção do ouro por carvão ativado, no caso de tratamento da polpa, e precipitação com pó de zinco no tratamento de soluções clarificadas (PORTO, 2002).

O processo de precipitação apresenta grandes desvantagens em relação ao de adsorção, que é a necessidade de clarificação da solução e a dificuldade de recuperar soluções de ouro muito diluídas. O processo de adsorção utiliza da capacidade do carvão ativado de adsorver ouro e outros metais preciosos (PORTO, 2002).

Granato (1986) propõe a utilização de carvão ativado produzido a partir da casca de coco devido ao seu grande poder de resistência à abrasividade, o que lhe dá maior tempo de vida no processo e também pelo seu alto poder de adsorção.

A Figura 16 ilustra um processo de lixiviação em tanques. No processo de adsorção o fluxo do carvão é realizado em contraposição ao fluxo da polpa.



Após o carregamento do carvão com ouro, com um máximo de 5 a 20 kg de ouro por tonelada de carvão; este é enviado para o processo de dessorção onde o processo de adsorção é invertido para a recuperação do ouro (PORTO, 2002).

O processo de dessorção, desenvolvido pelo *U. S. Bureau of Mines*, denominado método Zadra - foi o primeiro método utilizado para extrair ouro e prata a partir do carvão ativado, utilizado na operação em colunas com pressão atmosférica e uma solução efluente de

1% de NaOH e 0,2% de NaCN com temperatura na ordem de 90°C com bateladas de 24 a 70 horas de duração (GRANATO, 1986).

Um segundo método desenvolvido pelo *U. S. Bureau of Mines*, o processo Zadra sob pressão, em que a operação era feita com 1% de NaOH, 0,1% de NaCN com temperatura na faixa de 120 a 140°C e pressão de 3 a 5 atm, reduziu o tempo de operação para 8-14 horas, reduzindo consumo de reagentes e o tamanho da coluna de dessorção. Este método, apesar de grande investimento, é o método mais aplicado atualmente (PORTO, 2002).

A solução de ouro produzida pelo processo de adsorção/dessorção é enviada para a eletrodeposição em células eletrolíticas com teores na faixa de 50 a 2000 ppm de ouro. O ouro depositado nas células eletrolíticas é fundido, produzindo uma barra de ouro pronta para o refino (PORTO, 2002).

3 METODOLOGIA

Moura (2009) define metodologia como um conjunto de métodos empregados em um estudo, utilizados como abordagem em uma pesquisa científica.

Kahlmeyr-Mertens *et al.* (2007) abordam a metodologia como o estudo dos métodos para se obter o conhecimento e o caminho através do qual se faz ciência. É um modelo de como pensar para se chegar à causa de determinado problema, para explicá-lo ou estudá-lo.

Em linhas gerais, a técnica em pesquisas significa a utilização dos conceitos relacionados, o meio pelo qual se consegue atingir resultados práticos compatíveis com o problema que se pretende solucionar, utilizado para viabilizar o método científico (MOURA, 2009).

Neste capítulo será descrito como a pesquisa transcorreu e se desenvolveu no decorrer do estudo.

3.1 Tipo e descrição geral da pesquisa

A pesquisa desenvolvida, de acordo com seus objetivos, tem caráter do tipo explicativo e descritivo. Explicativo, pois busca justificativa para a ocorrência de eventos que já são conhecidos ou que são descobertos.

No estudo em questão, o objetivo foi verificar se o processo está sob controle e o motivo de ocorrência de problemas que influenciam na variabilidade do processo de dessorção de ouro. É também descritivo, já que descreveu as características das variáveis analisadas, delineando o problema, buscando a resolução do problema levantado.

A pesquisa descritiva trata de analisar fatos e características presentes em um processo na busca de descobrir o porquê, através da interpretação dos dados (GRESSLER, 2004).

Pesquisas de delineamento explicativo buscam a elucidação das causas do problema e também relacionar as causas e efeitos dos fenômenos estudados, buscando a resolução do problema e também as causas que os configuram (SANTOS; CANDELORO, 2006).

O recurso metodológico utilizado como método de coleta de dados foi a pesquisa documental na qual foram analisados os documentos internos da organização em estudo, observações em campo e pesquisa bibliográfica.

Para Carvalho (1989) a pesquisa documental é realizada a partir de documentos considerados autênticos, com o intuito de comparar fatos, estabelecendo características ou

tendências.

A técnica de pesquisa é um instrumento importante na investigação, principalmente na de natureza empírica em que é necessária a coleta de dados de natureza qualitativa e/ou quantitativa (SANTOS; CANDELORO, 2006).

A análise de dados envolve técnicas quantitativas por analisar valores envolvidos no processo, apurar opiniões e atitudes das pessoas questionadas e permitir o controle por meio de dados numéricos. Foram considerados os dados referentes à extração de ouro no carvão ativado no processo de dessorção, objeto de estudo deste trabalho.

Por outro lado, a pesquisa utilizou-se de técnicas de caráter qualitativo, pois avaliou as questões que interferem nesses dados, determinando fatores e esclarecendo motivos que são capazes de gerar impacto sobre os valores resultantes do processo.

Para Gomes e Araújo (2005) o campo científico está voltado para o surgimento de um modelo metodológico que seja possível atender simultaneamente as necessidades dos pesquisadores; este modelo alternativo de pesquisa é denominado quantiquantitativo.

3.2 Caracterização da organização em estudo

A empresa na qual foram realizados os estudos atua nas atividades de pesquisa e desenvolvimento mineral, mineração, beneficiamento e comercialização de ouro. É uma das maiores produtoras de ouro do Brasil, responsável por 25% da produção nacional. Com operações em Paracatu, noroeste de Minas Gerais e com presença na América do Sul (Brasil, Chile, Equador), América do Norte (Estados Unidos e Canadá), África (Gana e Mauritânia) e Eurásia (Rússia).

Em 2006 a empresa iniciou um grande projeto de expansão que elevou a capacidade de lavra de minério e fez com que a produção anual de ouro praticamente triplicasse, chegando a 17 toneladas por ano. O projeto também ampliou em mais de 30 anos o tempo de vida útil da mina, estimado até 2042.

A unidade é um importante empreendimento industrial da região, respondendo por 22% dos postos de trabalho formais do município de Paracatu. São cerca de 1.300 empregos diretos e mais de 2,5 mil terceirizados. Além de ser a principal geradora de impostos e responsável pelo fomento a outros negócios.

A empresa está inserida em um mercado em que os altos níveis de produção têm que ser necessariamente conciliados com baixo custo para garantir a continuidade do negócio.

3.3 Instrumentos de pesquisa

Os instrumentos utilizados nesta pesquisa quantiquantitativa foram: pesquisa documental de dados operacionais relativos aos processos que a empresa desenvolve na produção de ouro e também uma entrevista focal em grupo na qual foi aplicada a ferramenta de qualidade chamada *Brainstorming*, onde todos os envolvidos diretamente no processo puderam expor seu ponto de vista diante do problema levantado, de variabilidade na eficiência do processo de dessorção de ouro em carvão ativado.

3.4 Participantes da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida no setor de Hidrometalurgia da empresa em questão onde se observou grande variabilidade nas recuperações do processo de dessorção do ouro em carvão ativado e foi identificada uma grande oportunidade de ganhos de produtividade e redução nos custos com eliminação de retrabalhos ao se reduzir a variabilidade do processo.

Fizeram parte deste estudo e da implantação das ferramentas um engenheiro de processos, cinco supervisores de operação, quatro técnicos de operação e oito operadores de campo.

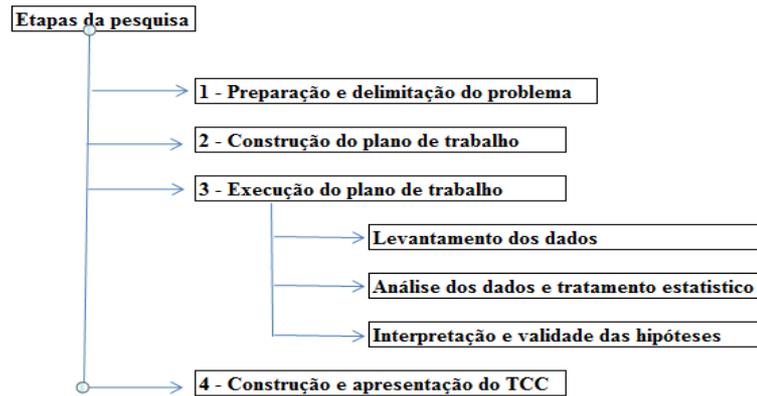
3.5 Procedimentos de coleta e de análise de dados

As pesquisas devem ser desenvolvidas de forma oportuna. A coleta de dados deve ser organizada e realizada em tempo relativamente curto, pois técnicas que demandam mais tempo apresentam o risco do processo se modificar do início até o fim do estudo (REA; PARKER, 2000).

Neste estudo foram utilizados alguns instrumentos para levantar e coletar os dados utilizados. Para se obter dados relativos à operação do processo de dessorção foram utilizadas planilhas de campo preenchidas pelos operadores a cada turno de trabalho. Os dados dos resultados que avaliam a eficiência do processo foram obtidos através de um software interno da empresa onde são disponibilizados os resultados das análises químicas, chamado *Tecplant*.

Os dados da pesquisa foram tratados em planilhas eletrônicas para melhor exploração dos resultados obtidos e também com o programa *Minitab* para análise da variabilidade do processo.

3.5.1 Fluxograma da metodologia do trabalho



4 RESULTADO E DISCUSSÃO

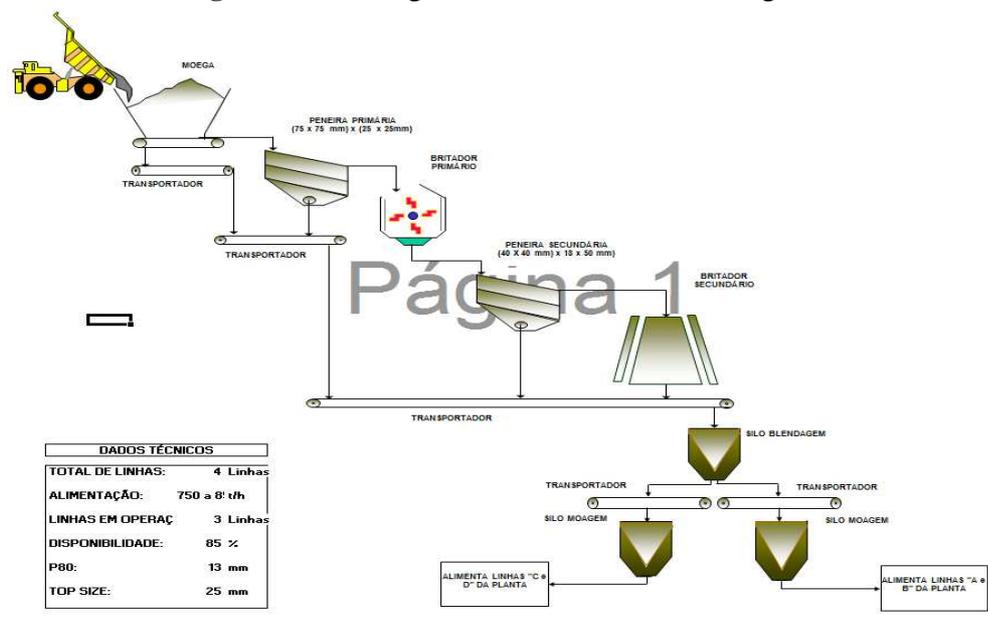
Neste capítulo são apresentados os dados levantados e os resultados obtidos na realização deste estudo. A apresentação se dá da seguinte forma: primeiramente é feito o mapeamento do processo para identificar o ponto onde ocorre o problema, posteriormente são aplicadas as ferramentas da qualidade e o CEP nos processos inerentes para, em seguida, ser analisados os resultados anteriores e posteriores à implantação.

4.1 Mapeamento do processo de beneficiamento do ouro

O mapeamento do processo é importante para identificação dos processos fundamentais da empresa e para uma análise sistêmica da organização, além de permitir uma visão mais ampla do processo.

O material lavrado da área da mina para a área da britagem passa por um processo de fragmentação (redução das partículas para no máximo 350 mm). A seguir é transportado para a pilha que abastece a usina de beneficiamento como demonstrado no fluxograma da Figura 17.

Figura 17: Fluxograma do Processo de Britagem;

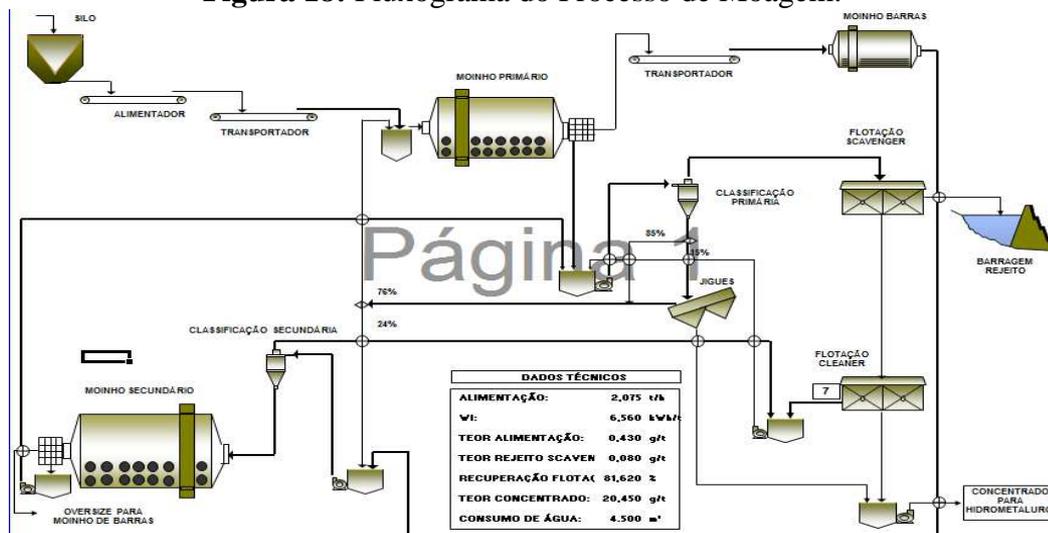


Fonte: Dados da pesquisa documental (2013).

O material chega à usina e passa por etapas de moagem para outra redução de tamanho das partículas e, ao fim das linhas de moagem, passa por classificação para separação das partículas grossas e finas, onde o material mais grosseiro retorna para a linha de moagem.

Parte do material da moagem que é direcionada para a concentração gravídica, são gerados dois produtos: o material que passa por todo o processo de moagem é enviado para o processo de flotação; já o material que passa pela jigagem é enviada para o processo de remoagem. A Figura 18 mostra o fluxograma do processo de moagem.

Figura 18: Fluxograma do Processo de Moagem.



Fonte:Dados da pesquisa documental (2013).

O circuito da flotação unitária recebe um fluxo de minério moído proveniente do *underflow* dos ciclones do circuito de moagem. O ouro presente no minério com aproximadamente 80% de ouro livre e 20% associado a sulfetos, como a pirita. Os minerais valiosos estão no minério na forma de pequenas partículas incrustadas na rocha hospedeira. Concentrado de ouro e de prata é produzido desse minério na forma de polpa.

A polpa proveniente do *underflow* dos ciclones é misturada com reagentes nas caixas de alimentação da célula *rougher*. Os tipos de reagentes usados são muito específicos em relação ao circuito e são projetados para permitir a flotação seletiva de um mineral específico. Os produtos químicos reagem com a superfície dos minerais selecionados e a maior parte desses minerais (os valiosos) torna-se tratável pela flotação porque se aderem às bolhas de ar. Outros minerais são impedidos de flutuar porque não se aderem às bolhas de ar.

A hidrometalurgia do ouro tem como seus processos principais: lixiviação, adsorção, dessorção, eletrodeposição e fusão.

O processo de lixiviação é composto por nove tanques de 750 m³ em que a polpa flui normalmente. No primeiro tanque a polpa é pré-aerada com oxigênio para a oxidação dos metais que não interessam e o pH é corrigido para, em seguida, no próximo tanque, ocorrer a cianetação para a solubilização do ouro. Os demais tanques são para residência.

Paralelo ao processo de lixiviação ocorre o processo de adsorção do ouro solubilizado, feito com carvão ativado, que é movimentado tanque a tanque no sentido inverso da polpa a fim de propiciar o melhor carregamento de ouro.

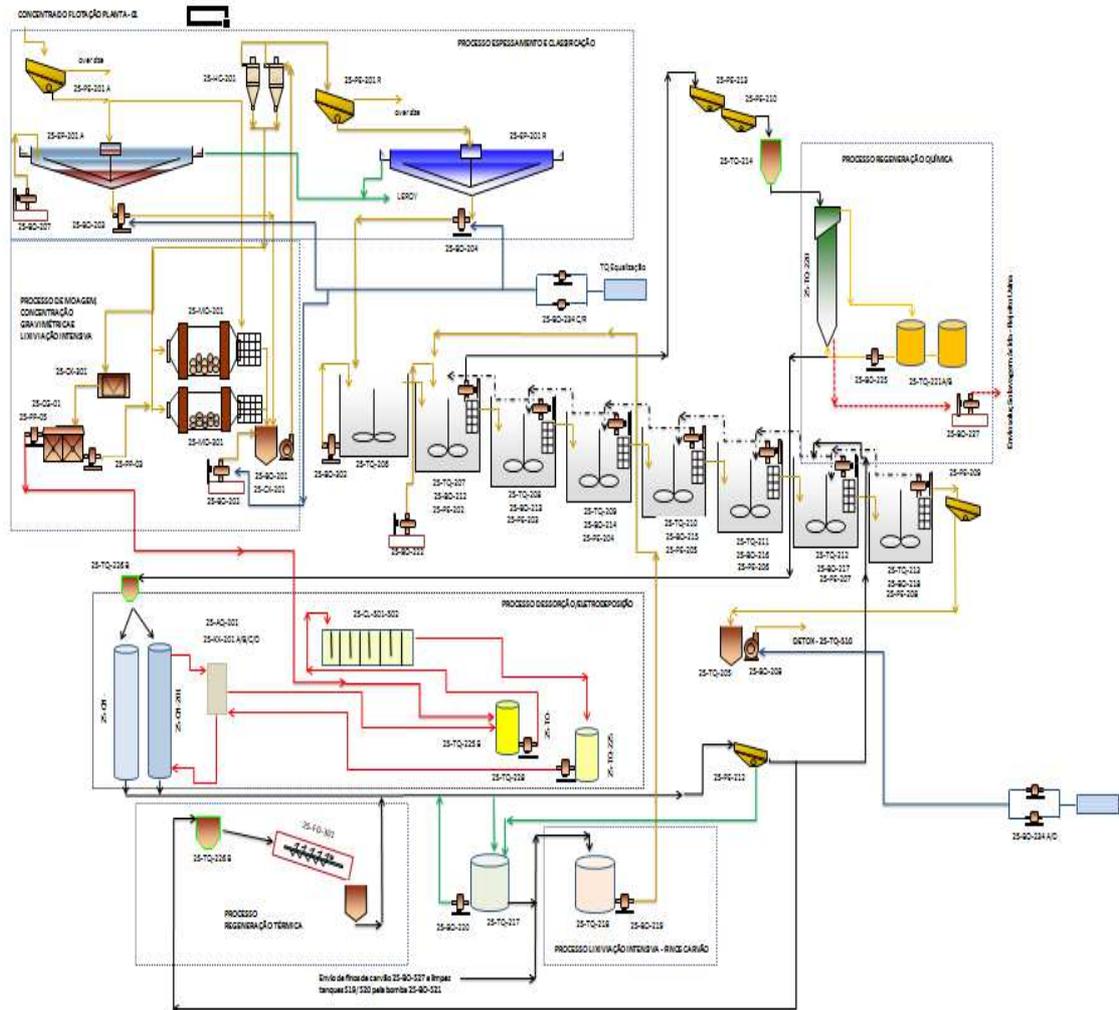
O carvão ativado carregado com ouro é enviado para o processo de dessorção, cujo objetivo é remover o ouro adsorvido do carvão carregado e produzir um carvão pobre, que tenha o menor teor de ouro possível, que ajudará a tornar o processo de adsorção mais eficiente. Isso é feito colocando o carvão carregado em contato com uma solução quente de soda cáustica para dessorver o ouro do carvão.

O ouro dissolvido do carvão carregado em uma coluna de dessorção. Este processo transfere o metal precioso do carvão ativado de volta para a solução em uma forma concentrada, na preparação para o processo de eletrodeposição. O processo de dessorção utilizado é o processo de eluição por pressão Zadra, projetado para dissolver ouro de carvão de forma eficiente, usando uma solução a 2 a 3% por peso de hidróxido de sódio (NaOH) em uma temperatura de 130°C com 3 kgf/cm² de pressão. O ciclo de dessorção dura 12 horas.

O processo de dessorção é um processo de batelada, que trata um lote de 14 toneladas ou aproximadamente 31 m³ de carvão. A solução pobre (efluente) é aquecida e bombeada através da coluna de dessorção, onde o ouro dissolve do carvão para a solução pobre, que se torna a solução rica. A solução rica é resfriada em seguida e bombeada para as células de eletrodeposição onde o ouro é precipitado, voltando a se tornar em solução pobre. A solução pobre é bombeada de volta para o tanque de solução pobre (efluente) e é recirculada, passando no interior da coluna de dessorção e células de eletrodeposição, durante 12 horas para concluir o ciclo de dessorção.

O ouro precipitado do processo de eletrodeposição passa pelo processo de fusão para se gerar o produto final da empresa: a barra de ouro. A Figura 21 mostra o fluxograma do processo de hidrometalurgia.

Figura 14: Fluxograma do Processo de hidrometalurgia.



Fonte: Dados da pesquisa documental (2013).

Atualmente a fusão da barra é o último processo da empresa, entretanto a barra, como produto final, ainda passa por uma etapa de refino, que é terceirizado, para ser comercializada no mercado internacional.

4.2 Análise da variabilidade do processo de dessorção

Para se estudar o processo de dessorção de ouro do carvão ativado foi realizado três grupos de ensaios de monitoramento, sendo estes constituídos de coletas amostrais seguidas de análises químicas, visando determinar a concentração de ouro.

A dessorção encontra-se em vaso fechado. O intervalo de tempo para a amostragem foi diferente em cada grupo de experimentos, visto que esse tempo estava vinculado às condições operacionais de coleta da amostra e de análise química.

Além das amostras líquidas (solução) coletadas no final de cada ciclo na entrada e na saída da célula eletrolítica, o carvão ativado também foi enviado para análise química, a fim de que se pudesse determinar a quantidade de ouro contido nele no início e no fim do processo.

O cálculo da massa de ouro dessorvido em cada amostragem foi efetuado através da concentração obtida pela análise química e o volume de solução presente no tanque. O cálculo do percentual de extração foi definido conforme apresentado abaixo:

$$\frac{\text{Massa inicial (g)} - \text{Massa final (g)}}{\text{Massa inicial (g)}} = \frac{\text{Massa de Au dessorvido (g)}}{\text{Massa inicial (g)}} = \text{Extr. (\%)}$$

M_{ad} é a massa inicial de ouro adsorvido no carvão e M_{des} é a massa de ouro dissolvido no final do processo.

Na literatura, existem diversos trabalhos que vem tentando elucidar o mecanismo de adsorção/dessorção de ouro em carvão ativado. No entanto, os pesquisadores ainda não conseguiram atingir um consenso. Os três mecanismos mais comumente aceitos para a eluição de ouro são a reação química com as espécies adsorvidas de cianeto de ouro ($AuCN$ e $Au(CN)_2^-$), a adsorção competitiva e a reação com os grupos funcionais do carvão ativado.

Na 1ª lavagem acontece o primeiro contato do carvão ativado com a solução eluente, que contém os íons necessários (Na^+ e CN^-) para a remoção das espécies adsorvidas do ouro. A presença desses íons, juntamente com a elevação da temperatura, favorece o transporte das espécies auríferas para a fase aquosa. O pequeno aumento da concentração de ouro nessa lavagem justifica-se porque o sistema ainda não atingiu a temperatura necessária para uma remoção considerável das espécies de interesse.

O carvão ativado imerso na solução eluente permanece em repouso entre oito e doze horas, a uma temperatura variando de 120 a 130°C e pressão entre 2 e 3 kgf/cm².

Observa-se que a massa extraída nos três ensaios foi diferente. Esse comportamento ocorre porque o processo de adsorção possui grande relação com o material adsorvente e com suas condições de processamento. Mesmo os três ensaios utilizando carvão ativado de mesma origem, as condições operacionais e os processos de regeneração para posterior reutilização afetam a forma como cada amostra irá adsorver as espécies auríferas. Existem relatos de experimentos utilizando as mesmas condições operacionais e mesmo tipo de carvão ativado que geraram resultados de adsorção/dessorção distintos.

A fim de se comparar a capacidade de extração dos três ensaios, a remoção de Au foi expressa em percentual de extração em função do tempo, conforme apresentado. Observa-se, que os três ensaios praticamente apresentam um mesmo comportamento. Foram realizados utilizando-se a massa inicial de ouro adsorvido no carvão ativado (fase sólida) e a quantidade final de ouro dessorvido na solução aquosa (fase líquida).

A fim de minimizar os erros analíticos devido à determinação de uma mesma espécie (Au) em fases distintas (sólido/líquido), foram realizadas análises químicas adicionais no carvão ativado ao final do processo de dessorção. Dessa forma, o percentual de extração pôde ser recalculado tendo-se como referência uma mesma fase (carvão ativado). Os dados dessa análise estão apresentados na tabela abaixo.

Tabela 02: Dados de extração de ouro: massa inicial e final de ouro no carvão ativado; massa de ouro dessorvido e percentual de extração.

| Ensaio | Massa inicial (g) | Massa final (g) | Massa de Au dessorvido (g) | Extr. (%) |
|--------|-------------------|-----------------|----------------------------|-----------|
| 01 | 1728,70 | 467,79 | 1260,39 | 72,9 |
| 02 | 1597,80 | 42,51 | 1555,29 | 97,3 |
| 03 | 1238,00 | 39,53 | 1198,47 | 96,8 |

Fonte: Dados da pesquisa documental (2013).

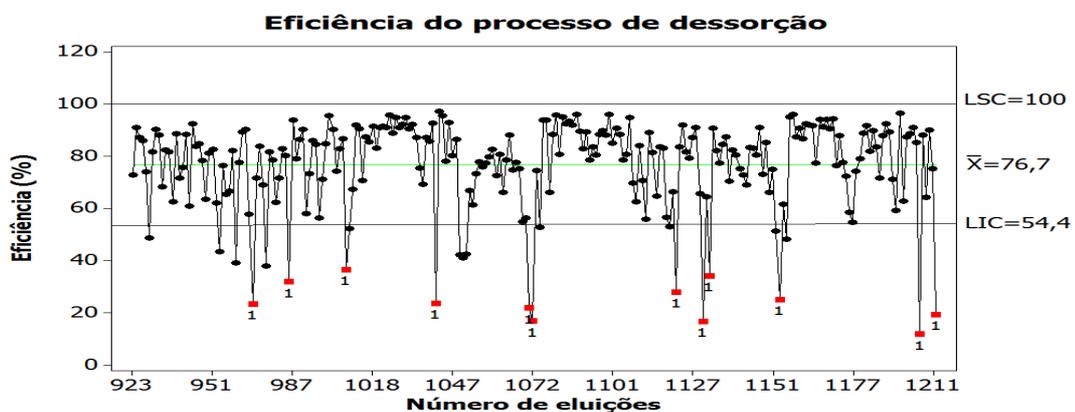
Cálculo Eficiência:

$$\frac{\text{Massa inicial (g)} - \text{Massa final (g)}}{\text{Massa inicial (g)}} = \frac{\text{Massa de Au dessorvido (g)}}{\text{Massa inicial (g)}} = \text{Extr. (\%)}$$

A partir desses resultados, observa-se que é possível fazer um acompanhamento com relativa precisão apenas analisando inicialmente a quantidade de ouro no carvão ativado e as demais análises químicas na fase aquosa. No âmbito industrial, essa é uma forma mais vantajosa, visto que a análise química em fase aquosa é geralmente mais rápida e prática de ser realizada.

Foi realizado um levantamento do histórico do processo de dessorção com o objetivo de avaliar a variabilidade do processo atual. Os resultados estão plotados na Figura 22 que apresenta a eficiência percentual do processo por números de eluições realizadas:

Figura 22: Variabilidade do Processo de Dessorção.



Fonte: Dados da pesquisa documental (2013).

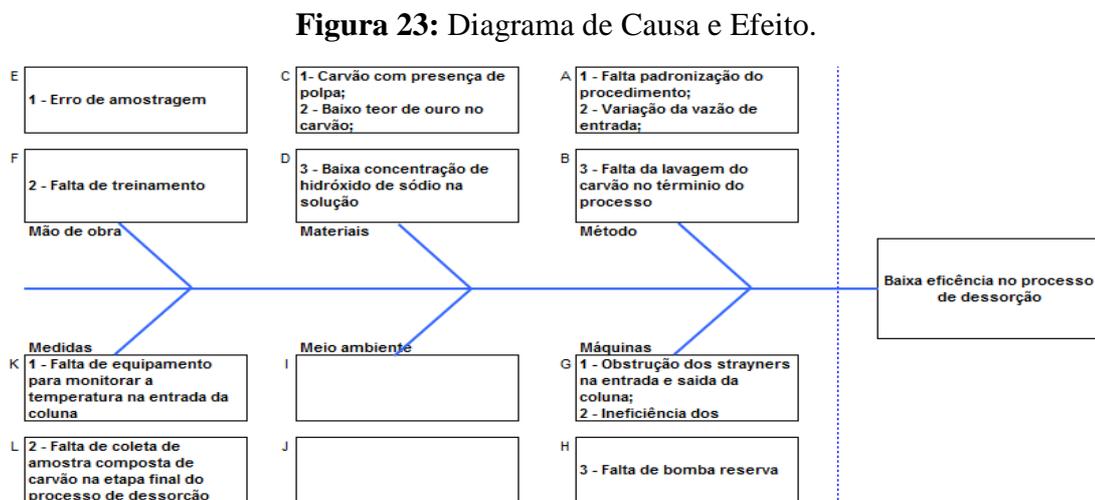
Foram utilizados dados de um ano de operação e o panorama do processo atual apresenta uma eficiência média de 76,7% com elevada variabilidade no processo sendo que o desvio padrão encontrado foi de 13,07%.

4.3 Identificações das principais variáveis do processo

Foi realizada uma reunião multidisciplinar Brainstorming envolvendo toda a equipe do departamento que está diretamente envolvida no processo para discutir a baixa eficiência do processo de dessorção.

Nesta reunião foram levantadas todas as possíveis causas que levam à baixa eficiência do processo e também propostas possíveis soluções para cada causa encontrada.

Como resultado desta reunião, todas as causas levantadas geraram um diagrama de causa e efeito que melhor visualiza os problemas identificados, como é evidenciado na Figura 23:



Fonte: Dados da pesquisa documental (2013).

Com o levantamento feito de todas as possíveis variáveis que impactam na eficiência do processo, o passo seguinte foi definir quais dessas causas estão ocorrendo no processo para se atuar de maneira pontual.

4.4 Estabelecendo variáveis prioritárias do processo

Para definir quais variáveis seriam prioritárias para atuação foi elaborado uma folha de

verificação com o intuito de levantar a ocorrência dos problemas no processo que afetam a eficiência da dessorção do ouro. A folha de verificação é apresentada na Tabela 2:

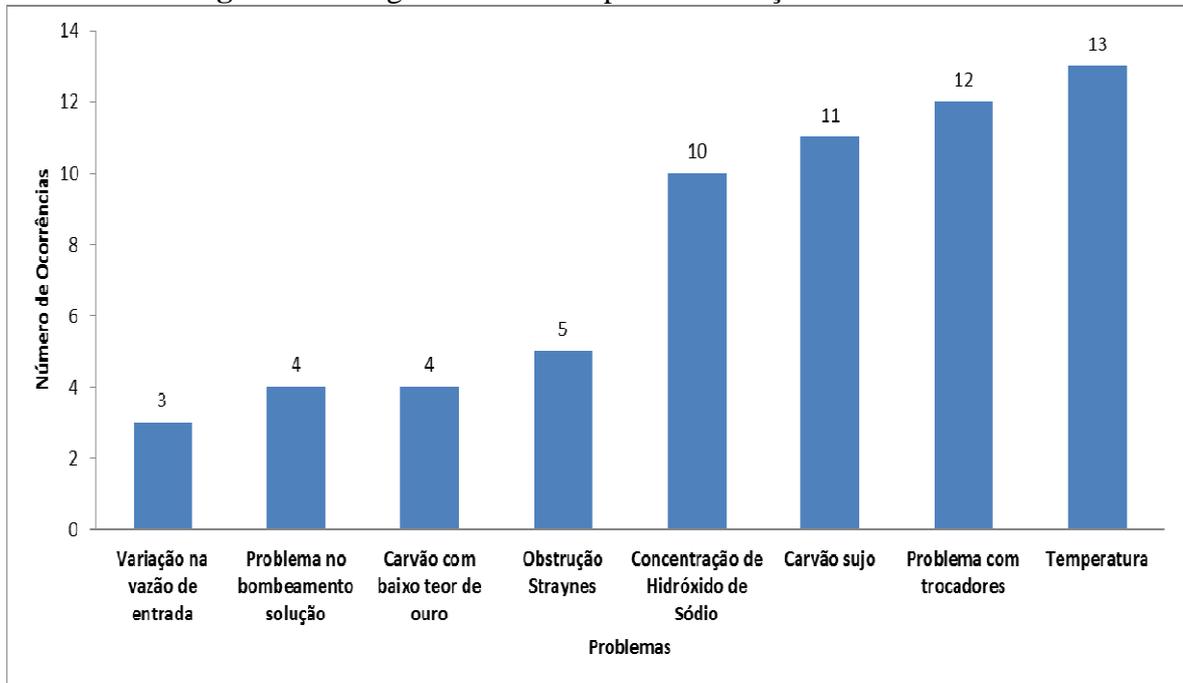
Tabela 3: Folha de verificação de problemas na dessorção

| Folha de verificação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|----------|-----|
| Problemas | Ocorrência | | | | | | | | | | | | | | | | | | Total | Percentu | |
| Varição na vazão de entrada | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | x | 3 | 5% |
| Problema no bombeamento solução | x | | | | x | | x | | | | | | | | | | | | x | 4 | 6% |
| Carvão com baixo teor de ouro | | x | x | | | | | | | | | x | x | | | | | | | 4 | 6% |
| Obstrução Straynes | x | | | x | | | | x | | | | | | | | | | | x | 5 | 8% |
| Concentração de Hidróxido de Sódio | | x | | x | x | | | x | x | | | x | x | | x | x | | | x | 10 | 16% |
| Carvão sujo | | x | | x | x | | | x | x | | | x | x | | x | x | | | x | 11 | 18% |
| Problema com trocadores | | x | x | x | x | x | x | x | | | | | | | x | x | x | x | x | 12 | 19% |
| Temperatura | x | x | x | x | x | | | x | x | x | | | | x | x | x | | | x | 13 | 21% |
| Nº de Eluições | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 62 | 100% | |

Fonte: Dados da pesquisa documental (2013).

Com os dados obtidos através da folha de verificação, elaborou-se um diagrama de Pareto para definir quais variáveis mais impactam no processo devido sua maior ocorrência, para que essas sejam priorizadas, como é mostrado na Figura 24:

Figura 24: Diagrama de Pareto para Priorização das Variáveis.



Fonte: Dados da pesquisa documental (2013).

O diagrama de Pareto apontou que as principais ações devem ser relacionadas a três problemas que apresentam maior ocorrência: temperatura, trocador de calor e carvão sujo.

4.5 Procedimentos e ações implantadas

Com os resultados apresentados pelo diagrama de Pareto (Figura 23) foram priorizadas algumas ações para se eliminar o máximo de causas com o mínimo de ações, apresentadas a seguir:

- **Método:**

A1-Realização de limpeza dos finos de carvão e lamas sedimentadas no interior dos tanques de solução eletrolítica mensalmente para eliminar os finos de carvão e polpa proveniente de uma produção de carvão sujo;

A1-Realização de limpeza das peneiras sempre antes de iniciar a produção de carvão carregado;

A1 –Realizar Mudança no ponto de coleta de carvão na descarga da peneira desaguadora para os tanques de lixiviação;

A1- Realização de amostragem da solução de eletrolise na entrada e na saída das células eletrolíticas para avaliar eficiência do processo de dessorção;

A2-Padronização da vazão de alimentação de solução para coluna de dessorção;

B3–Após conclusão da produção do carvão carregado realizar a pré-lavagem do carvão com água por duas vezes consecutivas antes de movimentá-lo para coluna de dessorção;

- **Materiais:**

C1-Substituição das telas de peneiras de produção de aço inox que rasgam devido abrasividade produzindo carvão sujo para telas de poliuretano mais resistentes a abrasão;

C1-Substituição dos *sprays* de água da tela da peneira de produção a fim de garantir a produção de carvão limpo;

C2-Não operar o circuito de dessorção com teores de carvão carregado inferior a 1000 g/t. de ouro;

D3–Realizar correção da concentração de hidróxido de sódio sempre que a solução estiver com a concentração menor que 3% nos tanques;

- **Mão de obra:**

E1–Realizar treinamento com equipe de amostragem referente ao plano de amostragem da área. Documento contendo o conjunto de informações referentes aos parâmetros que serão analisados, pontos de coleta de amostra, frequência, métodos de amostragem e de análise;

E1- Treinar equipe para garantir a não contaminação das amostras por qualquer via e colher-se volume suficiente que permita realizar os ensaios necessários, testes de controle da qualidade;

F2–Realizar treinamento com funcionários da área sobre as ações implementadas no processo de dessorção;

F2-Treinar equipe de amostragem sobre procedimento de coleta, mistura/homogeneização, secagem e envio de amostra ao laboratório, incluindo as etapas de limpeza dos equipamentos, aferição, conservação e armazenamento;

- **Máquinas:**

G1–Realizar manutenção preventiva dos strainers das colunas de dessorção semanalmente eliminando atrasos operacionais oriundos de parada do processo para manutenção fora da programação semanal;

G1-Contratação de empresa para limpeza dos trocadores de calor trimestralmente para melhorar a eficiência de aquecimento da solução eletrolítica;

G1-Instalação de sensor de nível no reservatório de óleo do trocador de calor;

H3-Aquisição e instalação de bombas reservas nos tanques de solução de eletrolisee no tanque de solução pobre;

- **Meio Ambiente**

Sem ocorrência.

- **Medidas**

K1–Instalação de sensor de temperatura na linha de entrada da coluna de dessorção;

L2- Procedimentos de sub amostragem (arquivo de amostras significativas para o processo, conservação de registros das amostras como: etiquetagem e requisitos de rastreabilidade).

4.6 Otimização dos parâmetros de operação do processo

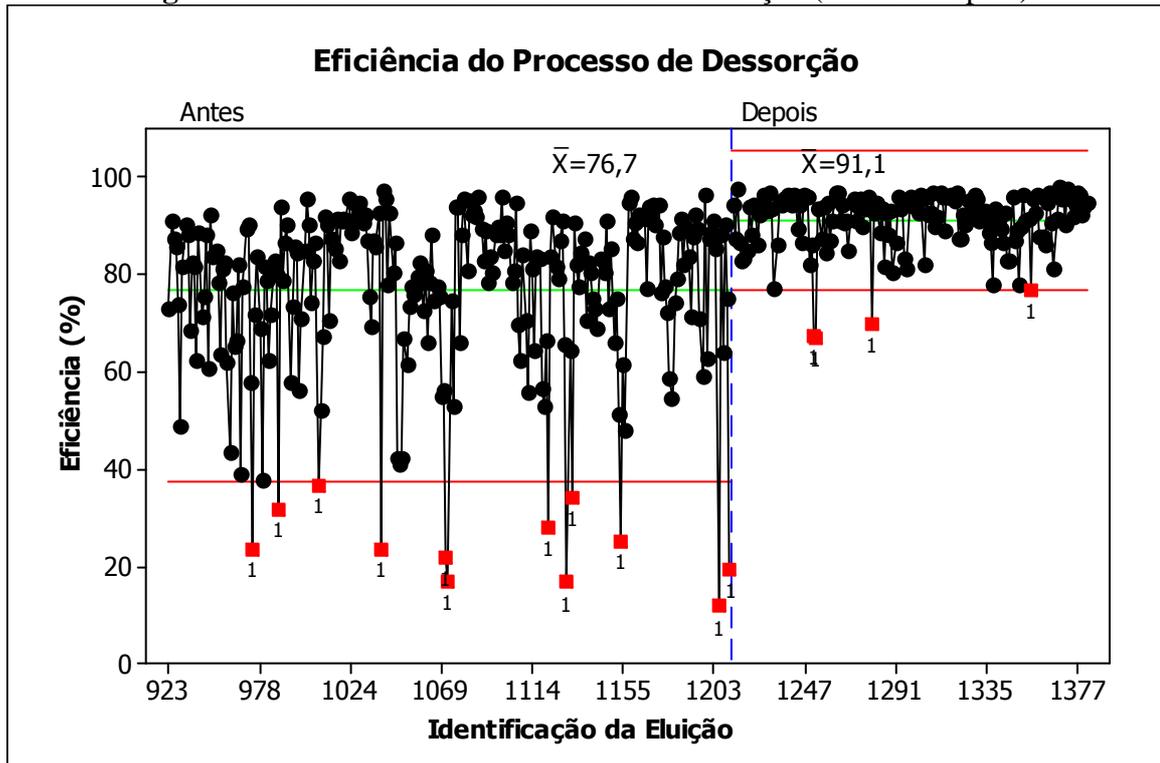
A melhor alternativa para alcançar os objetivos desejados foi partir da revisão do procedimento operacional do circuito de dessorção onde as melhorias propostas foram implantadas. O novo procedimento incorporou o novo padrão de operação baseado nas ações implantadas que foram apresentadas no item 4.5 deste trabalho. O procedimento de operação revisado é apresentado no anexo A deste trabalho.

Como complemento da etapa para estabelecer condição ótima de operação foi realizado treinamento com todos os operadores no novo procedimento operacional, apresentando todas as mudanças propostas.

4.7 Resultados obtidos após aplicação das ferramentas

Os resultados obtidos com a aplicação das ferramentas da qualidade e do controle estatístico de processo estão dispostos em um gráfico de controle apresentado na Figura 25:

Figura 25: Variabilidade do Processo de Dessorção (Antes e Depois).



Fonte: Dados da pesquisa documental (2013).

A eficiência do processo de dessorção de ouro em carvão ativado é um processo unilateral, onde a variação é controlada somente em um lado, pois a eficiência não ultrapassa 100% e, quanto maior a eficiência do processo, melhor. Portanto, o controle é aplicado somente ao limite inferior de controle.

Observa-se uma considerável redução da variabilidade do processo após aplicação das ferramentas da qualidade. A eficiência média do processo aumentou de 76,7% para 91,1% e o desvio padrão foi reduzido de 13,07% para 4,8%.

Outro indicador de melhoria no processo é o índice Cpk que indica a capacidade do processo de atender à especificação; este subiu de 0,59 (processo não capaz de atender às especificações) para 1,00 (processo capaz de atender às especificações com três desvios padrão).

5 CONCLUSÕES

O objeto de estudo do presente trabalho foi à avaliação da remoção de ouro adsorvido em carvão ativado de um processo extrativo desse metal. Neste estudo, foi avaliado o efeito da adição de etapas ao processo de dessorção visando à maior extração de ouro. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o percentual de extração elevou de 76,7% para 91,1%. Dentre as variáveis operacionais de controle do processo, a temperatura foi a que obteve maior influência na dessorção do ouro.

Através de um levantamento estatístico do histórico de operação do processo de dessorção, foi analisada a variabilidade do processo antes de se aplicar o estudo em questão.

O processo foi avaliado de maneira global, realizando-se um mapeamento do beneficiamento do ouro, o que permitiu uma melhor visualização detalhada de cada etapa, facilitando a identificação das principais variáveis do processo, além de facilitar também a aplicação das ferramentas propostas neste trabalho.

A utilização das ferramentas da qualidade permitiu identificar e analisar criteriosamente as principais variáveis do processo estudado de forma a poder avaliar o impacto das mesmas e definir as variáveis prioritárias, bem como as melhores ações a serem tomadas objetivando atuação efetiva na redução da variabilidade do processo. Mais especificamente, foram utilizados os fluxogramas dos processos de britagem, moagem, flotação, remoagem e espessamento e de hidrometalurgia. Em seguida calculou-se a variabilidade do processo de dessorção, construiu-se os diagramas de Causa e Efeito e de Pareto para priorização das variáveis. Também foi preenchida a folha de verificação de problemas na dessorção.

O procedimento de operação utilizado no processo foi revisado, implantando as melhorias identificadas através da aplicação das ferramentas da qualidade. As ações que demandaram investimento foram priorizadas pelo diagrama de Pareto e outras ações, quer e queriam somente mudanças no padrão de operação, foram aplicadas no processo, estabelecendo-se assim uma estabilidade de operação.

Após aplicação das ferramentas da qualidade a redução da variabilidade foi medida e monitorada utilizando o CEP, onde o desvio padrão do processo foi reduzido de 13,07% para uma taxa de 4,80%, além da elevação da eficiência média do processo. Dessa forma, o processo passou a ser capaz de atender às especificações com três desvios padrão.

Os resultados verificados com a aplicação das Ferramentas da Qualidade e do Controle

Estatístico de Processo (CEP) no decorrer do estudo já indicavam uma mudança no pensamento e no comportamento dos funcionários da empresa os quais passaram a visualizar a importância da qualidade do produto e do sistema de produção.

Com a análise dos gráficos e tabelas desenvolvidas verificou-se que os resultados obtidos foram expressivos durante o período de estudo, superando o esperado, atingindo um melhor controle contínuo do processo, permitindo que se alcance melhor qualidade, menor custo, maior produtividade e melhor eficiência.

O controle estatístico do processo tem papel decisivo dentro da qualidade e produtividade, pois quanto menor for a variabilidade no processo produtivo maior serão os ganhos para a empresa.

REFERÊNCIAS

- BALLOU, R. H.; **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- BRAVO, I. **Gestão da qualidade em tempo de mudanças**. São Paulo: Alinea, 2010.
- CARPINETTI, L. C. **Gestão da qualidade**. São Paulo: Atlas, 2010.
- CARVALHO, M. C. M. **Construindo o Saber**; Metodologia Científica Fundamentos e Técnicas. Campinas: Papirus, 1989.
- CAXITO, F. D. **Produção**: Fundamentos e processos. Curitiba: IESDE Brasil, 2008.
- CÉSAR, F. I. **Ferramentas básicas da qualidade**: instrumentos para gerenciamento de processo e melhoria contínua. São Paulo: Biblioteca 24 horas, 2011.
- CHASE, R. B.; AQUILANO, N. J.; JACOBS, R.; **Administração da produção para a vantagem competitiva**. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- CONTADOR, J. C. **Gestão de operações**: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.
- COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em administração**. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos da administração da produção**. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- DUTRA, R. **Beneficiamento de minerais industriais**. 2º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, p. 8, ago. 2006. Disponível em <http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng_civil/13%20BENEFICIAMENTO%20DE%20MINERA%20INDUSTRIAIS.pdf>. Acesso em 10/05/2013.
- FALCONI, V. **TQC**: Controle da qualidade total no estilo japonês. São Paulo: Edg, 2004.
- FITZSIMMONS, J. A.; FITZSIMMONS, M. J. **Administração de serviços**: operações, estratégia e tecnologia da informação. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- FRANÇA, F.; FREITAS, S. G. **Manual da qualidade em projetos de comunicação**. São Paulo: Pioneira, 2002.
- GOMES, F. P.; ARAÚJO, R. M. **Pesquisa Quanti-Qualitativa em Administração**: uma visão holística do objeto em estudo. SEMEAD - Seminário em Administração FEA-USP, São Paulo, p. 11.Ago. 2005. Disponível em <<http://www.ead.fea.usp.br/Semead/8semead/resultado/trabalhosPDF/152.pdf>>. Acesso em 30/05/2013.

- GRANATO, M. **Metalurgia extrativa do ouro**. Brasília: CETEM, 1986.
- GRESSLER, A. L. **Introdução a pesquisa: projetos e relatórios**. São Paulo: Loyola, 2004.
- GUELBERT, M. **Estratégia de gestão de processos e da qualidade**. Curitiba: IESDE Brasil, 2012.
- HAIR, J. F.; TATHAM R. L.; ANDERSON, R. E.; BLACK, W. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- JACOBS, F. R.; CHASE, R. B. **Administração da produção e de operações: o essencial**. Porto Alegre: Artmed, 2008.
- JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2004.
- KAHLMAYER-MERTENS, R. S.; FUMAGA M.; TOFFANO, C. B.; SIQUEIRA, F. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa: Linguagem e Método**. Rio de Janeiro: FGV, 2007.
- LUCINDA, M. A. **Qualidade: fundamentos e práticas para cursos de graduação**. Rio de Janeiro: Brasport, 2010.
- LUZ, A. B.; LINS, F. A. **Introdução ao tratamento de minérios**. Rio de Janeiro: CETEM, 2004.
- MARQUES, W. L. **Qualidade total: qualidade do todo**. Cianorte, 2010.
- MEIRELLES, M. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente**. São Paulo: Arte & Ciência, 2001.
- MELLO, C.H.P.; SILVA, C.E.S. da.; TURRIONI, J.B. **ISO 9001:2008 – Sistema de Gestão da Qualidade para operações de produção e serviços**. São Paulo: Atlas, 2009.
- MIGUEL, P. A. C. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução**. Revista Produção, 17, 2007.
- MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- MOURA, T. M. **Metodologia do Ensino Superior: saberes e fazeres da/para a prática docente**. Maceió: EDUFAL, 2009.
- NAVIDI, W. **Probabilidade e estatística para ciências exatas**. Porto Alegre: AMGH, 2010.
- OAKLAND, J. **Gerenciamento da qualidade total**. São Paulo: Nobel, 2004.

OLIVEIRA, O. J. **Gestão da qualidade: tópicos avançados**. São Paulo: Cengage Learning Nacional, 2004.

PARANHOS FILHO, M. **Gestão da produção industrial**. Curitiba: Ibplex, 2007.

PENNA, M. T.; GRANATO, M. **Beneficiamento e extração de ouro e prata em minério sulfetado**. Brasília: CETEM, 1983.

PORTO, C. G. **Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM, 2002.

REA, L. M.; PARKER, R. A. **Metodologia de Pesquisa: Do Planejamento a Execução**. São Paulo: Pioneira, 2000.

QUINN, R.; FAERMAN, S. R.; THOMPSON, M. P.; MCGRATH, M. R.; ST CLAIR, L. S. **Competências gerenciais: as abordagens de valores concorrentes na gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

RAMOS, E. M. L. S.; ALMEIDA, S. S.; ARAUJO, A. R. **Controle estatístico da qualidade**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SAMOHYL, R. W. **Controle estatístico da qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SANTOS, V. D. CANDELORO, R. J. **Trabalhos Acadêmicos: Uma orientação para pesquisa e normas técnicas**. Porto Alegre: AGE, 2006.

SLACK, N.; CHAMBERS S. JOHNSTON R.; BETTS A. **Gerenciamento de operações e de processos: princípios e práticas de impacto estratégico**. Porto alegre: Bookman, 2006.

VALADÃO, G. E.; ARAUJO, A. C. **Introdução ao tratamento de minérios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

VERGUEIRO, W. **Qualidade em serviços de informação**. São Paulo: Arte & Ciência, 2002.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ANEXOS

Anexo A – Procedimento operacional de operação da eluição da empresa em estudo

| Procedimento Operacional PSSMA-FORM-RPM-098 | |  | |
|--|---|---|-------------------|
| Atividade | Operação da Eluição | Código | PPROC-HDM-KBM-004 |
| Executante | Assistente de operações, Assistente Operações pleno e Técnico Operações | Revisão | 02 |
| Responsável pela área: | Cristino Santana Pereira | Data | 28/07/2012 |
| Elaborador | Fábio Silva Neiva Fernandes | Página | 1 / 6 |
| Aprovador | Alan Viera Caldas | | |

| | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| Código / Mapeamento de Risco | 187 - Operação da Eluição |
|-------------------------------------|----------------------------------|

| ITEM | O QUE FAZER | COMO FAZER | MATERIAIS/FERRAMENTAS | PARAMETROS | OBSERVAÇÕES |
|------|---|---|--------------------------------------|------------|-------------|
| 1 | Testar chuveiros de emergência da Eluição e do pátio. | Verificando nível de água da caixa potável, se estiver com nível normal abrir o registro e verificar chegada de água no chuveiro e no lava olhos. Se nível de água das caixas estiver baixo < que 20% e não estiver chegando água da COPASA na caixa, acionar o motorista do caminhão pipa (38-9969-1143). Solicitar o enchimento das caixas via linha de abastecimento de PVC na lateral da caixa. | Telefone. | | |
| 2 | Realizar análise de risco da atividade | Preencher Procedimento de Trabalho (APR e AST). | Formulário padrão do sistema Sênior. | | |

| ITEM | O QUE FAZER | COMO FAZER | MATERIAIS/FERRAMENTAS | PARAMETROS | OBSERVAÇÕES |
|------|---------------------------------------|---|---|---|-------------|
| 3 | Conferir operação da área da Eluição. | <ul style="list-style-type: none"> Utilizar protetor auricular tipo concha; Utilizar óculos de segurança e capacete Testar rádio de comunicação; Verificar concentração de gases na área antes de adentrar via painel do detector de gás; Testar chuveiro de emergência e lava olhos; Conferir nível de água de caixa potável; Verificar chegada de água potável na caixa; Conferir kit de emergência; Evacuar a área ao ouvir o toque da sirene; Não passar abaixo de locais com vazamento de soluções; Inspeccionar condições físicas tubulações, flanges, mangueiras e bombas contendo soluções de substâncias químicas; Delimitar local com vazamento; Caso a sirene acione, o colaborador deverá checar a concentração de gases na área via supervisorio ou no campo. | Detector de gás fixo e portátil disponibilizados na área, manômetros de identificação de temperatura, vazão e pressão e rádio de comunicação. | <ul style="list-style-type: none"> NH₃ Concentração \geq 20 ppm após 15 minutos consecutivos acionará sirene indicando no supervisorio alarme de evacuação na área; NH₃ Concentração $>$ 30 ppm atuação imediata da sirene para evacuação da área; HCN Concentração \geq 4,7 ppm após 15 minutos consecutivos acionará a sirene indicação no supervisorio; HCN Concentração \geq 10 ppm de HCN por 1 minuto acionará alarme e sirene para evacuação da área; HCN Concentração \geq 30 ppm atuação imediata | |

| ITEM | O QUE FAZER | COMO FAZER | MATERIAIS/FERRAMENTAS | PARAMETROS | OBSERVAÇÕES |
|------|---|--|---|---|-------------|
| 4 | Leitura da área da Eluição. | <p>Hidro II</p> <ul style="list-style-type: none"> Controlar vazão da solução eletrolítica de alimentação das colunas de eluição 25-CN201 - A/B entre 10,5 a 13 m³/h; Controlar temperatura de entrada e interior das 25-CN-201-A/B em 130°C; Controlar temperatura do Coelma de acordo com a temperatura da solução eletrolítica de 130°C; Manter pressão interna das 25-CN-201-A/B entre 1,8 a 3,0 kg/cm². Manter concentração de NaOH da solução eletrolítica na faixa de 2% a 2,5%. <p>Hidro III</p> <ul style="list-style-type: none"> Controlar vazão solução eletrolítica de alimentação das colunas de eluição 25-CN 502 entre 20 a 30 m³/h. Controlar temperatura de entrada e interior das 25-CN-502 em 130°C; Controlar temperatura do Coelma de acordo com a temperatura da solução eletrolítica de 130°C; Manter pressão interna das 25-CN-502 entre 1,8 a 3,0 kg/cm². Manter concentração de NaOH da solução eletrolítica na faixa de 2% a 2,5%. | Flowmeter, indicador de temperatura e pressão das colunas e rádio de comunicação. | Vazão, temperatura e pressão de acordo com a necessidade do processo de dessorção do carvão carregado. | |
| 5 | Partida/parada das bombas solução eletrolítica. | <ul style="list-style-type: none"> Abri/fechar válvulas de sucção e recalque das bombas; Acionar partida/parada das bombas via supervisorio ou local; Manter-se afastado a uma distância segura das bombas durante a partida. | Rádio de comunicação/botoeira local. | <p>Hidro II</p> <ul style="list-style-type: none"> 25-BO-228 intertravada com a pressão da 25-CN-201. 25-BO-232 intertravada com o nível do 25-TQ-226-A. <p>Hidro III</p> <ul style="list-style-type: none"> 25-BO-516 intertravada com a pressão 25-CN-502. 25-BO-517 intertravada com o nível do 25-TQ-527. | |

| ITEM | O QUE FAZER | COMO FAZER | MATERIAIS/FERRAMENTAS | PARAMETROS | OBSERVAÇÕES |
|------|-------------------|--|--|--|-------------|
| 6 | Partida do Coelma | <p>Hidro II</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rodar 25-BO-270A/R recirculando o óleo térmico nas bobinas elétricas; - Rodar 25-BO-271 para retirar entrada de ar na linha de recalque das 25-BO-270-A/B injetando óleo térmico; - Aumentar temperatura do 25-AQ-201 de 30 em 30°C ate atingir a temperatura do óleo ideal permutando calor com a solução eletrolítica em 130°C; - Conferir nível do reservatório de óleo térmico; - Inspeccionar tubos, flanges e selo mecânico do sistema de aquecimento Coelma se há vazamento. <p>Hidro III</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rodar 25-BO-518-A/R recirculando o óleo térmico nas bobinas elétricas; - Rodar 25-BO-519 para retirar entrada de ar na linha de recalque das 25-BO-518-A/B injetando óleo térmico; - Aumentar temperatura do 25-AQ-501/25-AQ-502 de 30 em 30°C ate atingir a temperatura ideal do óleo térmico permutando calor com a solução eletrolítica mantendo a temperatura em 130°C; - Conferir nível do reservatório de óleo térmico; - Inspeccionar tubos, flanges e selo mecânico do sistema de aquecimento Coelma se há vazamento. <p>Hidro II e Hidro III</p> <ul style="list-style-type: none"> - Em caso de vazamento revezar bomba imediatamente, solicitar reparos do equipamento. - Verificar nível do tanque da bacia de contenção do Coelma piso zero. - Afastar-se da bomba durante a partida. | Indicador de temperatura, rádio de comunicação, inspeção visual. | - Nível do reservatório de óleo. - Temperatura do óleo. | |

| ITEM | O QUE FAZER | COMO FAZER | MATERIAIS/FERRAMENTAS | PARAMETROS | OBSERVAÇÕES |
|------|-----------------------------------|--|---|--|-------------|
| 7 | Operação das colunas de dessorção | <p>Hidro II</p> <ul style="list-style-type: none"> - Controlar Pressão das colunas na partida e operação em torno de 1,8 a 3,0 Kg/cm²; - Conferir atuação da válvula de alívio; - Verificar intertravamento de desarme da 25-BO-228-A/B caso a pressão ultrapasse a 3,2 Kg/cm²; - Controlar vazão da 25-BO-228-A/B com vazão entre 10,5 a 13 m³/h; - Conferir concentração de NH₃ e HCN na IHM ou via supervisão. <p>Hidro III</p> <ul style="list-style-type: none"> - Controlar Pressão das colunas na partida e operação em torno de 2 a 3,0 Kg/cm²; - Conferir atuação da válvula de alívio; - Verificar intertravamento de desarme da 25-BO-518-A/B caso a pressão ultrapasse a 4,8 Kg/cm²; - Controlar vazão da 25-BO-516-A/B com vazão entre 20 a 30 m³/h; - Conferir concentração de NH₃ e HCN na IHM ou via supervisão. | Flowmeter, indicador de temperatura e pressão das colunas e radio de comunicação. | - Vazão, temperatura e pressão de acordo com a necessidade do processo de dessorção do carvão carregado. - Operadores habilitados a operar vaso de pressão categoria II. | |
| 8 | Parada das colunas de dessorção | <ul style="list-style-type: none"> - Utilizar máscara panorâmica; - Resfriar solução eletrolítica reduzindo temperatura do Coelma para 60°C; - Fazer by-pass das válvulas de alimentação de solução na coluna; - Despressurizar coluna drenando solução eletrolítica para o tanque de solução rica; - Conferir operação do sistema de ventilação e exaustão de gases (25-LG-301); - Verificar se há geração de NH₃ no local; | <ul style="list-style-type: none"> - Indicadores de temperatura fixos na área; - Flowmeter; - Detectores de gases NH₃ fixos e portáteis disponíveis no local. | <ul style="list-style-type: none"> - NH₃ Concentração ≥ 20 ppm após 15 min. consecutivos acionara sirene indicando no supervisão alarme de evacuação na área; - NH₃ Concentração > 30 ppm atuação imediata da sirene para evacuação da área - Temperatura do Coelma. | |

| ITEM | O QUE FAZER | COMO FAZER | MATERIAIS/FERRAMENTAS | PARAMETROS | OBSERVAÇÕES |
|------|---------------------------------------|--|---|------------|-------------|
| 9 | Transferência de carvão descarregado. | <ul style="list-style-type: none"> - Rodar bomba de transferência de carvão; - Rodar peneira de transferência de carvão descarregado; - Conferir intertravamento peneira com as bombas de transferências. | <ul style="list-style-type: none"> - Bomba de alta pressão dotada de redutor e rotor recuado. - Sistema de intertravamento das peneiras com as bombas de transferências | | |

| FUNCIONÁRIO: | | VISTO(S) DO(S) FUNCIONÁRIO(S): | CHEFE DE DEPARTAMENTO: | DATA DA OBSERVAÇÃO: | OBSERVADOR (ES): |
|---|--|--------------------------------|------------------------|---------------------|------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| LEGENDA: C = CONFORMIDADE NC = NÃO CONFORMIDADE | | | | | |
| OPORTUNIDADE DE MELHORIA: | | | | | |

Controle de Revisão

| Revisão | Item | Histórico da revisão | Data |
|---------|--------------------|---|------------|
| 00 | Todos | Emissão 00 descartada para adequação à versão dos Procedimentos de Trabalho do Sistema Sênior | 05/08/2011 |
| 01 | Todos | Emissão inicial | 05/08/2011 |
| 02 | 1, 2, 3, 4, 7 e 8. | Atualização cabeçalho, Ferramenta AST, revisão do formulário como fazer item 1, 2, 3, 4, 7 e 8. | 28/07/2012 |