

Cleonice da Rocha Santos

**O CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO –
CEP APLICADO NA INDÚSTRIA DE CAFEÍNA**

Dissertação para obtenção do Título de
"Mestre em Engenharia de Produção",
pelo Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção da Universidade
Federal de Santa Catarina.

**Florianópolis
2003**

Cleonice da Rocha Santos

**O CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO – CEP
APLICADO NA INDÚSTRIA DE CAFÉINA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de "Mestre em Engenharia de Produção" e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

Data da Aprovação: 24/10/2003

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Willy Arno Sommer, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Marcelo Menezes Reis, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Robert Samohyl, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo, Mario Santoro, que sempre me incentiva e apóia na superação de novos desafios.

Aos meus filhos Fernanda, Erika e Mario pela paciência e compreensão nos momentos de minha ausência.

Aos meus pais que por menor que seja a minha conquista, sempre a vêem como uma grande obra.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador professor Willy Arno Sommer, pelo estímulo, didática e orientação em todas as etapas de desenvolvimento deste trabalho.

À professora Marlene Farias, pela sua generosidade e valiosa contribuição dada a este trabalho.

A minha amiga Liliane Franco pela valorosa colaboração durante a realização deste trabalho.

A minha irmã Creuza, pelo carinho e dedicação na revisão ortográfica deste trabalho.

A minha sobrinha Glauce, pela contribuição e colaboração ofertadas.

Aos meus amigos Pedro Casado e José Vicente Andreu pelas palavras de apoio e incentivos recebidos.

Aos funcionários da Exnama que estiveram sempre ao meu lado e acreditaram nos objetivos do trabalho.

Aos professores da Pós-graduação em Engenharia de Produção que enriqueceram a minha formação profissional.

A Deus que me ilumina todos os dias, dando-me forças para que eu possa continuar o meu caminho de realizações.

RESUMO

SANTOS, Cleonice da Rocha. **O Controle Estatístico de Processo – CEP Aplicado na Indústria de Cafeína**. 2003. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

Este trabalho apresenta uma proposta de aplicação do Controle Estatístico de Processo em uma empresa de purificação de cafeína, descrevendo seu processo produtivo e identificando as variáveis que deverão ser monitoradas, dentro de abordagens de qualidade centradas no produto, consumidor e processo, como uma oportunidade de se comparar, de forma contínua, seus resultados. Identificando-se a partir de dados estatísticos as tendências para variações, procura-se eliminá-las ou controlá-las com o objetivo de reduzi-las, oferecendo suficientes informações para tomada de decisão a respeito do processo. O trabalho apresenta uma revisão dos conceitos relacionados ao segmento industrial abordado, assim como aos conceitos estatísticos intrínsecos à ferramenta proposta. Esses recursos permitiram a identificação das variações no processo produtivo e também a utilização das informações obtidas para definição dos ajustes necessários. É apresentada uma metodologia para implantação do CEP que respeita as características naturais da empresa, com o intuito de elevar os níveis de qualidade das etapas do processo, do produto elaborado e de reduzir custos de fabricação. Para testar o modelo proposto foram selecionadas duas características de interesse, que apresentaram uma maior importância no processo. Os resultados obtidos validaram a proposta. Foram apresentadas sugestões de melhoria, focadas em resultados que permitem o aumento da produtividade e a redução dos custos, podendo contribuir para melhorar também a credibilidade da empresa junto aos mercados nacional e internacional, garantindo assim sua sobrevivência e contínuo crescimento.

Palavras-chave: controle de processo, cafeína, qualidade, variabilidade.

ABSTRACT

SANTOS, Cleonice da Rocha. **O Controle Estatístico de Processo – CEP Aplicado na Indústria de Cafeína**. 2003. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

This work presents a proposal of application of the Statistical Process Control (SPC) in a caffeine purification company, it describes its productive process and identifies the variables that should be monitored. The approach is that of a quality insight of product, consumer and process, as an opportunity of comparing, in a continuous way their results. It identifies the variations and tendencies arising from statistical data, trying to eliminate or control those variations with the objective of reducing them, and offer enough information for making decisions regarding the process. It presents a revision of the concepts related to the approached industrial segment, as well as to the intrinsic statistical concepts of the proposed tool. These resources allowed the identification of the variations in productive process and also the use of the information obtained in order to define the necessary fittings. It displays a methodology of the SPC, that respects the natural characteristics of the company, with the intention to improve the levels of quality of the process phases, and the final product and reduce production costs. Two characteristics, which presented a large importance in the process, were selected to test the proposed model. The obtained results validated the proposal. The improvement suggestions that were presented, based on results that allow the increase of the productivity and reduction of the costs, could contribute to improve the credibility of the company both in the national and international markets, thus guaranteeing survival and continuous growth.

Key words: control of process, information, caffeine, quality, variability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico da Solubilidade (em g/l) da Cafeína em Água.....	26
Figura 2 – Tipos de Curvas de Freqüência.....	31
Figura 3 – Representação Gráfica de Medidas de Posição.....	33
Figura 4 – Áreas sobre uma Distribuição Normal.....	38
Figura 5 – Áreas iguais sob a curva entre as médias $e + z$ e $e - z$	40
Figura 6 – Distribuição de Student (t) para vários valores de v	41
Figura 7 – Ciclo PDCA de Controle de Processos.....	48
Figura 8 – Tendência de Crescimento do comércio e do PIB mundiais.....	52
Figura 9 – Diagrama de Pareto.....	53
Figura 10 – Estrutura do Diagrama de Causa e Efeito.....	54
Figura 11 – Possível aspecto de um Diagrama de Dispersão.....	55
Figura 12 – Fluxograma de Construção e Utilização Gráficos de Controle \bar{x} , R... 56	56
Figura 13 – Histograma da Concentração do % de pureza na cafeína.....	57
Figura 14 – Exemplos de Gráficos de Controle.....	60
Figura 15 – Ação a ser Adotada para Melhorar Capacidade de Processo.....	73
Figura 16 – Organograma do Grupo Natra S.A.....	76
Figura 17 – Fluxo do Processo de Fabricação de Cafeína.....	77
Figura 18 – Macro Fluxo da Produção de Cafeína.....	78
Figura 19 – Esquema do Processo de Purificação de Cafeína.....	80
Figura 20 – Fluxo atual do Processo de Purificação.....	86
Figura 21 – Reator para Processos de Dissolução e Purificação de Extratos.....	88
Figura 22 – Gráfico do Comportamento da Temperatura do processo de Hidrólise. 89	89

Figura 23 – Gráfico do Comportamento do pH no Processo de Hidrólise.....	89
Figura 24 – Filtro de Placas.....	90
Figura 25 – Cristalizadores para Cafeína.....	91
Figura 26 – Gráfico do Comportamento do Processo de Cristalização.....	91
Figura 27 – Equipamento para Secagem de Cafeína.....	93
Figura 28 – Fluxo Proposto para o Processo de Purificação da Exnama.....	96
Figura 29 – Gráfico da Eficiência do Processo.....	102
Figura 30 – Diagrama Macro de Pareto para as Variáveis de Processo.....	103
Figura 31 – Gráfico <i>p</i> para Aparência do Produto em Processo.....	105
Figura 32 – Diagrama de Pareto para a Característica Aparência.....	106
Figura 33 – Diagrama de Causa e Efeito para a Pigmentação do Produto.....	107
Figura 34 – Comportamento da Umidade no período Julho-Setembro de 2002....	111
Figura 35 – Gráficos de Controle para a característica umidade.....	113
Figura 36 – Gráficos de Controle para a característica umidade.....	114
Figura 37 – Gráficos de Controle para a umidade após ajuste.....	115
Figura 38 – Diagrama de Pareto para a Característica Umidade.....	116
Figura 39 – Diagrama de Causa e Efeito para o Granulador.....	117
Figura 40 – Histograma para o Percentual de Umidade.....	120
Figura 41 – Histograma da Distribuição dos 117 Dados.....	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conteúdo de Cafeína em alimentos e bebidas.....	24
Tabela 2 – Concentração (%) de 70 amostras de cafeína.....	29
Tabela 3 – Distribuição de Freqüência Acumulada dos Valores da Concentração..	30
Tabela 4 – Pontos de Inspeção do Processo de Fabricação de Cafeína.....	79
Tabela 5 – Especificação x Índices de Capacidade.....	82
Tabela 6 – Média dos Principais Resultados do Processo (Período Jul/Set-2002)..	95
Tabela 7 – Principais Causadores de Umidade no Produto.....	116
Tabela 8 – Percentual de umidade do produto na segunda filtração.....	120
Tabela 9 – Resultado das Inspeções da Característica Aparência.....	134
Tabela 10 – Umidade no Secador no período julho - setembro de 2002.....	135
Tabela 11 – Valores para o Cálculo da Estatística JB.....	136

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ação da ingestão de cafeína sobre os tecidos do corpo humano.....	23
Quadro 2 – Guia para Gráfico de Controle.....	65
Quadro 3 – Itens para Avaliação de um Sistema de Classificação por Atributos.....	69
Quadro 4 – Classificação de Processos a Partir do Índice Cp.....	71
Quadro 5 – Etapas do Processo de Purificação de Cafeína.....	81
Quadro 6 – Pontos de Inspeção no Processo de Produção Atual.....	87
Quadro 7 – Pontos de Controle para Aplicação do CEP.....	97
Quadro 8 – Formulário 5W 1H para Melhoria da Aparência do Produto.....	108
Quadro 9 – Formulário 5W 1H.....	118

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	
1.1 Contextualização do Trabalho	14
1.2 Justificativas	15
1.3 Definição do Problema	16
1.4 Objetivos	17
1.4.1 Objetivo Geral.....	17
1.4.2 Objetivos Específicos.....	17
1.5 Delimitações do Trabalho	18
1.6 Estrutura do Trabalho	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
2.1 Considerações Iniciais	21
2.2 A cafeína	21
2.2.1 O produto.....	22
2.2.2 A utilização da cafeína.....	22
2.2.3 O processo produtivo.....	25
2.2.4 O processo de purificação.....	26
2.3 Elementos de Estatística	27
2.3.1 Análise Exploratória de Dados.....	28
2.3.2 Medidas de Posição.....	32
2.3.3 Medidas de Dispersão.....	33
2.3.4 Distribuições de Probabilidades.....	35
2.4 Qualidade – Considerações	42
2.4.1 Conceitos.....	43
2.4.2 Melhoria de Qualidade e Produtividade.....	46
2.5 O Ciclo PDCA para Controle de Processos	46
2.6 Controle Estatístico de Processo - CEP	48
2.6.1 Definições.....	49
2.6.2 Importância.....	50
2.6.3 Normalidade da Distribuição de Dados.....	51
2.6.4 Ferramentas básicas do CEP.....	51
2.7 Gráfico de Controle	58
2.7.1 Definições.....	58
2.7.2 Tipos de Gráficos de Controle.....	60
2.7.3 Aplicação dos Gráficos de Controle.....	61
2.8 Avaliação da Qualidade de Medidas	66
2.9 Capacidade de Processos	69
2.9.1 Características e Importância.....	70
2.9.2 Índice de Potencial do Processo (Cp).....	70
2.9.3 Índice de Desempenho do Processo (Cpk).....	72
2.10 Considerações Finais	73

3 PROCESSO DE PRODUÇÃO ATUAL DA CAFEÍNA	
3.1 A Empresa Exnama	74
3.1.1 Considerações Gerais.....	74
3.1.2 Histórico.....	75
3.2 O Processo de Produção	77
3.3 O Processo de Purificação	80
3.4 O Produto	82
3.5 Considerações Finais	83
4 MODELO DE APLICAÇÃO DO CEP	
4.1 Estudo de caso	84
4.2 Processo de Purificação	85
4.3 Análise das Etapas do Processo	87
4.3.1 Dissolução da Matéria-Prima.....	88
4.3.2 Filtração da Dissolução.....	90
4.3.3 Cristalização do Material Filtrado.....	90
4.3.4 Filtração e Lavagem dos Cristais.....	92
4.3.5 Granulação e Secagem.....	93
4.3.6 Resultados das Inspeções do Processo.....	94
4.4 Modelo Proposto	95
4.5 Roteiro para Implantação do CEP	97
4.5.1 Condições Básicas para Implantação do CEP.....	98
4.5.2 Ferramentas a serem utilizadas.....	98
4.5.3 Seqüência de Aplicação	98
4.6 Considerações Finais	100
5 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO	
5.1 Considerações Iniciais	101
5.2 Diagnóstico Preliminar	101
5.3 Análise dos Principais Problemas	104
5.3.1 Aparência do Produto.....	104
5.3.2 Umidade do Produto Durante o Processo.....	111
5.4 Recomendações a Empresa Exnama	121
5.5 Considerações Finais	123
6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES	
6.1 Considerações Preliminares	124
6.2 Conclusões	124
6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros	126
REFERÊNCIAS	
Obras Citadas	128
Obras Consultadas	129
GLOSSÁRIO	132
APÊNDICES	
APÊNDICE A – Cálculo dos Limites de Controle para o gráfico <i>np</i>	134
APÊNDICE B – Normalidade da Característica Umidade.....	135

ANEXOS

ANEXO A – Modelo para Carta de Tendência para Valores Individuais.....	137
ANEXO B – Fatores para Construção de Gráficos de Controle.....	138

1 INTRODUÇÃO

Possuir excelência mundial exige o domínio de conceitos ou a utilização de mais avançados conhecimentos e idéias. No início de mais um milênio, as indústrias não podem ficar alheias à necessidade de buscar melhorias contínuas em seus processos produtivos. Para isso, necessitam identificar seus pontos críticos, a fim de reduzir os custos com rejeição ou reprocesso de produtos. Muitas já conseguem resultados significativos com metodologias que incorporam ferramentas estatísticas aos seus sistemas de gestão de negócios.

1.1 Contextualização do Trabalho

As empresas de extração e purificação de cafeína atendem a grandes demandas do mercado alimentício, principalmente o de bebidas e do mercado farmacêutico. A cafeína é um alcalóide mundialmente conhecido, uma vez que seu principal método de obtenção provém da descafeinização de café, chá, erva mate e guaraná. Por ser um estimulante natural do sistema nervoso central, é ingrediente básico de muitos medicamentos, sendo a conformidade e garantia de fornecimento do produto os fatores preponderantes no momento de decidir por um fornecedor. Isso porque, o seu processo de fabricação requer uma redução drástica de todas as impurezas presentes, quer sejam as provenientes de suas matérias-primas, quer sejam as eventualmente incorporadas em algum estágio do seu processo produtivo. Fica evidenciada a partir daí, a necessidade crescente da utilização de técnicas de

qualidade e produtividade direcionadas aos seus processos produtivos e que estejam relacionadas diretamente com a qualidade de seus produtos.

Utilizar uma metodologia para a redução dos defeitos operacionais, otimizando os índices de qualidade, contribui para a garantia de sobrevivência das indústrias. A aplicação disciplinada de técnicas estatísticas permite a utilização de forma eficiente dos recursos disponíveis nas empresas, melhorando assim todos os seus resultados operacionais. A apresentação do controle estatístico de processo como um recurso que possibilita o alcance deste objetivo é o que se pretende apresentar neste trabalho.

1.2 Justificativas

A principal justificativa para este trabalho foi a de acreditar que qualquer defeito de processo pode ter sua causa identificada e, conseqüentemente, eliminada com a ajuda de técnicas estatísticas cuja eficácia já foi comprovada. Também serviu de estímulo saber que a empresa estudada, apesar de possuir um baixo percentual de defeito no produto acabado, muitas vezes necessita utilizar outros recursos, não previstos no processo, para voltar a adequá-lo, obtendo assim um produto final dentro das especificações requeridas.

Como o Controle Estatístico de Processo (CEP) viabiliza o monitoramento das características de interesse e sinaliza para o momento da adoção de medidas corretivas e de melhoria de processo, sua aplicação nas indústrias de purificação de cafeína permite a redução sistemática da variabilidade nas características

fundamentais do produto, melhorando qualidade e produtividade. Em decorrência disso, proporciona um aumento da confiabilidade do processo e a redução dos custos operacionais.

Por fim, a possibilidade de, posteriormente a realização do trabalho, acompanhar a implantação da metodologia aqui recomendada, onde os próprios operadores da fábrica irão ser os responsáveis pelas coletas de dados e controle, em tempo real, resultando em um maior comprometimento de todos com a qualidade da operação do processo, contribuiu para a definição deste trabalho.

1.3 Definição do Problema

Nas indústrias de purificação de cafeína algumas falhas no processo produtivo podem ser decisivas para o comprometimento do produto acabado. Os defeitos são provocados, fundamentalmente, pelo tipo de matéria-prima utilizada e instabilidade das variáveis de processo.

A grande variedade e procedência das matérias-primas obrigam uma constante alteração dos protocolos utilizados no processo que, por ser contínuo, muitas vezes sofre variações em algumas de suas etapas provocando perda de eficiência da produção e refugo de algum lote fabricado.

As variáveis de processo podem sofrer alterações de natureza externa, como oscilação de temperatura ou internas, como reações químicas inadequadas, provocadas por variação do pH de uma reação. Também, entretanto em menor

escala, o processo pode ser comprometido por falha humana, quer seja por imperícia de um operador de máquina, quer seja por deficiência de treinamento.

1.4 Objetivos

Os objetivos deste trabalho foram fundamentados na certeza de que a implementação do Controle Estatístico de Processo - CEP permite a melhoria dos níveis de qualidade, contribuindo diretamente com a redução dos custos de fabricação. Esses objetivos estão divididos em duas etapas distintas, conforme apresentado na seqüência.

1.4.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar uma proposta de controle estatístico de processo para a indústria de purificação de cafeína Exnama – Extratos Naturais da Amazônia Ltda.

1.4.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos do trabalho:

- ◆ Analisar o processo produtivo atual;
- ◆ Identificar os pontos de controle do processo;

- ◆ Estabelecer uma metodologia para a implementação do controle estatístico do processo proposto, utilizando interpretação dos resultados gráficos e técnicas que permitam controlar o processo;
- ◆ Identificar as oportunidades de melhoria da qualidade no processo;
- ◆ Comprovar que o processo proposto permite uma monitoração contínua e que, ao apresentar-se um problema, uma ação imediata possa ser rapidamente iniciada;

1.5 Delimitações do Trabalho

- Pelas características da operação estudada, a utilização de apenas ferramentas básicas do CEP delimita o trabalho apresentado. Porém, isso não impediu a realização de comentários referentes ao uso de outros recursos, nas recomendações para futuros trabalhos, realizadas no capítulo final.
- Por ser o processo de purificação da cafeína exclusivo da empresa Exnama, em função do fluxo de produção e tipo de equipamentos utilizados, também se constituiu em delimitação ao trabalho.

1.6 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, mostrados na seqüência.

- ♠ Capítulo 1 - Introdução do Trabalho.

Apresenta as justificativas da autora para a realização do trabalho, definindo o problema apresentado, seus objetivos gerais e específicos sua estrutura e suas delimitações.

♠ Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

Fornece informações a respeito da cafeína, sua utilização, seus processos de produção e purificação. Aborda os elementos básicos de estatística e discorre sobre qualidade e seus conceitos. Apresenta definições sobre controle estatístico e a importância da avaliação da capacidade de processos.

♠ Capítulo 3 – Processo de Produção Atual da Cafeína

Apresenta as considerações sobre a empresa Exnama, explicando o seu processo de produção e purificação. Oferece informações sobre o produto fabricado e suas especificações.

♠ Capítulo 4 – Modelo de Aplicação do CEP

Este capítulo descreve o estudo de caso, fazendo uma análise detalhada das suas etapas. Posteriormente, propõe o modelo para o processo de purificação, com inserção de novos pontos de controle. Relaciona as ferramentas estatísticas a serem aplicadas e a metodologia para Implantação do Controle Estatístico de Processo - CEP.

♣ Capítulo 5 – Aplicação do Modelo Proposto

Apresenta a análise dos resultados atuais, selecionando as características de interesse para aplicação das ferramentas estatísticas sugeridas. Posteriormente, oferece algumas recomendações que podem contribuir para a melhoria do processo da empresa.

♣ Capítulo 6 – Conclusões e Sugestões

Neste último capítulo, é realizada uma análise geral do trabalho e a apresentação das conclusões obtidas para a implementação de um controle estatístico no processo de purificação de cafeína. Destacam-se também as recomendações para trabalhos futuros.

Complementam esta dissertação as Referências, o Glossário, os Apêndices, e, por último, os Anexos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica da elaboração do modelo proposto para a utilização do Controle Estatístico de Processo – CEP na empresa Exnama.

2.1 Considerações iniciais

Para a aplicação do modelo proposto se faz necessário uma análise dos principais conceitos referentes ao produto cafeína, sua importância comercial, seus efeitos sobre o organismo humano, o processo para sua obtenção e posteriormente as técnicas para a sua purificação.

Muito importante também é conhecer os fundamentos básicos da qualidade, os elementos e os principais métodos estatísticos disponíveis para utilização em empresas que estão preocupadas em alcançar uma melhoria em seus produtos e processos. Pretendeu-se assim, mostrar de forma simples e direta esses conceitos básicos. Sua adequada compreensão será importante, uma vez que a partir deles foi possível a determinação da abrangência das técnicas utilizadas neste trabalho.

2.2 A cafeína

Sendo consumida regularmente por bilhões de pessoas em todo o mundo, uma vez que poucos são os indivíduos que não consomem bebidas como café, chá,

chocolate ou refrigerantes conhecidos como colas, cafeína é hoje um produto amplamente difundido, é muito provável que o motivo seja seus efeitos estimulantes no sistema nervoso central.

2.2.1 O produto

A cafeína é um derivado da xantina (1,3,7 trimetilxantina), classificada como estimulante do sistema nervoso central. É o ingrediente ativo do café, representando uma substância ligeiramente aditiva que está presente em vários alimentos sendo considerado o alcalóide mais conhecido no mundo. De acordo com Shreve & Brink (1997, p. 684), em cada ano produzem-se no mundo mais de 13.600 toneladas de cafeína, fazendo parte da composição de mais de 60 espécies de plantas.

Sua extração e posterior purificação se realiza através de processos que exigem um certo grau de complexidade, os quais requerem monitoramento contínuo, a fim de se obter o produto dentro das especificações das farmacopéias internacionais e legislação ambiental.

2.2.2 A utilização da cafeína

Segundo Barone & Roberts (*apud* KRUGER, 2002, p.1), por sua eficiente atuação sobre o sistema nervoso central, a cafeína tem sido muito utilizada desde o período paleolítico. Além do café, ela pode ser encontrada em chás, chocolates e bebidas. Dos estimulantes naturais consumido pelo homem, é o mais aceitável e menos prejudicial à sua saúde. Uma de suas mais populares utilizações tem sido a

fabricação de bebidas gaseificadas conhecidas por “colas”. Seus produtores informam que a adição de cafeína acentua o sabor da bebida.

Outra grande demanda provém da indústria farmacêutica. A cafeína tem sido muito utilizada com finalidades medicinais, como por exemplo, nos tratamentos de apnéia infantil, acnes, terapia cardiológica e mais recentemente como coadjuvante de analgésicos, pois associada à aspirina ajuda a combater as cefaléias, provavelmente pela constrição dos vasos sanguíneos. Também é utilizada em medicamentos para controle do peso e antialérgicos.

A cafeína também tem importante efeito farmacológico em sistemas corporais, alguns dos quais implicam na etiologia e manutenção de transtornos psiquiátricos como a ansiedade e depressão crônica. O quadro 1 ilustra seus efeitos provocados sobre os tecidos humanos.

TIPO DE TECIDO	AÇÃO
Nervoso – Córtex	Euforia, antifadiga, estímulo
Nervoso – Medula	Estímulo respiratório, vaso dilatador
Muscular Liso – Cardíaco	Elevação do ritmo cardíaco
Muscular Liso - Vasos Sanguíneos	Vaso dilatador e constritor central
Muscular Liso - Brônquios	Dilatação
Muscular Esquelético	Estímulo
Renal	Diureses
Trato Intestinal	Incremento secreção gástrica

Quadro 1 - Ação da ingestão de cafeína sobre os tecidos do corpo humano

Fonte: Craig & Stitzel (1994, p. 236)

A absorção de cafeína depois de sua administração ou ingestão é rápida e completa, produzindo efeitos sistêmicos importantes. Isso tem impulsionado a investigação de um modo específico para sua administração, que permita expressar os efeitos lipolíticos sem causar efeitos colaterais mostrados eficientes, daí também o uso da cafeína contribuir para a redução do fluxo do plasma no fígado, colaborando assim com o prolongamento da vida média e aumentando as concentrações de eliminação de outras drogas através desse órgão.

Na tabela 1 a seguir, encontram-se relacionados os conteúdos de cafeína de alguns alimentos considerados tradicionais e também de algumas bebidas consumidas nos diversos mercados mundiais.

Tabela 1 - Conteúdo de Cafeína em alimentos e bebidas

ALIMENTO	CONTEÚDO CAFEÍNA (mg/un)
Café instantâneo (xícara 180ml)	60 a 70
Café Coado (xícara 180 ml)	97 a 125
Café descafeinado (xícara 180 ml)	2 a 4
Chá em saquinhos (xícara 180 ml)	15 a 75
Chá negro (xícara 180 ml)	40 a 60
Mate (xícara 180 ml)	10 a 60
Cacau (xícara 180 ml)	10 a 17
Barra de chocolate (60 g)	60 a 70
Bebida de Cola (100 ml)	15 a 20

Fonte: Coultate (1996, p.267)

Além dos alimentos citados na tabela 1, a cafeína também é comumente encontrada em analgésicos, remédios para resfriados e, em menores proporções,

em refrigerantes diversos. Estima-se que 80% da população em geral utilizam cafeína diariamente, muito embora seja difícil estimar o seu consumo.

Sob o ponto de vista de Kruger (2002, p.1), considerando os variados e extremamente potentes efeitos da cafeína e também seu uso extensivo a todas as camadas sociais, deve-se restringir o seu consumo diário às quantidades que beneficiam seus usuários. Se utilizada em doses terapêuticas, a cafeína não será nociva para o consumo humano. Sua presença nas bebidas de “cola”, por encontrar-se em dose mínima com respeito às doses terapêuticas, não tem efeito nocivo, apenas efeito ligeiramente estimulante.

2.2.3 O processo produtivo

O processo de purificação de cafeína utiliza como matéria-prima o extrato bruto ou cafeína bruta obtida a partir de uma extração por dissolvente dos grãos de café ou folhas de chá, antes da sua tostagem ou secagem. Numa primeira etapa, faz-se necessária a adição de água para provocar um acréscimo em 40% na umidade e, posteriormente, a utilização de tambores rotatórios a contra-corrente com solução de cloreto de metileno ou de tricloroetileno, numa temperatura entre 60 e 120° C. Em seguida, o dissolvente é esgotado e os grãos são lavados a vapor de água, para a remoção dos traços residuais. Posteriormente, são secos, torrados embalados para comercialização. O solvente utilizado na extração é evaporado, resultando em uma espécie de cera. A cafeína é extraída desta cera mediante água quente, descorada com carvão e cristalizada.

De acordo com Shreve & Brink (1997, p. 706) e Coultate (1996, p.268), pode-se utilizar também como alternativa de dissolvente para a cafeína o gás carbônico líquido à pressão elevada (120 a 180 atm). A cafeína também pode ser obtida industrialmente através da síntese total por metilação ou outras reações baseadas na uréia.

2.2.4 O processo de purificação

Nos processos de extração da cafeína ou nos de síntese muitos contaminantes estão presentes provocando variadas distorções nas características do produto, como alterações organolépticas, ou sejam; cor, odor e gosto, assim como presença de resíduos insolúveis como partículas metálicas, carvão, pedras e afins. Devido o aumento da sua solubilidade em água estar diretamente associado ao aumento da temperatura, ilustrado na figura 1, os processos de purificação são realizados em dissoluções com temperaturas que variam entre 80° e 90° C.

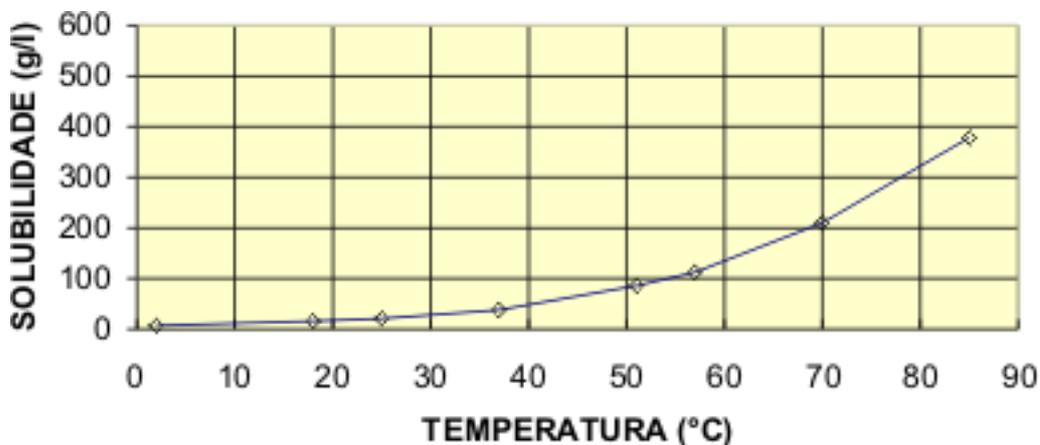


Figura 1 - Gráfico da Solubilidade (em g/l) da Cafeína em Água
Fonte: Empresa Natraceutical

A cafeína bruta (ou extrato bruto de xantina) que é utilizada no processo de purificação pode apresentar uma coloração escura ou amarelada e um percentual de umidade em torno de 20%. Para eliminar esses e outros possíveis contaminantes, Shreve & Brink (1997, p. 685) recomendam submeter o produto a processos físico-químicos completos de purificação, em meio ácido e carvão ativo para descoloração, assim como operações unitárias da indústria química como filtração, cristalização e secagem.

2.3 Elementos de Estatística

Para a devida compreensão de um Controle Estatístico de Processo é preciso conhecer alguns conceitos fundamentais de Estatística. Segundo Lapponi (1997, p. 4), “A Estatística é a ciência dos dados, envolvendo o desenvolvimento de processos, métodos e técnicas de coleta, classificação, organização, resumo, análise e interpretação de dados”.

Esses conjuntos de dados podem ser periódicos, como por exemplos:

- Demonstrativos de resultados, balanços, etc.
- Preços diários do valor de fechamento de ações, ouro, soja, etc.
- Vendas mensais de produtos.
- Consumo mensal de energia elétrica.

Nas indústrias, a Estatística tem papel fundamental no controle de qualidade de processos e produtos, na análise de custos, no dimensionamento de estoques,

no estudo de tempos, na previsão de população para efeito de projetos de interesse coletivo, no projeto e análise de experiências, no estabelecimento de fórmulas empíricas, no estudo do coeficiente de segurança, no estudo de fenômenos hidrológicos, etc...

Para Spiegel (1994, p. 1) a Estatística se interessa pelos métodos científicos para coleta, organização, resumo, disposição das informações e análise de dados, de forma a transformá-los em recursos para decisões razoáveis de problemas. Destaca também que a estatística ou métodos estatísticos desempenha papel crescente e importante em quase todas as fases da pesquisa humana. E, num sentido mais restrito, o uso do termo para designar os próprios dados ou números dele derivados. Para isso, cita como exemplos: a estatística de acidentes e a estatística de empregos.

2.3.1 Análise Exploratória de Dados

Dentre os conceitos básicos para melhor entendimento dos métodos estatísticos encontram-se a definição de amostra e população ou universo. Uma amostra representa o conjunto parcial sobre o qual se realizam as observações, sendo que a população ou universo representa o conjunto global sobre o qual se deseja estabelecer as conclusões. Essas observações podem representar a medida de um atributo quantitativo como, por exemplo, a temperatura ou de um atributo qualitativo como, o odor.

A observação de atributos quantitativos gera valores que podem ser variáveis contínuas ou discretas. As variáveis contínuas podem assumir infinitos valores dentro de um intervalo finito. Um exemplo disso são as variáveis que representam medidas em geral porque podem assumir qualquer valor no campo dos números reais. As variáveis discretas são obtidas por contagens e apenas podem variar no campo dos números inteiros, como por exemplo, a variável que representa a contagem do número de habitantes de uma cidade.

Os dados observados, em geral, são representados através de tabelas, gráficos, medidas de posição, de dispersão e distribuição de frequências.

Quando a pesquisa envolve um grande número de dados brutos, costuma-se freqüentemente distribuí-los em classes ou categorias. A determinação do número de indivíduos de cada uma das classes se denomina Freqüência de Classe, conforme pode ser visto na tabela 2 que exhibe as medidas da concentração de 70 amostras distintas de cafeína.

Tabela 2 - Concentração (%) de 70 amostras de cafeína

99,60	99,90	98,60	99,80	100,60	100,10	101,20	100,30	110,40	100,70
99,80	99,60	99,70	99,80	99,40	99,30	99,90	99,40	100,00	101,30
101,20	100,30	100,40	101,10	99,40	100,70	100,90	100,80	100,60	100,80
100,60	100,40	100,50	100,30	100,50	100,40	100,50	100,50	100,40	100,40
100,30	100,20	100,20	100,30	100,20	100,40	99,80	99,90	99,080	99,070
99,80	99,70	99,80	99,70	100,40	100,30	100,40	100,20	100,10	100,10
100,50	100,40	100,40	99,90	99,90	99,80	99,80	99,00	99,00	98,60

Fonte: Exnama

As medidas de concentração apresentadas na tabela 2, da forma que se encontram colocadas, podem gerar dificuldade de interpretação, pois não evidenciam qual a tendência central e a dispersão dos dados apresentados.

A tabela 3 mostra os mesmos dados agrupados na tabela anterior, numa distribuição de frequência de apenas seis classes, cada uma com 0,05 % de extensão. Agrupar os dados em classes simplifica a apresentação e o estudo da distribuição (Juran & Gryna 1993, p. 20), mas implica na perda de alguns detalhes de informação. Porém, sempre é possível voltar aos dados originais quando necessário.

A frequência total de todos os valores inferiores ao limite superior de um dado intervalo de classe é conhecida como frequência acumulada. A tabela 3, que apresenta essas frequências, é denominada de distribuição de frequência acumulada ou tabela de frequência acumulada.

Tabela 3 - Distribuição de Frequência Acumulada dos Valores da Concentração

Limites	Frequência	Frequência Acumulada
98,55 – 99,05	3	3
99,05 – 99,55	4	7
99,55 – 100,05	22	29
100,05 – 100,55	28	57
100,55 – 101,55	8	65
101,05 – 101,55	5	70
	70	

Fonte: Exnama

Com as informações disponíveis na tabela de freqüência pode-se construir um histograma que permitirá a visualização da distribuição dos dados e do tipo de curva formada.

As curvas de freqüência, dependendo do tipo de distribuição, podem ser representadas através das formas ilustradas na Figura 2.

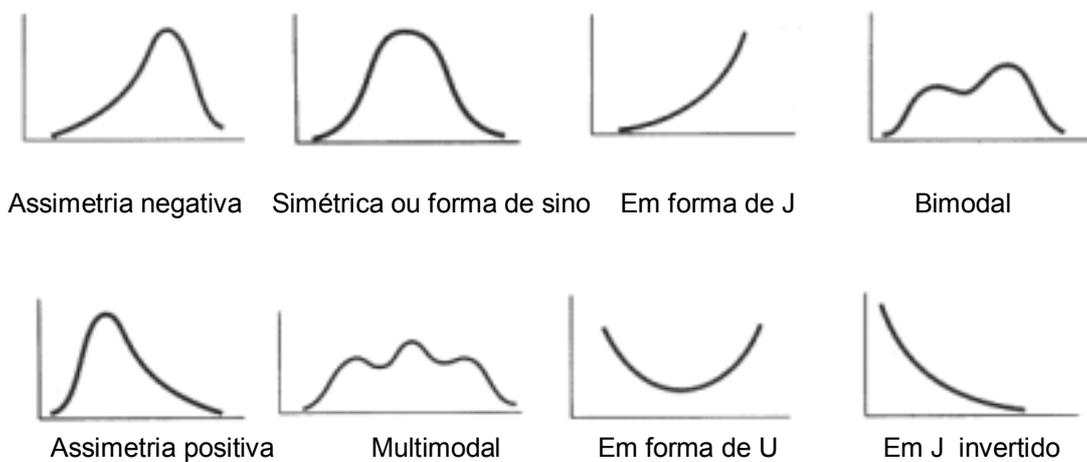


Figura 2 – Tipos de Curvas de Freqüência
Fonte: Spiegel (1994, p.38)

As curvas de freqüência simétrica ou em forma de sino caracterizam-se por apresentar as observações equidistantes do ponto central máximo e por possuírem a mesma freqüência. A curva normal é exemplo importante para esse tipo de curva.

As curvas de freqüência moderadamente assimétricas ou desviadas apresentam as caudas das curvas de um lado da ordenada máxima mais longas que as do outro lado. São chamadas de **desviada para a direita ou assimetria positiva**, quando o ramo mais alongado se encontra à direita e, caso inverso, **desviada para a esquerda ou de assimetria negativa**.

Na curva em forma de J, ou em J invertido, o ponto de ordenada máxima está situado em uma das extremidades, sendo que na curva de frequência em forma de U, as ordenadas máximas estão em ambas extremidades.

A curva de frequência bimodal tem dois máximos e a multimodal, mais de dois. Sendo a moda uma medida de posição, detalhada na seqüência.

2.3.2 Medidas de Posição

As medidas de posição são úteis para localizar a distribuição de frequências sobre o eixo de variação da variável estudada. A mais utilizada é a **média aritmética** que representa um valor típico ou representativo de um conjunto de dados e pode ser obtida através do quociente entre os valores de todas as observações ($X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n$) e o número n de observações, ou seja:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n}$$

Outras medidas de posição utilizadas são a **mediana** e a **moda**. A mediana de um conjunto de números, em uma seqüência ordenada, é o valor central ou a média aritmética dos dois valores centrais. Seu cálculo pode ser realizado através do seguinte procedimento:

- Se a série de dados tiver um n número ímpar de observações, seu valor será o do elemento central, ou $\frac{(n+1)}{2}$

- Se a série tiver um n número par de observações, não haverá um valor no centro, devendo-se dividir por dois a soma dos valores das observações com ordens $(n/2)$ e $(n/2) + 1$.

A moda representa o valor para o qual as variáveis se apresentam mais concentradas, ou seja, a moda de um conjunto de números é o valor que ocorre com a maior frequência.

A forma de uma distribuição de frequência influi nos valores da média, mediana e moda. Na figura 3, pode-se ver a representação gráfica dessas medidas de posição. Para medidas assimétricas, a média tende para os extremos. No caso da curva ser simétrica, os valores das três medidas serão coincidentes.

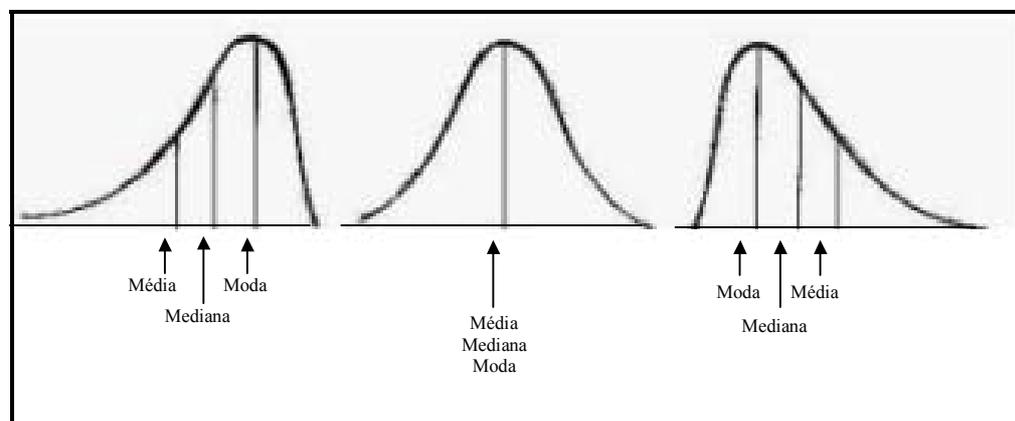


Figura 3 - Representação Gráfica de Medidas de Posição
Fonte: Stevenson (1981, p. 48)

2.3.3 Medidas de Dispersão.

A dispersão ou variação dos dados representa o grau que os dados numéricos tendem a dispersar-se em torno de um valor médio. As informações

obtidas através das medidas de posição necessitam ser complementadas através das medidas de dispersão. As medidas de dispersão mais utilizadas são: amplitude, variância, desvio-padrão e coeficiente de variação. A **amplitude** representa a diferença entre a maior e a menor observação. Outras medidas são obtidas a partir da diferença entre as observações individuais e a média. A **variância** de um conjunto de dados pode ser obtida através da média dos quadrados das diferenças dos valores em relação à sua média, ou seja, para uma série formada pelas observações $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_N\}$ define-se a variância como:

a) Para populações:

$$\text{Var}(X) = \sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N},$$

Onde μ_x é a média da população e N o número de observações.

b) Para amostras:

$$\text{Var}(X) = s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

Onde \bar{X} é a média da amostra e n é o número de observações da amostra.

A variância é uma medida de dispersão muito importante na teoria estatística, mas apresenta a desvantagem de possuir dimensão diferente da dimensão dos dados iniciais. Esta desvantagem pode ser eliminada com a utilização do **desvio-padrão (σ)** que é uma medida de dispersão que apresenta a mesma dimensão dos dados iniciais e que pode ser obtida através da raiz quadrada da variância. O

desvio-padrão se expressa na mesma unidade da variável, sendo assim, mais interessante que a variância nas aplicações práticas.

Outra maneira de eliminar essa desvantagem é utilizar para a amostra uma medida adimensional resultante do quociente entre o desvio-padrão e a média, mais conhecido por **coeficiente de variação**, que se expressa freqüentemente em percentagem, conforme demonstrado a seguir:

$$\text{a) Para População: } CV_{\text{pop}} = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \times 100$$

$$\text{b) Para amostras: } CV_{\text{amo}} = \frac{S_x}{\bar{X}} \times 100$$

2.3.4 Distribuições de Probabilidades

Segundo Spiegel (1994, p.127), alguns autores têm optado por uma definição estatística de probabilidade para um evento como sendo a freqüência relativa de sua ocorrência, quando o número de observações é muito grande. A probabilidade seria então o limite da freqüência relativa quando o número de observações cresce indefinidamente. Para manuseio de dados e interpretação dos métodos utilizados no Controle Estatístico de Processo, o conhecimento da distribuição das freqüências é imprescindível. Esse recurso gráfico permite a avaliação dos resultados e medições realizados a partir das operações do processo. É utilizado também para acompanhar o comportamento das características intrínsecas da qualidade dos produtos.

As distribuições de probabilidades são modelos matemáticos que relacionam o valor de uma variável e sua probabilidade de ocorrência em uma população. De acordo com Werkema (1995, p.146), uma distribuição representa o padrão de variação de todos os resultados que podem ser gerados por um processo controlado, podendo representar desta forma o padrão de variação de uma população. Para se conhecer as características da distribuição relacionada a alguma população de interesse, pode-se retirar uma amostra desta população e fazer a medição dos valores assumidos pela variável considerada. Se o tamanho da amostra for muito grande, haverá dificuldade de percepção das características gerais da distribuição, sendo necessário resumir essas informações. Para isso, utiliza-se um histograma.

Dois são os tipos de Distribuições de Probabilidades: Discretas e Contínuas.

2.3.4.1 Distribuições de Probabilidade de Variáveis Aleatórias Discretas:

Usadas para modelar situações onde o resultado de interesse pode assumir apenas alguns valores discretos, como exemplo 0 ou 1 para positivo ou negativo.

Um exemplo de distribuição discreta é a Distribuição Binomial. A utilização da distribuição binomial é interessante na resolução de problemas que envolvem necessidade da determinação da probabilidade de se obter um número **k** de sucessos em **n** tentativas de um evento e é representada pela função:

$$f(\mathbf{X}) = \mathbf{P}(\mathbf{X} = \mathbf{k}) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k}$$

Sendo $P(X=k)$, a probabilidade que o evento se realize k vezes em n provas;
 p é a probabilidade de que o evento se realize em uma só prova (sucesso);
 q é a probabilidade da não realização do evento no decurso da prova (insucesso)

$\binom{n}{k}$ é o coeficiente binomial de n sobre k , que é igual a $\frac{n!}{k!(n-k)!}$

Dois outros exemplos de distribuições discretas de probabilidade são a Distribuição de Poisson e a Distribuição Hipergeométrica.

A Distribuição de Poisson é útil para descrever as probabilidades do número de ocorrências em um campo ou intervalo contínuo, em geral tempo ou espaço. As ocorrências são independentes. Stevenson (1981, p.118) cita como exemplos para esse tipo de distribuição defeitos por centímetro quadrado, clientes por hora, acidentes por dia.

A Distribuição Hipergeométrica é utilizada quando se dispõe de uma população pequena ou finita. Refere-se a situações com dois ou mais resultados, em que a probabilidade de sucesso varia de uma prova para outra. É similar a Distribuição Binomial, porém as observações não são independentes. Stevenson (1981, p.128) cita como exemplo uma amostragem sem reposição.

2.3.4.2 Distribuições de Probabilidades de Variáveis Aleatórias Contínuas:

São usadas para modelar situações onde o resultado de interesse pode assumir valores numa escala contínua, como exemplo os valores maiores que zero para o tempo de falha de um gerador elétrico que está trabalhando continuamente.

A Distribuição Normal ou Curva Normal é a curva de distribuição contínua de frequência mais utilizada na avaliação do comportamento das variáveis dos processos produtivos estáveis ou das características de qualidade dos produtos relacionados aos processos.

A utilização da Distribuição Normal no Controle de Qualidade de Processos, Produtos e Serviços é extremamente importante.

A figura 4 ilustra as áreas representativas sob a curva de distribuição normal, sendo que 68,26% da população estarão entre a média da população mais ou menos 1 desvio-padrão (σ), 95,46% da população estarão entre a média e mais ou menos 2σ e, por último, 99,73% estarão entre a média e mais ou menos 3σ .

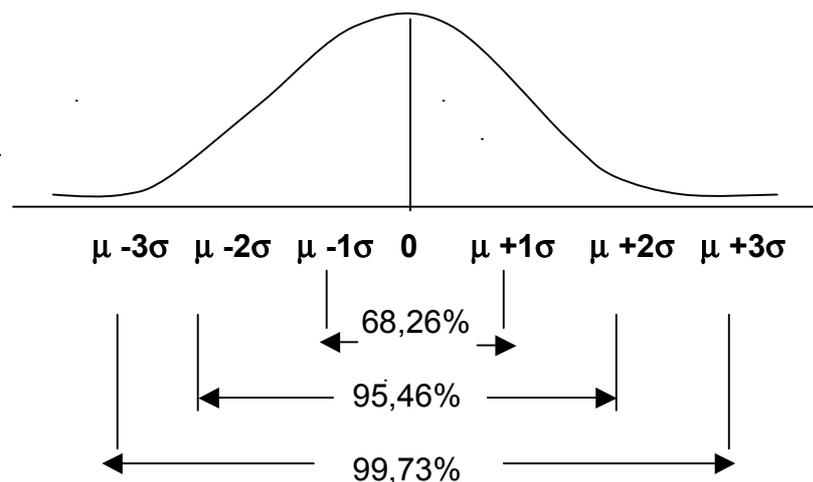


Figura 4 – Áreas sobre uma Distribuição Normal

Fonte: Montgomery (2001, p.64)

A curva da Distribuição Normal pode ser determinada através da seguinte expressão:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

Como a distribuição Normal depende de dois parâmetros (μ , σ), para se calcular a probabilidade associada a uma variável $x \sim N(\mu, \sigma)$, utiliza-se a variável Normal Reduzida z , onde $\mu = 0$ e $\sigma = 1$ definida por:

$$z = \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

onde

z = número de desvios padrões a contar da média

x = valor arbitrário

μ = a média da distribuição amostral

σ = desvio padrão

A área sob a curva pode ser encontrada utilizando-se a Tabela de Áreas para Distribuição Normal Reduzida (Spiegel, 1994, p. 435). Como a Distribuição Normal é simétrica em torno de sua média, é comum se informar na tabela apenas a metade da distribuição (metade direita). Necessitando-se da esquerda, consideram-se como desvios positivos os valores ali encontrados.

Para exemplificar a afirmação anterior, a figura 5 ilustra a área sob a curva entre a média e 1 desvio padrão.

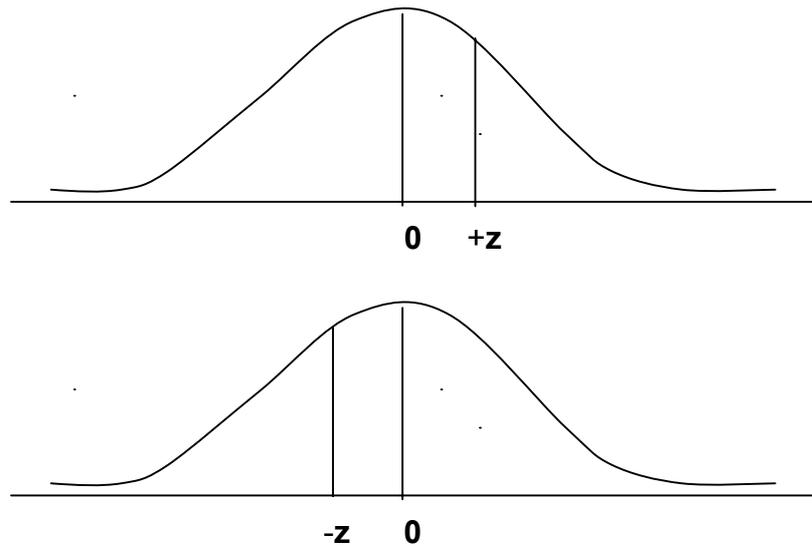


Figura 5 - Áreas iguais sob a curva entre as médias e + z e e - z
 Fonte: Stevenson (1981, p.143)

Para amostras de tamanho maior que 30, as distribuições amostrais de várias estatísticas aproximam-se da Distribuição Normal, entretanto para pequenas amostras essa aproximação afasta-se da normal, tornando-se pior com o decréscimo do número de amostras. Nesse caso, a utilização da distribuição conhecida como “t Student” é mais adequada.

A forma da Distribuição “t” é bastante parecida com a Normal. A principal diferença é que a “t” apresenta uma maior área nas caudas. Assim, para um determinado nível de confiança, o valor de “t” será um pouco maior que o de z.

Sempre há uma distribuição “t” diferente para cada amostra. Ela é particularmente sensível para pequenas amostras. Sua estatística (t) está definida como:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

onde,

\bar{X} = média amostral

n = tamanho da amostra

s = desvio padrão

Para calcular área sob a curva da Distribuição “t” pode-se utilizar sua tabela (Stevenson, 1981, p. 203), desde que se conheça o nível de confiança desejado e de número o número de graus de liberdade (ν), calculado pela expressão: $\nu = n - 1$

Para grandes valores de ν , ou seja acima de 30, as curvas tendem a aproximar-se da Normal, conforme demonstrado na figura 6.

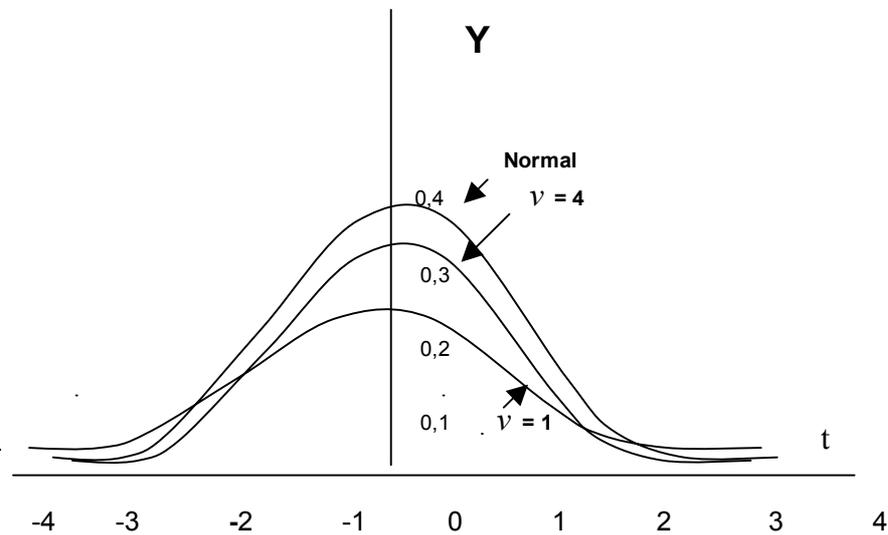


Figura 6 – Distribuição de Student (t) para vários valores de ν
 Fonte: Spiegel (1994, p.234)

Outros exemplos de distribuições contínuas de probabilidades são a Distribuição Exponencial e a Distribuição de Weibull.

A Distribuição Exponencial envolve probabilidades ao longo do tempo ou da distância entre as ocorrências em um intervalo contínuo. Stevenson (1981, p.152) exemplifica alguns usos da Exponencial: como modelo do tempo entre falhas de um equipamento elétrico ou o tempo entre a chegada de clientes a um supermercado.

Distribuição de Weibull envolve parâmetros de escala, forma e localização. É aplicada na definição da probabilidade de um determinado número de ocorrências x em n tentativas de um evento, quando existe um total de y ocorrências em uma população N .

A Distribuição de Weibull tem sido muito utilizada na engenharia como modelo de verificação dos tempos de falha de componentes elétricos, mecânicos e de sistemas, (MONTGOMERY, 2001, p. 74).

2.4 Qualidade – Considerações

“A Qualidade consiste nas características do produto que vão ao encontro das necessidades dos clientes”, (JURAN & GRINA, 1991, p.11).

Para a compreensão da necessidade da evolução consistente em processos e métodos produtivos, necessita-se compreensão de conceitos básicos de qualidade e sua abrangência.

Muitos autores contribuíram com os métodos estatísticos de melhoria da qualidade, porém, segundo Montgomery (2001, p. 18), os três líderes neste

segmento foram: Dr. W. Edwards Deming, Dr. Joseph M. Juran e Dr. Armand V. Feigenbaum.

Uma das razões que levaram a indústria japonesa a grandes resultados de qualidade e produtividade durante os anos 70 e 80 foi o trabalho realizado pelo Dr. Deming. Após a segunda guerra mundial, tornou-se consultor das empresas japonesas e conseguiu convencer seus administradores do poder dos métodos estatísticos e da importância da qualidade como uma arma competitiva. Esse compromisso com o uso de métodos estatísticos foi um elemento chave na expansão da economia das indústrias japonesas. A União Japonesa de Engenheiros e Cientistas (*The Japanese Union of Scientists and Engineers - JUSE*) criou o prêmio Deming de melhoria de qualidade (*Deming Prize*) em sua homenagem. Até sua morte, em 1994, ele era um palestrante e consultor ativo. Acreditava firmemente que a maioria das oportunidades de melhorias da qualidade dependia de ações gerenciais, tendo sido um crítico severo de muitas práticas americanas de administração.

A filosofia de Deming é um importante suporte para a implementação de sistemas de qualidade e melhoria de produtividade. Ela será discutida, posteriormente, ainda neste capítulo.

2.4.1 Conceitos

Segundo Feigenbaum (1994, p.xix), Qualidade tornou-se fator tão relevante que conduz empresas nos mercados nacionais e internacionais ao êxito

organizacional e ao crescimento. É ela quem constitui o fator fundamental para que o consumidor decida entre um número explosivamente crescente de produtos e serviços, sendo que o retorno sobre o investimento, obtido através de programas da qualidade eficazes, gera excelente rentabilidade nas empresas desde que tenham estratégias eficientes voltadas para a qualidade e planos de acompanhamento adequados aos retornos desejados.

De acordo com Paladini (2000, p.16), definir qualidade de forma errônea pode levar a Gestão de Qualidade a atitudes que comprometem seriamente a empresa como, por exemplo, crer que a qualidade é algo inatingível, uma utopia que nada tem a ver com a realidade. E assim sendo, os esforços para atingi-la são inviáveis levando a empresa a uma postura sedentária, onde se evitam investimentos em qualidade devido ao custo que esse esforço representaria. Sua proposta para a implantação de uma Gestão da Qualidade leva em consideração a identificação dos diferentes níveis de importância dos múltiplos elementos que compõem a qualidade, uma vez que qualidade envolve uma multiplicidade de itens que sofrem alterações conceituais ao longo do tempo, tratando-se de um “processo evolutivo”.

Para Montgomery (2001, p. 2), pode-se definir qualidade de muitas maneiras, sendo que o conceito mais difundido está relacionado com as características desejáveis que produtos e serviços deveriam possuir. Ou seja, existe uma importância fundamental em se diferenciar as distintas dimensões da Qualidade. Garvin (1987, p. 104) propõe uma composição destas dimensões em oito componentes, discriminados a seguir:

- 1- Desempenho do produto: Expectativa do consumidor quanto ao desempenho esperado.
- 2- Confiabilidade: Frequência de falhas que o produto pode apresentar
- 3- Durabilidade: Vida útil do produto
- 4- Manutenção: Facilidade de manutenção do produto
- 5- Estética: Aparência do produto.
- 6- Características: Utilidade do produto e seu diferencial em relação a um similar.
- 7- Qualidade Percebida: Relaciona a reputação de uma empresa com os seus produtos.
- 8- Grau de conformidade: Relaciona a conformidade do produto com os padrões previamente estabelecidos.

Conforme Juran & Gryna (1991, p.45), a diferença de percepção entre clientes e fornecedores pode definir qualidade de forma distinta. Para a maioria dos clientes, a definição está baseada no fato de que produtos e serviços devem preencher os requerimentos de quem os utiliza, ou seja, “Adequação ao uso”. Já muitos fornecedores associam qualidade com conformidade à especificação no momento de verificação do produto na etapa final do processo.

Para Slack et al. (1997, p. 552), “Qualidade é a consistente conformidade com as expectativas dos consumidores”. Desta forma, o conceito de qualidade deve estar baseado nas expectativas do consumidor, que podem ser diferentes dependendo do ponto de vista de quem usa um produto ou serviço.

2.4.2 Melhoria de Qualidade e Produtividade

Segundo Fellers (1994, apêndice B), a filosofia do Dr. Edward Deming é considerada muito importante na implementação de sistemas de melhoria de qualidade e produtividade. De acordo com essa filosofia, para se atingir um excelente desempenho as partes do sistema devem auxiliar umas às outras e não competir entre si. Um sistema não pode corrigir a si próprio. Melhorias devem vir de fora. A implantação de um sistema de Qualidade deve contemplar o "tratamento da doença e não dos sintomas".

Para aplicação da filosofia, faz-se necessário visar a longevidade do negócio, melhorar produtos e serviços e envolver a alta administração. É preciso também incentivar a formação de um ambiente criativo e estimular o orgulho pelo trabalho, com um rigoroso programa de educação e de automelhoria, descobrindo como envolver todos os empregados.

2.5 O Ciclo PDCA para Controle de Processos

O Ciclo PDCA é um método de gestão que indica o melhor caminho a ser seguido para que as metas desejadas sejam alcançadas. PDCA vem das palavras inglesas *PLAN* (planejar), *DO* (fazer), *CHECK* (verificar) e *ACTION* (atuar). Para utilização do método poderá ser necessário o emprego de várias ferramentas (conhecidas como Ferramentas da Qualidade), que constituirão os recursos para coleta, processamento e disposição das informações fundamentais à condução de suas etapas, (WERKEMA, 1995, p. 27).

Para entender o funcionamento do Ciclo PDCA é necessário compreender os dois tipos de metas a serem atendidas, ou seja, as que são para manter e as que são para melhorar. Uma meta para manter é composta de um limite aceitável de valores para a variável que se deseja controlar. Já as que têm objetivos de melhoria partem do princípio que o cliente deseja sempre um produto melhor, mais barato e com o menor prazo de entrega possível.

Na primeira etapa, a do planejamento, deve-se definir objetivamente o problema, identificando sua importância, seus aspectos específicos e sua abrangência. Descobrir suas causas fundamentais e elaborar plano para eliminá-las. Para cada atividade constante do plano deverá ser definido o “5W1H”: O quê (*What*) será feito, Quando (*When*) será, Quem (*Who*) fará, Onde (*Where*) será, Por que (*Why*) e Como (*How*) será feito.

Nas segunda e terceira etapas (realização e verificação), é o momento de executar o plano que foi elaborado na etapa anterior, de forma a bloquear as causas identificadas como fundamentais e o momento de certificar-se de que as ações tomadas para o bloqueio das causas foram realmente efetivas, respectivamente.

A última etapa, a da ação, é o momento da prevenção. Devem-se listar os problemas remanescentes, que podem ser imediatamente tratados. A realização de uma reunião para analisar criticamente todas as atividades implementadas durante o ciclo e uma avaliação final dele são fundamentais nessa etapa.

Na figura 7, pode-se conferir a representação gráfica do Ciclo PDCA, destacando as etapas anteriormente discriminadas, que representam a seqüência de procedimentos para solucionar um problema identificado.

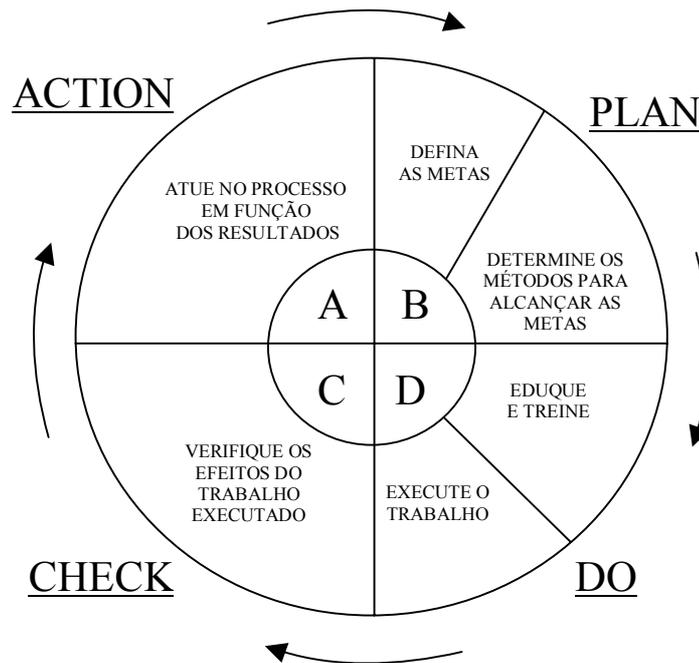


Figura 7 – Ciclo PDCA de Controle de Processos
Fonte: Campos (1992, p. 30)

A figura 7 mostra o ciclo composto das quatro fases básicas do controle: planejar, executar, verificar e atuar de forma corretiva.

2.6 Controle Estatístico de Processo

Antes da apresentação dos conceitos de alguns autores para o Controle Estatístico de Processo, é importante a definição dos significados de controle e de processo.

O controle, formalizado ou não, torna-se peça fundamental na asseguuração de que as atividades desenvolvidas por uma empresa possam ser realizadas da forma desejada pelos participantes da organização, contribuindo para a manutenção e melhoria da sua competitividade.

Segundo Hradesky (1988, p. 27), um processo resulta da combinação de elementos como: equipamentos, insumos, métodos ou procedimentos, condições ambientais, pessoas e informações, a fim de fabricar um bem ou prestar um serviço.

2.6.1 Definições

O Controle Estatístico de Processo (CEP) permite a comparação contínua dos resultados de um processo, desde que o mesmo tenha um padrão referenciado. O objetivo principal é manter um nível de capacidade e estabilidade, a fim de garantir a qualidade e produtividade de produtos e serviços.

O CEP não é um programa ou campanha que tem começo e fim - informa Sommer (2000, p.1), mas sim, uma filosofia de trabalho, onde um operador terá recursos para prevenir em tempo real um possível descontrole do processo produtivo, passando a ser responsável pela qualidade do que está fabricando.

Como diferenças sempre existem, pois não há dois produtos exatamente iguais que apresentem as mesmas características, o conceito da variabilidade, também chamada de variação ou dispersão, é muito importante para a compreensão do CEP.

Para Werkema (1995, p.2) a variabilidade está presente em todos os processos de produção de bens e fornecimento de serviços existindo muitas causas para a sua presença, uma vez que ela representa o resultado de alterações nas condições sob as quais as observações são tomadas. Essas alterações podem ter distintas origens. Como existem vários fatores atuando sobre um processo e afetando suas características de qualidade, estes fatores contribuem para provocar mudanças diversas nas características da qualidade dos produtos, podendo originar produtos defeituosos. Assim sendo, pode-se concluir que a presença de variabilidade é a grande “vilã” na produção de produtos defeituosos e que sua redução implica na diminuição do número de produtos fabricados com defeito.

As causas das variações no processo podem ser classificadas como causas comuns e causas especiais. As comuns são as inerentes ao sistema, como fatores climáticos ou propriedades do material. As especiais são as que podem ser identificadas e que ocorrem fora do sistema constante de variação.

Para Deming (1990, p.225) a importância de se saber separar as causas comuns das especiais é muito importante, porque 94% dos problemas e possibilidades de melhoria são baseados em causas comuns, sendo somente 6% baseados em causas especiais.

2.6.2 Importância

A importância principal do CEP está fundamentada no fato de que com a análise do processo e seus respectivos resultados é possível atuar objetivamente, a

fim de se conseguir e manter um nível de capacidade e estabilidade que garanta a qualidade e a produtividade dos itens produzidos.

De acordo com Juran & Gryna (1993, p.194), a maior parte dos problemas nos processos produtivos são originários de poucas causas. As técnicas estatísticas, quando utilizadas conjuntamente, são recursos poderosos para eliminação dessas causas e a redução econômica da variação em níveis bem baixos. Mesmo ainda existindo um nível mínimo de variação, o autor informa que à medida que as ferramentas estatísticas melhoram, esse nível diminui.

2.6.3 Normalidade da Distribuição de Dados

É possível verificar a normalidade das variáveis de interesse através do teste de **Jarque-Bera**. Essa estatística baseia-se nas diferenças entre os coeficientes de assimetria e curtose da distribuição amostral da série e da distribuição teórica normal e serve para testar a hipótese nula de que a amostra foi extraída de uma distribuição normal. Se a distribuição for normal, o valor da estatística deve ser menor ou igual a 5,99 (SAMOHYL, p. 11, 2001).

2.6.4 Ferramentas básicas do CEP

Várias ferramentas estatísticas são úteis para analisar os problemas da qualidade e melhorar o desempenho dos processos produtivos. Algumas dessas ferramentas serão utilizadas no estudo de caso, sendo detalhadas a seguir.

a) Diagrama de Linha

É considerada uma ferramenta estatística bastante simples e de larga utilidade. O Diagrama de Linha identifica a tendência de dados durante um determinado período, conforme se pode constatar na ilustração da figura 8, que representa a tendência de crescimento (em %) do comércio e do produto interno bruto (PIB) mundiais. Nela se pode observar que após uma queda de crescimento vertiginosa entre os anos 2000 e 2001, acompanhada pela queda do produto interno bruto, a tendência de recuperação do comércio e PIB evidencia-se a partir de 2001.

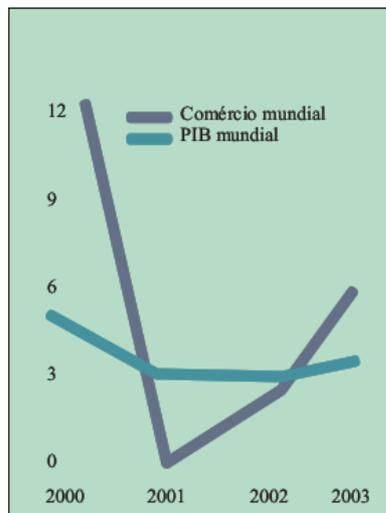


Figura 8 – Tendência de Crescimento do comércio e do PIB mundiais
Fonte: Revista Exame (dez 2002, p.86)

b) Diagrama de Pareto

Para a identificação visual da informação que facilite a priorização de problemas e ações, o gráfico de Pareto representa uma excelente ferramenta, porque dispõe a informação permitindo a concentração dos esforços para a melhoria nas áreas onde maiores vantagens podem ser obtidas.

Como a variação descrita pela distribuição estatística de uma determinada característica de qualidade pode ter distintas causas, Juran & Gryna (1993, p.194) informam que o princípio de Pareto indica que algumas dessas causas poderão ter um efeito maior em relação a variação total e outras, efeitos menores. Um exemplo disso seria o diagrama da identificação de 10 causas distintas de uma determinada variação e a grandeza relativa do efeito de cada uma, conforme visto na Figura 9.

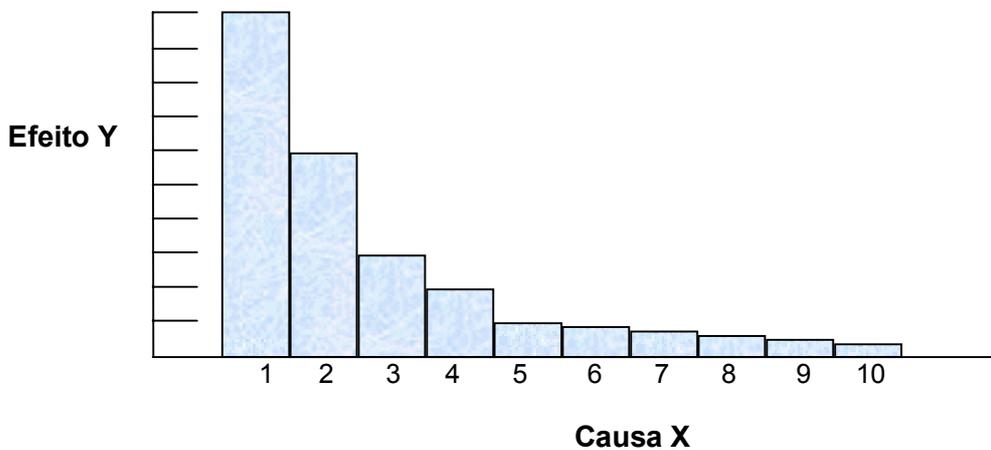


Figura 9 – Diagrama de Pareto
Fonte: Juran & Gryna (1993, p.195)

c) Diagrama de Causa-Efeito

Outra ferramenta bastante interessante no estudo dos processos é o Diagrama de Causa e Efeito, também conhecido como Diagrama de Espinha de Peixe ou Diagrama de Ishikawa. Esse diagrama é utilizado para mostrar a relação existente entre um resultado de um processo, considerado o efeito, e os fatores do processo, considerados as causas, que por razões técnicas, possam afetar o resultado considerado.

Para Hradesky (1988, p.61), as causas podem ser variáveis ou fatores que contribuem com a variação ou o nível resultante do efeito. Podem ser provocados por pessoas, métodos empregados, materiais, medições ou movimentos. O efeito é, em geral, uma característica de performance que resulta de uma causa específica e se manifesta como um sintoma. Para sua construção deve ser composto um grupo de pessoas envolvidas com o processo considerado. É muito importante a participação do maior número possível de pessoas envolvidas, para que assim não haja omissão de causas relevantes. A figura 10 ilustra um modelo desse diagrama.

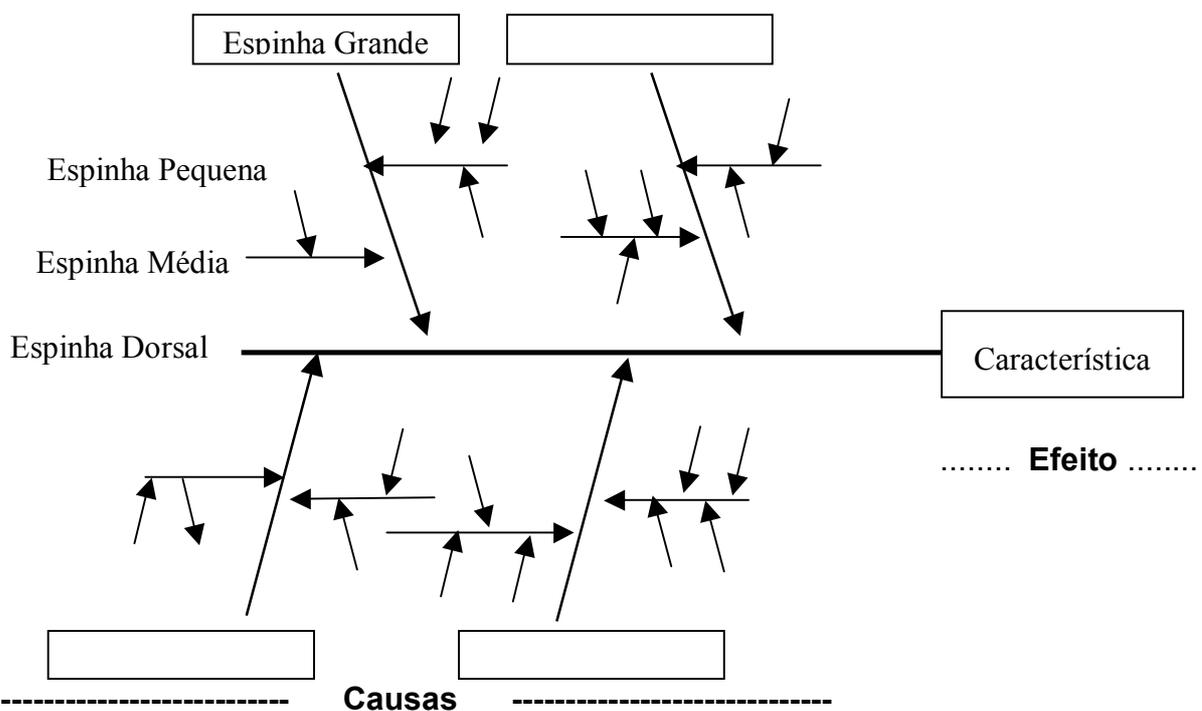


Figura 10 – Estrutura do Diagrama de Causa e Efeito
 Fonte: Werkema (1995, p. 103)

Na construção do diagrama, pode-se aplicar a técnica conhecida como “*brainstorming*”, utilizada para fazer as pessoas produzirem o máximo possível de idéias em um curto prazo. O diagrama descreve o problema dentro do retângulo da característica. Nas espinhas grandes, as causas primárias; nas médias as causas

secundárias que afetam as primárias e nas pequenas, as causas terciárias, que afetam as secundárias.

A seguir, um resumo da proposta de Hradesky para elaboração do diagrama:

- 1- Promover um encontro de todas as pessoas envolvidas com o problema e que tenham conhecimento e experiência a respeito dele;
- 2- Esclarecer o efeito;
- 3- Usar a técnica do “brainstorming”, produzindo maior número de idéias.
- 4- Determinar a importância das causas;
- 5- Identificar as causas que afetam a característica do processo;
- 6- Promover as ações corretivas.

d) Diagrama de Dispersão

Um Diagrama de Dispersão representa graficamente a relação entre duas variáveis quantitativas. Nele, as duas variáveis são plotadas com o uso de coordenadas x e y, de forma que os pontos informem a existência ou não de correlação entre elas.

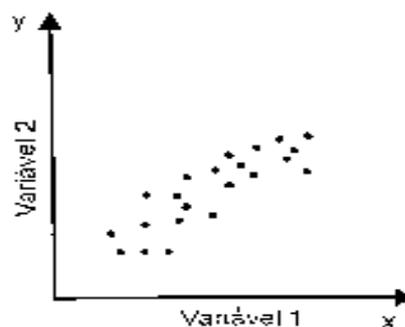


Figura 11 – Possível aspecto de um Diagrama de Dispersão
Fonte: Werkema (1995, p.176)

Um possível aspecto para um Diagrama de Dispersão está ilustrado na figura 11, onde os pontos representados formam um padrão de agrupamento, indicando uma correlação.

e) Fluxograma

Para que se implementem melhorias em um processo é necessário que ele seja devidamente compreendido por todos. O fluxograma atende esta necessidade, uma vez que representa graficamente, por meio de símbolos geométricos, o número de etapas a seguir para solucionar um problema ou atender um processo.

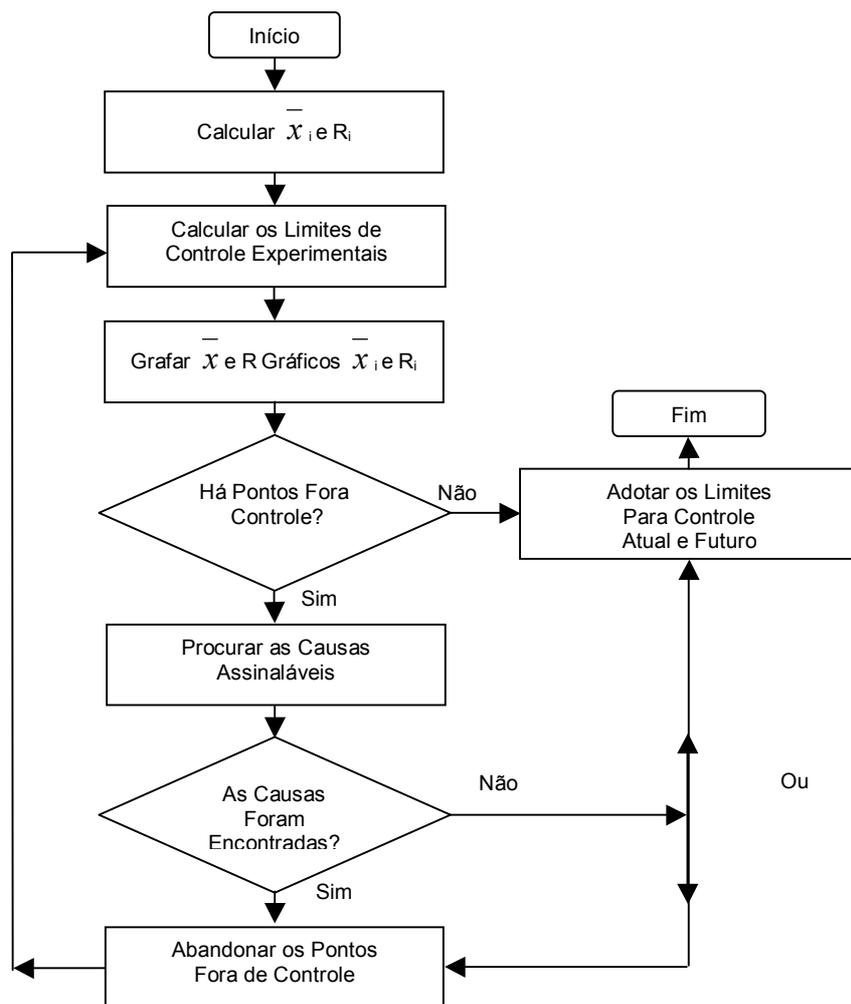


Figura 12 – Fluxograma de Construção e Utilização Gráficos de Controle \bar{x} , R
 Fonte: Werkema (1995, p.210)

Na figura 12 está ilustrado um exemplo prático da utilização de um fluxograma, apresentando um roteiro para construção de gráficos de controle.

f) Histograma

O Histograma é um recurso gráfico composto por diagramas de barras justapostas em que as áreas das barras são proporcionais às freqüências de cada valor, possibilitando diagnosticar forma, tendência central e dispersão de dados.

A distribuição de freqüência da concentração de cafeína apresentada na tabela 3, página 30, pode ser representada através do histograma ilustrado na figura 13, seguinte.

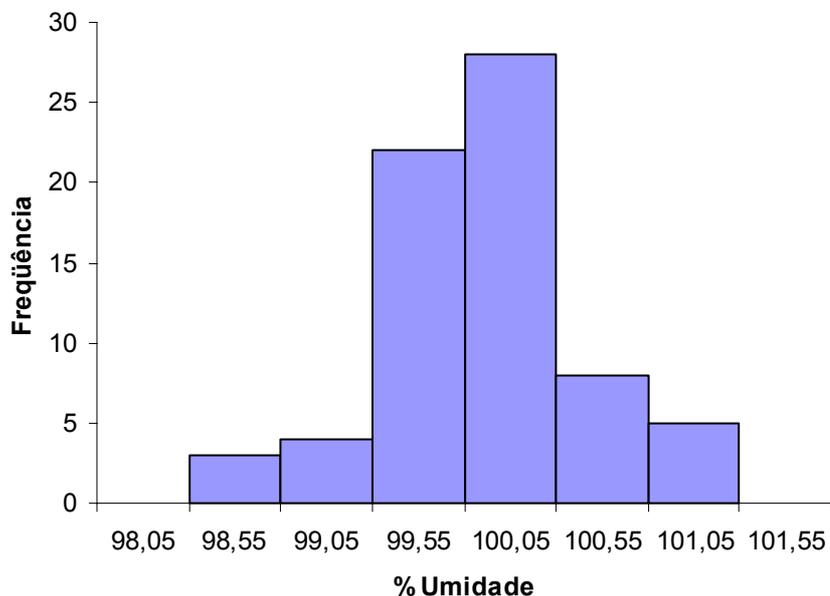


Figura 13 – Histograma da Concentração do % de pureza na cafeína
Fonte: Exnama, em 2002

Devido a importância da ferramenta Gráfico de Controle no acompanhamento da variabilidade de processos, seu estudo detalhado será realizado a seguir.

2.7 Gráfico de Controle

Como num controle estatístico, a verificação da estabilidade do processo é fundamental, já que processos instáveis contribuem para formação de produtos defeituosos, perda de produção e baixa qualidade, as Cartas de Controle ou Gráficos de Controles são ferramentas fundamentais para o monitoramento da variabilidade e avaliação da estabilidade do processo.

2.7.1 Definições

Uma forma de monitorar as variações nas características de um produto ou serviço, considerando a dimensão do tempo no qual o sistema os produz, pode-se conseguir com a utilização de Gráficos de Controle. Para Levine et al. (1998, p.469) esses gráficos podem ser usados para estudar o desempenho passado e/ ou para avaliar as condições atuais de um processo, servindo de base para sua melhoria.

No controle estatístico de processo o uso de técnicas estatísticas é fundamental para verificação das tendências de variações significativas no processo analisado. Uma das ferramentas básicas são os Gráficos de Controle, que são representações gráficas onde se estabelecem os limites nos quais uma variável do processo ou característica de qualidade do produto deve se manter ao longo do tempo, isto é, determinam o grau de estabilidade e a capacidade do processo. Foram desenvolvidos pelo Dr Walter A Shewhart, do Bell Telephone Laboratories, (Juran & Gryna 1993, p.191). Depois de analisar muitos processos diferentes, Shewhart concluiu que todos os processos de fabricação apresentam variação. Também identificou dois componentes: um estável e outro intermitente. Shewhart

atribuiu variação “aleatória” às causas acidentais e variação intermitente às determináveis, concluindo que as causas determináveis poderiam ser economicamente descobertas e eliminadas através de um eficiente programa de diagnóstico e que as causas aleatórias não poderiam nem ser economicamente descobertas e nem removidas sem que se promovessem mudanças fundamentais no processo.

A variação das características de qualidade pode ser quantificada pela amostragem do resultado do processo e estimativa dos parâmetros de sua distribuição estatística. Os Gráficos de Controle revelam as mudanças dos parâmetros em função do tempo.

Para Juran & Gryna (1993, p. 198), os Gráficos de Controle podem ser decisivos na aceitação do produto. Processos que são capazes de atender as especificações e estão sob controle estatístico são os primeiros candidatos ao controle por amostragem. Para o autor, os gráficos de controle são comumente utilizados quando se deseja:

- a) Alcançar um estado de controle estatístico;
- b) Monitorar um processo;
- c) Determinar o quanto o processo está apto (depois que o processo está sob controle, seus limites de variação podem ser determinados).

Segundo Werkema (1995, p.198) os Gráficos de Controle são ferramentas para o monitoramento da variabilidade e avaliação da estabilidade de um processo.

A figura 14 exemplifica dois gráficos típicos, onde se pode verificar o comportamento de uma amostra em relação a uma determinada variável.

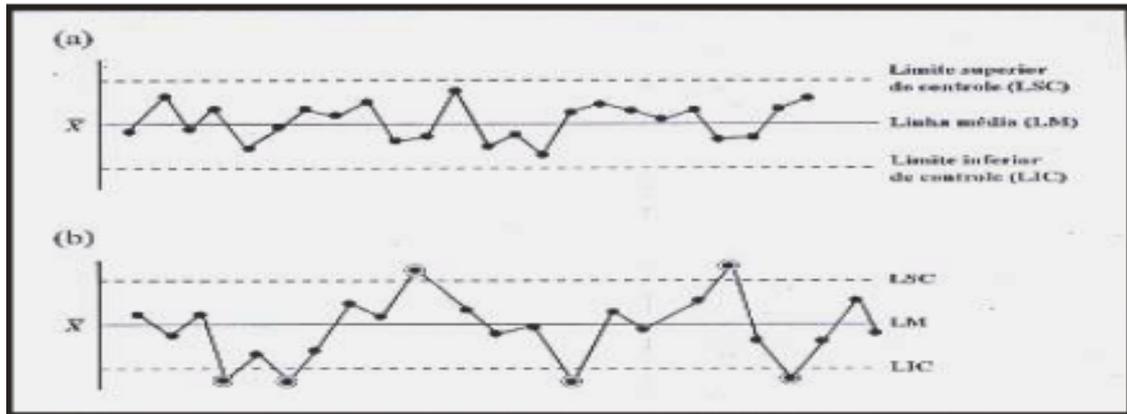


Figura 14 – Exemplos de Gráficos de Controle
Fonte: Werkema (1995, p.200)

Para Montgomery (2001, p.160), a maior importância no uso dos Gráficos de Controle está na melhoria do processo, pois eles identificam causas assinaláveis. A eliminação delas contribui para a redução da variação.

2.7.2 Tipos de Gráficos de Controle

A escolha do tipo de Gráfico de Controle a utilizar em um processo está diretamente ligada ao tipo de processo trabalhado e a variável a ser avaliada (quantitativa ou qualitativa), assim como a natureza dos dados (contínuos e/ou discretos). Existem dois tipos:

- **Gráficos de Controle para Variáveis:** quando se expressa a qualidade da característica através de um número em uma escala contínua, pode-se utilizar como exemplo o Gráfico de Controle do rendimento de uma reação química -

informa Werkema (1995, p.200). As amostras utilizadas para sua elaboração, normalmente consistem em mais de uma medição individual, sendo chamadas de subgrupos. Normalmente se utilizam quatro ou cinco medições.

- **Gráficos de Controle por Atributos:** quando o gráfico representa as medidas de contagem do número de itens do produto que possuem um atributo, ou seja, uma característica particular de interesse. Nesse caso - informam Levine et al. (1998, p.480) - os itens da amostra são classificados de acordo com o fato de estarem ou não em conformidade com os requisitos definidos na operação. Para este tipo, diferente dos gráficos para variáveis, o tamanho do subgrupo (n) depende do tipo de gráfico utilizado.

2.7.3 Aplicação dos Gráficos de Controle

Alguns dos Gráficos de Controle para variáveis e atributos, que têm sido amplamente utilizados, serão apresentados na seqüência.

2.7.3.1 Gráfico de Controle para Variáveis

- **Gráficos de Controle para Média e Amplitude \bar{x} e R:** são muito utilizados quando a característica da qualidade de interesse é representada por um número em uma escala contínua de medida. Devem ser utilizados simultaneamente. De acordo com Werkema (1995, p. 209), as seguintes observações devem ser feitas na construção e utilização desses tipos de Gráficos de Controle:

- 1^a - Considerar os limites de controle obtidos como **limites de controle experimentais**, permitindo avaliar se o processo estava sob controle quando as primeiras amostras foram selecionadas. Se todos os pontos estiverem dentro dos limites de controle, não havendo evidência de configuração não aleatória, pode-se concluir que o processo estava sob controle quando foram retiradas as amostras preliminares. Assim sendo, os limites de controle experimentais são apropriados para controlar a produção atual e futura, podendo ser adotados para o controle do processo. Porém, se um ou mais pontos estiverem fora dos limites de controle, é necessário revisar os limites de controle experimentais. Isso pode ser feito por meio do exame detalhado de cada ponto fora dos limites. Se uma causa assinalável for encontrada, o ponto deverá ser desprezado e os limites de controle deverão ser recalculados, usando somente os pontos remanescentes.
- 2^a - Para que um processo seja considerado “sob controle estatístico” é necessário que ele esteja estável em relação à média e à variabilidade da característica da qualidade de interesse.
- 3^a- Construir e analisar primeiro o Gráfico de Controle R. Se ele indicar que o processo não está sob controle em relação a variabilidade, não vale a pena neste momento a construção e interpretação do gráfico das médias. Isso ocorre porque a estimativa do desvio padrão utilizada na construção do gráfico \bar{x} deve ser proveniente de um processo sob controle.

- 4^a- Havendo alterações nos fatores que compõem o processo, os limites de controle dos gráficos deverão ser reavaliados, a partir de novas amostras preliminares obtidas para a nova situação do processo.

O fluxograma para a construção e utilização dos gráficos \bar{x} e R, seguindo as etapas apresentadas nas observações anteriores, pode ser visualizado através da figura 12, da página 56.

- **Gráficos de Controle para Média e do Desvio Padrão s:** A estimativa do desvio padrão σ partindo da amplitude média R é apropriada para pequenas amostras ($n \leq 10$). Para amostras de maior tamanho, R perde eficiência para estimar σ , quando comparada com o desvio padrão amostral **s**. Recomenda-se então a utilização do desvio padrão amostral **s**.

- **Gráfico de Soma Acumulada (CUSUM):** os gráficos estudados anteriormente têm a desvantagem de somente levar em consideração as informações do processo obtidas no momento atual não levando em consideração as ocorrências anteriores. O Gráfico de Controle das Somas Acumuladas, CUSUM (*Cumulation Sum Control Charts-CSCC*), é particularmente bom na detecção de mudanças abruptas na média, de **$0,5\sigma$** para **$2,0\sigma$** , (JURAN, 1993, p.226).

- **Gráfico para a Média Móvel Exponencialmente Ponderada (EWMA):** Muito efetiva na detecção de pequenas variações porque plota uma média ponderada de todas as observações passadas e atuais, (MONTGOMERY, 2001, p. 13).

- **Gráficos de Controle para Medidas Individuais x e Amplitude Móvel AM:** São gráficos utilizados quando apenas uma observação por partida ou lote está disponível. Diferente dos limites de controle para médias, os limites de controle para medidas individuais podem ser comparados diretamente com os limites de tolerância, conforme Juran & Gryna (1993, p.215).

Montgomery (2001, p.249) cita como exemplos da utilização desses gráficos os processos onde a inspeção é automatizada, a taxa de produção é baixa ou quando por erro da análise é necessário repetir diferentes medidas em um processo (como ocorre em muitos processos químicos).

2.7.3.2 Gráficos de Controle para Atributos

- **Gráfico da Proporção de Itens Defeituosos (p):** utilizado quando a característica da qualidade estudada é representada pela proporção dos itens não-conformes produzidos no processo considerado. A fração não-conforme “p” é a taxa de itens não-conformes em relação ao total de itens num subgrupo.
- **Gráfico de Controle para Número de Unidades Não-Conformes (np):** “np” é o número de unidades não-conformes num subgrupo. As diretrizes para a confecção deste gráfico são as mesmas que as do Gráfico “p”, excetuando-se que todos os tamanhos de subgrupos devem ser os mesmos.
- **Gráfico de Controle para Não-Conformidades por Unidade (u):** utilizado quando há várias não-conformidades independentes por unidade de produto.

- **Gráfico de Controle para Número de Não-Conformidades (c):** utilizado nos casos em que se faz necessário o controle do número total de defeitos em uma unidade do produto.

O quadro 2 apresenta um guia que compara vários Gráficos de Controles.

Tipo Dado	Parâmetro	Uso Típico	Vantagem	Desvantagem	Comentário
Variáveis					
\bar{X} e R/s	Média e amplitude ou desvio padrão do subgrupo	Processo onde predomina o uso da máquina	Uma ótima visão da variação estatística de um processo	Cálculos complexos: resposta demorada: relação indireta entre limites de controle e tolerância	Selecionar cuidadosamente o tamanho do subgrupo, frequência e número de subgrupos usados para o estabelecimento e restabelecimento de limites de controle.
X e AM	Medida individual e amplitude móvel do subgrupo	Onde apenas uma observação por lote é disponível	Mais rápidos e fáceis de serem completados e explicados. Comparáveis diretamente à tolerância	Não tão sensíveis quanto os gráficos X e R	
Cusum	Soma acumulada do desvio da média de subgrupo em relação a um valor referência	Produto ou teste de alto custo, onde mudanças de $0,5\sigma$ a 2σ são comuns	Resposta mais rápida à mudança abrupta na média do que gráficos X e R	Complexa, difícil de ser explicada	O PRÉ-controle é mais rápido e mais simples
Atributos					
P np u c	Fração não-conforme. Número de não-conformidades. Não-conformidades por unidade. Número de não conformidades	Apenas dados de atributos disponíveis para monitorar qualidade de uma unidade complexa com mais de uma característica de interesse	Os dados são geralmente mais fáceis de se obter do que os dados das variáveis. Os cálculos são mais fáceis que no gráfico X	Atributos não são tão úteis para trabalho de diagnóstico quanto os dados variáveis	À medida que a qualidade melhora, os subgrupos ficam maiores. Conseqüentemente, todos os gráficos de atributos devem tornar-se obsoleto.

Quadro 2 – Guia para Gráfico de Controle

Fonte: Juran & Gryna (1993, p.209)

O quadro anterior pode servir de ajuda no momento de identificação do tipo de Gráfico de Controle a ser utilizado, de acordo com o processo estabelecido, sempre objetivando a execução de itens que estejam em conformidade com as especificações.

Para elaboração de um Gráfico de Controle deve-se sempre partir da definição da característica a ser avaliada, dando maior prioridade às características que estejam apresentando defeito no processo produtivo. Uma análise de Pareto pode ajudar a estabelecer essas prioridades. São necessários também, a identificação das variáveis e condições do processo que contribuem com as características finais do produto (escolher sempre as que oferecem dados para diagnósticos) e o ponto no processo produtivo para aplicação do teste para que o gráfico possa servir como um dispositivo eficaz na prevenção da não-conformidade. Posteriormente, escolha o tipo de gráfico que possa contribuir com a eliminação dos itens que não apresentam conformidade com o especificado.

2.8 Avaliação da Qualidade de Medidas

A avaliação estatística da qualidade das medições é de fundamental importância, pois as decisões dentro do processo são baseadas nos dados que muitas vezes são resultados das medições realizadas. A avaliação da capacidade dos sistemas de medição empregados no processo é fundamental para a validação desses dados.

Os conceitos considerados fundamentais para o entendimento das fontes de variação associadas aos processos de medição estão discriminados a seguir:

- **Vício do Instrumento de Medição:** Diferença entre o valor real da característica medida e a média da distribuição dos resultados lidos no instrumento.

- **Precisão do Instrumento de Medição:** Quantificação da proximidade entre as medidas individuais da característica estudada gerada pelo instrumento.

- **Acurácia do Instrumento de Medição:** Quantificação da proximidade existente entre o valor da característica estudada e os resultados fornecidos pelo instrumento.

- **Repetibilidade do Instrumento de Medição:** Variação nas medidas obtidas quando um operador utiliza o instrumento para medir repetidas vezes a característica estudada dos mesmos itens.

- **Reprodutibilidade do Instrumento de Medição:** Variação na média das medidas obtidas quando diferentes operadores utilizam o instrumento para medir repetidas vezes a característica estudada.

- **Porcentagem da Tolerância:** Comparação do instrumento de medição com o cumprimento da faixa de especificação (LSE – LIE) para a variável estudada.

Quando a medição é percebida como um processo que está sujeito à variabilidade, ou seja, a incertezas, é fundamental a percepção da necessidade de se quantificar as fontes de variação que estão associadas à medição, informa Werkema (1996, p.11).

Nas medições de variáveis, os principais fatores responsáveis pela variabilidade associada aos processos de medição são, em geral:

- Desgaste do equipamento de inspeção;
- Posição do item a ser medido no equipamento de medição;
- Condições do ambiente, onde se realiza a medição;
- Procedimento de medição inadequado;
- Falta de calibração do instrumento de medição.

Nas medições por atributos, quando não é possível calcular o percentual do limite de especificação, a ênfase é dada a avaliação da eficácia ou capacidade do operador em detectar repetidamente itens perfeitos ou defeituosos e da tendência com que o operador recusa unidades perfeitas e aceita unidades imperfeitas.

Para Hradesky (1987, p.90), os conceitos de repetibilidade e reprodutibilidade para atributos são os mesmos para variáveis, mas a forma de mensuração é completamente diferente.

O quadro 3, ilustrado na próxima página apresenta as medições utilizadas por Hradesky, para um estudo de dados por atributo.

$$\text{Eficácia - E} = \frac{\text{Número de itens perfeitos}}{\text{Número de itens defeituosos}}$$

$$\text{Probabilidade de Classificar Errado - P(CE)} = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Nº total de oportunidades de falhas}}$$

$$\text{Probabilidade de Alarme Falso - P(AF)} = \frac{\text{Número de alarmes falsos}}{\text{Nº total oportunidades de alarmes falsos}}$$

Quadro 3 – Itens para Avaliação de um Sistema de Classificação por Atributos

Fonte: Hradesky (1987, p. 90)

2.9 Capacidade de Processos

De acordo com Montgomery (2001, p.350), a análise da capacidade do processo envolve diversas técnicas estatísticas durante todo o processo produtivo, com atividades de desenvolvimento anteriores à fabricação, a quantificação da variabilidade do processo, sua análise em relação às especificações do produto, contribuindo para que as pessoas envolvidas no processo eliminem ou reduzam de forma substancial essas variações.

Processos que possuem variabilidade controlada podem produzir itens defeituosos - informa Werkema (1995, p.5). Não sendo suficiente apenas colocar e manter o processo sob controle e sim fundamental avaliar se ele é capaz de atender às especificações estabelecidas a partir das necessidades dos clientes. Se o processo é instável, seu comportamento é imprevisível e portanto não faz sentido avaliar a sua capacidade.

2.9.1 Características e Importância

A capacidade de um processo pode ser verificada através da comparação entre os seus limites naturais e seus limites especificados. Os limites naturais de um processo estável representam os pontos localizados a mais ou menos 3σ de cada lado da média do processo, ou seja:

$$\text{Limite Natural Inferior LNI} = \mu - 3 \hat{\sigma} \quad \text{e} \quad \text{Limite Natural Superior LNS} = \mu + 3 \hat{\sigma}$$

$$\text{Onde } \mu = \bar{x} \quad ; \quad \hat{\sigma} = \text{desvio padrão estimado} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{\bar{s}}{c_4}$$

Obs: d_2 e c_4 são constantes obtidas através da tabela C.2, Anexo B, p. 138.

Para a melhor visualização e análise dos dados dentro do processo, utilizam-se os índices de capacidade que são números adimensionais, que permitem a medição da capacidade que possui o processo no atendimento às especificações exigidas. Para sua utilização é necessário que o processo esteja sob controle estatístico e que a variável de interesse apresente uma distribuição normal.

2.9.2 Índice de Potencial do Processo (Cp)

Utilizado para medir a dispersão do processo, isto é, o quanto o processo é capaz de atender as especificações exigidas. Pode ser determinada através da equação seguinte:

$$C_p = \frac{LSE-LIE}{6 \hat{\sigma}}$$

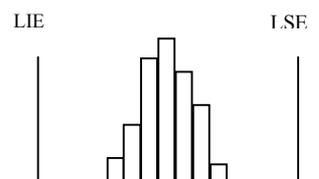
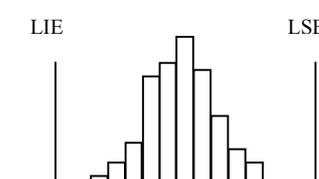
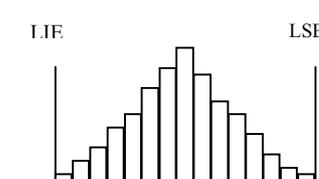
Onde,

LSE representa o limite superior de especificação,

LIE o limite inferior de especificação e σ o desvio padrão

Quanto maior for o valor de **C_p**, maior será a capacidade do processo em atender as especificações, desde que a média μ tenha sua posição centrada no valor nominal. Para **C_p** inferior a 1 o sistema é considerado Não Capaz.

O quadro 4 apresenta os critérios, utilizados por várias empresas, para classificação de processos de acordo com o índice C_p.

CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO	VALOR DE C _p	COMPARAÇÃO DO HISTOGRAMA COM AS ESPECIFICAÇÕES	PROPORÇÃO DE DEFEITUOSOS
CAPAZ OU ADEQUADO (VERDE)	$C_p \geq 1,33$	LIE  LSE	$p \leq 64 \text{ ppm}$
ACEITÁVEL (AMARELO)	$1 \leq C_p < 1,33$	LIE  LSE	$64 \text{ ppm} < p \leq 0,27\%$
INCAPAZ OU INADEQUADO (VERMELHO)	$C_p < 1$	LIE  LSE	$p > 0,27\%$

Quadro 4 – Classificação de Processos a Partir do Índice C_p.
Fonte: Werkema (1995, p. 280)

2.9.3 Índice de Desempenho do Processo (**Cpk**)

Utilizado para a identificação da localização da dispersão do processo, ou seja, a posição da média em relação aos limites estabelecidos.

Pode-se determinar o **Cpk** considerando-se o limite superior e inferior da especificação, média estimada e desvio padrão, conforme demonstrado a seguir:

$$\text{CPU} = \frac{\text{LSE} - \mu}{3\hat{\sigma}} \qquad \text{CPL} = \frac{\mu - \text{LIE}}{3\hat{\sigma}}$$

O **Cpk** pode ser interpretado como uma medida da capacidade real do processo, uma vez que é calculado em relação ao limite de especificação mais próximo da sua média. Quando a média do processo é igual ao valor nominal especificado, **Cpk** se iguala ao **Cp**. O valor mínimo exigido para o **Cpk** é 1,33. Quanto menor o **Cpk** maior será a dispersão do processo, ou seja, maior será o afastamento da média do processo em relação ao valor médio de especificação.

Como o **Cpk** mede simultaneamente a posição e a dispersão, de acordo com Sommer (2000, p.6), algumas empresas preocupadas com a melhoria contínua de seus processos, já solicitam que seus fornecedores informem os seus índices, objetivando assim a comprovação de suas ações de melhorias. Esta verificação pode ser comparando os últimos resultados apresentados com os anteriores.

A figura 15 apresenta as ações a serem adotadas para melhorar a capacidade do processo, em função da comparação do **Cp** e **Cpk**.

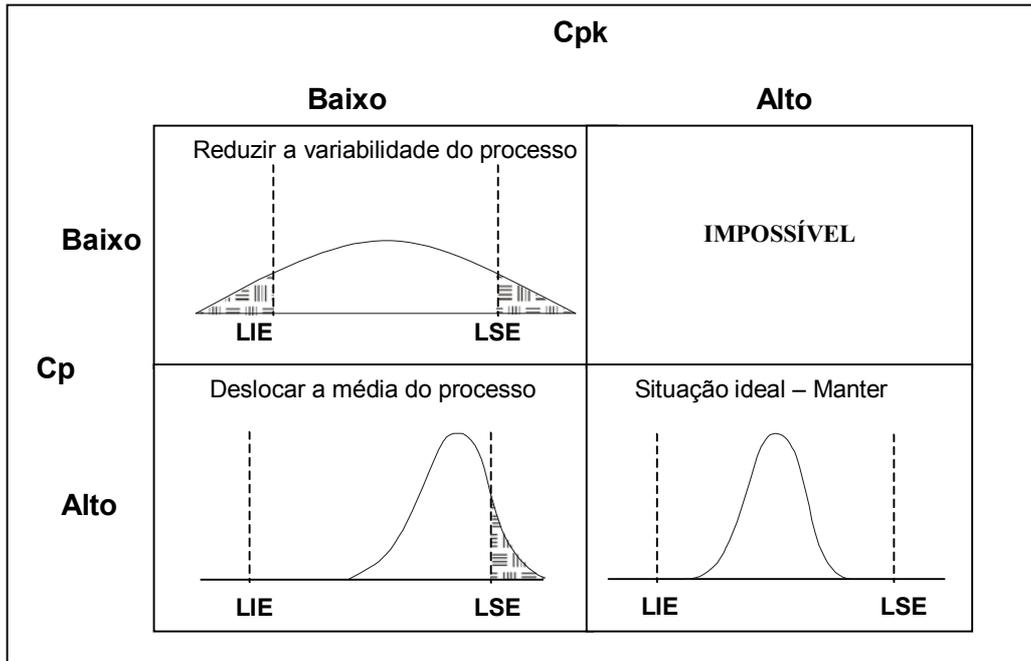


Figura 15 - Ação a ser Adotada para Melhorar Capacidade de Processo
 Fonte: Werkema (1995, p.283)

2.10 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentadas informações básicas sobre o produto cafeína, como conceitos, processos e utilizações. Também foram estudados os elementos de estatística que propiciam a compreensão das ferramentas citadas e utilizadas em Controles Estatísticos de Processos.

Foi realizada uma abordagem à Qualidade, considerando sua importância para as empresas que atuam num mercado cada vez mais competitivo e exigente. Esses conceitos e ferramentas servirão de suporte básico para a proposta de modelo a ser aplicado na empresa Exnama - Extratos Naturais da Amazônia.

No próximo capítulo será realizada uma apresentação da empresa Exnama, seu histórico e enfoques do processo produtivo, produto e suas especificações.

3 PROCESSO DE PRODUÇÃO ATUAL DA CAFEÍNA

O estudo aqui apresentado tem por finalidade a implantação do CEP em uma empresa de médio porte, Exnama – Extratos Naturais da Amazônia Ltda, cuja atividade industrial principal é a purificação de cafeína, a partir do produto em sua fase bruta.

Este capítulo apresenta um histórico da empresa, doravante intitulada apenas por Exnama e o detalhamento do seu processo produtivo, com a apresentação do seu macro fluxo e a identificação dos pontos utilizados para inspeção. Apresenta também, informações a respeito do produto fabricado e comercializado pela empresa, com suas especificações e tolerâncias.

3.1 A Empresa Exnama

3.1.1 Considerações Gerais

Exnama é uma empresa pertencente ao grupo empresarial espanhol Natra S.A. Foi fundada no ano de 2000 mediante a constituição de uma nova atividade extrativa e de purificação de alcalóides, da sociedade matriz. Está localizada no distrito industrial da cidade de Manaus, no Amazonas, ocupando um espaço de 32.000 m², com 6.000 m² de área construída. Possui 25 funcionários diretos, tendo iniciado a purificação de cafeína em junho de 2002.

3.1.2 Histórico

O grupo Natra S.A. iniciou suas atividades através dos Laboratórios Natra, localizado na cidade de Valência, Espanha, em agosto de 1950, com a finalidade de extrair teobromina de cacau e por via semi-sintética obter cafeína para ser utilizada com fins farmacêuticos e alimentícios. Posteriormente, a sociedade estabeleceu uma atividade de produção de derivados de cacau, que com o passar do tempo resultou ser a atividade principal da sociedade.

Em junho de 1962, os Laboratórios Natra se constituíram em uma empresa de mercado aberto, a Natra S.A., que tem como objetivo social a elaboração e comercialização de produtos químicos e alimentícios, exploração de plantações agrícolas e produtos tropicais, construção e comercialização de imóveis e participação no capital de outras empresas com objetivo social idêntico ou análogo.

O grupo Natra é constituído por 06 empresas. Além da **Exnama**, formam o grupo as seguintes empresas: **Natra Cacao e Chocolate**, fabricante de manteiga de cacau e chocolate em pó; **Natraceutical** - fabricante cafeína, produtos farmacêuticos e extratos naturais; **Torre Oria** - fabricante de vinhos; **Apra** - negócios com cacau e produtos naturais, **Natra US Inc** - representante americana para comercialização dos produtos do Grupo.

Assim sendo, Exnama é depositária da atividade de fundação do Grupo e por ele, do conjunto de experiências e conhecimentos desenvolvidos ao largo deste tempo.

Para melhor compreensão de como o grupo Natra atua, a figura 16 apresenta o seu organograma empresarial. Pode-se comprovar que, com exceção da empresa Natraceutical que possui ações negociadas na bolsa de valores de Madri, o grupo detém 100% do capital das empresas diretamente ligadas a ele.

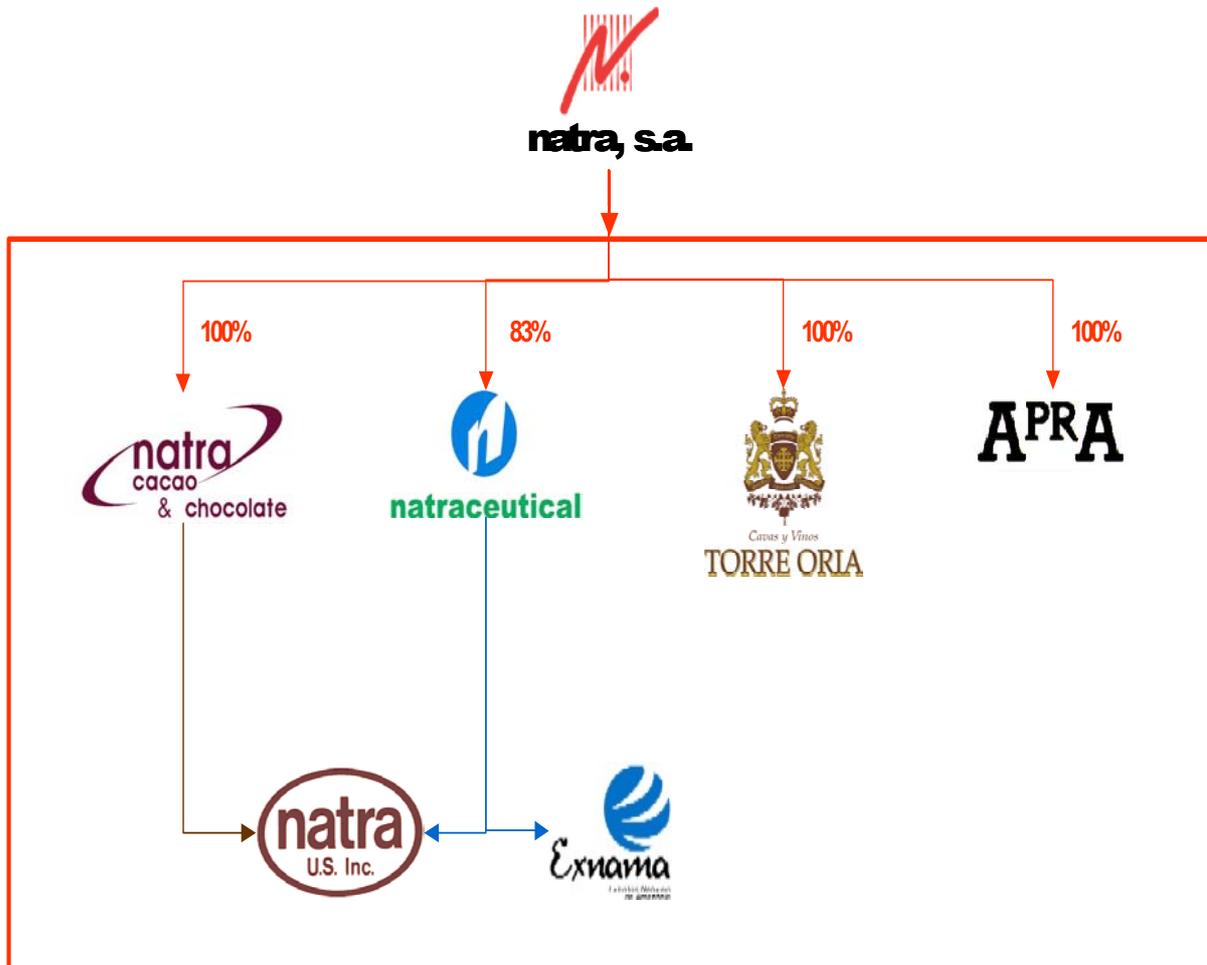


Figura 16 - Organograma do Grupo Natra S.A.
Fonte: Natra S.A.

Exnama iniciou suas atividades produtivas na cidade de Manaus em junho de 2002, com a purificação de cafeína, partindo de extratos brutos de xantinas como matéria-prima. Do seu projeto de ampliação fazem partes outras purificações e extrações de produtos naturais.

3.2 O Processo de Produção

A empresa Exnama possui uma capacidade produção de cafeína instalada na ordem de 1.200 toneladas por ano. Sua unidade fabril opera em três turnos diários, sendo seu processo de produção bastante otimizado, não havendo distorção em quaisquer das etapas inter-relacionadas que possa comprometer sua eficiência.

Na Figura 17 a seguir, pode ser visualizado o fluxo das etapas de processamento que ocorrem na Exnama, a partir do recebimento da matéria-prima até a expedição.

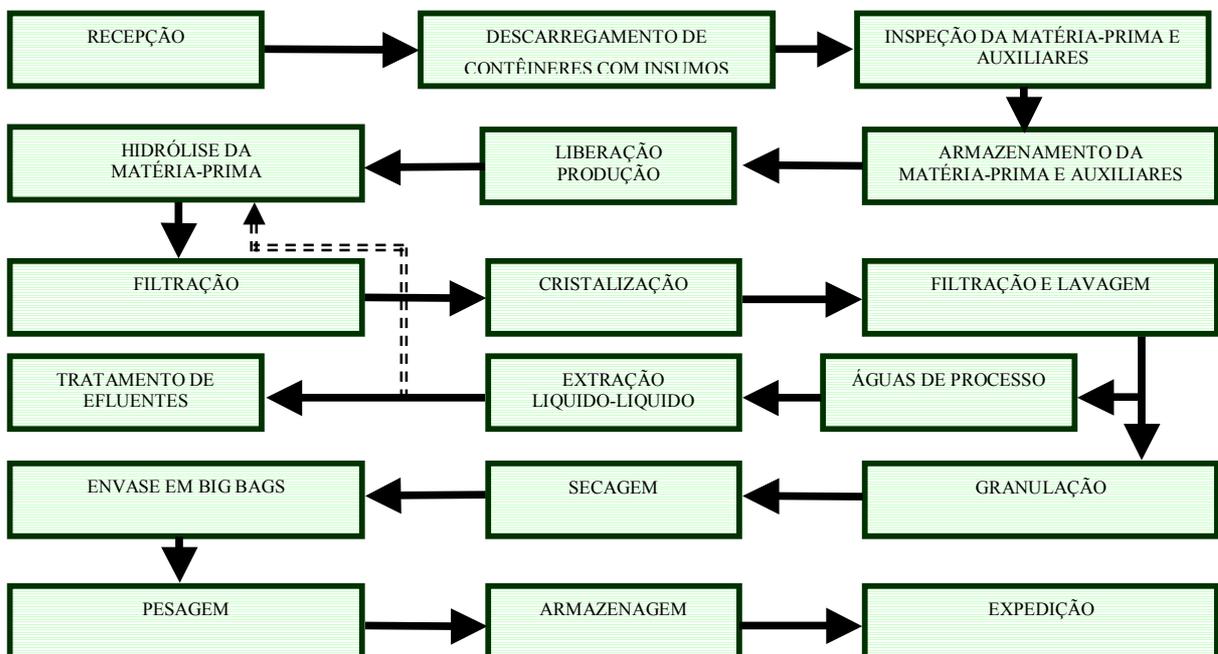


Figura 17 – Fluxo do Processo de Fabricação de Cafeína
Fonte: Exnama, em julho de 2002

Após a recepção da matéria-prima e dos materiais auxiliares de produção, são realizadas as análises para verificação da conformidade dos produtos recebidos em relação as especificações previamente estabelecidas. Em seguida, os materiais são classificados por suas naturezas e encaminhados aos armazéns específicos. Posteriormente, de acordo com a programação de produção e requisições do setor de produção, são liberados para o consumo.

De maneira bem sintética, o macro fluxo de processo pode ser apresentado, conforme a figura 18, onde se evidenciam as etapas de inspeção.

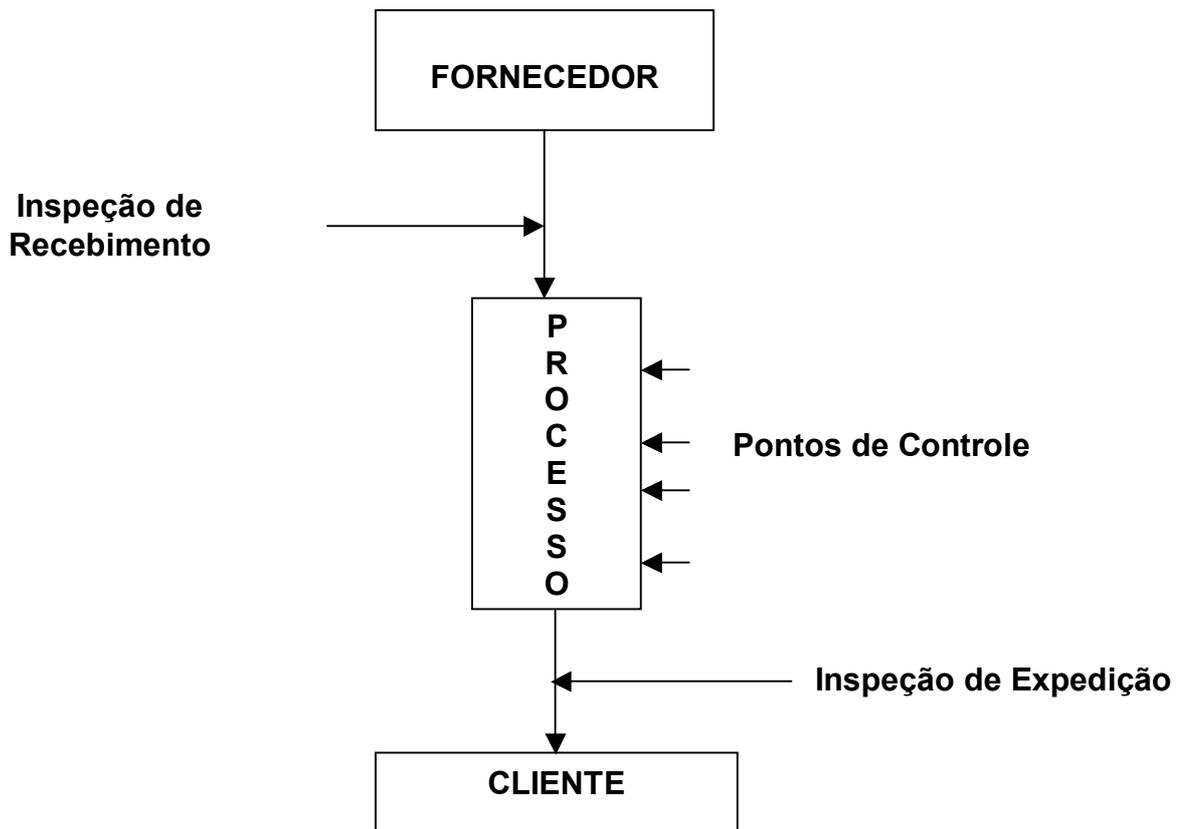


Figura 18 – Macro Fluxo da Produção de Cafeína
Fonte: Exnama, em julho de 2002

Os locais de inspeção do processo estão discriminados na tabela 4, a seguir.

Tabela 4 – Locais de Inspeção do Processo de Fabricação de Cafeína

VARIÁVEL	LOCAL DE INSPEÇÃO	LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO
PH da Hidrólise	Reator	2,5 - 3,5
Temperatura da Dissolução	Reator	70 - 85 °C
PH para Cristalização	Reator	7,0 - 8,5
Temperatura de Cristalização	Cristalizador	20 – 25°C
Umidade	2ª Filtração	20 -25%
Aparência	2ª Filtração	100%
Concentração Águas Processo	Extração	20-25g/l
Umidade	Secador	0 - 0,25%
Concentração Águas Esgotadas	Extração	0 – 2g/l

Fonte: Exnama

A matéria-prima e os materiais auxiliares utilizados pela Exnama são inspecionados pelo Setor de Qualidade durante o processo de recebimento. O extrato bruto de cafeína possui, além de alto teor de cafeína, impurezas, umidade e presença de outros alcalóides.

Após a garantia de que se encontram dentro das especificações exigidas, são liberados para acondicionamento em armazéns próprios, aguardando a solicitação para suas utilizações no processo de purificação.

Todo o processo de purificação está automatizado, sendo suas etapas controladas por um *software* instalado em um microcomputador localizado na sala de controle de operação. Um esquema macro da purificação pode ser visualizado através da figura 19.

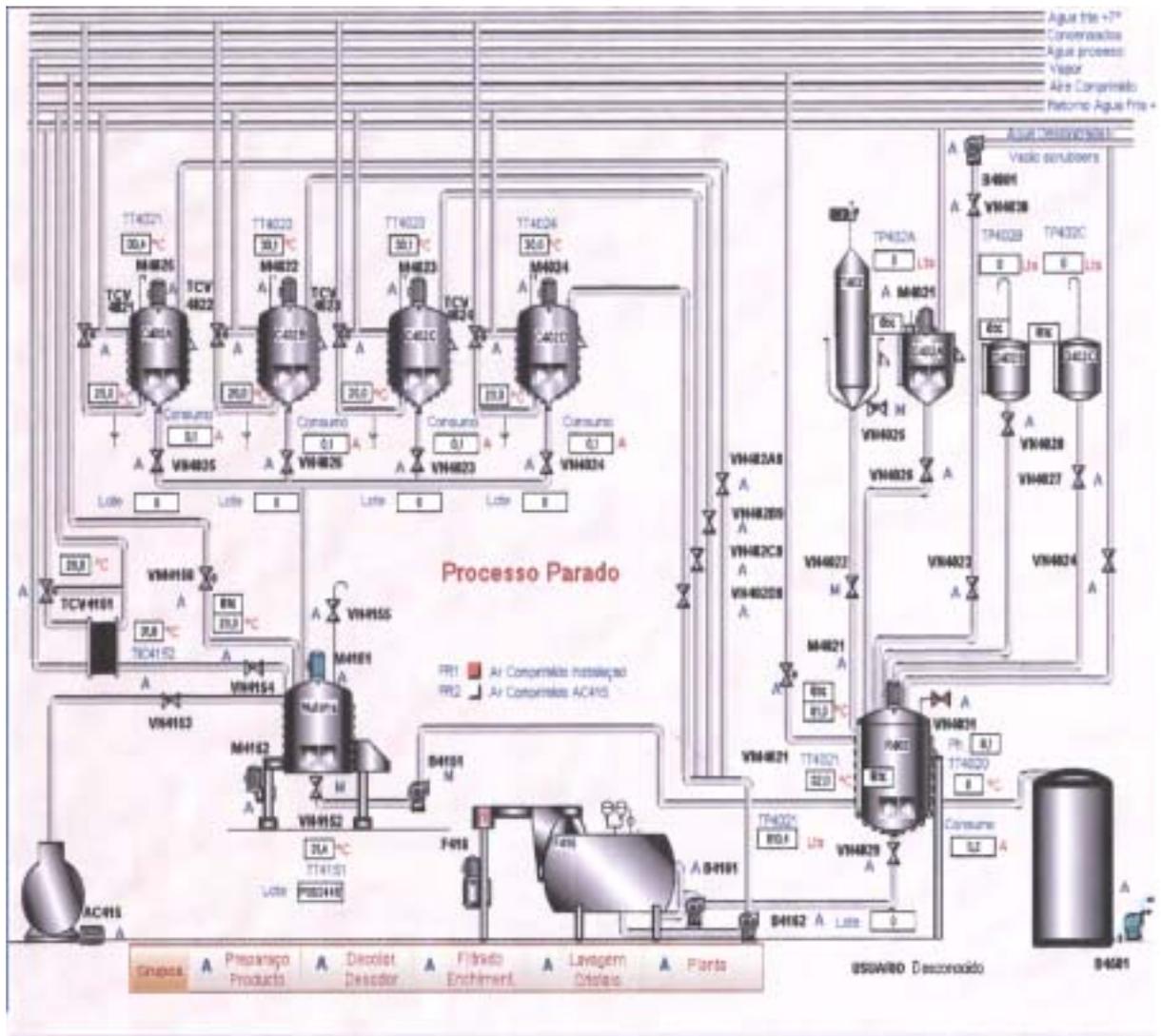
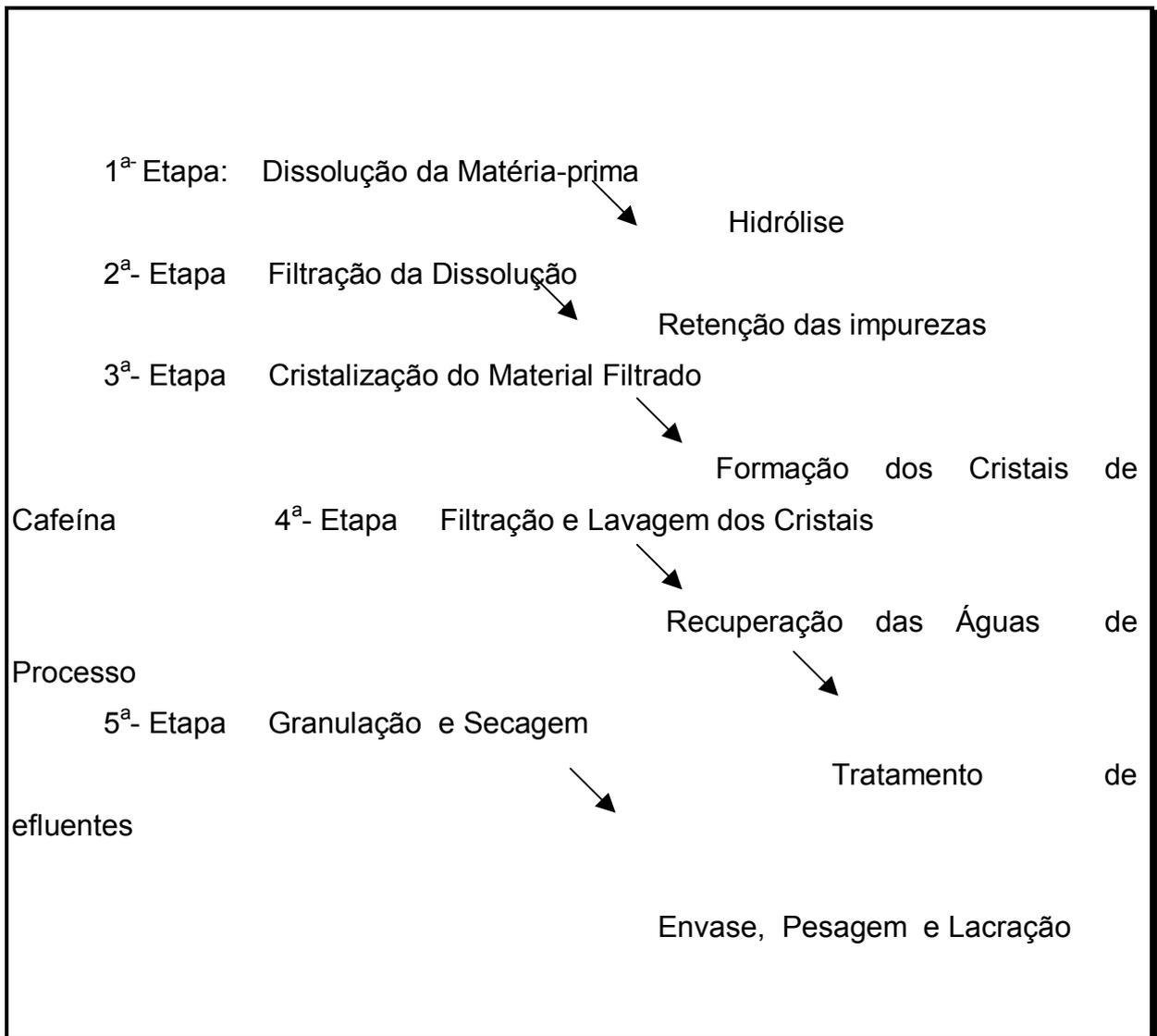


Figura 19 – Esquema do Processo de Purificação de Cafeína
 Fonte: Exnama

3.3 O Processo de Purificação

A obtenção da cafeína pura, utilizado na empresa Exnama é um processo físico-químico de purificação de cafeína bruta e extração dos resíduos das águas industriais, pois envolve não só o controle de variáveis como temperatura e pressão, mas também controles químicos como hidrólise e extração via líquido-líquido.

O fluxo do processo envolve, principalmente, as etapas discriminadas no Quadro 5, onde estão identificados os principais pontos de inspeção e as variáveis envolvidas.



Quadro 5 – Etapas do Processo de Purificação de Cafeína

Fonte: Exnama, em julho de 2002

Cada uma das etapas discriminadas no quadro anterior será discutida detalhadamente no capítulo 4, quando forem pesquisados os pontos de controle do processo para implantação do CEP.

3.4 O Produto

Na fabricação de cafeína, a Exnama cumpre as especificações estabelecidas no *United States Food Chemical Codex* (FCC), que é um órgão internacional regulamentar de produtos alimentícios. Além do cumprimento da legislação pertinente à fabricação do produto, outras especificações adicionais são negociadas diretamente com o cliente e normalmente envolvem as variáveis e características discriminadas na tabela 5.

Tabela 5 - Especificação x Índices de Capacidade

Especificação do Produto	Limite de tolerância
Teor de Cafeína (Pureza)	98,5 – 101,5%
Umidade	Max. 0,25%
Materiais Insolúveis	Max. 50 ppm
Outros Alcalóides	Max. 10 ppm
Intervalo de Fusão	235,5 – 239 °C
Solubilidade em clorofórmio	Mín. 85,00 %
Cinzas Sulfúricas	< 0,1%
Cor	0 – 0.15 Un
Gosto	Atende padrão
Odor	Atende padrão
Aparência	Atende padrão
Metais Pesados	< 10 ppm
Sulfatos	< 240 ppm

Fonte: Exnama

A empresa é avaliada trimestralmente por seus clientes, tendo como parâmetros principais as especificações do produto e o atendimento a todas as demais condições de entrega previstos nos pedidos de compra.

3.5 Considerações Finais

Este capítulo trouxe uma breve apresentação da empresa que será utilizada no estudo de caso, processo produtivo e as características do produto processado. Esses dados serão importantes para compreensão do trabalho a ser desenvolvido nos capítulos seguintes.

No próximo capítulo serão realizados o detalhamento do processo produtivo da Exnama e os resultados obtidos com sua operação no período inicial ao estudo. A sugestão de uma proposta de modelo e de um roteiro para implantação do CEP, também fazem parte do capítulo a seguir.

4 MODELO DE APLICAÇÃO DO CEP

A proposta para aplicação do CEP será elaborada a partir do estudo do fluxo atual do processo produtivo da empresa. Após detalhamento deste processo e análise dos resultados encontrados, será apresentado um novo fluxo, com a identificação dos pontos críticos que deverão ser utilizados para a coleta e aplicação das ferramentas, visando o seu controle. Posteriormente, segue uma sugestão de seqüência lógica para aplicação dos conceitos estudados no capítulo 2.

4.1 Estudo de Caso

Yin (2001, p.23) define o estudo de caso como uma pesquisa prática que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto real, quando não se pode definir de forma clara a fronteira entre o fenômeno e o contexto e onde múltiplas fontes de evidência são utilizadas.

A definição anteriormente apresentada é considerada como uma "definição mais técnica", e ajuda na compreensão e distinção do método do estudo de caso de outras estratégias de pesquisa como exemplo, o método histórico.

De acordo com Yin (2001, p. 10), o Estudo de Caso tem sido considerado "o irmão mais fraco dos métodos das Ciências Sociais" e as pesquisas feitas através desse método têm sido consideradas desviadas de suas disciplinas, talvez porque as investigações que o utilizam possuem precisão, objetividade e rigor insuficientes.

Os argumentos mais comuns dos críticos do Estudo de Caso são a falta de rigor, a influência do investigador, as falsas evidências, o fornecimento de pouquíssima base para generalizações e o fato de que normalmente são muito extensos demandando muito tempo para serem concluídos.

Os argumentos favoráveis ao Estudo de Caso são as comprovações de que há maneiras de evidenciar a sua validade e confiabilidade, partindo da premissa que o que se procura generalizar são modelos teóricos e não proposições sobre populações. E, que nem sempre é necessário recorrer à técnicas de coleta de dados que venham consumir tanto tempo.

O Estudo de Caso é preferido quando o tipo de questão de pesquisa é da forma “como” e “por quê”, quando o investigador tem pouquíssimo controle sobre os eventos; ou quando o foco temporal está em fenômenos contemporâneos dentro do contexto de vida real.

4.2 Processo de purificação

O processo de produção da cafeína é basicamente um processo de purificação de extratos brutos, os quais possuem em sua formulação uma alta concentração deste produto.

Para extrair e purificar a cafeína, a partir dos extratos brutos, a empresa Exnama utiliza atualmente em seu processo industrial um fluxo, de acordo com o ilustrado na figura 20 a seguir.

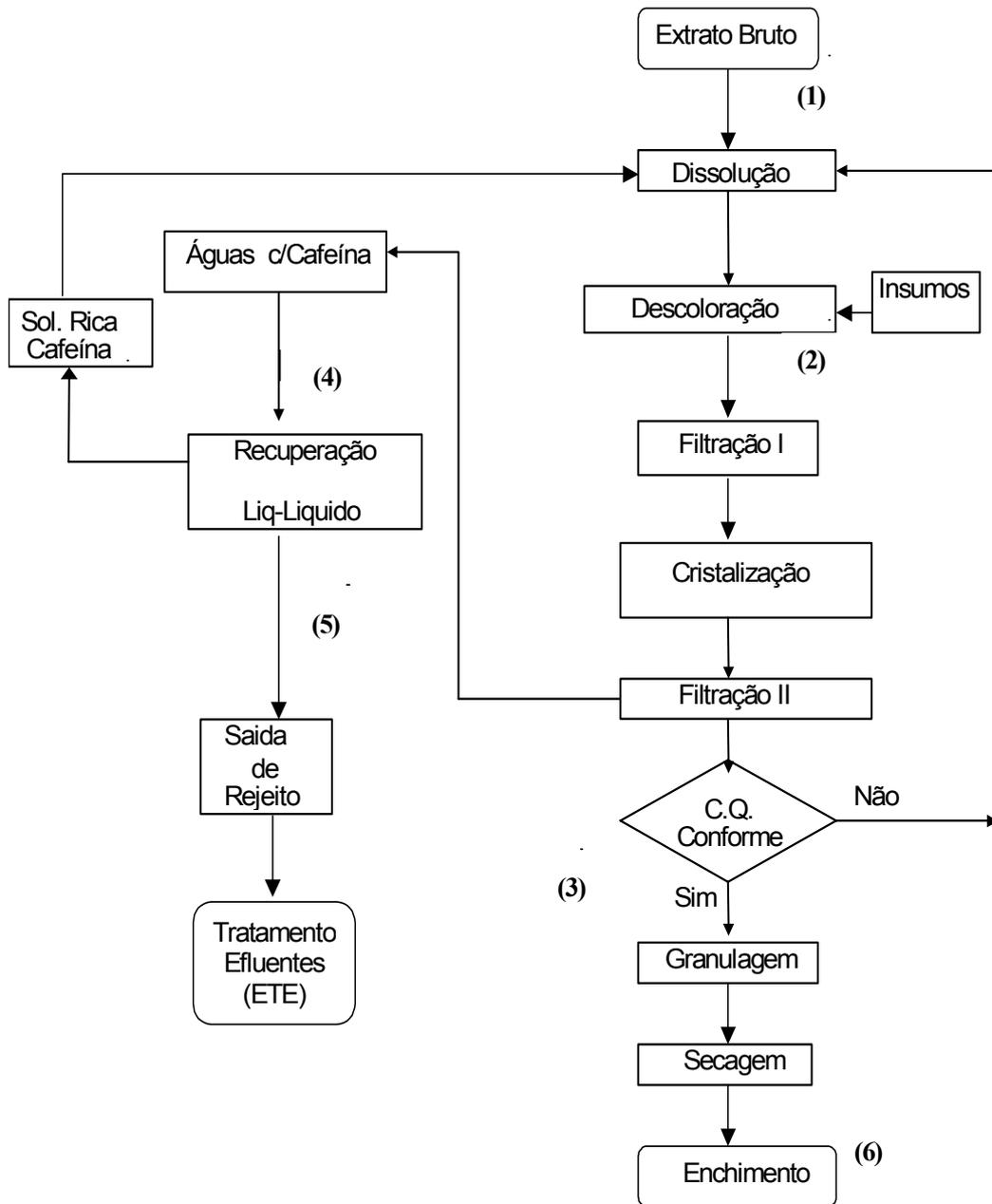


Figura 20 – Fluxo atual do Processo de Purificação
 Fonte: Exnama, em julho de 2002.

Os locais assinalados numericamente, entre parênteses, representam os pontos de inspeção usados durante o processo. O quadro 6 oferece o detalhamento de cada inspeção.

Local de inspeção	Tipo de Inspeção
(1)	Classificação do extrato bruto, de acordo com a sua pigmentação, para definição do protocolo de produção.
(2)	O programa de produção oferece informações sobre temperatura e pH da dissolução e hidrólise.
(3)	Verificação das características aparência e umidade.
(4)	Verificação da concentração de cafeína nas águas de processo.
(5)	Verificação da concentração das águas residuais que seguem para a estação de tratamento de efluentes.
(6)	Verificação da umidade no produto secado

Quadro 6 – Locais de Inspeção no Processo de Produção Atual

Fonte: Exnama, em julho de 2002

As etapas do processo de purificação e mais detalhes a respeito das inspeções serão discriminadas no item 4.3, a seguir.

4.3 Análise das etapas do Processo

Para uma melhor compreensão do processo, a fim de se identificar seus pontos críticos e definir um novo fluxo com a inserção destes pontos para controle, cada etapa do processo será estudada separadamente, iniciando-se com a dissolução da matéria-prima até a etapa de secagem e embalagem do produto final.

4.3.1 Dissolução da Matéria-Prima

O processo de purificação se inicia com a dissolução do extrato bruto de cafeína em meio ácido, através da utilização de um reator do tipo fechado, ilustrado na figura 21, que recebe calor através de vapor proveniente de uma caldeira de baixa pressão. Inicialmente o extrato é diluído em água desmineralizada, a cerca de 80 °C, para garantir que não haverá influência de algum mineral proveniente dela. Posteriormente, com auxílio de agitação, há adição de ácidos e agentes descolorantes para efetuar a reação de hidrólise. A temperatura e o pH da dissolução do extrato bruto de cafeína exercem uma importância fundamental nesta etapa, já que existe uma forte relação entre a solubilidade da cafeína e sua temperatura, conforme mostrado anteriormente no capítulo 2, página 26. Também existe uma forte relação entre a hidrólise e o pH do meio em que a dissolução foi realizada.



Figura 21 – Reator para Processos de Dissolução e Purificação de Extratos
Fonte: Exnama, em julho de 2002

O programa informatizado utilizado permite a monitoração do comportamento da temperatura, a partir da dissolução do extrato bruto, passando pelo processo de hidrólise até o final da segunda etapa (filtração I). A figura 22 apresenta um gráfico de linha extraído do referido programa, onde pode-se observar esse comportamento. Os dois picos apresentados nas extremidades do gráfico evidenciam uma entrada excessiva de vapor durante o processo.

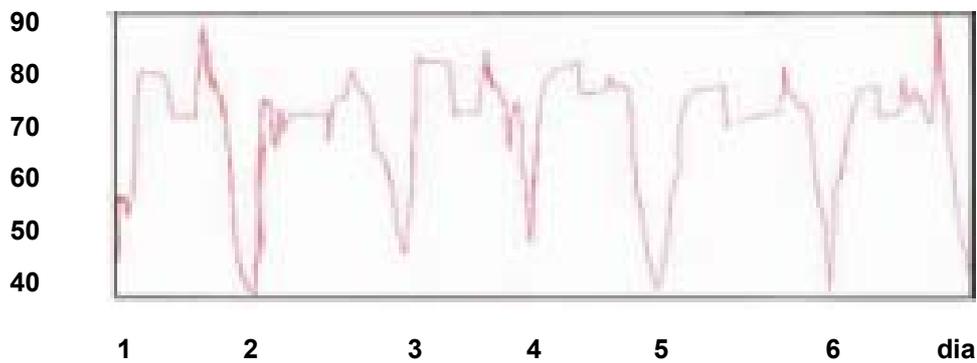


Figura 22 – Gráfico do Comportamento da Temperatura do Processo de Hidrólise
Fonte: Exnama, em janeiro de 2003

Da mesma forma, os resultados de pH do processo de hidrólise e filtração podem ser monitorados através de informes gráficos, conforme mostrado na figura 23.

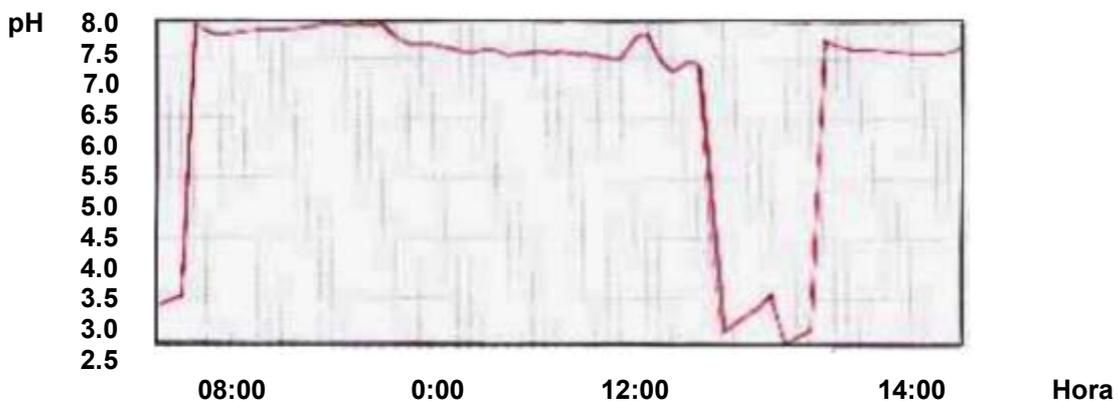


Figura 23 – Gráfico do Comportamento do pH no Processo de Hidrólise
Fonte: Exnama, em janeiro de 2003

Nas linhas inferiores do gráfico, observa-se o comportamento durante a hidrólise. Nas linhas superiores, o comportamento durante a filtração, onde se requer um pH mais alto.

4.3.2 Filtração da Dissolução

A próxima etapa do processo é a filtração para a retirada de todos os materiais filtrantes utilizados na etapa anterior e também, todas as impurezas presentes. Para isso, utiliza-se o filtro ilustrado na figura 24 que é composto de placas metálicas, onde se montam placas de celulose e papéis de filtro que irão auxiliar a retenção do material clarificante e de todas as impurezas sólidas.

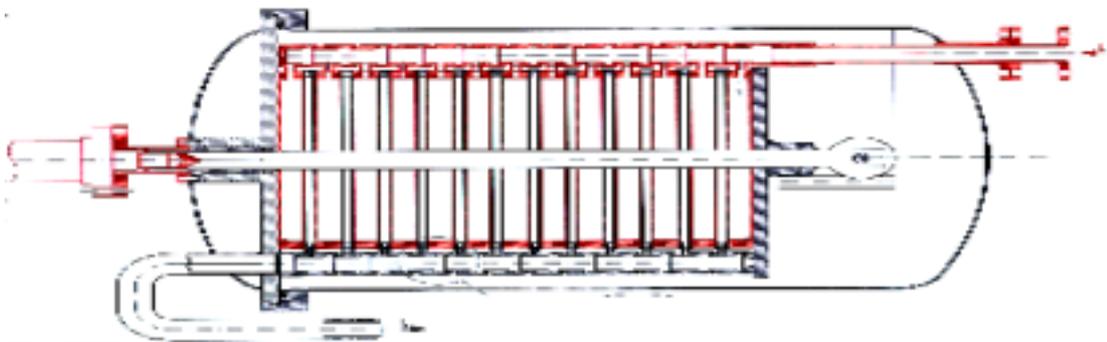


Figura 24 – Filtro de Placas

Fonte: Exnama, em julho de 2002

4.3.3 Cristalização do Material Filtrado

Na terceira etapa, também conhecida como etapa de Cristalização, a cafeína do processo de filtração, que se encontra diluída em água, segue para os cristalizadores ilustrados na figura 25, em que sua temperatura é reduzida para cerca de 20 graus Celsius. Mais uma vez a temperatura é fundamental. Em baixas

temperaturas, a cafeína reduz drasticamente sua solubilidade em água contribuindo para a formação dos cristais necessários ao processo.



Figura 25 – Cristalizadores para Cafeína
Fonte: Exnama, em julho de 2002

Amostras do produto são retiradas pelo setor de Controle de Qualidade após o processo de cristalização, para verificação do tamanho dos cristais formados e da cor do produto cristalizado. O gráfico do comportamento da temperatura durante o processo de cristalização também está ilustrado na Figura 26.

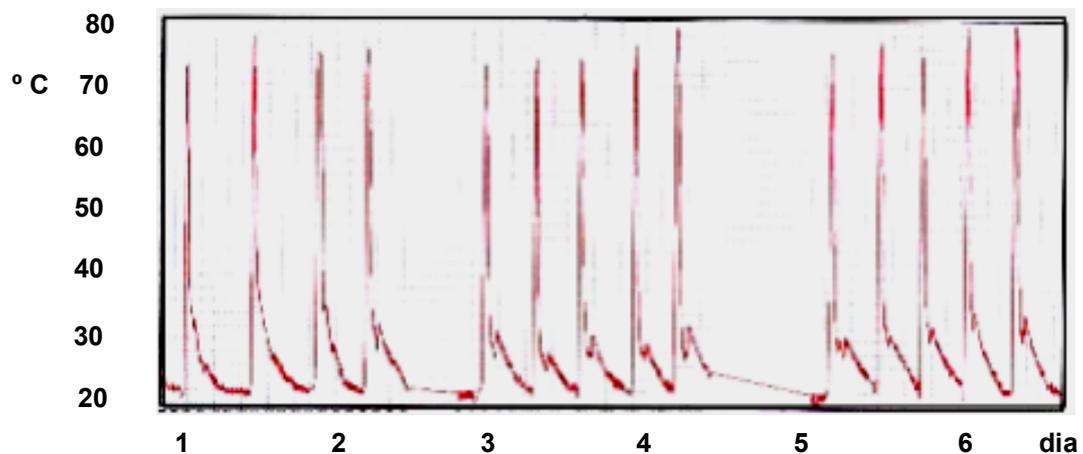


Figura 26 - Gráfico do Comportamento do Processo de Cristalização
Fonte: Exnama, em janeiro de 2003

No gráfico, pode-se observar as variações da temperatura, iniciando em torno de 80 °C e reduzindo até 20 °C no final de cada processo de cristalização.

4.3.4 Filtração e Lavagem dos Cristais

Depois de concluída a cristalização, o produto passa por outro processo de filtração. Para esse tipo de operação, utiliza-se um filtro prensa que possui um eixo, que girando sobre duas paletas - no sentido horário e anti-horário - promove a expulsão de uma grande massa de água, permitindo a retirada de todo excesso.

As águas provenientes do processo de filtração seguem para a etapa de recuperação, também conhecida como extração líquido-líquido, onde os cristais de cafeína presentes são extraídos com auxílio de solução de clorofórmio. Estes cristais recuperados são armazenados em um tanque de aço inoxidável e, posteriormente, retornam para a primeira etapa do processo, ou seja, para a dissolução.

Antes de se proceder à recuperação dos cristais, uma amostra é retirada para análise cromatográfica, a fim de se identificar a concentração de cafeína nas águas recuperadas. Este teor determinará o volume de clorofórmio a ser usado no processo. Uma análise da concentração de cafeína nas águas de processo é efetuada, assim como nas águas residuais, a fim de se avaliar a eficiência do processo de extração.

Após a recuperação da cafeína no processo de extração líquido-líquido, as águas residuais são analisadas. Nestas análises se identifica a eficiência do

processo de extração, porque se compara a concentração de cafeína inicial das águas residuais com a concentração após a operação de extração. Posteriormente, as águas esgotadas seguem para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), para serem adequadas à legislação ambiental local pertinente.

4.3.5 Granulação e Secagem

Na etapa final, a 5^a- etapa, a cafeína úmida passa pela operação unitária de granulação onde o produto entra em forma de pó e sai em forma de pequenos grãos, cuja granulometria é definida através de uma matriz em aço inoxidável formatada para atender a dimensão desejada. Posteriormente, o produto granulado segue o sistema de secagem.

No sistema de secagem, utiliza-se um secador que possui uma esteira rotativa e entradas laterais de vapor seco, conforme ilustrado na figura 27.



Figura 27 – Equipamento para Secagem de Cafeína
Fonte: Exnama, em julho de 2002

Neste equipamento, a cafeína é submetida a diferentes estágios de temperaturas de forma a permitir que a umidade do produto se evapore sem que haja alterações na estrutura do produto. À medida que o produto vai secando, as embalagens utilizadas (sacos especiais em fibra ou tambores) para sua comercialização e que se encontram sobrepostas a uma balança eletrônica, vão sendo cheias, de acordo com a quantidade previamente programada.

Finalmente, o produto acabado segue para um armazém intermediário, onde é inspecionado pelo Setor de Controle de Qualidade. Essa inspeção é realizada através da análise das amostras retiradas de cada saca de cafeína. Nessa análise são verificadas as conformidades do produto em relação às especificações, que foram apresentadas na tabela 5 do capítulo 3. Depois das amostras serem aprovadas, as sacas são lacradas e identificadas com os seus respectivos lotes de fabricação. Posteriormente, encaminhadas para o armazém de produto acabado.

4.3.6 Resultados das Inspeções do Processo

Foram calculadas as médias dos resultados das inspeções realizadas no processo de produção, durante o período compreendido entre os meses de Julho e Setembro de 2002. Esta informação está disponibilizada na tabela 6, que apresenta uma comparação entre os limites de especificação estabelecidos e os resultados efetivamente encontrados.

Tabela 6 - Média dos Principais Resultados do Processo (Período Jul/Set – 2002)

VARIÁVEL	PONTO DE INSPEÇÃO	LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO	MÉDIA DOS RESULTADOS
pH da Hidrólise	Reator	2,5 - 3,5	2,5
Temperatura da Dissolução	Reator	70 - 85 °C	82 °C
pH para Cristalização	Reator	7,0 - 8,5	7,8
Temperatura de Cristalização	Cristalizador	20 - 25°C	21°C
Umidade	2ª Filtração	20 -25%	22%
Aparência	2ª Filtração	100%	96%
Concentração Águas Processo	Extração	20 -25g/l	20 g/l
Umidade	Secador	0 - 0,25%	0.12%
Concentração Águas Esgotadas	Extração	0 - 2g/l	1.9g/l

Fonte: Exnama, em setembro de 2002

Os dados coletados para a elaboração da tabela 6 e o estudo do comportamento do processo, durante o citado período, foram considerados no momento de decidir pela proposta de modelo a ser aplicado e definição de uma seqüência lógica para implantação do CEP na empresa Exnama.

4.4 Modelo Proposto

Para a definição do modelo apresentado na figura 28, além dos pontos para controle utilizados atualmente pela empresa e já discutidos neste capítulo, foram considerados também os pontos onde a falta de controle efetivo compromete a operação, conforme pode ser observado na tabela 6. Nessa tabela nota-se que alguns resultados encontram-se no mínimo ou próximos do máximo de seus limites de especificação, sinalizando-se a necessidade de investigar as causas que

contribuem para que o processo tenha esse comportamento. Essas ocorrências podem provocar reprocessos, refugos, perdas de rendimento dos insumos e redução da eficiência da operação.

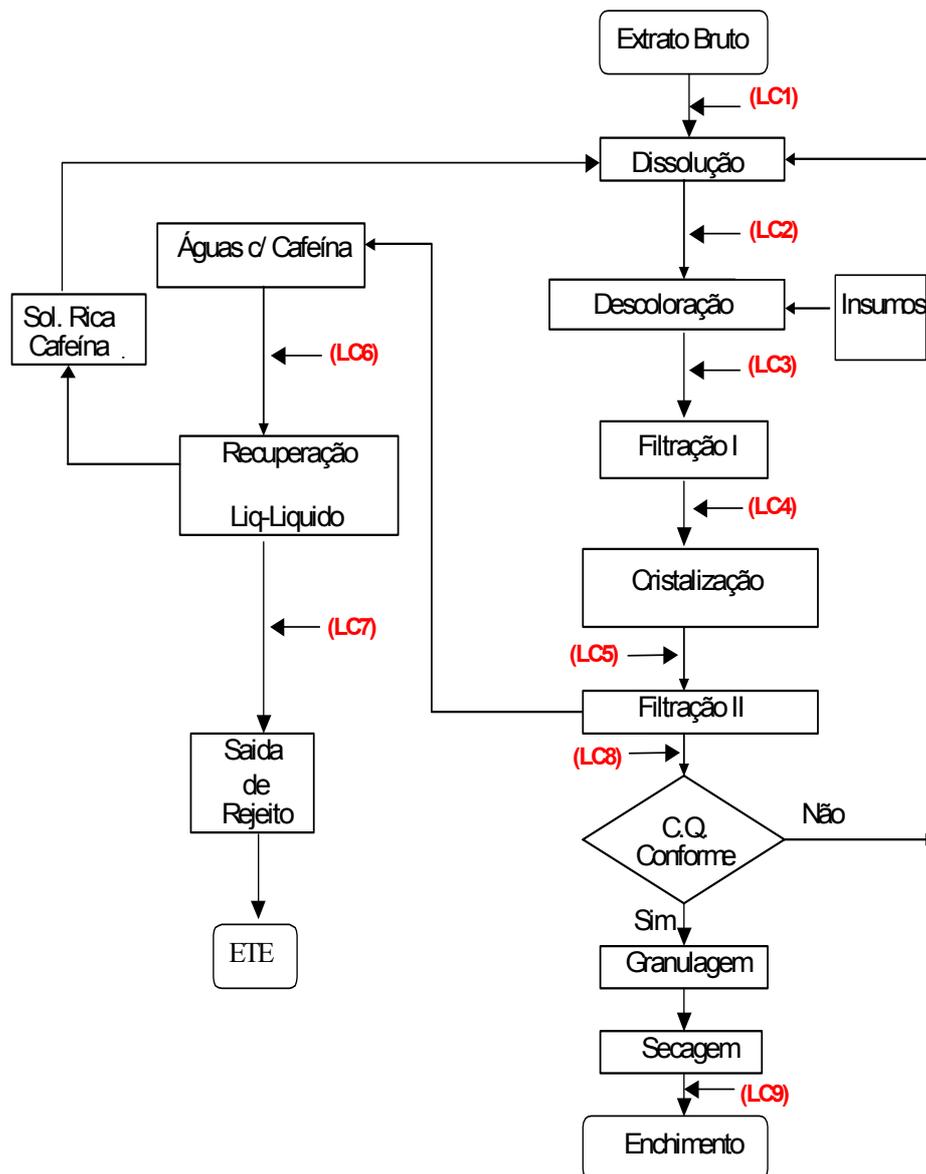


Figura 28 - Fluxo Proposto para o Processo de Purificação da Exnama

Os locais de controle, onde os dados deverão ser coletados para aplicação do CEP, estão identificados no quadro 8 a seguir. As ferramentas estatísticas que

deverão ser utilizadas para essas inserções serão discutidas detalhadamente no próximo capítulo.

Local de Controle	Variável Controlada	Atributo Controlado	Gráfico Aplicado
LC1	Umidade, Pureza da Matéria-Prima	Aparência da Matéria-Prima	X, AM p
LC2	Temperatura e pH da Hidrólise	-	X, AM
LC3	pH da Cristalização	-	X, AM
LC4	-	Aparência do Material Filtrado	p
LC5	Temperatura de Cristalização	Aparência dos Cristais	p
LC6	Concentração de Cafeína	-	X, AM
LC7	Concentração de Cafeína	-	X, AM
LC8	Umidade do Filtrado	Aparência	p
LC9	Umidade e Temperaturas	-	X, AM

Quadro 7 – Pontos de Controle para Aplicação do CEP

4.5 Roteiro para Implantação do CEP

Para aplicação dos conceitos estudados e sugestão de um método para implantação do CEP, foi necessário a seleção de algumas das ferramentas estatísticas, procurando sempre respeitar as particularidades da organização e a simplicidade do seu processo produtivo. Assim sendo, a seqüência lógica para

aplicação do CEP aqui apresentada, baseia-se nas informações obtidas através da fundamentação teórica e através do estudo de caso.

4.5.1 Condições Básicas para Iniciar a implantação do CEP:

- Verificação das condições funcionais dos equipamentos envolvidos no processo, oferecendo a melhor condição operacional possível.
- Avaliação dos meios de medição, incluindo inspetores, métodos de medição, instrumentos e condições ambientais.
- Avaliação da estabilidade do processo.
- Ajuste da estabilidade (quando necessário).

4.5.2 Ferramentas a serem utilizadas:

- ♣ Fluxograma
- ♣ Gráficos de Controle
- ♣ Gráfico de Pareto
- ♣ Diagrama de Causa e Efeito
- ♣ 5W1H
- ♣ Histograma

4.5.3 Seqüência de Aplicação:

- Aplicar os Gráficos de Controle nos pontos de controle assinalados no fluxograma do modelo proposto;

- Estudar a variabilidade das etapas do processo nos pontos selecionados, através da análise dos gráficos.
- Elaborar um Diagrama Macro de Pareto, onde se quantifique a participação de cada item que está contribuindo para a variação do processo.
- Elaborar Diagramas de Pareto para cada característica ou etapa avaliada.
- Formar um grupo de estudo, com a participação de pelo menos um representante de cada etapa do processo envolvida, utilizando o Diagrama de Causa e Efeito para a identificação das possíveis causas que podem estar interferindo no processo.
- Analisar o comportamento da distribuição através dos Histogramas.
- Aplicar o ciclo PDCA, para garantir a melhoria contínua do processo e verificação da possibilidade de redução dos pontos de inspeção, à medida que o processo for evidenciando um nível de estabilidade confiável.
- Tomar as ações corretivas cabíveis, através de um plano de reação (5W 1H).
- Manter um programa de treinamento contínuo das equipes.

4.6 Considerações Finais

Neste capítulo realizou-se um estudo sobre o processo de purificação da cafeína adotado pela empresa Exnama. Identificaram-se os pontos que podem auxiliar no controle do processo, bem como se estabeleceram as condições básicas para a implantação do CEP, as ferramentas básicas a serem adotadas e a sua seqüência de aplicação.

A análise dos resultados da aplicação será realizada no próximo capítulo, para corroborar definitivamente com o que aqui foi proposto.

5 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

5.1 Considerações Iniciais

A partir das ferramentas selecionadas no capítulo anterior para o processo em estudo pretende-se, com o uso desses recursos, a realização de uma análise dos resultados atuais, oferecendo alternativas que possam resultar em oportunidades de melhoria.

O “Microsoft Excel 2000”, a Carta de Tendência para Valores Individuais (disponível no Anexo A deste trabalho) e a Tabela de Valores E_2 , D_3 e D_4 (Anexo B) serão utilizados neste capítulo para elaboração dos gráficos de controle e cálculo dos seus limites.

5.2 Diagnóstico Preliminar

Para viabilizar este trabalho foi necessário o levantamento das informações que permitissem a obtenção de um diagnóstico preliminar.

O estudo realizado teve início no mês de julho de 2002, através de entrevistas com os funcionários do setor de produção da empresa e com alguns de seus diretores. Nesse mês, também foram coletados os dados iniciais do processo considerados imprescindíveis para a determinação de um diagnóstico preliminar. Dessa forma, foi possível a identificação das etapas do processo que requeriam uma maior investigação, contribuindo assim para a verificação de problemas que

eventualmente pudessem estar comprometendo toda a operação de fabricação e permitindo uma maior segurança nas definições das ferramentas estatísticas que deverão dar suporte ao controle.

Uma vez estabelecidas as principais características do produto para que se definissem as ações necessárias para sua manutenção, foi necessária a identificação das variáveis críticas do processo. Levou-se em consideração as que apresentavam um maior grau de importância sob o ponto de vista de custos, qualidade e segurança.

Também foi estabelecido, no período utilizado para o estudo, o comportamento da eficiência mecânica do processo de produção, que representa a relação entre a quantidade real de produção e a nominal. Esta informação pode ser observada através do gráfico de linha ilustrado na figura 29.

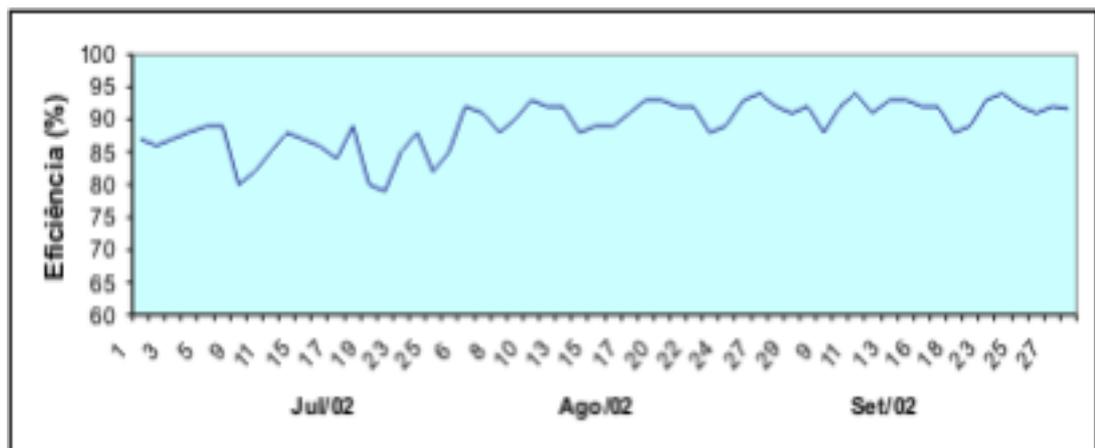


Figura 29 – Gráfico da Eficiência do Processo.

Fonte: Exnama, em setembro de 2002

Através do gráfico da figura 29 é possível verificar que no mês de julho houve uma variação bastante acentuada na eficiência do processo, normalmente atribuída

a ajustes rotineiros em inícios de operações industriais. Posteriormente, verifica-se a redução dessa variação.

A média da eficiência no período correspondeu a 87% em Julho, 91% em agosto e 92% em setembro. Por se tratar de equipamentos novos, espera-se que esses valores atinjam resultados superiores aos aqui apresentados, após a redução das variações do processo.

Durante a pesquisa, foi elaborado o Diagrama de Pareto, conforme figura 30.

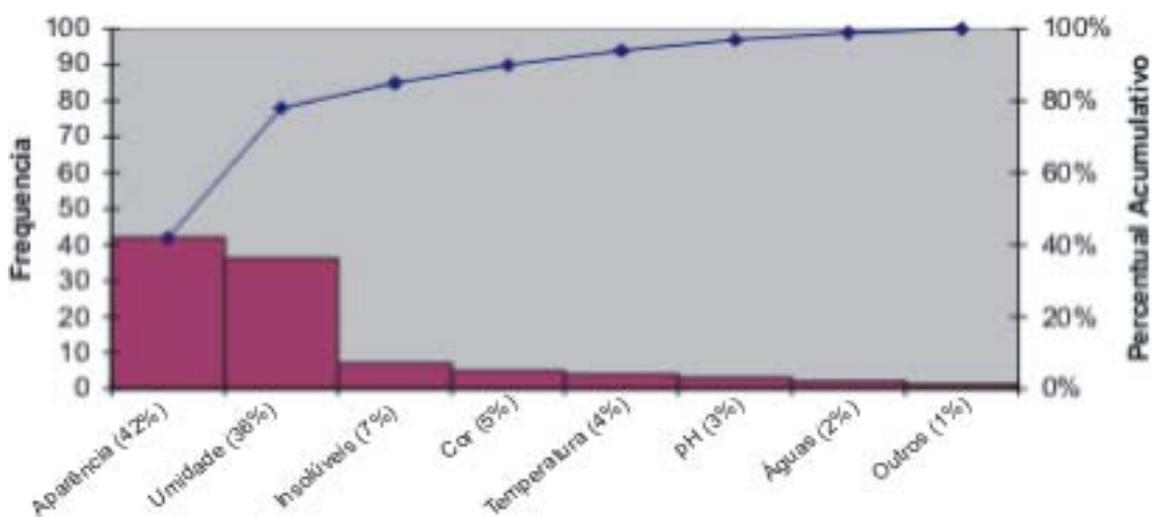


Figura 30 – Diagrama Macro de Pareto para as Variáveis de Processo

Pelo diagrama é possível identificar que as principais variações encontradas, que podiam comprometer toda a operação foram: aparência e teor de umidade do produto. Essas duas variações, em conjunto ou separadamente, podem provocar reprocessos, refugos, perdas de rendimento dos insumos e redução da eficiência do processo produtivo. A aparência tem a maior participação (42%), enquanto outras ocorrências, como exemplo, erro de operação têm pouca influência (1%).

5.3 Análise dos Principais Problemas

As características Aparência e Umidade, por serem responsáveis por quase 80% das variações, foram as variáveis selecionadas para a realização de uma análise mais detalhada do processo. Por se tratar de obra acadêmica, os demais itens deixarão de ser analisados.

5.3.1 Aparência do Produto

A aparência da cafeína é um atributo. Sua determinação necessita de uma análise sensorial que consiste na verificação da sua conformidade ou não, tendo como referência uma amostra padrão. Essa análise é fundamental para o processo, uma vez que esse atributo é determinante para aceitação do produto no mercado. Deve ser realizada por um grupo de analistas previamente qualificado.

Independente da cor da cafeína (esta determinada por aparelho de espectrofotometria), a aceitação do produto nesse quesito dependerá também da ausência de materiais estranhos, como presença de partículas de carvão, da não concentração de aglomerações de cristais ou da presença excessiva de pó.

5.3.1.1 Gráfico de Controle

Por se tratar de uma distribuição descontínua de probabilidade, mais precisamente uma Distribuição Binomial, para o estudo da variabilidade da aparência foi utilizado o Gráfico de Controle para a Fração Não-Conforme (p). Para

a coleta dos dados foram utilizados os resultados dos testes de inspeção final dos sacos de café produzidos durante 22 semanas subsequentes. Com os dados coletados e disponíveis na tabela 9 do Apêndice A, página 134, foram calculados os seguintes limites de controle:

$$n = 594/22 = 27$$

$$\bar{p} = \text{Linha Central} = 0,035$$

$$\text{Limite Superior de Controle} = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,14$$

$$\text{Limite Inferior de Controle} = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = -0,07 \approx 0$$

A figura 31 apresenta o comportamento do atributo através do Gráfico p .

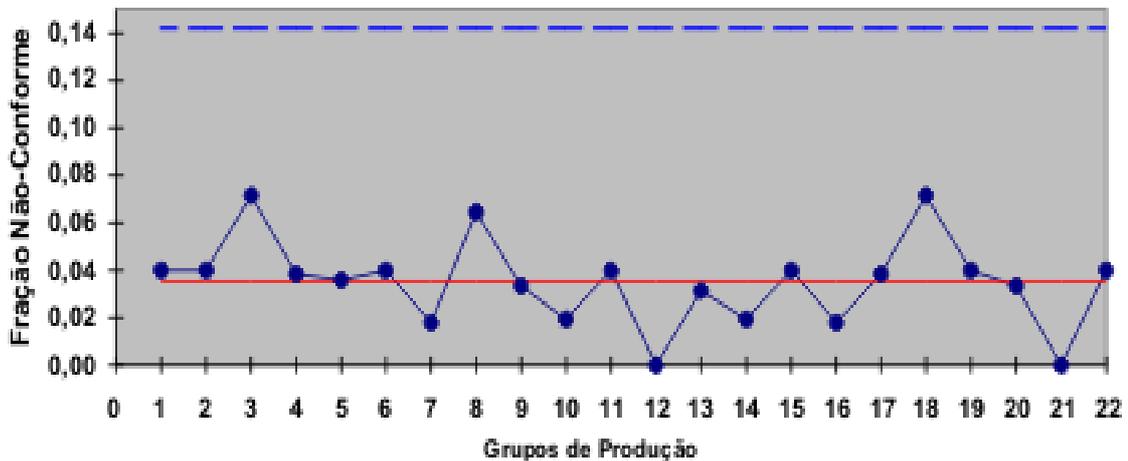


Figura 31 - Gráfico p para Aparência do Produto em Processo

Pelo Gráfico da figura 31 é possível verificar que a aparência no processo apresenta uma variabilidade indesejável. Para que se possa oferecer ações corretivas que contribuam para a redução dessa variação, é necessário identificar as

etapas do processo em que ocorrem os problemas. Essa identificação poderá ser realizada através do detalhamento e do estudo das suas causas.

5.3.1.2 Diagrama de Pareto

Para a quantificação da participação das variáveis do processo que estão contribuindo na variação da característica, elaborou-se o Diagrama de Pareto, ilustrado na figura 32.

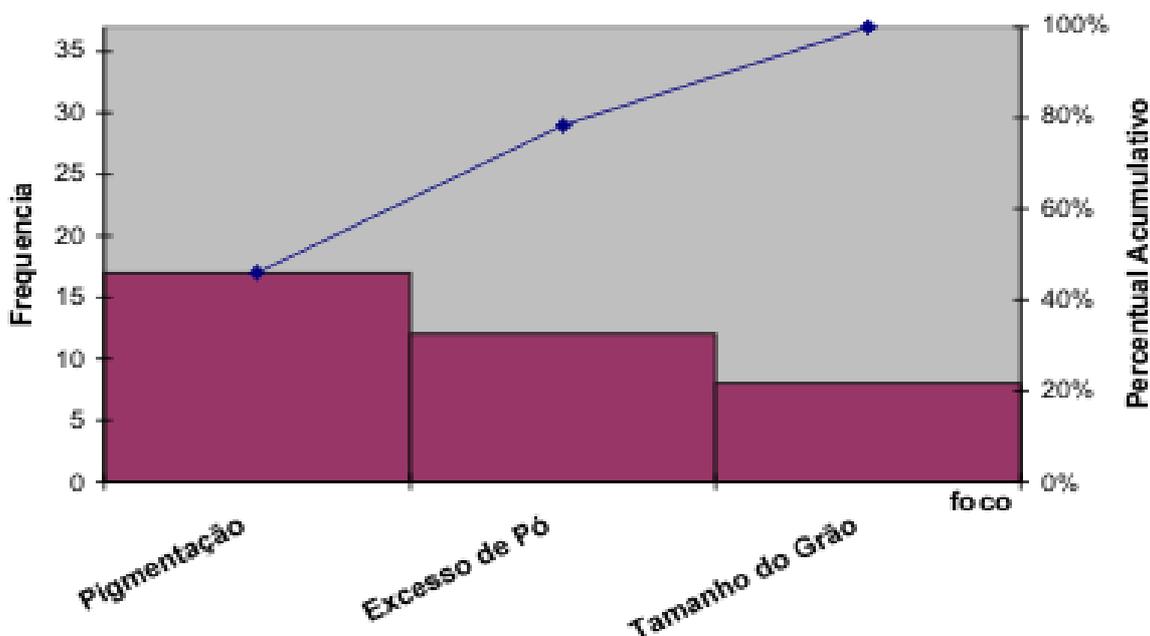


Figura 32 – Diagrama de Pareto para a Característica Aparência

Através do Diagrama de Pareto foi possível verificar que a pigmentação, pequenos pigmentos de coloração amarelada presentes em alguns grãos do produto, representa 46%, o excesso de pó 32% e a presença de grãos de tamanho irregulares 22% são as causas da variação da aparência do produto.

5.3.1.3 Diagrama de Causa e Efeito

Para identificar os fatores responsáveis por essas alterações, utilizou-se a técnica do *brainstorming*. A partir daí, foi possível a elaboração do Diagrama de Causa e Efeito, para cada problema identificado no Diagrama de Pareto (figura 32, p. 106). Dessa atividade participaram operadores, supervisor, analista de qualidade e gerência geral.

A título de ilustração, a figura 33 apresenta o diagrama para a pigmentação.



Figura 33 – Diagrama de Causa e Efeito para a Pigmentação do Produto

Eliminadas as causas consideradas pouco significativas, a equipe identificou as que efetivamente comprometiam a operação, preenchendo o formulário “5W 1H” apresentado no quadro 8.

Exnama	FORMULÁRIO 5W1H				
O QUE	QUEM	PORQUE	ONDE	COMO	QUANDO
Classificação	Analista	Falta de estabelecimento de padrões	Área de Inspeção	Definindo padrões para servir de referência no processo de classificação das matérias-primas	Setembro/02
Iluminação	Eletricista	Falta de luminosidade suficiente para realização dos testes de identificação da pigmentação	Área de inspeção	Instalação de equipamento de iluminação apropriado para o teste	Outubro/02
Treinamento	Operador	Necessidade de reforçar o treinamento dos analistas no procedimento para classificação da matéria-prima	Área de Inspeção	Através da Elaboração de procedimento específico e aplicação de testes práticos	Setembro/02
		Evidência de equívocos na adição de insumos	Etapa de dissolução	Elaborando e aplicando um plano de treinamento interno	Outubro/02
Análise Sensorial	Inspetor	Necessidade da formação de uma equipe capacitada na realização de análises sensoriais	Área de Inspeção	Contratação de empresa especializada no assunto	Outubro/02
Excesso de Pó	Operador	Permanência da matriz em uso durante tempo excessivo sem limpeza	Matriz do granulador	Limpar matriz quando os grãos estiverem diminuindo em excesso	Imediato
Granulador	Operador	Grãos grandes ocasionando aparência normal	Facas giratórias	Ajustar espaçamento	Imediato
PH	Operador	Diminui a eficácia do processo de descoloração	Reator	Ajustar as consignas de processo Estreitar o prazo das verificações e limpeza da sonda	Imediato
Lavado	Operador	Diminuir pigmentos	Filtro	Aumentar o número	Imediato

Quadro 8 - Formulário 5W 1H para Melhoria da Aparência do Produto

5.3.1.4 Observações complementares

Através do estudo para a variável aparência, foi possível destacar as seguintes observações:

- Há falha na inspeção de recebimento de insumos. Toda matéria-prima fornecida à empresa passa por uma classificação por atributo, uma vez que possui um tom de pigmentação identificável visualmente. Para cada tonalidade é dada uma classificação alfabética que corresponderá a um tipo de protocolo de produção. Um equívoco de classificação leva a utilização de um protocolo que pode não estabelecer as quantidades de insumos suficientes para processar a clarificação desejada do produto acabado. Também pode provocar custos desnecessários, porque uma matéria-prima com pouca pigmentação classificada como muito pigmentada acarretará no consumo de mais insumos. Verificou-se que os padrões utilizados para a comparação e as condições de medição (iluminação) não eram os mais adequados.

- Os inspetores necessitam de procedimento formalizado para realização da atividade. Precisam ser avaliados através de um programa de treinamento que inclua a aplicação de análise sensorial, a fim de confirmar se realmente possuem as qualificações necessárias para o desempenho da função.

- O pH do processo de hidrólise precisa de um melhor critério de ajuste. A falha encontrada decorre da sua utilização em valores muito baixos, próximos ao limite mínimo tolerado. Ocasionalmente, até o sistema se estabilizar, este pH, por estar quase em um dos limites, tende a sair da faixa de especificação.

- Constatou-se a necessidade de estreitamento do prazo de verificação do equipamento de medição do pH, independente dos intervalos de calibração e a limpeza mais efetiva de sua sonda, uma vez que há uma tendência da dissolução no reator de formar pequenos depósitos sobre ela, provocando distorções dos valores informados ao programa.

- O volume de água e tempo utilizados na etapa de lavagem do produto, durante a segunda filtração, deverão ser aumentados. O produto pode receber de um a três lavados, dependendo do protocolo assinalado. Esses lavados são importantes para a retirada da água do processo de reação, a qual absorve a pigmentação indesejada. Equívocos de protocolo, limitação do número de lavados ou manutenção inadequada no sistema de prensagem podem provocar alteração na aparência do produto. Isso representa um risco em potencial, uma vez que esta característica é crítica. Manutenção mais efetiva e revisão dos critérios adotados para o lavado do produto podem ser fundamentais para melhorar a “performance” do processo.

- Outro problema relacionado com a aparência, com menor participação, porém não desprezível foi a necessidade de treinamento mais efetivo dos operadores, em função da evidência de alguns equívocos cometidos na adição de insumos e cumprimento rigoroso das consignas previstas nos protocolos de produção.

5.3.2 Umidade do Produto durante o Processo

A umidade é uma variável. Sua determinação é realizada através da coleta de amostras durante o segundo processo de filtração e no decorrer da secagem do produto. Assim como a aparência, essas análises também são fundamentais para garantir a aceitação do produto no mercado. São realizadas pelos operadores de processo e pelos analistas de laboratório.

Durante o período do estudo foram coletados no processo de secagem 120 amostras para análise do percentual de umidade. Com os resultados, elaborou-se a tabela 10 do Apêndice B, p. 135. A partir dessa tabela, construiu-se o gráfico de linha apresentado na figura 34, permitindo assim um exame preliminar da variação da característica umidade.

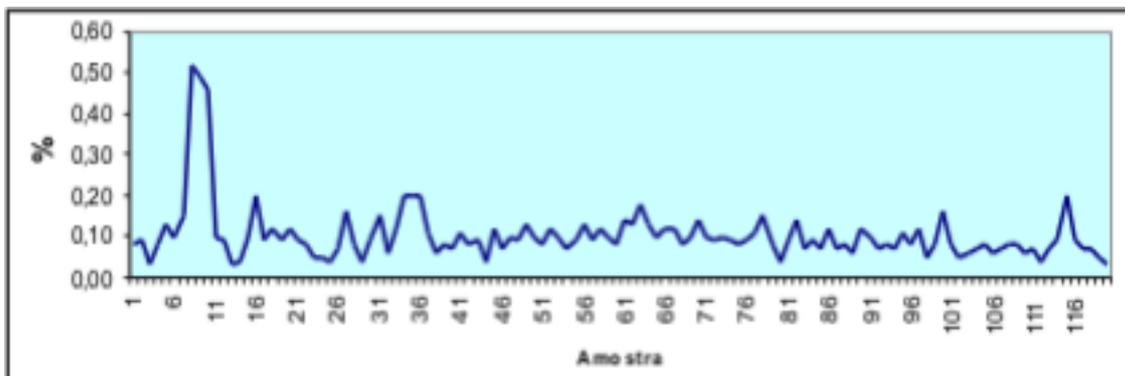


Figura 34 – Comportamento da Umidade no período Julho-Setembro de 2002

Analisando o gráfico da umidade das 120 amostras coletadas, é possível verificar que no início do estudo algumas apresentam resultados divergentes das demais. A identificação dos valores que estão comprometendo a característica (0,52; 0,49; 0,46) pode ser realizada através de consulta a tabela 10, do Apêndice B

Após a constatação de que as causas que contribuíram para a ocorrência foram ajustes de equipamentos (considerados normais nas circunstâncias de partida de operação), esses valores foram desprezados.

5.3.2.1 Gráfico de Controle

Com os dados já ajustados, para validar a utilização dos Gráficos de Controle para variáveis, foi testada a normalidade da característica estudada através do teste de **Jarque-Bera**. O detalhamento dessa verificação e a comprovação da normalidade estão disponíveis no Apêndice B deste trabalho.

Para o estudo da variabilidade da característica serão utilizados os Gráficos de Controle da Média Individual (X) e da Amplitude Móvel (AM). Foi decisivo para a escolha o fato de que as observações, em geral, são realizadas por partida ou por lote. A título de ilustração, inicialmente serão apresentados na figura 35 os Gráficos de Controle referentes aos 120 dados coletados no estudo. Para esses valores foram calculados os seguintes limites de controle:

Gráfico X

$$LSC = \bar{x} + E_2 * \overline{AM} = 0,21$$

$$LM = \bar{x} = 0,10$$

$$LIC = \bar{x} - E_2 * \overline{AM} = 0$$

Gráfico AM

$$LSC = D_4 * \bar{R} = 0,13$$

$$LM = \overline{AM} = 0,04$$

$$LIC = D_3 * \overline{AM} = 0$$

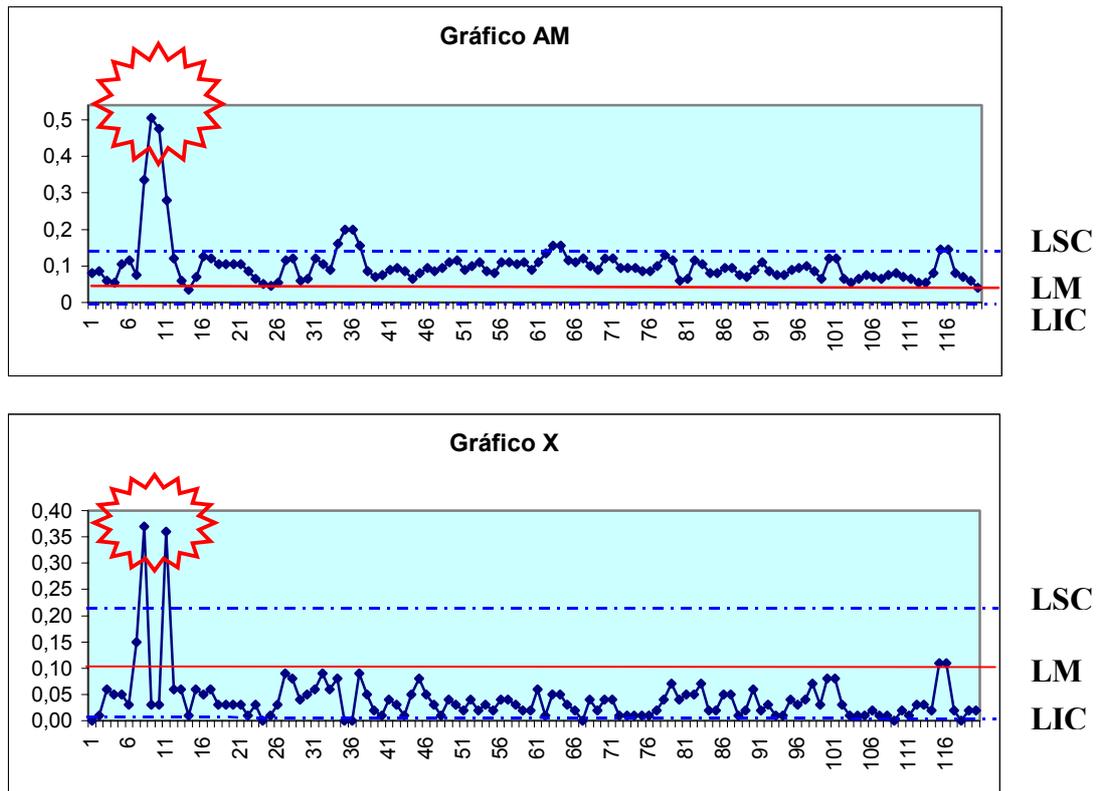


Figura 35 - Gráficos de Controle para a característica umidade

Os gráficos evidenciam as ocorrências que provocaram as alterações e que já tiveram as suas causas identificadas anteriormente.

Para o estudo da variação da característica umidade, foram selecionados 60 dados referentes aos dois últimos meses do estudo. A seleção destes dados foi baseada no fato de que no primeiro mês ainda se realizavam muitos ajustes nos equipamentos. Na figura 36 estão representadas os Gráficos de Controle para esses dados. Os limites foram calculados e apresentaram o seguinte resultado:

Gráfico X

LSC = 0,19

LM = 0,09

LIC = 0

Gráfico AM

LSC = 0,11

LM = 0,03

LIC = 0

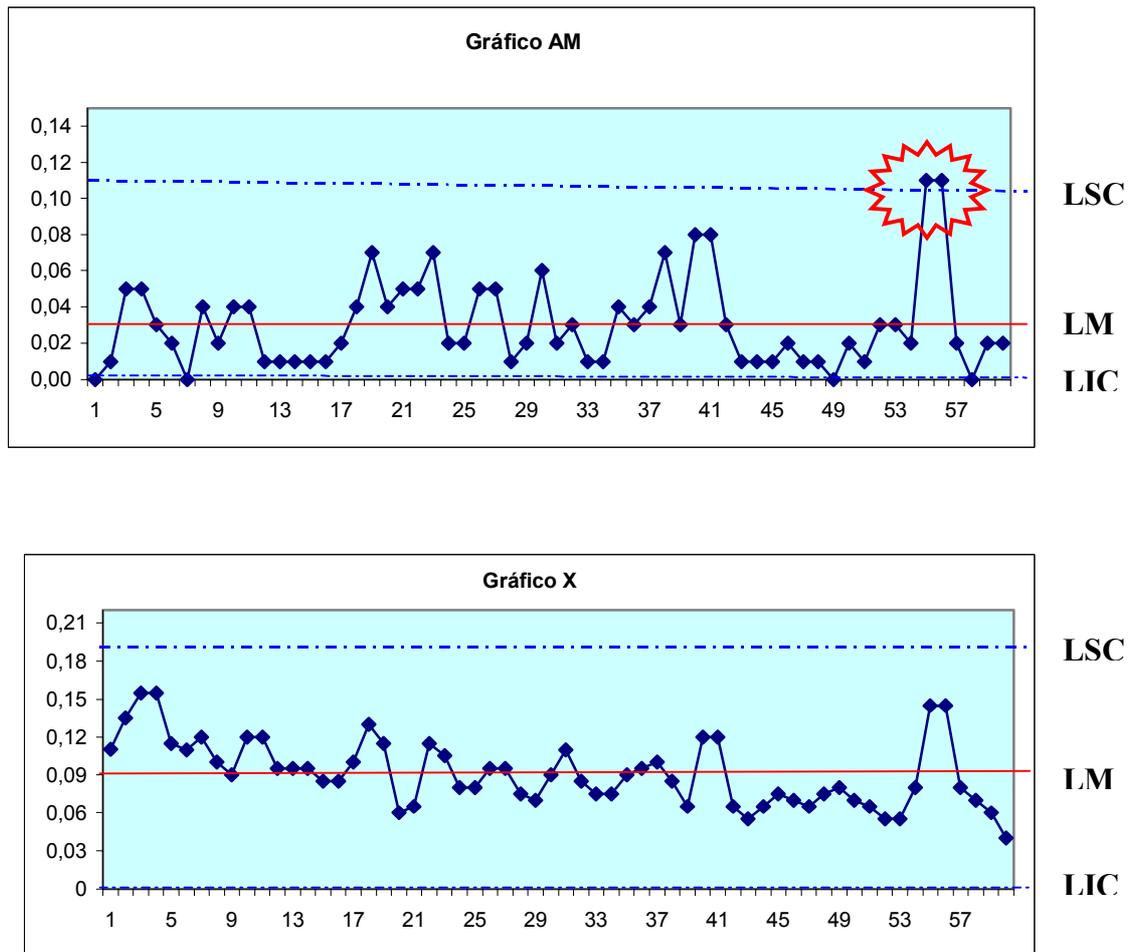


Figura 36 – Gráficos de Controle para a característica umidade

Através do Gráfico da Amplitude Móvel (AM), nota-se que dois dados (51; 52) estão acima da linha do limite superior de controle. Após a certificação de que alguns ajustes realizados nos equipamentos também foram os responsáveis por essas ocorrências, os dados foram desprezados, não havendo alteração nos valores dos limites de controle.

A variabilidade poderá ser estudada então, a partir dos gráficos da figura 37.

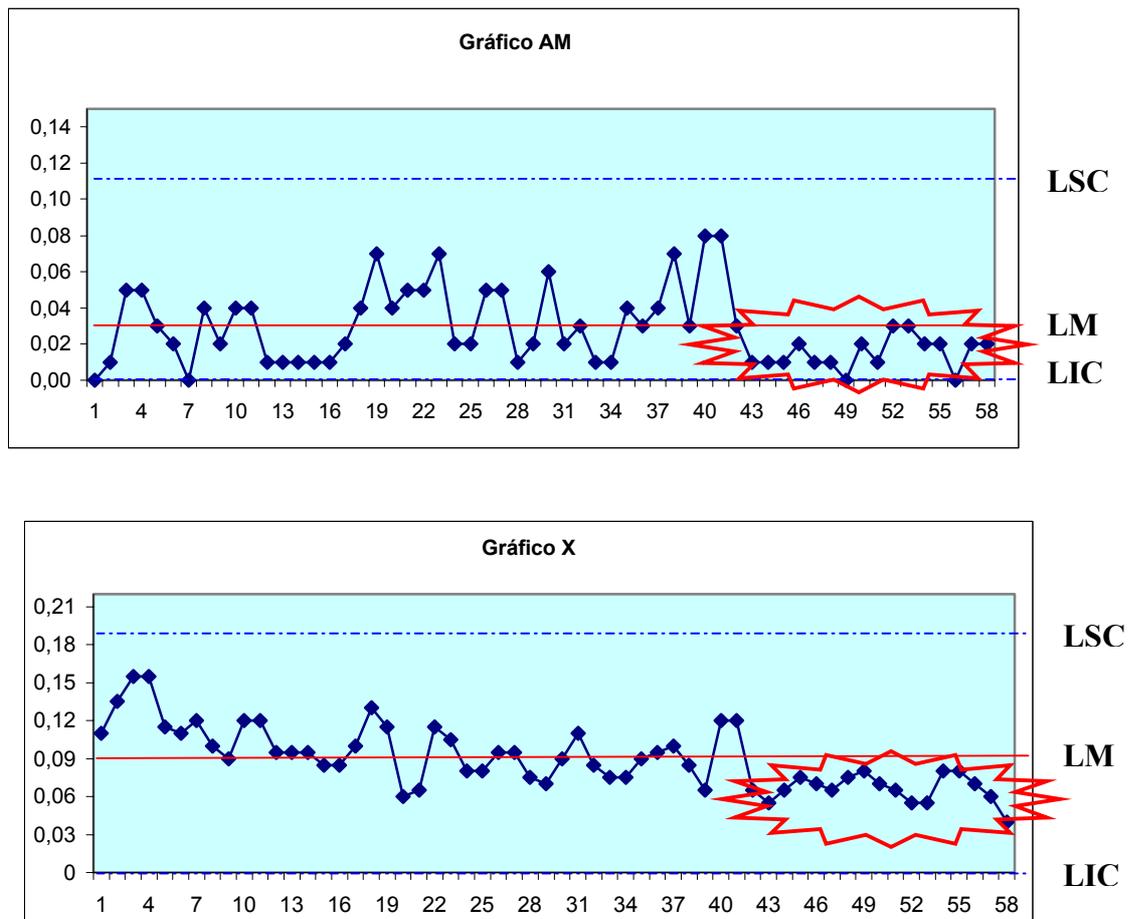


Figura 37 - Gráficos de Controle para a umidade após ajuste
Fonte: Exnama, em 2002

Analisando o gráfico AM, é possível evidenciar a falta de controle do processo, com a variável estudada tendendo a um comportamento não-aleatório. A comprovação dessa afirmação resulta do fato de muitos pontos aparecerem em apenas um dos lados da linha média (destaque em vermelho) e da ocorrência de uma certa periodicidade, ou seja, uma tendência para cima e para baixo em intervalos de tempo com aproximadamente a mesma amplitude.

Portanto, é fundamental a investigação das causas que estão provocando essa instabilidade.

5.3.2.2 Diagrama de Pareto

Para a quantificação da participação das variáveis do processo que estão contribuindo na variação da característica umidade, tomou-se como base os dados apresentados na tabela 7, coletados durante a pesquisa.

Tabela 7 – Principais Causadores de Umidade no Produto

ORIGEM DA CAUSA	Nº DE INCIDÊNCIAS	%
Granulador	16	40
Velocidade de Distribuição	12	30
Temperatura Mínima	6	15
Temperatura Máxima	3	8
Altura do Material Secado	2	5
Outros	1	3
Total	40	100

A partir dos dados identificados na tabela 7, elaborou-se o Diagrama de Pareto, ilustrado na figura 38.

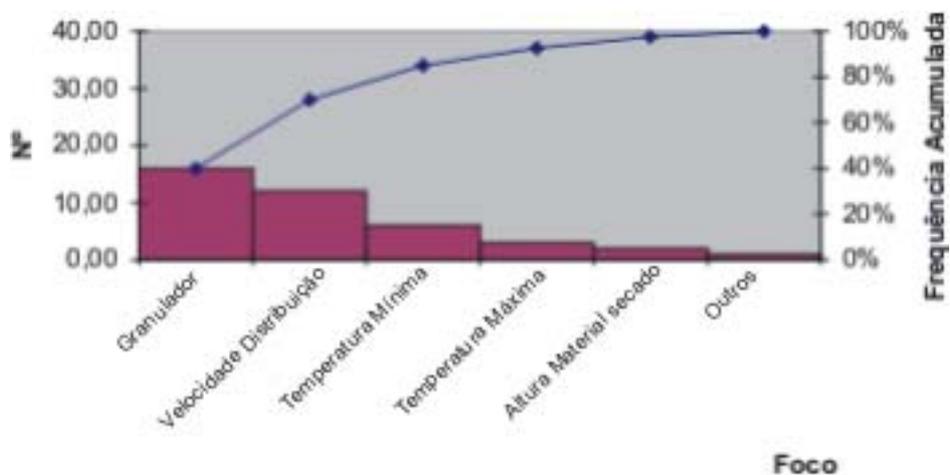


Figura 38 - Diagrama de Pareto para a Característica Umidade

Através do Diagrama de Pareto, pode-se observar que dentre todas as variáveis estudadas, apenas 04 são responsáveis por mais de 90% das causas que

provocam a variação da umidade no processo, ou seja, granulador, velocidade de distribuição do material dentro do secador e temperaturas de secagem. Todas relacionadas ao processo de secagem. Concluiu-se, então, que para essas causas deve ser dado um tratamento de investigação prioritário.

5.3.2.3 Diagrama de Causa e Efeito

Para as falhas no processo de secagem, identificadas através do gráfico de Pareto, utilizou-se a mesma equipe do estudo da aparência. Esse grupo elaborou os Diagramas de Causa e Efeito, a fim de se encontrar, dentre as possíveis causas, as que são fundamentais ao problema. Um exemplo está exposto na figura 39.

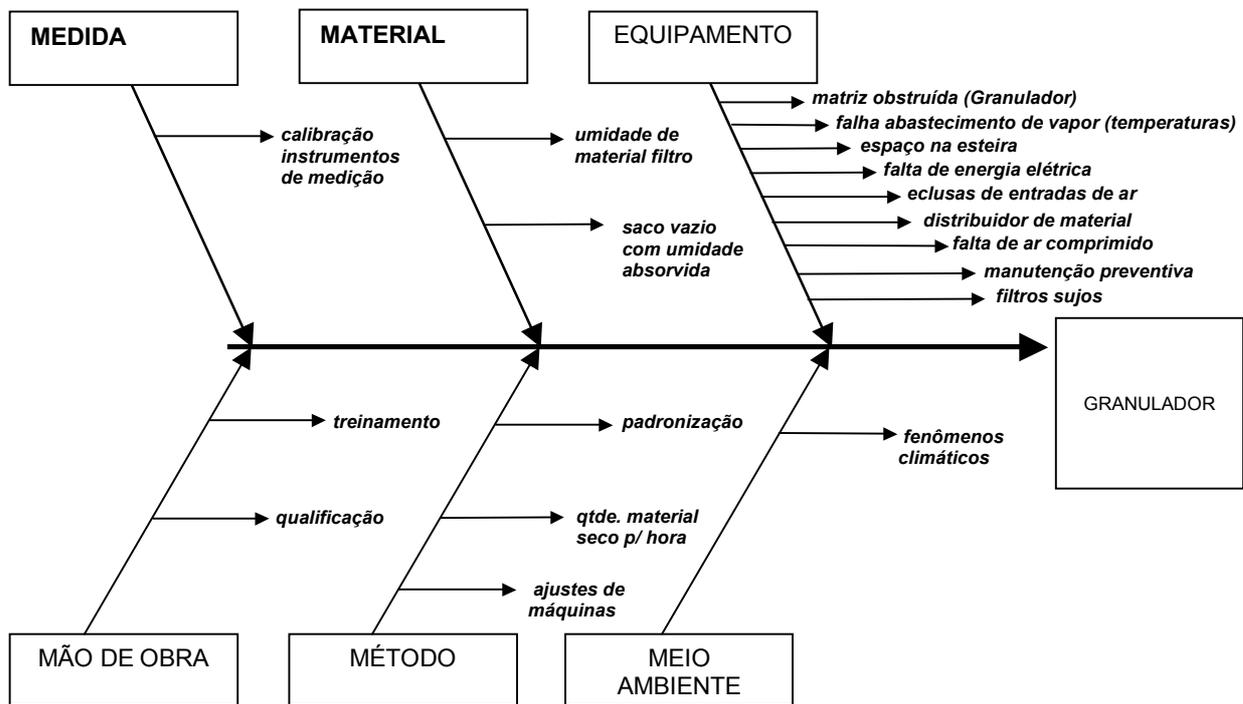


Figura 39 - Diagrama de Causa e Efeito para o Granulador

Através dos diagramas, foram eliminadas as causas pouco significativas. Para as que efetivamente comprometiam a operação, preencheu-se o formulário “5W 1H” apresentado no quadro 9.

Exnama	FORMULÁRIO 5W1H				
O QUE	QUEM	PORQUE	ONDE	COMO	QUANDO
Falha no abastecimento de vapor	Mecânico Fabricante	Válvula e sistema de controle de vapor com regulagens inadequadas	Caldeira	Mudar a configuração da regulagem	Imediato
Espaços vazios no secador	Operador Gerência	Interrupções por falta de material para secar	Esteiras de distribuição do material	Regular a velocidade da esteira Aumentar o reservatório de entrada	Imediato Março de 2003
Treinamento	Supervisor Operador	Falta de padronização par liberação de material	Saída do Filtro Prensa	Reunião e alteração do procedimento documentado	Outubro de 2002
Matriz obstruída	Mecânico Gerente	Material com baixa umidade, provocando formação de muito pó. Falta de uma matriz reserva	Filtro Prensa	Orientar os operadores para trabalhar com % médio de umidade Providenciar a compra da matriz reserva	Imediato Janeiro de 2003
Umidade do material na segunda filtração	Analista	Utilização do limite mínimo especificado	Filtro Prensa	Trabalhar com % médio de umidade	Imediato

Quadro 9 - Formulário 5W 1H

5.3.2.4 Observações Complementares

Assim como ocorreu no estudo da aparência, as seguintes observações também foram possíveis destacar:

- O processo de secagem trabalha com várias etapas que incluem distintas temperaturas, sendo que a etapa inicial e a final são as mais críticas, daí merecerem uma atenção especial. O controle destas temperaturas é

fundamental para o bom desempenho do secador. Portanto, existe a necessidade de se evitar as falhas no suprimento de vapor.

- Durante a secagem, o material é distribuído uniformemente através da esteira do secador. O limite de altura da capa formada é determinado de acordo com a velocidade e a quantidade de material a ser secado. Alterações nessa distribuição, sem o ajuste necessário no fator velocidade, podem provocar um aumento ou diminuição da capa de produto formada sobre a esteira e, conseqüentemente, causar uma variação para maior ou menor no percentual de umidade.
- A variação do percentual de umidade no produto está excessiva, sinalizando que pode estar havendo diferentes critérios de método, uma vez que a decisão de enviar o produto para a etapa seguinte pertence ao operador do turno. Assim sendo, uma reunião com a participação de todo pessoal envolvido e a alteração do procedimento utilizado para a operação podem servir de recursos para a eliminação do problema identificado.
- O excesso de material muito poroso é provocado por umidade bem baixa na saída da segunda filtração. Isso costuma contribuir para a obstrução da matriz do granulador e das saídas de vapor na esteira do secador. Além disso, o excesso de secagem consome mais energia elétrica e uma maior utilização de máquinas e horas trabalhadas. O comportamento da distribuição dos resultados das análises do percentual de umidade pode ser estudado a partir dos dados fornecidos na tabela 8.

Tabela 8 - Percentual de umidade do produto na segunda filtração

19.8	20.1	20.1	20.2	20.2	20.2	20.4	20.4	20.5	20.5
20.6	20.6	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.8	20.9
20.9	20.9	20.9	20.9	21.1	21.1	21.2	21.2	21.2	21.2
21.3	21.3	21.3	21.4	21.4	21.5	21.5	21.6	21.6	21.6
21.9	22.1	22.1	22.1	22.2	22.4	22.4	22.4	22.6	23.1
23.5	23.5	23.5	23.8	23.9	24.2	24.6	24.6	24.9	25.1

Os dados da tabela anterior foram utilizados para a montagem do Histograma da figura 40.

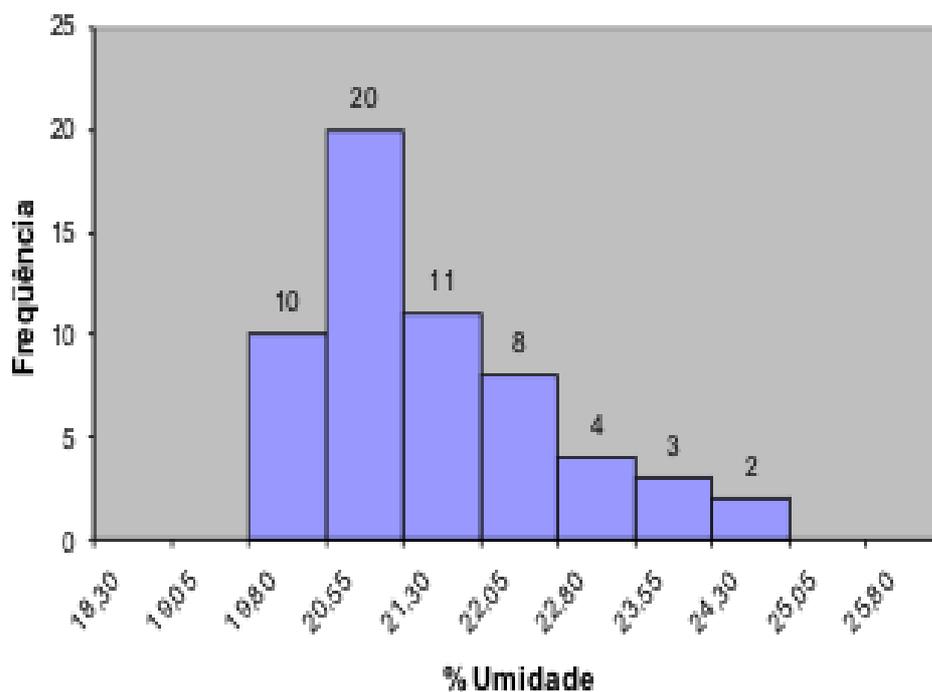


Figura 40 - Histograma para o Percentual de Umidade

O Histograma formado pelos dados do percentual de umidade é assimétrico. O valor médio dos percentuais, 21.72%, encontra-se fora do seu centro e a

freqüência diminui de forma acentuada à direita do gráfico. Tornando-se alta para valores próximos ao limite mínimo de especificação (20%) e baixa para os valores próximos ao limite máximo (25%). Isso dificulta o atendimento as especificações do processo de secagem e comprova a tendência de formação do excesso de pó identificado durante a pesquisa.

O estudo da característica umidade, utilizando ferramentas do CEP possibilitou a identificação das causas que estavam contribuindo para a variação do processo e da apresentação de sugestões de melhorias aplicáveis à empresa.

5.4 Recomendações à Empresa Exnama

Exnama iniciou suas atividades produtivas no mês anterior ao começo deste estudo. Inícios de operações sempre implicam em paradas para ajustes de máquinas e equipamentos, irregularidades nos processos, adaptações de operadores, treinamentos e outras situações algumas vezes imprevisíveis. Apesar desse fato, foi possível coletar os dados, acompanhar detalhadamente o processo e aplicar o modelo proposto para análise dos resultados que aqui foram apresentados.

As recomendações que se seguem objetivam principalmente a melhoria contínua do processo, o aumento da produtividade e a facilitação para implementação do Controle Estatístico de Processo:

- ♣ Elaboração de um plano de manutenção preventiva que garanta ao processo a redução das variações decorrentes do uso de equipamentos

em condições irregulares ou das provocadas por ajustes constantes nas máquinas e equipamentos.

- ♠ Instalação de um reservatório (tolva) de maior capacidade na saída do filtro prensa para permitir que todo material que foi lavado e prensado possa ser encaminhado rapidamente ao secador, aumentando assim a produtividade e melhorando o processo de secagem com diminuição da formação de espaços vazios na esteira do secador.
- ♠ Promover a garantia do bom funcionamento dos equipamentos de medição e ensaios. Se possível, adquirir um programa para controle das calibrações, verificações e ajustes desses instrumentos.
- ♠ Qualificação dos operadores de processo. Os resultados apresentados sugerem a necessidade de uma maior atenção na disciplina e controle das atividades rotineiras. A aplicação de um programa de treinamento contínuo permitirá que as atividades realizadas sejam compreendidas por todos, contribuindo na assimilação de novas alternativas ou tecnologias.
- ♠ Implementar um Sistema de Gestão de Qualidade. Pode-se utilizar como suporte básico os requisitos da norma ISO 9001:2000
- ♠ Implementar o CEP através da metodologia aqui recomendada.

5.5 Considerações Finais

Neste capítulo objetivou-se, a partir da análise dos resultados disponíveis na pesquisa, a aplicação do modelo discutido no capítulo anterior. O estudo do comportamento das características Aparência e Umidade, durante o processo de produção da cafeína, permitiu evidenciar a importância da utilização do CEP e validar a metodologia proposta.

O próximo capítulo apresentará as conclusões gerais sobre o trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este trabalho foi elaborado com o firme propósito de desenvolver uma metodologia que permitisse a aplicação de conceitos estatísticos amplamente difundidos, disponibilizando-a para aplicação em processos de purificação de cafeína.

6.1 Considerações Preliminares

Este capítulo destina-se a apresentação das conclusões obtidas para implementação de um controle estatístico no processo de purificação de cafeína.

Com base na fundamentação teórica, nos dados obtidos durante a realização da análise dos resultados e na comprovação reconhecida pela própria alta direção da empresa da importância da aplicação do Controle Estatístico de Processo, sua implementação deverá ser realizada tendo como “pontos de partida” o modelo e a metodologia aqui recomendados.

6.2 Conclusões

Este trabalho tinha como objetivo geral a apresentação de uma proposta de Controle Estatístico de Processo para a indústria de purificação de cafeína Exnama. Inicialmente, para sua realização, foi necessário empreender uma revisão bibliográfica que contemplasse a fundamentação teórica a ser utilizada na

elaboração do modelo proposto. Procurou-se pesquisar as informações que pudessem contribuir para a compreensão do processo estudado, do produto fabricado, dos conceitos básicos de Estatística e aplicação de CEP. Essa revisão permitiu a seleção das ferramentas incorporadas na metodologia sugerida.

No prosseguimento do trabalho, em uma segunda etapa, foram apresentados os objetivos gerais e sociais da empresa, através da apresentação do seu histórico, do organograma do grupo empresarial do qual faz parte, do seu macro fluxo de processo de fabricação e do seu produto. Isso foi importante para definir a estratégia utilizada na realização da pesquisa.

O período de três meses utilizado para a coleta das informações e o acompanhamento do processo, em todas as suas etapas, foram imprescindíveis porque a empresa havia iniciado suas atividades industriais havia pouco mais de um mês, não podendo assim disponibilizar de um histórico com abrangência suficiente para que não se incorresse em equívocos no momento de realizar as avaliações.

A análise dos resultados atuais que foi realizada com o auxílio das ferramentas estatísticas propostas e a identificação dos pontos de controle, através da sugestão de utilização de um novo fluxo para a purificação da cafeína, foram “peças” fundamentais para o estabelecimento da metodologia para implementação do controle estatístico do processo.

A escolha dos Gráficos de Controle para as características selecionadas baseou-se puramente nas particularidades do processo, de forma que para a

variável unidade utilizou-se os gráficos para medidas individuais e amplitude móvel (X, AM) porque as amostras consistiam em uma única unidade. Para a aparência, por ser um atributo do produto, optou-se pela aplicação do gráfico para a fração não-conforme p . Em todos esses gráficos foram detectadas a existência de variações, que estavam contribuindo para a instabilidade estatística do processo.

O estudo permitiu a comprovação de que o processo utilizado pela empresa Exnama admite uma monitoração contínua, de forma a oferecer uma ação imediata no momento da identificação de um problema. Uma avaliação apurada dos pontos críticos assinalados pelos gráficos de controle apontou causas que até então não haviam sido identificadas.

O estudo comprovou também que através da utilização de recursos como PDCA e 5W 1H é possível identificar as oportunidades de melhoria da qualidade e utilizá-las para aumentar a qualidade e produtividade.

Por todos os resultados alcançados e por tudo que aqui foi exposto é possível afirmar que os objetivos propostos neste trabalho foram alcançados.

6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

- Com os resultados obtidos após a implantação do CEP, pode-se aproveitar a experiência adquirida e verificar a abrangência da metodologia para as outras empresas que possuam operações similares.

- Aplicação da metodologia japonesa QFD - “Quality Function Deployment” (Desdobramento da Função Qualidade), a qual permite recursos que vão desde o planejamento estratégico até às soluções de problemas, atuando como um forte recurso que poderia contribuir para melhorar a posição competitiva da empresa no mercado.

- Utilização do gráfico para média móvel exponencialmente ponderada - EWMA (*exponentially weighted moving average*) ou do Gráfico de CUSUM (Soma Acumulada), quando o processo exigir uma avaliação da ocorrência de pequenas variações.

- Extensão da implantação do Controle Estatístico de Processo, com a aplicação os Gráficos de Controle em outras áreas, como por exemplos: Laboratório de Controles Analíticos e Estação de Tratamento de efluentes.

- Utilização das técnicas de *benchmarking* para medição contínua e comparação das práticas da empresa com outras organizações que possuam liderança nos mercados nacional e internacional e dos sistemas de transporte por eles administrados. As análises de *benchmarking* poderiam contribuir para a melhoria do Sistema de Qualidade, enfocando principalmente produtividade e redução de custos, favorecendo assim o aumento da rentabilidade econômica da empresa.

REFERÊNCIAS

OBRAS CITADAS

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC – Controle da Qualidade Total**. Belo Horizonte: Bloch Editores S.A., 1992.

COULTATE, T.P. **Manual de Química e Bioquímica**. 2. ed. Zaragoza: Ed. Acribia S/A, 1996.

CRAIG, Charles R.; STITZEL, Robert G. **Farmacologia Moderna**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S.A., 1994.

DEMING, W. Edwards. **Qualidade: A Revolução da Administração**. Rio de Janeiro: Ed. Marques Saraiva, 1990.

FELLERS, Gary. **Trazendo os Princípios de Deming da Sala de Aula**. São Paulo: Ed. Pioneira, 1994.

FEIGENBAUM, Armand V. **Controle da Qualidade Total**. Vol. IV. São Paulo: Ed. McGraw-Hill, 1994.

GARVIN, David A. **Competing on the Eighth Dimensions of Quality**. Boston: Harvard Business Review, 1987.

HRADESKY, John L. **Productivity Quality Improvement**. New York: Ed. McGraw-Hill, 1988.

JURAN, J.M. GRYNA, Frank M. **Controle da Qualidade**. Vol. I. São Paulo: Ed. McGraw-Hill, 1991.

JURAN, J.M.; GRYNA, Frank M. **Controle da Qualidade**. Vol. VI. São Paulo: Ed. McGraw-Hill, 1993.

KRUGER, Arnold. Consumo de cafeína em pacientes psiquiátricos crônicos: Efectos y mecanismos, farmacológicos. España. Artigo do Cuidador Psiquiátrico, disponível em <<http://www.cuidadospsiquiatrico.com/articulos/cafeina.html>>. Acesso em: julho de 2002.

LAPPONI, Juan Carlos. **Estatística**. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora Ltda, 1997. 275-283 p.

LEVINE, David M.; BERENSON, Mark L.; STEPHAN, David. **Estatística Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1998.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 4. ed. New York: John Wiley & Son Inc, 2001.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da Qualidade**. São Paulo: Ed. Atlas, 2000.

REVISTA EXAME. 782 ed. São Paulo: Ed. Abril, p. 86. Publicação de 25 de Dezembro de 2002.

SAMOHYL, Robert. **Apostila de Introdução a Estatística em Engenharia de Produção**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

SHEWHART, Walter A. **Statistical Method**. New York: Ed. Dover Publications Inc, 1986.

SHREVE, Norris R.; BRINK JR., A. **Indústrias de Processos Químicos**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1997.

SLACK, Nigel. et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Ed. Atlas S.A., 1997.

SOMMER, Willy Arno. **Apostila de Introdução à Estatística**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

STEVENSON, William J. **Estatística Aplicada à Administração**. São Paulo: Ed. Harbra, 1981.

SPIEGEL, Murray R. **Estatística**. 3. ed. São Paulo: Ed. McGraw-Hill, 1994.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Avaliação da Qualidade de Medição**. Belo Horizonte: Ed. EDG, 1996.

YIN, Robert. **Estudo de Caso – Planejamento e Métodos**. 2. ed. São Paulo: Ed. Bookman, 2001.

OBRAS CONSULTADAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**. Informação e documentação – Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**. Informação e documentação – Numeração progressiva das seções de um documento escrito – Apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6027**. Informação e documentação - Sumário - Apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6028**. Resumos. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**. Informação e documentação – Citações em documentos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**. Informação e documentação Trabalhos Acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

COSTA NETO, Pedro Luiz de Oliveira. **Estatística**. 18. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda., 2000.

CRESPO, Antonio Arnot. **Estatística fácil**. 15. ed. São Paulo: Ed. Saraiva, 1997.

DIAMOND, Seymour. **The Practicing physician's approach headache**. New York: Ed. Wilkins, 2001.

DIRÓZ, Sílvia. **Economize Água**. Ano 1. Nº 6. São Paulo. Artigo publicado na revista Banas Ambiental, junho de 2000.

ECKES, George. **A Revolução Seis Sigma**. São Paulo: Ed. Campus, 2001.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Aurélio – O Dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Ed. Nova Fronteira, 1999

GIUSTINA, Arlindo Della. **Gestão Participativa para Redução dos Defeitos Operacionais na Indústria Cerâmica**. Dissertação de Mestrado aprovada pelo programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

JIS HANDBOOK. **Quality Control**. Japan: Japanese Standards Association, 1994, 794-800 p.

LERÍPIO, Alexandre de Ávila. **A Transição Para o Desenvolvimento Sustentável**. Santa Catarina: Gazeta Mercantil. Artigo publicado na Gazeta Mercantil, 2000.

LOURENÇO FILHO, Ruy de C.B. **Controle Estatístico de Qualidade**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1987.

MADU, N. Christian. **House of Quality**. New York: Ed. Chi Publishers, 2000.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1996.

PAGE, Clive P. et al. **Farmacologia Integrada**. Rio de Janeiro: ABBA Editorial Ltda, 1999.

MIRISHAWKA, Victor. **Controle da Qualidade Industrial**. São Paulo: Ed. CDQI, 1986.

PALFAI, Tibor. **Drugs and Human Behavior**. 2. ed. New York: Ed. Mc Graw-Hill, 1991.

RAVEN, Peter H.; ELGAT, Ray F.; EICHONN Susan E. **Biologia Vegetal**. 6. ed. São Paulo: Ed. Guanabara Roogan S/A, 2001.

REVISTA QUÍMICA E DERIVADOS . Ano XXXVI, nº391. São Paulo: Ed. QD Ltda, 2001.

SACHS, Ignacy. **Paradigma do Crescimento Responsável**. Artigo publicado em *Gestão Ambiental*, fascículo 1, 20/03/1996.

SANTOS FILHO, Davino F. dos. **Tecnologia de Tratamento de Água**. 3. ed. São Paulo: Livraria Nobel S/A, 1985.

SILVA, Luciana Santos Costa Vieira. **Aplicação do Controle Estatístico de Processos em Indústria de Laticínios Lactoplasa: Um Estudo de Caso**. Dissertação de Mestrado aprovada pelo programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

SOARES, Gonçalo Maria de V. P. de Paula. **Aplicação do Controle Estatístico de Processos em Indústria de Bebidas: Um Estudo de Caso**. Dissertação de Mestrado aprovada pelo programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

VAZ, Silvana Ramalho. **É preciso estar atento**. Ano 2, Nº 11. São Paulo. Artigo publicado na revista *Gerenciamento Ambiental*, Set/Out 2000.

VERGARA, Sylvia. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ed. Atlas, 2003.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Seis Sigma**. Belo Horizonte: Ed. Werkema Consultores Associados, 2001.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Belo Horizonte: Qualitymark Editora Ltda, 2002.

WHEELER Donald J.; CHAMBERS, David S. **Understanding Statistical Process Control**. USA: Ed. SPC Press, 1992.

GLOSSÁRIO

ACNES – Doença de natureza inflamatória e que compromete formações cutâneas pilosas e sebáceas.

ADITIVO – Substância adicionada a uma solução para aumentar, diminuir ou eliminar determinada propriedade desta.

ÁGUAS DE PROCESSO – Águas utilizadas em um processo.

ÁGUAS RECUPERADAS – Águas provenientes de um processo.

ÁGUAS RESIDUAIS – Águas que já não possuem interesse ao processo. Rejeito.

ALCALÓIDE – Qualquer das substâncias de um extenso grupo encontrado nos vegetais, em geral nitrogenadas, com pronunciada ação fisiológica sobre os animais.

ANÁLISE CROMATOGRÁFICA – Análise através de aparelho de cromatografia, onde se identificam os componentes de uma mistura.

APNÉIA – Parada da respiração.

CAFEÍNA BRUTA – Alcalóide utilizado como estimulante, no seu estado bruto (sem purificação), trimetilxantina.

CAFEÍNA PURA – Resultante da purificação da cafeína bruta.

CEFALÉIAS – Dor de cabeça.

CLORETO DE METILENO – Produto químico orgânico.

CLOROFÓRMIO – Triclorometano líquido, incolor, com odor agradável, volátil, usado com anestésico.

COMPRIMENTO DE ONDA – Distância entre dois pontos cuja diferença de fase é igual a 2π radianos.

EFEITOS LIPOLÍTICOS – Desdobramento das gorduras em ácidos graxos e seus sais pela ação da bile e do suco pancreático.

ESPECTRÔMETRO – Instrumento que permite a separação de uma radiação policromática nos seus componentes monocromáticos, possibilitando a medição dos seus comprimentos de onda.

EXTRAÇÃO VIA LÍQUIDO-LÍQUIDO – Extração de um líquido através da absorção por outro líquido.

EXTRATO BRUTO – Extrato vegetal ou sintético que ainda não foi purificado.

EXTRATOS NATURAIS – Extrato bruto vegetal.

FARMACOPÉIAS – Livro oficial em que se reúnem fórmulas e preceitos relativos à preparação de medicamentos e à sua identificação, e se arrolam os medicamentos aprovados pelo Estado. Coleção ou repositório de receitas de medicamentos básicos e gerais.

HIDRÓLISE – Reação da água sobre um composto com fixação de íons hidrogênio e/ou de íons hidroxila.

INGREDIENTE ATIVO – Ingrediente que tem uma forte participação.

LEGISLAÇÃO AMBIENTAL – Legislação Ambiental do Amazonas CONAMA 20.

MONOCROMÁTICA – Com uma única cor ou radiação, com apenas um comprimento de onda.

pH DE UMA REAÇÃO – Potencial de hidrogênio. Escala utilizada para identificar o nível de acidez ou basicidade de soluções.

POLICROMÁTICA – Que tem várias cores ou radiações.

PPM – Partes por milhão (64ppm = 0,0064%)

RADIANO – Unidade de medida de um arco.

TEOBRINA DE CACAU – Alcalóide extraído do cacau.

TRIMETILXANTINA – Cafeína.

VIA SEMI-SINTÉTICA – Preparado mediante reações que modificam um produto natural.

XANTINA – Alcalóide obtido através da extração de diversas planta.

APÊNDICE A – Dados para Cálculo dos Limites de Controle para o gráfico p

Tabela 9 – Resultado das Inspeções da Característica Aparência

Grupo de Produção	Número de Sacos Inspeccionados	Número de Sacos Rejeitados	Fração Não – conforme (p)
1	25	1	0.040
2	25	1	0.040
3	28	2	0.071
4	26	1	0.038
5	28	1	0.036
6	25	1	0.040
7	28	0.5	0.018
8	31	2	0.065
9	30	1	0.033
10	26	0.5	0.019
11	25	1	0.040
12	26	0	0.000
13	32	1	0.031
14	26	0.5	0.019
15	25	1	0.040
16	28	0.5	0.018
17	26	1	0.038
18	28	2	0.071
19	25	1	0.040
20	30	1	0.033
21	26	0	0.000
22	25	1	0.040
Total	594	21	$\bar{p} = 0.035$

APÊNDICE B – Normalidade da Característica Umidade

Tabela 10 – Umidade no Secador no período julho - setembro de 2002

0,08	0,09	0,03	0,08	0,13	0,10	0,15	0,52	0,49	0,46	0,10	0,09
0,03	0,04	0,10	0,15	0,09	0,12	0,09	0,12	0,09	0,08	0,05	0,05
0,04	0,07	0,16	0,08	0,04	0,09	0,15	0,06	0,12	0,20	0,20	0,20
0,11	0,06	0,08	0,07	0,11	0,08	0,09	0,04	0,12	0,07	0,10	0,09
0,13	0,10	0,08	0,12	0,10	0,07	0,09	0,13	0,09	0,12	0,10	0,08
0,14	0,13	0,18	0,13	0,10	0,12	0,12	0,08	0,10	0,14	0,10	0,09
0,10	0,09	0,08	0,09	0,11	0,15	0,08	0,04	0,09	0,14	0,07	0,09
0,07	0,12	0,07	0,08	0,06	0,12	0,10	0,07	0,08	0,07	0,11	0,08
0,12	0,05	0,08	0,16	0,08	0,05	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07	0,08
0,08	0,06	0,07	0,04	0,07	0,09	0,20	0,09	0,07	0,07	0,05	0,03

Equação para teste de normalidade **Jarque-Bera**:

$$JB = n \left[\frac{A^2}{6} + \frac{(C - 3)^2}{24} \right] , \text{ Se } JB \leq 5,99 \Rightarrow \text{Normalidade}$$

Onde:

JB = estatística **jarque-bera**

n = tamanho da amostra

A = assimetria (grau de desvio da distribuição)

C = curtose (grau de achatamento da distribuição)

Para o cálculo da estatística **JB** foram utilizados os dados das tabelas 10 e 11, excluindo-se os resultados (0,56; 0,49; 0,46). Foram calculados os desvio-padrão, coeficientes de assimetria e curtose e elaborado o Histograma dessa distribuição (Figura 41).

Tabela 11 – Valores para o Cálculo da Estatística JB

x	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$(x - \bar{x})^3$	$(x - \bar{x})^4$
0,08	-0,01276	0,00016	-2,077 E -06	2,650 E -08
0,09	-0,00276	0,00076	-2,100 E -08	5,791 E -11
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
0,05	-0,04276	0,00183	-7,817 E -05	3,343 E -06
0,03	-0,06276	0,00394	-0,00025	1,551 E -05
\bar{x}	$\sum (x - \bar{x})$	$\sum (x - \bar{x})^2$	$\sum (x - \bar{x})^3$	$\sum (x - \bar{x})^4$
0,09276	0,19905	0,15392	0,005002	0,00082

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} = 0,04$$

$$A = \frac{\sum (x - \bar{x})^3}{n \cdot s^3} = 0,84$$

$$C = \frac{\sum (x - \bar{x})^4}{n \cdot s^4} = 3,76$$

JB = 5,76 \Rightarrow Normalidade

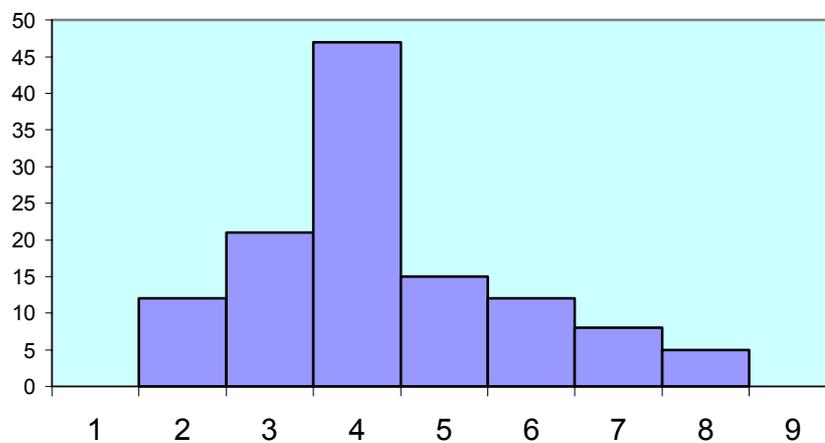


Figura 41- Histograma da Distribuição dos 117 Dados

ANEXO B – Fatores para Construção de Gráficos de Controle

Número de observações no subgrupo	E ₂
2	2.660
3	1.772
4	1.457
5	1.290
6	1.184
7	1.109
8	1.054
9	1.010
10	0.975
11	0.946
12	0.921
13	0.899
14	0.881
15	0.864

Fonte: Juran (1993, p. 470)

Tabela C.2: Constantes para a Construção de Gráficos de Controle (Extraída de Montgomery, D.C. (1991a)).

Observações na Amostra, n	Gráficos para Médias			Gráficos para Desvio Padrão						Gráficos para Amplitudes						
	Fatores para os limites de controle			Fatores para a linha média		Fatores para os limites de controle.				Fatores para a linha média						
	A	A ₂	A ₃	c ₄	1/c ₄	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	d ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2,121	1,880	2,659	0,7979	1,2533	0	3,267	0	2,606	1,128	0,8865	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,732	1,023	1,954	0,8862	1,1284	0	2,568	0	2,276	1,693	0,5907	0,888	0	4,358	0	2,575
4	1,500	0,729	1,628	0,9213	1,0854	0	2,266	0	2,088	2,059	0,4857	0,880	0	4,698	0	2,282
5	1,342	0,577	1,427	0,9400	1,0638	0	2,089	0	1,964	2,326	0,4299	0,864	0	4,918	0	2,115
6	1,225	0,483	1,287	0,9515	1,0510	0,030	1,970	0,029	1,874	2,534	0,3946	0,848	0	5,078	0	2,004
7	1,134	0,419	1,182	0,9594	1,0423	0,118	1,882	0,113	1,806	2,704	0,3698	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	1,061	0,373	1,099	0,9650	1,0363	0,185	1,815	0,179	1,751	2,847	0,3512	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	1,000	0,337	1,032	0,9693	1,0317	0,239	1,761	0,232	1,707	2,970	0,3367	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,949	0,308	0,975	0,9727	1,0281	0,284	1,716	0,276	1,669	3,078	0,3249	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,285	0,927	0,9754	1,0252	0,321	1,679	0,313	1,637	3,173	0,3152	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,866	0,266	0,886	0,9776	1,0229	0,354	1,646	0,346	1,610	3,258	0,3069	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,832	0,249	0,850	0,9794	1,0210	0,382	1,618	0,374	1,585	3,336	0,2998	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,802	0,235	0,817	0,9810	1,0194	0,406	1,594	0,399	1,563	3,407	0,2935	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,775	0,223	0,789	0,9823	1,0180	0,428	1,572	0,421	1,544	3,472	0,2880	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,750	0,212	0,763	0,9835	1,0168	0,448	1,552	0,440	1,526	3,532	0,2831	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637
17	0,728	0,203	0,739	0,9845	1,0157	0,466	1,534	0,458	1,511	3,588	0,2787	0,744	1,356	5,820	0,378	1,622
18	0,707	0,194	0,718	0,9854	1,0148	0,482	1,518	0,475	1,496	3,640	0,2747	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,688	0,187	0,698	0,9862	1,0140	0,497	1,503	0,490	1,483	3,689	0,2711	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,671	0,180	0,680	0,9869	1,0133	0,510	1,490	0,504	1,470	3,735	0,2677	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585
21	0,655	0,173	0,663	0,9876	1,0126	0,523	1,477	0,516	1,459	3,778	0,2647	0,724	1,605	5,951	0,425	1,575
22	0,640	0,167	0,647	0,9882	1,0119	0,534	1,466	0,528	1,448	3,819	0,2618	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,626	0,162	0,633	0,9887	1,0114	0,545	1,455	0,539	1,438	3,858	0,2592	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557
24	0,612	0,157	0,619	0,9892	1,0109	0,555	1,443	0,549	1,429	3,895	0,2567	0,712	1,759	6,031	0,451	1,548
25	0,600	0,153	0,606	0,9896	1,0105	0,565	1,433	0,559	1,420	3,931	0,2544	0,708	1,806	6,056	0,459	1,541

Para n > 25

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad A_2 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} \quad c_4 \equiv \frac{4(n-1)}{4n-3} \quad B_3 = 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}} \quad B_4 = 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}} \quad B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} \quad B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$

Fonte: Werkema (1995, p. 382)