

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

DANIEL ZORZATTO

PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DO
CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO EM UMA INDÚSTRIA DO
SETOR SUCROENERGÉTICO

Dourados/MS

2012

DANIEL ZORZATTO

PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DO
CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO EM UMA INDÚSTRIA DO
SETOR SUCROENERGÉTICO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Fundação Universidade Federal da Grande Dourados, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Alves Barbosa

Dourados/MS

2012

DANIEL ZORZATTO

PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DO
CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO EM UMA INDÚSTRIA DO
SETOR SUCROENERGÉTICO

Monografia julgada e apresentada, em 05 de julho de 2012, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro de Produção, da Faculdade de Engenharia na Fundação Universidade Federal da Grande Dourados, pela comissão formada pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabio Alves Barbosa

Universidade Federal da Grande Dourados
orientador

Prof. Dr. Walter Roberto Hernandez Vergara

Universidade Federal da Grande Dourados
convidado

Eng. Gustavo Souza de Almeida

Universidade Católica Dom Bosco
convidado

Dourados/MS

2012

Dedico este trabalho aos meus avós João Zorzatto e Sebastiana Suave Zorzatto, que foram para mim exemplos de vida, e que sempre acreditaram e me deram forças para vencer.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por tudo que precisei para chegar até aqui com saúde e sabedoria, com o apoio de pessoas que fizeram diferença em minha vida acadêmica e profissional. Ao meu pai, pela preocupação e por sempre ter me apoiado mesmo em todas as dificuldades. À minha mãe, pela alegria, amor e carinho mesmo distante. À minha avó Sebastiana que teve sempre me apoiando e por ter me ajudado a chegar até aqui. À Ana Paula, por todo apoio e compreensão nestes momentos finais de graduação.

Ao tio Osvaldo, pelos puxões de orelha e por todo amparo necessário durante minha graduação em Dourados. Ao tio José Roberto *in memoriam*, pelos conselhos e pelo carinho. Às minhas irmãs, que acreditaram em meu potencial e sempre rezaram por mim.

Ao professor Fabio, pelo aprendizado e perspicácia. Aos professores Walter, Eliete, Luciano e Maria Aparecida, por todo conhecimento adquiridos juntos. Ao Gustavo Almeida pela atenção e participação na avaliação do trabalho.

Aos amigos Lucas, André, Diego, Rodrigo e José Pires, pela parceria nos anos de república e nos momentos difíceis que enfrentamos juntos. Aos amigos Amanda e João Pedro, pelos grupos de estudo e pelos trabalhos compartilhados nestes anos todos. Às amigas Jerusa e Daiane, pelas horas de risos e lágrimas que vivemos juntos. Ao amigo André também pela incomparável parceria e pela disponibilidade a ajudar.

Aos amigos e colegas da II turma de Engenharia de Produção da UFGD, pelos anos todos em que passamos juntos, e que juntos vencemos mais essa etapa.

Ao Sr. Celismar, que permitiu e acreditou na realização deste estudo. Ao Marcelo Carvalho, que sempre acreditou e muito me ensinou como engenheiro tutor.

A todos que contribuíram de certa forma na realização deste estudo. OBRIGADO!

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido. Não na vitória propriamente dita.”
Mahatma Gandhi

RESUMO

ZORZATTO, Daniel. **Proposição de uma metodologia de implantação do Controle Estatístico de Processo em uma indústria do setor sucroenergético**. Monografia. (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, 2012.

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é uma metodologia de prevenção de descontinuidade de um processo produtivo em relação a seus padrões específicos, que se baseia em ferramentas da qualidade para assegurar que se poderão prever variâncias significativas, de forma a controlar e/ou eliminar essas variações, promovendo uma excelência operacional as organizações. Baseado nestes conceitos, este estudo propõe a uma indústria do setor sucroenergético no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, uma metodologia de implantação do CEP a seu processo de extração do caldo de cana-de-açúcar para produção do açúcar, etanol e da cogeração de energia elétrica, de forma a garantir o controle de processo prevenindo-o de instabilidades. Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre Engenharia da Qualidade e seus principais autores, além dos conceitos de Controle Estatístico de Processo e Análise de Capacidade, dando total embasamento teórico a pesquisa presente. Através das ferramentas da qualidade, foi possível propor melhorias ao processo que não se encontrava em regime estatístico, e dar a este, totais condições de produção de itens em conformidade com as especificações, conforme sua capacidade de produção em instância de excelência.

Palavras-chave: Qualidade, Controle Estatístico de Processo, Análise de Capacidade, Gráficos de Controle.

ABSTRACT

The Statistical Process Control (SPC) is a methodology to prevent interruption on a production process in relation to their specific patterns, which is based on quality tools to ensure they can will provide significant variances in order to control and/or eliminate these variations, promoting operational excellence in organizations. Based on these concepts, this study proposes a sugar and ethanol industry in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil, a methodology to implement the SPC their process of juice extraction from sugar cane to produce sugar, ethanol and cogeneration of electricity, in order to ensure control of the process preventing him from instabilities. It was performed a literature review on Quality Engineering and it's principal authors, beyond the concepts of Statistical Process Control and Capability Analysis, giving full theoretical foundation this research. Through the tools of quality, it was possible to propose improvements to the process that was not in a statistical system, and give it, overall conditions of production of items in accordance with the specifications, as it's production capacity at instance of excellence.

Keywords: Quality, Statistical Process Control, Capacity Analysis, Control Charts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Esquematização da concepção da Pesquisa.....	19
Quadro 2.1: Eras da Qualidade.....	24
Figura 2.1: Ciclo PDCA.....	27
Figura 2.2: Exemplo de fluxograma (diagrama) de processo	30
Figura 2.3: Exemplo de um gráfico de controle	31
Figura 2.4: Exemplo de um gráfico de dispersão	32
Figura 2.5: Exemplo de um diagrama de causa e efeito	32
Figura 2.6: Exemplo de um diagrama de Pareto	33
Figura 2.7: Exemplo de um histograma	33
Figura 2.8: Exemplo de uma folha de verificação	34
Figura 2.9: Esquema de um processo de comportamento estável (sob controle)	36
Figura 2.10: Fluxograma para construção e utilização de gráficos de controle	38
Figura 4.1: Fluxograma do Processo de fabricação do açúcar, etanol e bioeletricidade	50
Figura 4.2: Esquema da triangulação de um terno de moenda e o fluxo de cana, caldo e bagaço	51
Figura 4.3: Fluxograma do processo de extração do caldo de cana-de-açúcar	54
Figura 4.4: Ficha de controle de parâmetros da extração do caldo	57
Figura 4.5: Coletor contínuo de bagaço	58
Figura 4.6: Análise estatística de capacidade – concentração do caldo (°Bx)	60
Figura 4.7: Análise estatística de capacidade – pol do bagaço (%).....	61
Figura 4.8: Análise estatística de capacidade – umidade do bagaço (%).....	62
Figura 4.9: Diagrama de causa e efeito para identificação das causas de instabilidade no processo de extração do caldo	63
Figura 4.10: Diagrama de Pareto para classificação ABC das causas de instabilidade do processo.....	65

Figura 4.11: Análise estatística de capacidade pós-melhoria – concentração do caldo (°Bx)	67
Figura 4.12: Análise estatística de capacidade pós-melhoria – pol do bagaço (%).....	67
Figura 4.13: Análise estatística de capacidade pós-melhoria – umidade do bagaço (%)	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: As oito dimensões de Garvin	25
Tabela 2.2: Fatores de correção em função do tamanho da amostra (n).....	40
Tabela 4.1: Especificações dos parâmetros de controle do processo	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SGQ	- Sistema de Gestão da Qualidade
CEP	- Controle Estatístico de Processo
COI	- Central de Operações Integradas
PIB	- Produto Interno Bruto
PDCA	- Planejar, Fazer, Checar, Agir (em inglês, <i>Plan, Do, Check, Act</i>)
TQC	- Controle Total da Qualidade (em inglês, <i>Total Quality Control</i>)
TQM	- Gerenciamento da Qualidade Total (em inglês, <i>Total Quality Management</i>)
ISO	- Organização Internacional para Padronização (em inglês, <i>International Standardization for Organization</i>)
ERP	- Sistema de Gestão Integrada (em inglês, <i>Enterprise Resources Planning</i>)

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	15
1.1. DEFINIÇÃO DO TEMA	16
1.2. JUSTIFICATIVA	17
1.3. OBJETIVOS.....	18
1.3.1. Objetivo Geral.....	18
1.3.2. Objetivos Específicos	18
1.4. LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	18
1.5. ESTRATÉGIA DO ESTUDO E CONCEPÇÃO DA PESQUISA	19
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	20
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	22
2.1. BREVE HISTÓRICO DA QUALIDADE	22
2.2. AS ERAS DA QUALIDADE	24
2.3. OS PRINCIPAIS AUTORES DA QUALIDADE	26
2.3.1. Willian Edwards Deming	27
2.3.2. Walter Shewhart.....	27
2.3.3. Joseph M. Juran.....	28
2.3.4. Armand Feigenbaum	28
2.3.5. Philip Crosby	29
2.3.6. Kaoru Ishikawa	30
2.4. FERRAMENTAS DA QUALIDADE.....	30
2.4.1. Fluxograma de Processo.....	31
2.4.2. Gráficos de Controle	32
2.4.3. Gráficos de Dispersão	32
2.4.4. Diagrama de Causa e Efeito	33
2.4.5. Diagrama de Pareto	34
2.4.6. Histogramas	34
2.4.7. Folhas de Verificação.....	34
2.5. CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO.....	35
2.5.1. Gráficos de Controle \bar{x} e R	39
2.5.2. Gráficos de Controle \bar{x} e s	41
2.5.3. Gráficos de Controle para Medidas Individuais (Gráficos de x e AM).....	43

2.5.4. Interpretação e Capacidade do Processo	44
CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	45
3.1. NATUREZA E ABORDAGEM DA PESQUISA	45
3.2. TÉCNICA DE COLETA DE DADOS	46
3.3 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	46
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1. O SETOR SUCROENERGÉRICO E A EMPRESA PESQUISADA	48
4.2. O PROCESSO INDUSTRIAL.....	49
4.3. O PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO CALDO	52
4.3.1. Recepção da Cana	53
4.3.2. Preparação da Cana	53
4.3.3. Extração do Caldo por Moendas	54
4.4. PROPOSTA DO TRABALHO	56
4.5. PRÉ-AVALIAÇÃO DO PROCESSO	56
4.6. ANÁLISE DE COMPORTAMENTO ESTATÍSTICO	60
4.7. MELHORIA DO PROCESSO.....	63
4.8. ESTUDO DA ESTABILIDADE E CAPACIDADE DO PROCESSO.....	67
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A indústria que produz derivados da cana-de-açúcar está em potencial crescente no cenário nacional e internacional. Mesmo sabendo-se das múltiplas usabilidades destes produtos, tem-se também um grande apelo com o meio ambiente quando, por exemplo, comparamos os derivados de petróleo que esta indústria vem para substituir. O etanol (álcool etílico produzido através da fermentação do caldo da cana-de-açúcar) tem vantagem ainda maior quando se mostram as barreiras do mercado internacional, que hoje demanda alta produção deste biocombustível.

Desta forma, o que se vê hoje no Brasil, são as forças de mercado investindo em quantidade crescente no setor sucroenergético, direcionando a produção de etanol combustível, açúcar de consumo ou não consumo humano, plástico biodegradável produzido a partir da compactação do bagaço da cana, e principalmente as novas fontes de energia de biomassa que são transformadas em energia elétrica através da queima do bagaço e também da produção de biogás através da digestão anaeróbica da vinhaça (resíduo da produção de etanol).

Neste contexto, é necessário que a liderança da sociedade produtora brasileira se mobilize e enxergue o que realmente traz o potencial de produção de produtos a partir da cana-de-açúcar, vendo-a tanto como uma fonte de produção de energia limpa e renovável, como para a produção de matéria de alto valor agregado (principalmente etanol combustível e o açúcar para exportação). A matéria-prima cana-de-açúcar tem um potencial que não pode ser desperdiçado pelo capital brasileiro, contudo, sem que haja um estudo de capacidade, e planejamento com estímulos sólidos ao acompanhamento da crescente demanda, poderemos nos ver em uma situação de desabastecimento de todos os produtos pertinentes a esta cadeia produtiva.

Preocupar-se com este setor é querer encaixá-lo num sistema de produção bem definido em que a engenharia se aplica e seja capaz de ser a solucionadora de problemas e criação de alternativas que se contextualizem no âmbito agroindustrial.

Dentro deste capítulo serão tratados itens sobre a origem e justificativa do trabalho proposto, bem como da formulação do problema e da questão da pesquisa. Serão também mostrados os objetivos, o procedimento metodológico e a limitação do trabalho. Por último serão tratados estratégia e concepção da pesquisa e a sua estrutura.

1.1. DEFINIÇÃO DO TEMA

Em uma visão mais moderna do controle estatístico de processo (CEP), segundo o que diz Toledo (2011), pode-se dizer que o CEP é entendido como uma ideologia de gerenciamento e um conjunto de metodologias e desenvolvimentos, provenientes da Estatística e da Engenharia de Produção, desenvolvidas por Shewhart¹ (CARVALHO *et al.*, 2006), que visam garantir a estabilidade e o melhoramento contínuo de um processo de produção para controle de processos produtivos (ou serviços), com objetivo de ministrar dados para uma análise mais eficaz na prevenção e detecção de defeitos nos processos avaliados e, por conseguinte, ajuda no aumento da produtividade da empresa, impedindo desperdícios de insumos, matéria-prima, e produtos.

Numa ideia principal, o CEP tende a melhorar processos produtivos com menos variabilidade, propiciando condições melhores de qualidade nos resultados da produção. Quando se abrange o CEP na melhoria de processos, está se falando também em diminuição de custos, pois este diminui principalmente em função de duas razões: a amostragem e a redução de rejeito (CARVALHO *et al.*, 2006).

O surgimento de um novo paradigma da melhoria nos processos dos sistemas de produção, sendo consideradas as mudanças das condições econômicas mundiais, fez com que surgissem necessidades de soluções alternativas àquelas construídas sob a realidade de um raciocínio técnico-econômico. Isto surgiu em um mercado minúsculo como o do Japão do pós-guerra, ou seja, a partir de 1945 (ANTUNES, 2008).

Estudos para controle de processos em indústrias do setor sucroenergético não são bem disseminados dentro do contexto da engenharia de produção, principalmente quando se abrange a Engenharia da Qualidade, sendo que hoje este é um dos maiores empregadores no estado de Mato Grosso do Sul, e com uma grande participação no PIB nacional.

Para tanto, uma questão que em se aplica a proposta do estudo relacionado, segue abaixo:

- ✓ O que uma empresa de fabricação de açúcar e etanol pode fazer para enfrentar os obstáculos de controle do processo de extração de caldo?

¹ Shewhart, Walter A. Conhecido como o pai do controle estatístico da qualidade, desenvolveu uma das ferramentas mais utilizadas no controle da qualidade até hoje, que foram os gráficos de controle (CARVALHO *et al.*;2006).

1.2. JUSTIFICATIVA

A ideia principal de desenvolvimento deste estudo iniciou-se através da realização de estágio extracurricular (ou estágio complementar), que foi desenvolvido em uma empresa do setor sucroenergético, responsável pela produção de açúcar, etanol e bioeletricidade, instalada no interior do Estado de Mato Grosso do Sul. Através de experiências vivenciadas no local, viu-se que parâmetros na produção estavam prejudicando o processo, e à medida que a criticidade desenvolveu-se, surgiu a necessidade de realização do estudo.

O Brasil hoje é o maior produtor mundial de açúcar, uma *commoditie* internacional que é bastante demandada no mercado externo; e o segundo maior produtor de etanol combustível, e a partir destes dados, observamos que estamos em potencialidade neste mercado. Não é de agora que observamos o forte e crescente mercado do açúcar, etanol e bioeletricidade (setor sucroenergético) crescer no ambiente competitivo do mercado de ações de investimentos, afinal no Brasil e no mundo estas três forças vem sofrendo alta demanda e em padrões de exigência.

No Estado de Mato Grosso do Sul o cenário vem apontando como destaque para instalação de novos investimentos quando se trata de empresas produtoras e/ou fornecedoras de produtos e subprodutos do setor sucroenergético, em virtude de o Estado conter terras disponíveis e adequadas para o cultivo da cana-de-açúcar (ROBERTO, 2011).

Para a produção de açúcar e etanol combustível a matéria-prima utilizada no país é a cana-de-açúcar, e dela faz-se a extração do caldo, no caso da indústria relacionada, através de tornos de moenda. Na moenda instalada em uma usina, pode haver prejuízos relacionados a falhas dos equipamentos, ocorrendo baixa na concentração de sacarose no caldo, perda de sacarose no bagaço (resíduo), e ainda ocorrer alta de umidade do mesmo bagaço.

Se tratando de uma indústria que hoje tem certificação de qualidade ISO 9001², será necessário a aplicação de ferramentas de qualidade, mais precisamente uma proposta de implantação de um controle estatístico do processo de extração de caldo, para que se possa haver conformidade com os dados em que foram documentados e certificados pelo órgão auditor.

Em virtude de seu comportamento satisfatório no controle de variáveis críticas de processo, se optou pelo uso do controle estatístico de processos contínuos para haver um

² ISO 9001 especifica os requisitos básicos para um sistema de gestão da qualidade (SGQ) que uma organização deve cumprir para demonstrar sua habilidade em fornecer produtos (que incluem serviços) que aumentam a satisfação do cliente e atender requisitos estatutários e regulamentares (ISO, 2011).

melhor desempenho do processo, com a finalidade de se obter um recurso com alto grau de satisfação e baixo custo de controle computacional.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Desenvolver uma proposta de implantação do CEP (Controle Estatístico de Processo) no processo de extração do caldo de cana através de ternos de moenda em uma indústria do setor sucroenergético, mais precisamente, em uma usina de fabricação de açúcar, etanol e cogeração de energia elétrica, para que fosse possível a resolução de um velho problema de instabilidade e descontrole no processo industrial.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Construir um referencial teórico sobre Engenharia da Qualidade e o CEP;
- Caracterizar o processo de extração do caldo de cana para obtenção de matéria-prima para a fabricação de açúcar e etanol;
- Identificar pontos críticos e variáveis relacionados com a aplicação do CEP;
- Elaborar um conjunto de técnicas e ferramentas ligadas ao CEP para monitoramento e controle do processo de extração do caldo de cana;
- Propor uma metodologia específica para a implantação do CEP no referente processo industrial.

1.4. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Dentro dos sistemas de qualquer tipo de produção não se pode dizer que os parâmetros atingidos estão sendo exatamente iguais as especificações que seguem o projeto. Portanto, nos controles aplicáveis ao estudo de implantação do CEP, limita-se a pesquisa as variáveis aproveitáveis ao processo de extração do caldo de cana para fabricação de açúcar e etanol, (no caso a concentração do caldo e a quantidade de sacarose e umidade no bagaço residual) desenvolvendo controles sobre as variáveis críticas neste processo, podendo haver um melhor

aproveitamento dos estudos pelos responsáveis na gerência, supervisão e coordenação deste processo.

1.5. ESTRATÉGIA DO ESTUDO E CONCEPÇÃO DA PESQUISA

Para o desenvolvimento do estudo, as estratégias foram assim aplicadas: em primeiro momento, realizou-se uma revisão bibliográfica, buscando analisar os conhecimentos referentes às áreas de estudo. Para a pesquisa de revisão bibliográfica realizou-se buscas através de livros, teses e dissertações, Internet e em periódicos especializados, sempre procurando por palavras-chave tais como gestão da qualidade, sistema de produção de açúcar e etanol e controle estatístico de processo, abordando assuntos comuns as áreas de estudo.

Em consequente, realizou-se um estudo de caso, onde se coletou dados e informações através de questionamentos por entrevistas e também da observação das atividades de processo e do supervísório na central de operações integradas (COI).

Desta forma, foi possível analisar, comparar e obter conclusões sobre o funcionamento e interação do processo, para que se envolvesse o mesmo no estudo do controle estatístico de processo.

No esquema de concepção do trabalho de pesquisa, na Figura 1.1 tem-se uma visão geral dos elementos de definição do tema, objetivo do estudo, a revisão e o desenvolvimento do método de pesquisa aplicado ao atendimento dos objetivos e seus resultados (VASCONCELOS, 2008).

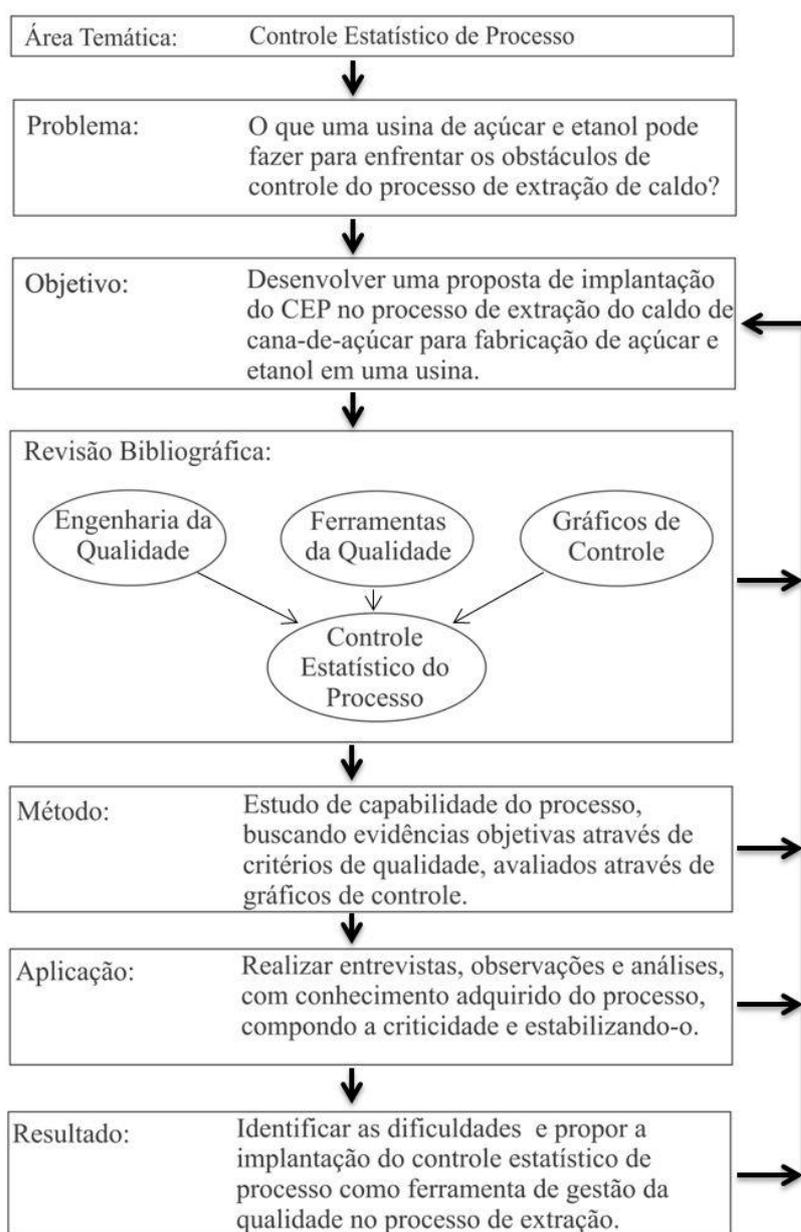


Figura 1.1: Esquematização da concepção da Pesquisa.
 Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2008).

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

Neste presente trabalho, que visa a proposição de uma metodologia de implantação do CEP, serão apresentados referenciais teóricos abordando um breve histórico da qualidade, quem foram os principais nomes que tiveram participação ativa no desenvolvimento e aplicação da qualidade, bem como as sete ferramentas desenvolvidas pelos gurus da qualidade, além da desmistificação do CEP como ferramenta essencial na gestão da qualidade.

Dentro da próxima etapa do estudo serão apresentadas as fases de tipo e natureza da pesquisa, coleta dos dados para pesquisa, e conseqüentemente a forma de interpretação dos dados coletados.

Por se tratar de um estudo de caso em que não se informará a empresa especificamente estudada, os dados apresentados neste trabalho mostrarão apenas informações da empresa sem que se cite seu nome, e apresentar-se-ão as ferramentas para proposta de implantação do Controle Estatístico de Processo.

CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Pode-se observar na literatura que qualidade é definida de diferentes maneiras pelos principais autores da área. Neste capítulo apreciaremos de definições da qualidade em foco da história, das eras da qualidade, os principais autores e o que pensa cada um deles.

O capítulo aborda principalmente as técnicas de controle estatístico da qualidade, o gerenciamento por processos, e sistemas de gestão da qualidade como diretrizes de qualidade implantadas na empresa. Um parecer do cenário da cana-de-açúcar no Brasil e o mercado do açúcar, do etanol e da bioeletricidade são apresentados no Capítulo 4.

2.1. BREVE HISTÓRICO DA QUALIDADE

Para se falar em qualidade, deve-se antes discursar um pouco sobre seu contexto histórico, interpretando o que se disse ao longo das gerações e sua evolução no ambiente produtivo mundial.

Antigamente a produção se fazia por meios artesanais, e quem controlava todos os quesitos produtivos era o artesão, que projetava, manufaturava, fazia o marketing e vendia toda a produção. Como os produtos eram feitos cada um a sua maneira, para o artesão era fácil atender aos pedidos específicos dos compradores, portanto era fácil para ele atender as necessidades dos clientes, e uma vez um cliente satisfeito, a propaganda boca a boca era feita pelos clientes satisfeitos (CARVALHO *et al.*, 2006).

Mas na medida em que foi surgindo o sistema de produção em massa através da Revolução Industrial, os problemas foram se transformando e os modelos e definições atuais sobre a qualidade começaram a ser modificados. Nos modelos de produção da Ford, a fabricação do Ford T não mais atendia as necessidades dos clientes mais exigentes, pois segundo o que disse Henry Ford: “O cliente pode ter o carro da cor que quiser, contanto que seja preto”. Isso não foi empecilho para que o Ford T fosse considerado o carro do século e emplacasse mais de 15 milhões de unidades vendidas entre os anos de 1908 a 1927 (ANTUNES, 2008).

Em contrapartida, essa época também foi muito importante na evolução do conceito de controle de qualidade, e a Ford teve sim sua contribuição neste contexto, pois para a produção do modelo era necessário que se atendessem as especificações de projeto, e eles aprenderam e muito com os erros de não ter um controle anterior sobre estes parâmetros.

Dentre algumas ferramentas que surgiram dentro destes períodos foram os gráficos de controle de Shewhart, que conceituou o controle de qualidade, fundindo os conceitos estatísticos com a realidade produtiva da empresa. Surgiu também o ciclo PDCA (*plan-do-check-act*) desenvolvido para realizar análises e resolução de problemas (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

O Japão também teve sua contribuição neste histórico da qualidade, após sofrer uma destruição do país na Segunda Guerra Mundial. Eles lutavam pela reconstrução do país no pós-guerra e tinham restrições no uso de materiais, e isso fez com que criassem suas próprias técnicas de qualidade, e neste período estiveram lá Deming e Juran. Segundo Carvalho (*et al.*, 2006) esses teóricos ajudaram na criação do modelo japonês, mas também aprenderam com as características deste modelo.

Toledo (2011) diz que Armand Feigenbaum definiu a qualidade como um sistema efetivo de empenhos para o desenvolvimento, habilitando os departamentos responsáveis pela produção de um bem ou serviço a atender inteiramente as necessidades dos clientes de modo mais econômico. Desta forma, Feigenbaum criou o Controle da Qualidade Total (TQC), influenciando profundamente o modelo proposto pela ISO (*International Standardization for Organization*), à série ISO 9000. Kaoru Ishikawa foi o japonês que através da JUSE (*Japan Union of Scientists and Engineers*) associou o sucesso da qualidade no Japão, incorporando ao TQC suas propostas do modelo oriental. Em meados da década de 1950, Philip B. Crosby disseminou os elementos que designaram o programa *Zero Defects* (Zero Defeitos), que foi muito popular na época, tanto em programas militares como em empresas (CARVALHO *et al.*, 2006).

Passando de Controle da Qualidade Total (TQC) para a Gestão da Qualidade Total (ou TQM – *Total Quality Management*), para se alcançar a excelência na gestão da qualidade, buscando melhorar a competitividade, a eficácia e a flexibilidade, esse modelo surgiu para garantir que a alta gerência tomasse uma posição estratégica em relação a qualidade (OAKLAND, 1994).

Deve-se entender que o conceito de Gestão da Qualidade é totalmente diferente do conceito de Controle da Qualidade (CQ), uma vez que o planejamento e gestão da qualidade obedecem a uma demarcação de objetivos e do estabelecimento dos meios necessários para atingi-los; e o controle da qualidade versa da execução de planos para que se possa dirigir as operações de forma a alcançar suas metas (JURAN, 2004).

Surgiu ainda na década de 1980 o programa mais recente de Gestão da Qualidade, criado pela americana Motorola, chamado *Six Sigma* (Seis Sigma). Os conceitos de Deming

aplicados atenderam as causas de variação, ficando possível melhora-las, sendo ainda medidos pelo seu desvio padrão (representado pela letra grega σ , “sigma” minúscula). Este método utilizado como ferramenta de Gestão da Qualidade vai além dos pensamentos estatísticos, pois agencia um alinhamento estratégico da qualidade, ajustada em projetos prioritários. Do mesmo modo, existe forte ostentação na relação custo-benefício desses projetos, cujos ganhos, em determinadas empresas, aumentam expressivamente (CABRERA JUNIOR, 2006).

Isto mostra que a gestão da qualidade evoluiu imparcialmente no século XX, e a gestão da qualidade total (TQM) e a série ISO 9000, surgiram como resultados formidáveis desta evolução, sendo adotados até hoje por várias empresas no Brasil e no mundo para ganhar ou elevar a competitividade (CARPINETTI, MIGUEL e GEROLAMO, 2009).

Desta maneira, deveremos focar em situações em que poderemos, através da evolução da qualidade, ao longo do seu desenvolvimento, acompanhar nos estudos como elas se mostram presentes no contexto das empresas.

2.2. AS ERAS DA QUALIDADE

No contexto da qualidade existem marcações temporais para separar as tendências dos modelos de evolução da qualidade. Vale também apontar, ainda que sejam separados por definições temporais, a interseção e a complementaridade entre os modelos predominantes em cada época sejam amplas.

Garvin (1992) realizou uma das separações temporais das que são hoje mais utilizadas, e classificou a evolução da qualidade em quatro eras, sendo elas:

- Inspeção;
- Controle Estatístico da Qualidade;
- Garantia da Qualidade; e
- Gestão da Qualidade.

As quatro eras foram separadas e classificadas conforme o Quadro 2.1:

Características Básicas	Interesse principal	Visão da Qualidade	Ênfase	Métodos	Papel dos profissionais de qualidade	Quem é o responsável pela qualidade
Inspeção	Verificação.	Um problema a ser resolvido.	Uniformidade do produto.	Instrumentos de medição.	Inspeção, classificação, contagem, avaliação e reparo.	O departamento de inspeção.
Controle Estatístico da Qualidade	Controle.	Um problema a ser resolvido.	Uniformidade do produto com menos inspeção.	Ferramentas e técnicas Estatísticas.	Solução de problemas e a aplicação de métodos estatísticos.	Os departamentos de fabricação e engenharia (o Controle de Qualidade).
Garantia da Qualidade	Coordenação	Um problema a ser resolvido, mas que é enfrentado proativamente.	Toda cadeia de fabricação, desde o projeto até o mercado, e a contribuição de todos os grupos funcionais para impedir falhas de qualidade.	Programas e sistemas.	Planejamento, medição da qualidade e desenvolvimento de programas.	Todos os departamentos, com alta administração se envolvendo superficialmente no planejamento e na execução das diretrizes da qualidade.
Gestão Total da Qualidade	Impacto Estratégico	Uma oportunidade de diferenciação da concorrência.	As necessidades de mercado e do cliente.	Planejamento estratégico, estabelecimento de objetivos e a mobilização da organização.	Estabelecimento de metas, educação e treinamento, consultoria a outros departamentos e desenvolvimento de programas.	Todos na empresa, com a alta administração exercendo forte liderança.

Quadro 2.1: Eras da Qualidade.

Fonte: Adaptado de Garvin (1992).

Considerações realizadas por Garvin também implicaram na gestão estratégica da qualidade, sendo definidas como “as oito dimensões de Garvin”, estando elas descritas na Tabela 2.1 (CORRÊA e CORRÊA, 2010):

<i>As oito dimensões de Garvin</i>	
1. desempenho	▪ Atributos operacionais principais de um produto.
2. característica	▪ Aspectos extras que suplementam o desempenho.
3. confiabilidade	▪ Frequência de operação positiva do produto.
4. conformidade	▪ Proximidade produto com a experiência do cliente.
5. durabilidade	▪ Tempo de vida, resistência ao uso do produto.
6. manutenção	▪ Preço e frequência de manutenção do produto.
7. estética	▪ Características relativas à aparência e à impressão.
8. qualidade percebida	▪ Sentimento e a maneira como o cliente é tratado.

Tabela 2.1: As oito dimensões de Garvin.

Fonte: Corrêa e Corrêa (2010).

Ao se falar realmente o que é a qualidade, poderemos obter várias definições do que esta resposta venha representar. Apesar da Garantia da Qualidade ampliar muito o aspecto gerencial de qualidade dentro das empresas, ela ainda permanece com ênfase na prevenção de defeitos; a qualidade continua sendo usada com ferramenta sob uma vista defensiva. Somente com a nova fase, a Gestão Total da Qualidade, foi possível visioná-la como sendo uma questão estratégica de ganho de clientes, pois agora se via a qualidade como um item baseado no valor do produto, agregando-o valor (KALTENECKER e QUEIROZ, 1995).

2.3. OS PRINCIPAIS AUTORES DA QUALIDADE

Todos os autores da qualidade, cada qual com seu pensamento, formalizaram conceitos e estratégias diferentes para trabalharem com um Sistema de Gestão da Qualidade. Estes são sem dúvida os autores mais citados em referencial da qualidade a nível mundial, e isto só comprova a contribuição que fizeram a todo o mundo. Todos eles focam a qualidade de diferentes maneiras, porém isto faz contribuir de diferentes maneiras no sistema de produção, sendo no processo industrial ou nas atitudes organizacionais administrativas.

Aqui apresentaremos brevemente o que W. Edwards Deming, Walter Shewhart, Joseph Juran, Armand Feigenbaum, Philip Crosby e Kaoru Ishikawa contribuíram com seus ideais ao longo do cronograma da qualidade.

2.3.1. Willian Edwards Deming

Deming é responsável pelo desenvolvimento de quatorze princípios fundamentais da qualidade, que ficaram conhecidos como “quatorze pontos de Deming”. São princípios que continuam atuais e que precisam ser seguidos, e adaptados conforme o caso, para o alcance dos objetivos da qualidade nas organizações (LUCINDA, 2010).

Os quatorze pontos de Deming segundo Lucinda (2010) são:

1. Instituir como objetivo permanente o aprimoramento de produtos e serviços;
2. Adotar a nova filosofia;
3. Acabar com a dependência da inspeção em massa;
4. Acabar com a prática de fazer negócios com base apenas no preço;
5. Aperfeiçoar constante e indefinidamente o sistema de produção e serviços;
6. Instituir treinamentos;
7. Instituir liderança;
8. Eliminar o medo;
9. Romper as barreiras entre as áreas;
10. Eliminar slogans e metas numéricas;
11. Eliminar as causas de erro;
12. Reconhecimento;
13. Institua um vigoroso programa de educação e autoaperfeiçoamento;
14. Recomeçar e progredir sempre.

2.3.2. Walter Shewhart

Ferramentas inovadoras no cenário da qualidade foram desenvolvidas por Shewhart para fazer o controle do processo em uma empresa de telefonia americana (CARVALHO *et al.*, 2006). Ele é responsável pelo desenvolvimento dos gráficos de controle, utilizado para estudar causas normais e causas específicas de variabilidade do processo.

Todos os estudos conduzidos por Shewhart chegaram ao Controle Estatístico do Processo (CEP), e ele também é o criador do Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), que depois se popularizou pelas mãos de Deming (Figura 2.1) (LUCINDA, 2010).

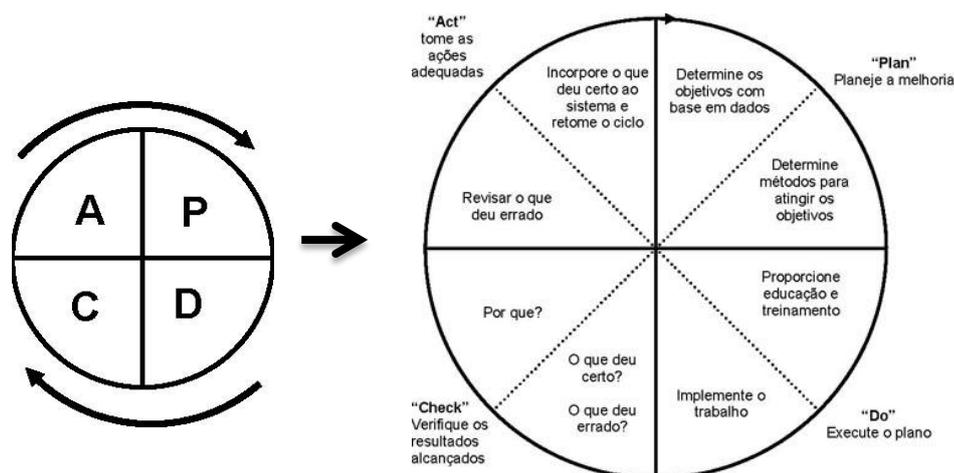


Figura 2.1: Ciclo PDCA.
Fonte: Adaptado de Lugli (2009).

2.3.3. Joseph M. Juran

Juran nasceu na Romênia, mas ainda criança mudou-se para os Estados Unidos. Formado em engenharia, ele é responsável pela publicação de renome em 1951 do Manual do Controle da Qualidade (*Quality Control Handbook* – no idioma original).

Como todos os outros gurus da qualidade, Juran também teve suas definições de qualidade, afirmando que a qualidade consiste na ausência de falhas, e que as características dos produtos se adequem ao uso, as necessidades dos clientes (CORRÊA e CORRÊA, 2010). Com estes pensamentos, ele participou no pós-guerra no Japão, influenciando e aprendendo com a projeção do âmbito da qualidade a nível mundial, envolvendo-se com a relação cliente-fornecedor, o que acabou conceituando posteriormente em suas obras.

Segundo Juran, a qualidade não acontece por acaso, ela deve ser planejada. Com isto, ele desenvolveu o que chamou de “trilogia da qualidade”, dividindo-a no planejamento, o controle e o melhoramento da qualidade (LUCINDA, 2010).

2.3.4. Armand Feigenbaum

Armand Vallin Feigenbaum americano formado em engenharia e doutor pelo *Massachusetts Institute of Technology*, foi o primeiro usar a qualidade como forma abrangente nas organizações, e com isso desenvolveu o Controle Total da Qualidade (TQC – *Total Quality Control*), mostrado em sua obra, de mesmo nome, de 1951 (CARVALHO *et al.*, 2006).

Feigenbaum considera que o Controle da Qualidade (CQ) deve identificar os requisitos do cliente, usando como princípio fundamental do TQC o ciclo da qualidade com enfoque estratégico, identificando como diferencial na conquista do cliente em relação ao concorrente. Ele também fez acreditar que a responsabilidade da qualidade era feita por cada um dentro da organização (DAVIS, CHASE e AQUILANO, 2000).

2.3.5. Philip Crosby

Grandes fundamentos da qualidade foram desenvolvidos por Crosby, que iniciou sua carreira na qualidade em 1952, quando retornou do serviço militar participando da Segunda Guerra Mundial. Ele foi o detentor de conceitos, tais como “zero defeitos” e “fazer certo da primeira vez” (LUCINDA, 2010).

Assim como Deming, Carvalho (*et al.*, 2006) diz que Crosby também apontava quatorze pontos para a qualidade, divulgando-o da seguinte maneira:

1. Conseguir o compromisso da alta gestão com a qualidade;
2. Instalar equipes de aprimoramento da qualidade em todos os departamentos;
3. Medir a qualidade na organização através de indicadores de qualidade;
4. Orçar os custos da não qualidade;
5. Difundir nos funcionários o valor da qualidade nos produtos/serviços;
6. Instaurar o sistema de ação corretiva;
7. Planejar o programa zero defeito;
8. Preparar os responsáveis por disseminar a qualidade;
9. Implantar o dia do zero defeito;
10. Estabelecer objetivos a serem cumpridos;
11. Acabar com os causadores dos erros;
12. Adotar o reconhecimento público dos que atingem os objetivos ao invés de praticar a premiação financeira;
13. Monitorar o processo através da instalação de círculos da qualidade;
14. Fazer repetidamente um *feedback* dos itens anteriores.

2.3.6. Kaoru Ishikawa

Engenheiro de controle de qualidade e teórico da Administração de Empresas, o japonês Ishikawa modificou o ambiente de trabalho da qualidade ao criar os “círculos da qualidade”, formados por um número pequeno de voluntários que se reuniam para estudar e analisar os problemas de qualidade que iam aparecendo. Os objetivos dos círculos eram de melhoramento e desenvolvimento da organização, criando um ambiente de trabalho agradável, de forma a estimular integralmente a capacidade dos funcionários (LUCINDA, 2010).

Ishikawa é o desenvolvedor do diagrama de causa e efeito (conforme Figura 2.5), conhecido como diagrama de Ishikawa, ou até mesmo como diagrama espinha de peixe.

2.4. FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Em virtude de se resolver problemas com todos os quesitos da qualidade, as ferramentas da qualidade foram sendo desenvolvidas pelos principais autores da qualidade na medida em que problemas iam surgindo, e mostrava-se a necessidade de desenvolver instrumentos que auxiliassem na resolução destes problemas. As ferramentas da qualidade não foram desenvolvidas por acaso, e elas devem ser reconhecidas como o próprio nome a define – ferramentas –, afinal elas não resolvem problemas, não fazem as tomadas de decisões e muito menos indicam as melhorias, mas são os componentes de trabalho das pessoas que o fazem (CORRÊA e CORRÊA, 2010).

O japonês Ishikawa, um dos gurus da qualidade, afirma que ao se fazer a aplicação das conceituadas “ferramentas da qualidade”, se é capaz de obter a resolução de 95% dos problemas das organizações (LUCINDA, 2010).

Dentro da bibliografia da qualidade, identificam-se sete ferramentas básicas de base aos responsáveis da qualidade (DAVIS, CHASE e AQUILANO, 2000). Relacionam-se essas ferramentas como as seguintes:

- a. fluxogramas de processo;
- b. gráficos de controle (ou de tendências);
- c. folhas de verificação;
- d. gráficos de dispersão;
- e. diagrama de causa e efeito (ou espinha de peixe);

- f. diagrama de Pareto (ABC);
- g. histogramas.

Adiante, serão descritas cada uma das sete ferramentas de maneira sucinta, trazendo apenas suas definições.

2.4.1. Fluxograma de Processo

O fluxograma de processo tem o objetivo de transmitir uma visualização rápida e simples o funcionamento do processo, e acompanhar suas etapas tais quais elas obedecem a um sequenciamento no cenário real do processo do produto/serviço. Utiliza-se para tanto um padrão de símbolos que mostram fielmente como o processo ocorre, e são padronizados universalmente, segundo o que diz Corrêa e Corrêa (2010). Dependendo do tipo de análise a se realizar, um fluxograma pode conter informações adicionais, tais como o tempo de cada processo, as distâncias a serem percorridas, entre outros. Um exemplo de um fluxograma de processo é mostrado na Figura 2.2.

DIAGRAMA DE PROCESSO			
		DISTÂNCIA ACUMULADA	TEMPO POR ATIVIDADE
RECEBER MATERIAL	○	0 m	15 min.
INSPECIONAR	□	0 m	55 min.
ARMAZENAR	▽	0 m	5 dias
TRANSPORTAR PARA INJETORA	➡	38 m	15 min.
AGUARDAR SETUP	◐	38 m	2,5 horas
INJETAR PEÇAS	○	39 m	1 min. por peça
TRANSPORTAR PARA O ARMAZÉM	➡	54 m	12 min.
ARMAZENAR	▽	54 m	3 dias

Figura 2.2: Exemplo de fluxograma (diagrama) de processo.
Fonte: Corrêa e Corrêa (2010).

2.4.2. Gráficos de Controle

Uma das contribuições de Shewhart a qualidade, os gráficos de controle (também chamados de cartas de controle) de processos foram disseminadas nas mãos de Deming, que as utilizou entre as décadas de 1950 a 1960 (CORRÊA e CORRÊA; 2010). Os gráficos de controle são utilizados para se fazer o acompanhamento e controle de padrões estabelecidos, de forma a visualizar o comportamento do processo (DAVIS, CHASE e AQUILANO, 2000).

Dentro dos gráficos de controle existem os parâmetros de controle contendo os limites inferiores de controle, limites superiores de controle, limites inferiores de tolerância, limites superiores de tolerância, valor médio.

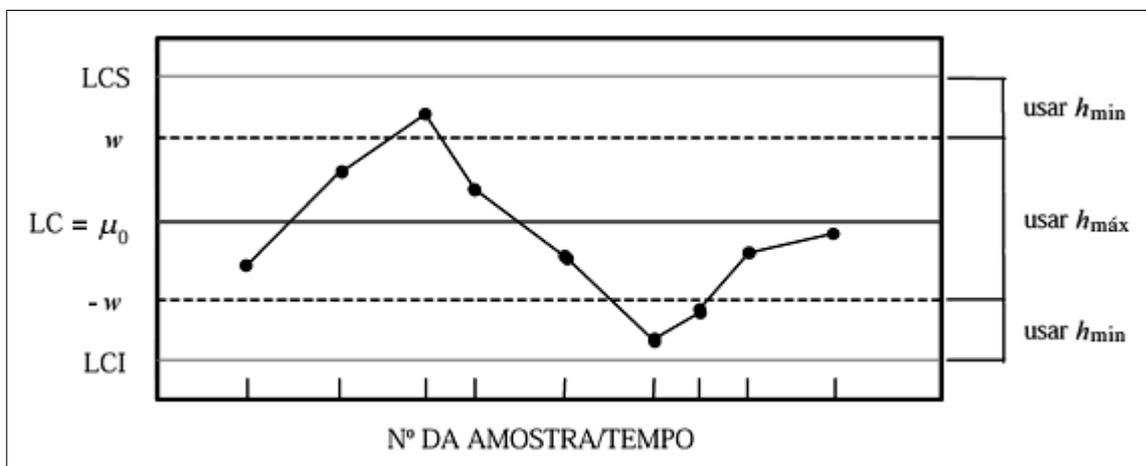


Figura 2.3: Exemplo de um gráfico de controle.

Fonte: Michel e Fogliatto (2002).

2.4.3. Gráficos de Dispersão

Os gráficos de dispersão, também chamados de diagramas de correlação, são utilizados para verificar o grau de correlação entre duas ou mais variáveis do processo, e estudar a partir daí, os impactos causados e em que relação será realmente importante para a eliminação do erro.

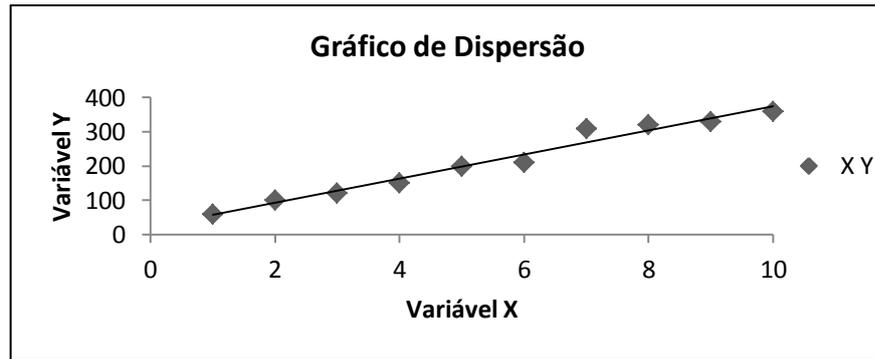


Figura 2.4: Exemplo de um gráfico de dispersão.

2.4.4. Diagrama de Causa e Efeito

O diagrama de causa e efeito, desenvolvido por Ishikawa e apadrinhado como Diagrama de Ishikawa, é uma simples ferramenta de busca a raiz do problema, através do desmembramento da atividade retrocedendo a partir do problema em si, através da aplicação dos 6M's, que representam Método, Medida, Máquina, Mão-de-Obra, Material e Meio Ambiente. Faz-se uma espinha de peixe e nela atribui-se as atividades macro para as microatividades, até se chegue finalmente a origem do problema. A Figura 2.5 mostra um modelo de diagrama de causa e efeito.

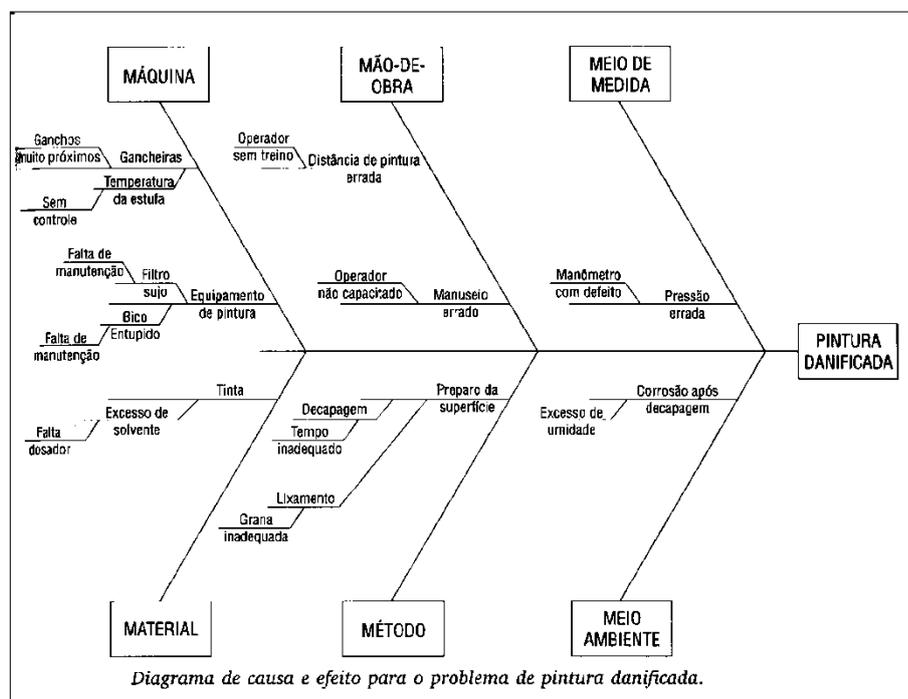


Figura 2.5: Exemplo de um diagrama de causa e efeito.

Fonte: Corrêa e Corrêa (2010).

2.4.5. Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto, rotulado como Classificação ABC, é utilizado para estratificar os defeitos em função de valores envolvidos em classes A, B e C, separando os problemas em classes de acordo com sua importância. Este é um modo de constituir uma criticidade em função dos valores envolvidos (TUBINO, 2007).

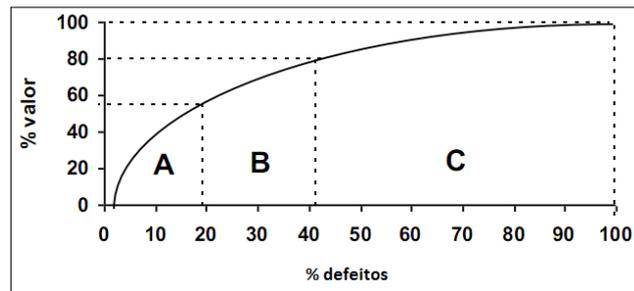


Figura 2.6: Exemplo de um diagrama de Pareto

Fonte: Tubino (2007).

2.4.6. Histogramas

Os histogramas são utilizados para se fazer a contagem de dados de medição. São gráficos que mostram rapidamente o comportamento de uma observação e sua frequência de ocorrência. Sua utilização é também útil à medida que se gere um histograma assim que forem sendo emitidos os dados (CORRÊA e CORRÊA, 2010).

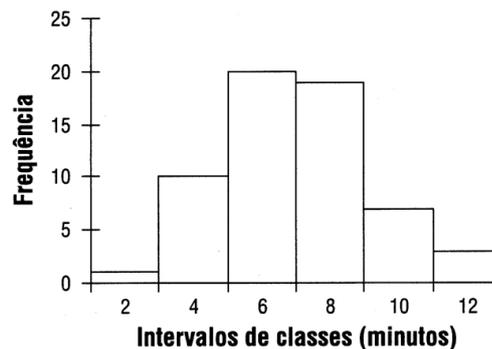


Figura 2.7: Exemplo de um histograma

Fonte: Corrêa e Corrêa (2010).

2.4.7. Folhas de Verificação

Segundo Corrêa e Corrêa (2010) a ferramenta de folhas de verificação é a mais simples dentre as sete ferramentas da qualidade, pois tem a função de garantir o ganho

alcançado pelo uso das seis já citadas acima não fique defasado ou esquecido depois que os problemas, já solucionados, deixarem de tomar os cuidados da operação.

Problema	Ocorrência
A	III III III II
B	III III III
C	III II /
D	III

Figura 2.8: Exemplo de uma folha de verificação
Fonte: Davis, Chase e Aquilano (2000).

2.5. CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

Quando se fabrica um produto ou se presta um serviço, as características em relação às especificações vão variar, isso devido às variações presentes no processo produtivo. Os esforços devem-se então ao controle da variabilidade provocada pelas causas especiais ou assinaláveis, uma vez que também existem as variações comuns ou aleatórias, que são intrínsecas a todo processo produtivo (WERKEMA, 1995). As causas especiais surgem esporadicamente, devido a uma situação particular de irregularidade, fazendo com que o processo se comporte de maneira totalmente fora do habitual, resultando normalmente em uma redução dos padrões de qualidade.

Controlar atividades de qualidade através da estatística já vem sendo há certo tempo um modo de confiabilidade nos resultados que podem trazer o processo, apoiando a gestão da qualidade. Shewhart foi responsável pelo desenvolvimento de duas técnicas vastamente empregadas neste âmbito: os Gráficos de Controle e os Planos de Amostragem. Dentro do enfoque do que é qualidade para a Engenharia de Produção, foca-se exclusivamente o controle, verdadeiramente falando, da qualidade (TOLEDO, 1987). E para um cenário que vem tradicionalmente acompanhando a gestão de processos ao longo da história, pode-se destacar o Sistema Toyota de Produção (STP), a Teoria das Restrições (TOC) e, no caso deste trabalho, o Controle da Qualidade Total (TQC). De certo modo, o Controle da Qualidade (CQ) tem uma participação importante na evolução da Teoria de Processos (PAIM *et al.*, 2009).

Como anteriormente dito aqui, Walter Shewhart foi o criador do Controle Estatístico de Processo (CEP), aplicando-o como uma ferramenta indispensável no que se refere ao

controle e melhoria dos processos industriais. Segundo Carvalho (*et al.*, 2006), Shewhart propôs que fosse feita a aplicação de sua metodologia numa linha de produção, sugerindo que ela se dividisse em quatro fases:

1. identificação da problemática;
2. experimentação em si;
3. análise dos resultados dos experimentos; e
4. reação do gerente para melhorar o processo.

O CEP é encarado por Paladini (2002) como sendo um instrumento utilizado para análises na área de avaliação da qualidade, podendo-se detectar variações no processo produtivo, ficando capaz de identificar a natureza e com que frequência essas variações vem ocorrendo, aproveitando disso para realizar a avaliação da qualidade no processo. Mesmo que o CQ assegure que a produção obedeça às especificações do projeto, não dá para dizer que uma peça vá obedecer especificamente ao seu projeto, mas as não-conformidades obedecem um limite aceitável de padrões, e a partir destes é que são feitos os controles.

Paese, Caten e Ribeiro (2001) dizem que “o CEP possibilita monitorar as características de interesse, assegurando sua manutenção dentro de limites preestabelecidos e indicando quando adotar ações de correção e melhoria”. Portanto, com a finalidade de se diminuir cada vez mais a variabilidade de um processo, o CEP é um procedimento de prevenção para que se possa equiparar os dados aproveitados de um processo com seus padrões de especificação, apontando as tendências de variações significativas, com o intuito de controle e/ou eliminação dessas variações.

Segundo o que diz Toledo (2011), pontos importantes para a implantação do CEP são:

- Pensar e determinar baseado em dados e fatos;
- Separar causa e efeito do problema, buscando eliminar a causa do problema;
- Empregar raciocínio de prioridade (diagrama de Pareto);
- Usar permanentemente o ciclo PDCA, visando à melhoria continua do processo;
- Administrar a variabilidade presente no processo;
- Educar, treinar e formar a mão-de-obra, tendo em vista uma gerência participativa e o autocontrole.

Sob os olhos de que há processos em estabilidade e em instabilidade, o CEP somente poderá ser aplicado em um sistema produtivo que houver estabilidade, pois sem que haja estabilidade não será possível fazer análises preventivas de custo de produção e índices de

qualidade através de uma distribuição normal, e que ao se atingir a eliminação das causas especiais que causam variações anormais ao processo, será possível estabelecer limites de controle onde o processo irá atuar (PALMA, 2004). Se as variações forem julgadas, controladas e restringidas, os indicadores de produtos não conformes tranquilamente serão reduzidos (TOLEDO e ALLIPRANDINI, 2004).

Partindo do ponto de que é necessário que o processo esteja em estabilidade, é importante uma correção pré-aplicação que deve ser considerada para que se possa iniciar o estudo de implantação do CEP. Segundo Samohyl (2009), os problemas que se encontram na implantação de correções na qualidade derivam-se de causas consideradas corriqueiras no processo, que é a ocorrência de erros de projeto do produto e também do processo, ao que pensam os gerentes, serem os erros operacionais, de fácil correção. Consideremos um processo sob controle, ou seja, de comportamento estável: a variação deve-se somente aos problemas de causas comuns, mostrando que haverá uma distribuição estatística estável associada ao processo, conforme Figura 2.9. Pode-se, então, dizer que é possível a previsão de ação das causas comuns (TOLEDO, 2011).

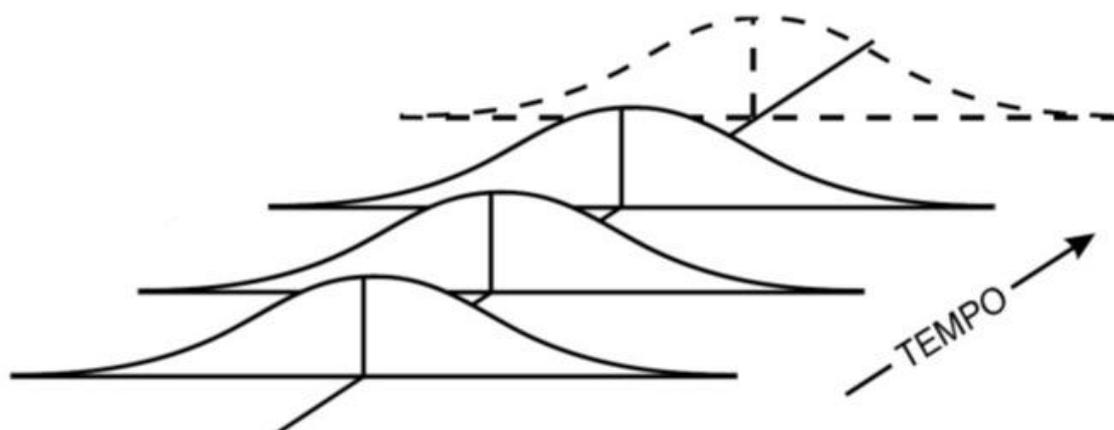


Figura 2.9: Esquema de um processo de comportamento estável (sob controle)
Fonte: Werkema (1995)

Uma ferramenta indispensável para se trabalhar o CEP são as cartas de controle, já citada anteriormente e, que se baseia no teorema do limite central para obter pontos de controle no processo (DAVIS, CHASE e AQUILANO, 2000).

Geralmente, os gráficos de controle a serem empregados são o da média amostral \bar{x} para acompanhar a centralidade e o da amplitude R para acompanhar a dispersão. Estes gráficos são os chamados de \bar{x} e R , e \bar{x} e s , que poderão ser possíveis métodos a serem utilizados para se realizar o controle do processo (SAMOHYL, 2009). Tem-se também para controle das variáveis discretas o uso dos gráficos de controle de Medidas Individuais

(conhecidos como gráficos de \bar{x} e AM), onde as m amostras serão compostas de apenas uma coleta ($n = 1$).

Segundo Werkema (1995), as seguintes etapas para construção e utilização dos gráficos de controle devem ser realizadas:

1. Escolher a característica da qualidade a ser controlada;
2. Coletar os dados;
3. Calcular a média \bar{x} para cada amostra (no caso de \bar{x} e AM , desconsiderar);
4. Calcular a média global $\bar{\bar{x}}$ (considerar \bar{x} para \bar{x} e AM);
5. Calcular a amplitude R , ou o desvio-padrão s de cada amostra (desconsiderar para \bar{x} e AM);
6. Calcular a amplitude média \bar{R} , ou o desvio-padrão médio \bar{s} , ou a amplitude móvel média \overline{AM} ;
7. Calcular os limites de controle inferior LIC , o médio LM e o superior LSC ;
8. Traçar os limites de controle no gráfico;
9. Marcar os respectivos pontos no gráfico;
10. Interpretar os gráficos constituídos e verificar se estes encontram-se sob controle estatístico;
11. Verificar se o estado de controle alcançado é adequado ao processo, tendo em vista considerações técnicas e econômicas;
12. Rever periodicamente os valores dos limites de controle.

Alguns inconvenientes podem acontecer ao se plotar os gráficos de controle, como a observação de pontos fora de controle, e caso isso aconteça, Werkema (1995) sugere que se acompanhe o seguinte fluxograma observado na Figura 2.10 adiante:

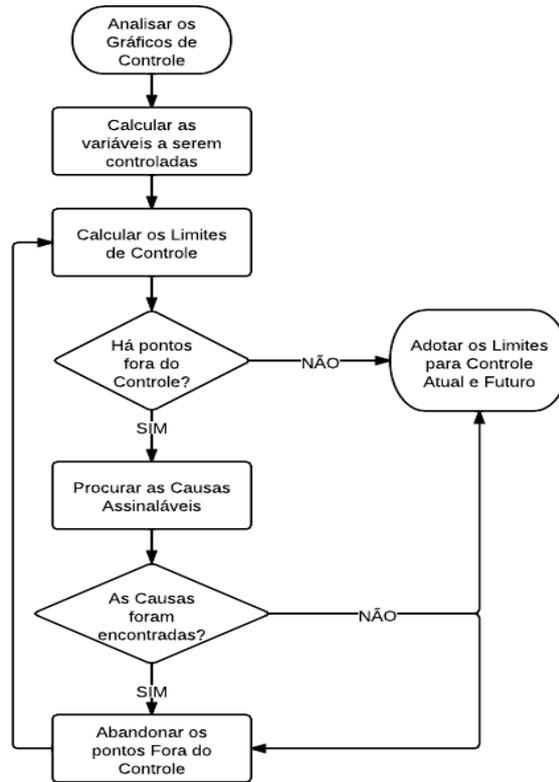


Figura 2.10: Fluxograma para construção e utilização de gráficos de controle
 Fonte: Adaptado de Werkema (1995).

2.5.1. Gráficos de Controle \bar{x} e R

Os gráficos de controle \bar{x} e R são montados a partir de uma série de dados da média das amostras \bar{x} , com relação à amplitude R da série de dados das amostras. Com o uso dos gráficos de controle \bar{x} e R , tem-se ao controle do processo uma linha de controle chamada Linha Média (LM), que localiza-se na média do valor esperado de \bar{x} (COSTA, EPPRECH e CARPINETTI, 2005). Para que se monitore o processo assegurando seu comportamento dentro de uma faixa de controle, faz-se o uso de limites de controle (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2008), sendo eles: Limite Superior de Controle (LSC) e Limite Inferior de Controle (LIC). Estes limites de controle são normalmente formados de três desvios-padrão (3σ) acima e abaixo da média, representando aproximadamente 99,7% da área aceitável sob distribuição normal, ou seja:

$$LSC_{\bar{x}} = \mu_{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}}$$

$$LM_{\bar{x}} = \mu_{\bar{x}}$$

$$LIC_{\bar{x}} = \mu_{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}}$$

Os desvios-padrão $\sigma_{\bar{x}}$ de um processo podem ser estimados de diferentes maneiras (COSTA, EPPRECH e CARPINETTI, 2005). Dentre elas, a ideal a ser utilizada será o estimador baseado nos desvios-padrão amostrais S_i das m amostras, sendo dado segundo a equação abaixo:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}}$$

De todos estes controles, podemos afirmar, segundo Ramos (2000), que o gráfico de controle de \bar{x} é dado por:

Gráfico de \bar{x}

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{R}$$

$$LM_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{R}$$

onde \bar{R} é a média das amplitudes das amostras, dada por $\bar{R} = \frac{\sum R}{n}$, e A_2 é um fator de correção dado em função da amostra, podendo ser consultado na Tabela 2.2.

Uma vez que estes são os controles para \bar{x} , também existem os parâmetros para controles no gráfico de R , sendo abaixo exibidos (SAMOHYL, 2009):

Gráfico de R

$$LSC_R = \mu_R + 3\sigma_R = D_4 \cdot \bar{R}$$

$$LM_R = \mu_R = \bar{R}$$

$$LIC_R = \mu_R - 3\sigma_R = D_3 \cdot \bar{R}$$

onde,

$$\mu_R = d_2\sigma$$

$$\sigma_R = d_3\sigma$$

em que as constantes d_2 e d_3 são fatores de correção, e estão sujeitas apenas ao tamanho da amostra n , conforme verifica-se na Tabela 2.2.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,078
d_3	0,583	0,888	0,880	0,864	0,848	0,833	0,820	0,808	0,797
A_2	1,880	1,023	0,729	0,577	0,483	0,419	0,373	0,337	0,308
A_3	2,695	1,954	1,628	1,427	1,287	1,182	1,099	1,032	0,975
B_3	-	-	-	-	0,03	0,118	0,185	0,239	0,284
B_4	3,267	2,568	2,266	2,089	1,970	1,882	1,815	1,761	1,716
D_3	-	-	-	-	-	0,076	0,136	0,184	0,223
D_4	3,267	2,574	2,282	2,114	2,004	1,924	1,864	1,816	1,777

Tabela 2.2: Fatores de correção em função do tamanho da amostra (n).

Fonte: Costa, Epprech e Carpinetti (2005).

Uma vez lançado um conjunto de amostras m , o valor médio das médias das amostras será:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{m}$$

onde \bar{x}_i é a média i -ésima da amostra (as médias de x) (CARVALHO *et al.*, 2006).

Então, \bar{x} será obtido através de:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

onde x_i é a média das n observações (DAVIS, CHASE e AQUILANO, 2000).

2.5.2. Gráficos de Controle \bar{x} e s

Apesar de similares aos gráficos anteriores de \bar{x} e R , os gráficos de controle \bar{x} e s , por sua vez, são produzidos a partir dos dados da média das amostras \bar{x} , com relação ao desvio-padrão s dos dados amostrais. Ao fazer a utilização dos gráficos de controle \bar{x} e s , mesmo que calcular o desvio-padrão s seja uma tanto mais difícil que o cálculo da amplitude R , pode-se dizer que temos uma maior confiança para intervalos de amostras com coletas maiores que dez ($n > 10$), sendo ineficiente o uso de R neste caso (RAMOS, 2000). Quando tratado da amplitude R , não conseguimos tratar a dispersão (variação) da amostra como no caso do desvio-padrão s , portanto este é recomendado para um controle de processo mais rigoroso.

Da mesma forma que nos gráficos de controle \bar{x} e R , tem-se como referência ao controle do processo uma linha de controle chamada Linha Média (LM), que situa-se na

média do valor esperado de \bar{x} (COSTA, EPPRECH e CARPINETTI, 2005). As faixas de monitoramento do processo são definidas como sendo os Limite Superior de Controle (LSC) e Limite Inferior de Controle (LIC) estando estes a três desvios-padrão (3σ) acima e abaixo da média, sendo próximo de um valor de 99,7% da área cabível sob distribuição normal, sendo:

Gráfico de \bar{x}

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + 3 \cdot \frac{\bar{s}}{c_4 \cdot \sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} + A_3 \cdot \bar{s}$$

$$LM_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - 3 \cdot \frac{\bar{s}}{c_4 \cdot \sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} - A_3 \cdot \bar{s}$$

A maneira ideal para se estimar os desvios-padrão \bar{s} de um processo, será o estimador fundamentado na razão entre o somatório dos desvios-padrão $\sum s$ pelos k elementos da amostra (DINIZ, 2001), conforme a equação abaixo:

$$\bar{s} = \frac{\sum s}{k}$$

Para complementar as equações do gráfico de controle \bar{x} , usa-se a variável A_3 , que é um fator de correção tabelado, sendo que este se encontra na Tabela 2.2.

Agora que temos as equações dos gráficos de controle para \bar{x} , procuraremos pelos parâmetros de controle para o gráfico de s , sendo abaixo descritas as equações (WERKEMA, 1995):

Gráfico de s

$$LSC_s = \bar{s} + 3\sigma_s = B_4 \cdot \bar{s}$$

$$LM_s = \bar{s}$$

$$LIC_s = \bar{s} - 3\sigma_s = B_3 \cdot \bar{s}$$

onde, σ_s é o desvio padrão de s , e B_3 e B_4 são constantes de correção em função do tamanho da amostra, sendo tabelada (Tabela 2.2).

O valor médio das médias de um conjunto de m amostras será:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{m}$$

onde \bar{x}_i é a média i -ésima da amostra (as médias de x) (WERKEMA, 1995), que é adquirido por meio de:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

em que x_i é a média das n observações (DAVIS, CHASE e AQUILANO, 2000).

2.5.3. Gráficos de Controle para Medidas Individuais (Gráficos de x e AM)

Apesar de termos muitas vezes situações em que trabalharemos com um processo em que existam amostras com várias coletas, poderemos ter também amostras de tamanho unitário, ou seja, $n = 1$. Tais condições podem ser observadas quando um lote produzido é completamente avaliado, e quando o processo produz quantidades baixas ou quando o modo de produção é contínuo (RAMOS, 2000). Quando estamos em alguma destas situações, dizemos que os gráficos são para controle de medidas individuais, dado pelos gráficos de x e AM , sendo x no lugar de \bar{x} , AM a amplitude móvel dada na equação abaixo, e considerando sempre $n = 1$ (WERKEMA, 1995).

$$AM_i = |x_i - x_{i-1}|$$

Analogamente ao que se repetiu nos gráficos de controle anteriores, nos gráficos de \bar{x} e AM também realiza-se o controle de especificações do processo através do Limites Controle Superiores (LSC) e Inferiores (LIC), sendo o Limite Médio (LM) a média das n -ésimas amostras (\bar{x}) (RAMOS, 2000).

Para o cálculo dos limites de controle do gráfico de x , utilizam-se as seguintes expressões dadas abaixo:

Gráfico de x

$$LSC_x = \bar{x} + 3 \frac{\overline{AM}}{d_2}$$

$$LM_x = \bar{x}$$

$$LIC_x = \bar{x} - 3 \frac{\overline{AM}}{d_2}$$

em que \overline{AM} traduz-se como sendo a amplitude móvel média e d_2 é dado na Tabela 2.2 e é um coeficiente de correção tabelado conforme a quantidade $n = 2$ observações, já que não existe para uma observação (WERKEMA, 1995).

Já para o cálculo dos limites de controle do gráfico de AM , teremos as seguintes expressões (KUME, 1993):

Gráfico de AM

$$LSC_{AM} = D_4 \cdot \overline{AM}$$

$$LM_{AM} = \overline{AM}$$

$$LIC_{AM} = D_3 \cdot \overline{AM}$$

onde D_3 e D_4 são variáveis tabeladas e estão presentes na Tabela 2.2.

2.5.4. Interpretação e Capacidade do Processo

A interpretação do processo é baseada na aplicação dos gráficos de controle e em todos os casos de aplicação dos gráficos, temos que investigar se há alguma das amostras em não conformidade com os limites de controle (KUME, 1993). A partir daí, se parte para adiante no trabalho, ou retrocede em alguma situação, como mostrado na Figura 2.9.

O processo produtivo, além de ter de passar por um ajuste de estabilidade, também necessita mostrar ser capaz de produzir os itens conforme com o projeto. Segundo Slack, Chambers e Johnston (2008), a capacidade do processo é a medida de variação do mesmo, sendo que a medida mais simples de cálculo da capacidade do processo (Cp) é dada pela razão entre a faixa de especificação (diferença entre os limites de especificação) e a variabilidade do processo (3 desvios-padrão para mais e 3 desvios-padrão para menos), sendo:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

onde LSE é o Limite Superior de Especificação, LIE é o Limite Inferior de Especificação e σ é desvio-padrão da variabilidade do processo.

Se o resultado de Cp for maior do que um, indicar-se-á que este processo é “capaz” de atender as especificações do projeto, porém, em caso contraditório, o processo se mostrará “incapaz” de atendê-los (CARVALHO *et al.*, 2006).

Uma vez feita a medida de Cp , em situações a faixa de especificação tem uma relação com a média do processo, serão necessários indicadores de capacidade unilateral para abranger a capacidade do processo, fazendo com seja necessário o cálculo de Cp_k o mínimo entre indicadores unilaterais, como o mostrado abaixo:

$$Cp_k = \text{Min} \left\{ \frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right\}$$

O valor de Cp_k deve também ser maior do que um para que a capacidade unilateral prove que o processo é capaz de atender as especificações de projeto.

CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No presente capítulo descrever-se-á a metodologia do trabalho científico, de forma a apresentar a maneira com que será realizado o desenvolvimento deste estudo, investigando e determinando o assunto abordado não só em profundidade, mas como em valores reais ao que seu estudo se destina (SALOMON, 1999). Pode-se dizer que a estrutura do presente trabalho baseia-se no método dedutivo, sendo abordada através de pesquisas bibliográficas, coleta de dados e observação do ambiente de estudo, em que esta focada na elaboração de proposições, ou técnicas de solução (GIL, 2010).

3.1. NATUREZA E ABORDAGEM DA PESQUISA

Para realização desta Pesquisa foi feita uma pesquisa de campo fundamentada em uma abordagem explicativa, para que se tome como auxílio da compreensão da situação do estudo realizado, sendo que para esse tipo de estudo se levará em conta que o mesmo procede de revisões bibliográficas, coleta de dados/informações e o estudo de caso em si, de forma a ilustrar as premissas do estudo em questão.

A realização da pesquisa bibliográfica, diz Gil (2010), que esta é a melhor organização do estudo em que se embasa num conjunto conceitual, a partir da coleta de dados, consistindo num entrelaçamento do problema e seu alicerce teórico. Para tanto, o estudo consiste na coleta metódica de dados sobre amostra de populações para controle de variáveis (YIN, 2001), traduzindo números em opiniões e vinculando o objetivo com o enfoque do tema, para que se fizesse uma proposta de implantação de uma ferramenta de controle de processo à base de um estudo de caso.

Quanto aos fins desta pesquisa, pode-se dizer que a mesma é definida como sendo de caráter exploratório e descritivo, pois ela está buscando constatar oscilações no controle do processo fabril.

Segundo o que diz Lakatos e Marconi (2010), a rigor, os aspectos técnicos do estudo proposto, aloca-se em uma lógica de pesquisa de campo entrelaçada a uma técnica de estudo de caso de classe aplicada. Ao fim, pode-se dizer que o estudo de caso é necessário para que se tenha uma investigação *in loco* do ambiente de pesquisa, sendo realizado através de investigação do ambiente de estudo, coleta de dados, observações ordenadas, e diagnóstico

documental, fazendo proposição de aplicação do estudo, objetivando relacionar os conceitos sobrepostos e as observações e experimentações avaliadas na prática.

3.2. TÉCNICA DE COLETA DE DADOS

A partir do estudo de caso, procura-se por respostas aos questionamentos “por que” e “como” – questões de natureza explicativa –, assim como a possibilidade de uma procura científica através de várias fontes, para entender as particularidades mais relevantes do elemento de pesquisa em circunstâncias realistas (YIN, 2001), abrangendo o contexto dos processos industriais.

O principal enfoque de coleta de dados em um estudo de caso é a adoção de técnicas de coleta do tipo entrevistas, fontes documentais e observações (GIL, 2010). Visto que neste estudo o objetivo era de analisar fontes de criticidade no processo fabril para proposição de ferramenta de controle de processo, foi necessária aplicação de todas as técnicas – entrevistas, fontes documentais, reuniões, observações –, sendo necessária a aplicação destas técnicas em análises de atas de reuniões, fichas de controle de processo, manuais de processo industrial como fontes documentais. Já para observações, fez-se necessário o acompanhamento de processo no supervisão, ações tomadas por responsáveis pelo gerenciamento do processo, também da observação do processo em campo.

Através de todas essas técnicas de coleta de dados, pode-se obter o conhecimento do processo de extração do caldo de cana-de-açúcar, apontar e mensurar fatores determinantes para o andamento da pesquisa.

3.3 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Para a concretização da pesquisa foi necessário uma revisão bibliográfica sobre o histórico da qualidade e suas principais ferramentas e principais autores, além de aprofundar nos conhecimentos do Controle Estatístico do Processo, para que fosse possível estudar uma maneira de implantar o CEP como ferramenta de controle do processo de extração do caldo de cana-de-açúcar, para fabricação de açúcar e etanol.

Após isso, foram coletados os dados referentes ao processo estudado, sendo analisados conforme os padrões de exigência do controle deste processo. Após analisados, os pontos de

atenção levantados na coleta dos dados foram organizados e priorizados no seu tratamento, de forma, a saber, de que maneira formar um plano de ação.

O conhecimento do processo industrial será de suma importância, de forma a escolher e estabelecer os parâmetros de controle do processo de extração do caldo de cana-de-açúcar, havendo uma coerência na proposta de implantação e fidelização com o âmbito de controle instituído na empresa.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. O SETOR SUCROENERGÉRICO E A EMPRESA PESQUISADA

Na época do Brasil Colônia, o açúcar tinha valor tão alto como o do ouro em toda a Europa, porque sua fabricação era limitada a números que não proviam a demanda do mercado. Assim, o cultivo de cana-de-açúcar era um mercado bastante lucrativo, mas que não era possível de se conseguir na Europa, principalmente, por questões climáticas. Com alta tecnologia nas viagens marítimas, Portugal saiu em busca de novas terras para o cultivo do “ouro doce”, e assim iniciou-se, a mais de 500 anos, o ciclo brasileiro da cana-de-açúcar.

Devido ao tratado de Tordesilhas, Portugal e Espanha dividiam as terras sul-americanas, e em virtude de tamanhas expansões, outras nações viam uma oportunidade de ganho de territórios, pois os países considerados invasores, alegavam que se os atuais “proprietários” não ocupassem os territórios, estariam perdendo espaço, pois não continham defesa suficiente para manter as terras (STOCKERT, 2008). Mas como Portugal tinha em seus planos realizar o cultivo da cana-de-açúcar, este conseguiu então, através da produção do açúcar, a riqueza que precisava para manter seu território.

No Brasil, a capitania com maior produção de cana era, inicialmente, a de Pernambuco, onde foi instituído o primeiro núcleo açucareiro do País. Depois, o cultivo se distendeu para as capitanias da Bahia de Todos os Santos, São Tomé (RJ) e São Vicente (SP) (UNICA, 2011). Embora mais afastados da Europa, as capitanias de São Tomé e São Vicente foram as primeiras a lucrar com o açúcar. A realidade hoje não é diferente, pois São Paulo continua sendo o Estado com maior plantio de cana-de-açúcar para fabricação do açúcar, do etanol e cogeração de energia elétrica.

Com a instituição em 1975 do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), o governo brasileiro diversificou a atuação da indústria açucareira com grandes investimentos amparados pelo Banco Mundial, permitindo o crescimento da área plantada com cana-de-açúcar e a avanço de instalação de destilarias de etanol. A experiência veio como alternativa para reduzir a vulnerabilidade energética do País, devido à crise mundial do petróleo (VEJA.COM, 2011).

Em março de 2003, foi lançado o primeiro carro *flex-fuel*, movido a etanol, gasolina ou com qualquer combinação entre os dois, começando uma nova onda de crescimento do setor. Do mesmo modo, a crescente preocupação com a oferta e preço dos combustíveis

fósseis e as preocupações com o meio-ambiente e o aquecimento global têm transformado o etanol em uma opção de combustível renovável para o Brasil e o mundo (UNICA, 2011).

Em Mato Grosso do Sul, a disponibilidade de terras férteis e incentivos do governo estadual vem atraindo empresas do setor sucroenergético, tanto no cultivo da cana e produção do açúcar e etanol, quanto para empresas de manutenção e terceirizadas, para apoio a continuidade do processo (ROBERTO, 2011).

A unidade produtora em que se realizou o estudo está localizada no Estado de Mato Grosso do Sul, e faz parte de um grupo multinacional que tem foco no setor sucroenergético. Esta unidade está em funcionamento a pouco tempo se comparado a outras unidades produtoras no Estado, e é responsável por empregar cerca de 400 funcionários diretamente e outros 2000 empregos indiretamente.

Nesta unidade, utiliza-se a cana-de-açúcar para a produção de açúcar e etanol e deste beneficiamento surge como resíduo o bagaço, que é utilizado para se produzir bioeletricidade através do acionamento de turbo-geradores. A empresa produziu na última safra de 2011/2012 cerca de 2,8 milhões de sacas de 50 Kg de açúcar, 82 milhões de litros de etanol e aproximadamente 205 MWh de eletricidade. A produção do açúcar é vendida como uma *commoditie* no mercado internacional e também atende ao mercado nacional, além de atingir com abrangência o mercado nacional de combustíveis com o etanol.

A empresa também é detentora de um Sistema de Gestão da Qualidade ISO 9001, e, além disso, contempla um Programa de 5S, uma forma de atender as exigências de clientes com padrões internacionais de qualidade.

4.2. O PROCESSO INDUSTRIAL

Em um setor de indústrias sucroenergéticas, a principal matéria-prima a ser processada é a cana-de-açúcar, que é rica em sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$), de forma a ser extraída para ser tratada e cristalizada, ou fermentada e destilada para a produção do açúcar e do etanol, respectivamente. A indústria que realiza esse processo é chamada popularmente de “usina de açúcar e álcool”, e são encontradas no Brasil principalmente nas regiões nordeste e centro-sul.

O processo industrial se inicia na colheita da cana-de-açúcar, o que é realizado por uma empresa prestadora de serviços agrícolas. A mesma também é responsável pelo transporte até o setor de extração de caldo. Antes mesmo de chegar ao setor de extração, o caminhão transportador da cana é pesado e lhe é indicado em qual hilo fará a descarga e

também se será feita a amostragem da carga. A cana segue para uma coleta de amostra da carga para análise do teor de sacarose contida na carga de cana, com o intuito de se realizar o pagamento da matéria-prima ao fornecedor em função da quantidade de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) contidos na carga.

Já dentro da usina e estando devidamente pesados, os caminhões estarão prontos para a descarga, que serão feitas nos hilos, de onde a cana-de-açúcar já começa a ser processada para a produção do açúcar e do etanol. Depois de descarregada, a cana passa por um processo de preparação para moagem, que se dedica a picar e desfibrar a cana, para poder haver um melhor rendimento de moagem. O caldo será extraído da cana-de-açúcar através dos ternos de moenda, que se constituem em grandes rolos que esmagam a cana a fim de obter o caldo. Um melhor entendimento do setor de extração do caldo de cana-de-açúcar será visto no item 4.3.

Da extração surgiram dois produtos da cana: o caldo misto (uma mistura do caldo primário e secundário) e o bagaço. O caldo seguirá o processo de fabricação de açúcar e etanol, já o bagaço caminhará como combustível para as caldeiras de geração de vapor, que é usado no processo industrial e também para acionar turbo-geradores de energia elétrica.

O caldo extraído recebe tratamento para poder seguir o processo, que se constitui em:

- Adição de sulfito e ozônio para clareamento do caldo;
- Adição de cal virgem para controle de acidez;
- Aquecimento para se eliminar possíveis bactérias e ajudar na decantação;
- Decantação para eliminação de impurezas.

A partir deste ponto, o processo industrial se divide em produção de açúcar e produção de etanol. O caldo que sai da decantação é chamado caldo clarificado, e tem aqui distinções quando se trata dos dois produtos finais a que se destina. A decantação do caldo faz surgir um o lodo, que é separado de uma pequena quantidade de caldo nos filtros-prensa, surgindo o caldo filtrado, que é encaminhado para a produção novamente; e a torta de filtro, que é utilizada na lavoura de cana-de-açúcar como adubo orgânico.

Para produção do açúcar, o caldo clarificado é evaporado em cinco efeitos, de modo a aumentar a sua concentração, passando de caldo a xarope. Já concentrado, o xarope (com grande parte da água separada na evaporação) segue novamente para um processo de tratamento, passando por um flotor e depois por um filtro. Devidamente concentrado e tratado, o xarope começará a se transformar em açúcar no processo de cozimento, onde existem grande caixas chamadas cozedores, que como o nome diz, cozinham o xarope, de forma a permitir a aparição dos cristais de açúcar. A massa que foi cozida é homogeneizada e

4.3. O PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO CALDO

O processo de extração é o responsável pela extração do caldo da cana-de-açúcar, como matéria-prima utilizada para fabricação do açúcar e do etanol, principais produtos fabricados pela empresa. O resíduo gerado pelo processo de extração é aproveitado para alimentar uma caldeira de alta pressão como combustível na queima do bagaço, para gerar vapor para o processo e acionar os turbo-gerados e produzir eletricidade.

Este processo de extração do caldo é feito através de ternos de moenda, que através de um conjunto de rolos, “esmaga” a cana já desfibrada e extrai mais de 70% de todo o caldo ainda no primeiro terno, e não havendo essa margem de extração, a extração global pode se tornar insatisfatória. Atualmente a moenda é constituída de quatro ternos (ou conjunto de rolos) que extraem mais de 90% deste caldo, estando a mesma em condições ótimas para tal trabalho. Na extração por moagem, a separação do caldo da cana é feita por pressão mecânica dos rolos da moenda sobre o colchão de cana desfibrada. Um terno de moenda é um conjunto de três rolos mais um rolo de pressão de maneira a formar aberturas entre si, forçando a cana a passar nestas aberturas para que se possa extrair o caldo contido na cana desfibrada.

Para haver uma correta extração a cana precisa ser intensamente picada e desfibrada, e isso acontece no sistema de preparo da cana, mais precisamente nos picadores e desfibradores. A cana densamente picada e desfibrada chega às moendas através de um alimentador vertical. Cada conjunto de rolos de moenda, dispostos numa carcaça denominada castelo, constitui um terno de moenda, sendo formado por três rolos principais, denominados rolo de entrada, rolo superior e rolo de saída mais o quarto rolo chamado de rolo de pressão (Figura 4.2).

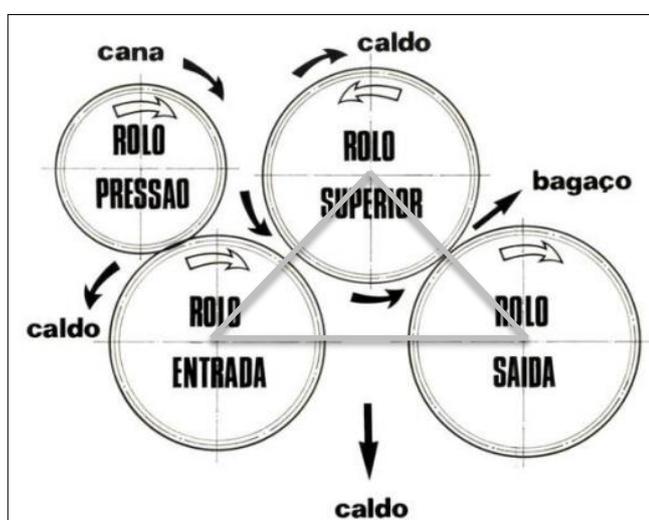


Figura 4.2: Esquema da triangulação de um terno de moenda e o fluxo da cana, caldo e bagaço.
Fonte: Eba (2009).

Adiante serão descritos detalhadamente todos os itens de importância para o processo de extração do caldo.

4.3.1. Recepção da Cana

Para fazer a extração do caldo da cana, esta é recebida em hilos (tombadores) que despejam as cargas dos caminhões em mesas alimentadoras, e das mesas vão para o esteirão metálico, de onde seguirá para o setor de preparação.

Existe na unidade estudada dois hilos de recepção de cana, o hilo 1 e hilo 2. O hilo 1 despeja a cana numa mesa alimentadora de 30° que tem um espalhador que regula a quantidade de cana que cai numa esteira tipo correia, de onde seguirá para o esteirão metálico. O hilo 2 despeja a cana numa mesa alimentadora de 45° que transporta a cana até o esteirão. A velocidade das mesas alimentadoras é controlada por relações com a velocidade do esteirão, regulando a velocidade das mesas conforme a quantidade de cana que ali está presente. Vale ressaltar que o hilo 1 recebe apenas cana picada, e o hilo 2 é capaz de receber cana picada e também a cana inteira (possível através de colheita manual). Os hilos são operados dentro de cabines, de onde recebem autorização dos operadores do supervisório COI para poderem acionar o descarregamento.

O esteirão metálico é o transportador responsável por levar a cana da recepção até a preparação. Após transportar a cana até a preparação, o esteirão recebe, em seu retorno, uma limpeza a vapor e também a água quente. A água que faz esta limpeza é filtrada, onde se retira pequenas quantidades de cana que não foram para a preparação, e são enviadas novamente para extração através de um elevador chamado *cush-cush*. Já filtrada, esta água segue para tratamento para a retirada de impurezas contidas na cana, e retorna para realizar a limpeza do esteirão em um circuito fechado.

4.3.2. Preparação da Cana

A cana que foi recebida pelo esteirão metálico é transportada até o setor de preparação. A preparação da cana é responsável por melhorar o processo de extração do caldo através da moagem, melhorando essa, a fim de promover o rompimento da estrutura da cana, aumentando a densidade e melhorando a eficiência da embebição.

A cana passa primeiramente por um picador, provido de um motor de mais de 4700cv de potência e tensão de 13,8kV, que gira enormes “facas”, que picam a cana em pequenos

pedaços para facilitar o processo de desfibração. Esse é um processo de pré-desfibramento da cana, que será desfibrada por total no desfibrador. Este desfibrador também é equipado por um motor de mais de 4700cv de potência e tensão de 13,8kV, que gira vários “martelos” que arrastam a cana contra uma placa desfibradora (uma espécie de placa dentada) a fim de deixá-la em totais condições para um bom processo de extração do caldo. Há antes dos martelos um tambor, que força a passagem da cana entre os martelos e a placa desfibradora.

A cana que foi desfibrada sai do desfibrador em forma de pacotes, e é descompactada e despejada na esteira de correia por um espalhador, para que se tenha uma camada fina e uniforme de cana para os ternos. Já preparada, a cana que cai na esteira de correia passará por um eletroímã, que será responsável por fazer a remoção de materiais metálicos que possam acompanhar a cana, vindos do carregamento ou se desprendido dos equipamentos, de forma a proteger os demais equipamentos de eventuais acidentes e danificações.

Há no local, tanques de óleo que fazem a lubrificação contínua dos mancais dos redutores dos motores do picador e desfibrador, que é resfriada numa troca de calor com água em temperatura ambiente, água esta que segue para resfriamento em torres de resfriamento localizadas entre os hilos de descarregamento em um circuito fechado.

4.3.3. Extração do Caldo por Moendas

O processo de extração do caldo tem por objetivo separar toda a sacarose contida na cana da parte fibrosa que contém nesta, com um máximo de eficiência, através da moagem. Este processo é realizado por ternos de moenda, que são compostos por rolos que forcem a passagem da cana, de forma a comprimi-la para extrair todo o caldo contido nela.

Para analisar o desempenho dos ternos de moenda relaciona-se o preparo da cana, as regulagens dos ternos e também as condições operacionais quando se mensura a eficiência da extração. Para se melhorar o desempenho dos ternos analisam-se os seguintes fatores:

- Índice de preparo da cana;
- Alimentação de cana;
- Pressão aplicada;
- Rotação e oscilação dos ternos;
- Picotes, chapiscos e frisos dos rolos;
- Estado dos pentes e ajuste entre a bagaceira e o rolo de entrada.

A moenda da usina contém quatro ternos de moenda, de onde saem o caldo primário do primeiro terno, e o caldo secundário que sai do segundo terno, advindo dos demais ternos, que fazem a embebição no segundo terno.

O caldo que é extraído no primeiro terno contém mais de 70% da quantidade de sacarose contida na cana, sendo o restante é extraído nos demais ternos através da embebição forçada de água e caldo de embebição.

Na entrada de cana no último terno onde a quantidade de sacarose a ser extraída já é muito pequena, adiciona-se a água de embebição (embebição forçada), que é reaproveitada pra que se tenha uma melhor extração do caldo no último terno. O caldo extraído neste terno, chamado de caldo de embebição 2, faz a embebição na entrada de cana do terceiro terno, e o caldo extraído no terceiro terno – chamado de caldo de embebição 1 – faz a embebição na entrada de cana do segundo terno. O caldo que sai do segundo terno é chamado de caldo secundário e será encaminhado para a peneira rotativa, assim como o caldo primário (originado do primeiro terno), de onde seguirão para os tanques de caldo misto. Na peneira rotativa retira-se uma grande quantidade de cana contida no caldo que ainda poderá conter sacarose, então esta é regida novamente para o primeiro terno de moenda.

A água utilizada na embebição do último terno pode ser água bruta (água do tanque de água de processo) ou também uma água residuária proveniente do processo de fabricação do açúcar e do etanol, que é o reaproveitamento da água de lavagem das telas do filtro-prensa e condensado dos aquecedores de caldo. A água que vem dos filtros-prensa passará por uma filtragem para que possa seguir adiante no processo de embebição do último terno. Essa filtragem será feita na peneira estática presente no lado externo da moenda, de onde os resíduos voltam para o primeiro terno através de uma rosca. Na Figura 4.3 abaixo, é possível visualizar o processo de extração do caldo de cana com maiores detalhes de funcionamento.

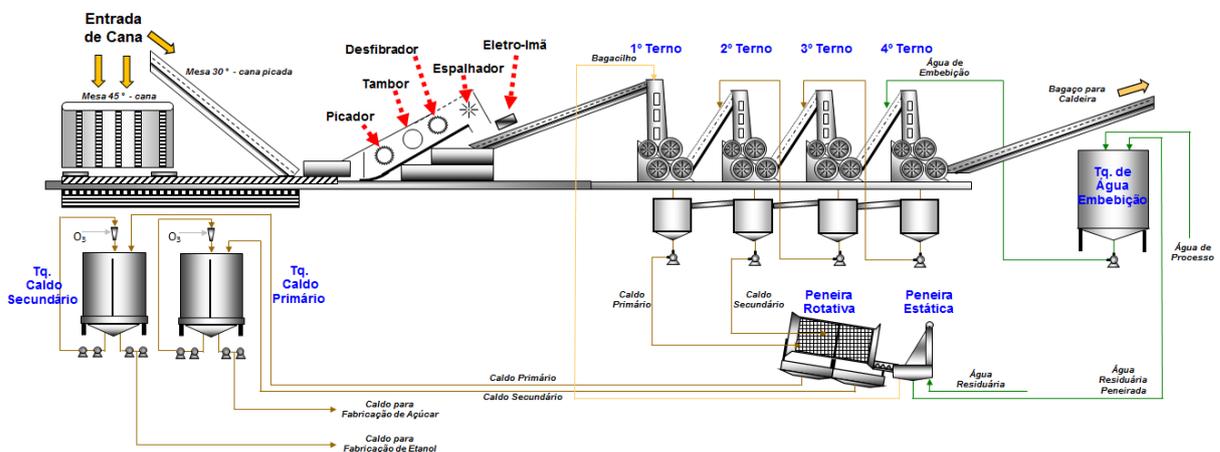


Figura 4.3: Fluxograma do processo de extração do caldo de cana-de-açúcar.

4.4. PROPOSTA DO TRABALHO

Por seguir uma necessidade de melhoria no processo de extração do caldo de cana-de-açúcar, procurou-se por uma estratégia de controle deste processo, que apresentava indícios de descontrole em relação ao restante do processo de fabricação de açúcar e etanol. Para tanto, será necessário o desenvolvimento de uma metodologia de implantação de Controle Estatístico de Processo, com o objetivo de criar um sistema de gestão da qualidade específico para o controle do processo referido.

O modelo deste SGQ será baseado nos seguintes passos:

- Pré-Avaliação do Processo;
- Análise de Comportamento Estatístico;
- Melhoria do Processo;
- Estudo da Estabilidade e Capacidade do Processo.

Estes itens devem ficar bem explícitos na proposta de implantação, pois mostrarão as habilidades do sistema de controle do processo que modelará o processo industrial e estará em constante melhoria, identificando as oportunidades e detalhando os problemas encontrados no decorrer do projeto.

4.5. PRÉ-AVALIAÇÃO DO PROCESSO

O processo de extração de caldo nunca foi visto dentro de uma usina como um item de crucial importância num sistema de gestão da qualidade do produto. Com as exigências das normas ISO e também das técnicas de organização de 5s além da segurança na fabricação do açúcar, isso fez com que se questionasse a melhoria no local. Contudo, os esforços para essas melhorias vêm sendo constantemente avaliadas, e a proposição de um sistema de controle de processo aponta como necessário.

Como a eficiência do processo de extração se mede através dos parâmetros de desempenho, que por sua vez é regulado através dos parâmetros do produto final, avaliou-se o comportamento da concentração do caldo extraído (medido em graus Brix, com sigla °Bx), a umidade do bagaço (medido em porcentagem de água contida) e também a quantidade de sacarose no bagaço (que representa a porcentagem da quantidade de sacarose contida numa solução impura de açúcar, sendo descrito como Pol do bagaço).

Adiante, encontra-se uma tabela com as variáveis de controle especificadas, estando listada na Tabela 4.1.

<i>Especificações dos parâmetros de controle do processo</i>	
Variável	Parâmetro (inferior – superior)
Concentração do caldo (Brix)	10,00 – 18,00 °Bx
Umidade do bagaço	30,00 – 56,00 %
Quantidade de sacarose no bagaço (Pol)	0,50 – 4,00 %

Tabela 4.1: Especificações dos parâmetros de controle do processo.

A importância deste controle refere-se a eficiência da extração do caldo, não podendo se perder sacarose no bagaço expelido, mantendo a concentração do caldo, e não deixando se exceder a umidade no bagaço, o que prejudica a combustão na caldeira de alta pressão, podendo ainda danificar o equipamento.

Os parâmetros acima descritos são medidos em laboratório, porém, sabe-se que para atingi-los, o processo precisa estar estável, e que para confirmarmos isso, teremos que ter todos os instrumentos de controle em funcionamento integral, e o processo ajustado para poder produzir os parâmetros dentro dos limites de especificação.

Visto que a proposta do estudo incide na criação de uma metodologia de controle de processo através do CEP, baseou-se num sistema de gestão da qualidade integrada, pretendendo-se criar um conjunto de gestão que possibilite a atual gerência acompanhar o desempenho do processo, avaliando-se as criticidades nos indicadores de qualidade.

Os indicadores de qualidade no processo de extração do caldo de cana-de-açúcar mostram que existe um relacionamento direto do desempenho da moenda com os parâmetros do produto. Esses índices são realizados por análises de laboratório, resultados estes utilizados para conhecimento e controle dos gestores industriais, que indicam como está se comportando o processo industrial. As análises são realizadas pelos laboratoristas a cada hora, sendo que serão necessárias 24 amostras durante um dia todo, ou seja, o conjunto amostral compreende uma amostra a cada hora, totalizando 24 amostras em 24 horas. Os analistas ao término da apuração das análises lançam os dados em um sistema de ERP da empresa para conferência dos operadores e gestores, sendo então de fácil acesso para realização do estudo.

O processo de extração é um tipo de processo que é afetado diretamente por condições climáticas – no caso, uma chuva pode parar o processo por falta de suprimento de matéria-prima –, e isso tornou um pouco mais complicado a amostragem. Porém, escolheu-se um dia em que nenhum fator externo prejudicou a coleta de dados do estudo, possibilitando que

tenhamos resultados coesos com a realidade do processo, para que se permita, então, aplicar as melhorias proporcionadas pela proposta de controle do processo.

Por se tratar de um processo produtivo de fluxo contínuo em que a amostragem é analisada para então serem divulgados os resultados, se tornando uma amostragem baixa, optou-se por uma amostra com $n = 1$ observação, compreendendo adiante um gráfico de controle para medidas individuais (de x e AM).

A amostragem da pesquisa concedeu-se no mês de agosto de 2011, e os dados de concentração do caldo, umidade e Pol do bagaço foram obtidos numa planilha (modelo na Figura 4.4), de forma a representar os parâmetros do processo de extração do caldo de cana-de-açúcar. Considera-se, então, que os dados serão extremamente fiéis a realidade do processo, pois os analistas são responsáveis pelos resultados das análises, e para tanto, são qualificados para desenvolverem com sucesso esta função.

EMPRESA		CONTROLE DE MOENDAS			
		Bagaço		Caldo	
		0,50 - 4,00 %	30,00 - 56,00 %		10,00 - 18,00 °Bx
Dia	Hora	Pol	Umidade	Hora	Brix
4-mai-12	1:00			1:00	
	2:00			2:00	
	3:00			3:00	
	4:00			4:00	
	5:00			5:00	
	6:00			6:00	
	7:00			7:00	
	8:00			8:00	
	9:00			9:00	
	10:00			10:00	
	11:00			11:00	
	12:00			12:00	
	13:00			13:00	
	14:00			14:00	
	15:00			15:00	
	16:00			16:00	
	17:00			17:00	
	18:00			18:00	
	19:00			19:00	
	20:00			20:00	
	21:00			21:00	
	22:00			22:00	
	23:00			23:00	
	23:59			23:59	

Figura 4.4: Ficha de controle de parâmetros da extração do caldo.

Para que fosse possível a coleta dos dados, foi necessário um comprometimento dos operadores e analistas com o estudo, visto que este é um procedimento normal-padrão da empresa de realizar as análises acima descritas para controle, considerando que existem três turnos de 8 horas, totalizando às 24 horas necessárias. Vale salientar que houve um envolvimento, porém nenhum além dos habituais vivenciados no ambiente fabril.

As análises constatadas como 23h59min referem-se a este horário para que se considere o mesmo dia do início das análises, sendo que se fossem 00h00min consideraríamos o dia seguinte, influenciando apenas no ERP da empresa, sem valor e tornando-se irrelevante ao estudo.

Dessa forma, o estudo consiste em realizar o acompanhamento do processo, mensurando as variáveis de concentração do caldo, umidade e Pol do bagaço, estudando se este é capaz de alcançar estatisticamente o controle.



Figura 4.5: Coletor contínuo de bagaço.

4.6. ANÁLISE DE COMPORTAMENTO ESTATÍSTICO

Com os dados em mãos, o próximo passo incidiu no estudo de regime estatístico do processo, ou seja, verificar se este encontrava-se em controle estatístico. Como a coleta retratou o estudo de dados do tipo variável e de volume baixo, optou-se pelo uso de uma das ferramentas da qualidade, sendo os gráficos de controle para medidas individuais, que afere o comportamento de centralidade do processo, e também o gráfico de controle de amplitude móvel, que avalia a instabilidade deste processo.

Foram feitos os gráficos de controle para x e AM para a concentração do caldo, da Pol e da umidade do bagaço, respectivamente. Desta forma, realizou-se a análise das características avaliadas no processo de extração utilizando-se o *software* estatístico Minitab, aprovando-se os resultados de forma dinâmica e segura, gerando os gráficos e mostrando o comportamento dos parâmetros de controle individualmente. O *software* também foi capaz de criar um histograma de capacidade do processo, analisando através dos limites de especificação, se o processo é capaz de produzir conforme estas especificações.

Através dos estudos realizados pelo *software*, obtiveram-se os gráficos de controle para medidas individuais e amplitude móvel, exibindo os limites de controle superior e inferior (LSC e LIC), além da linha média de controle (LM , como sendo \bar{x} ou \overline{AM}). Como temos estabelecidos pela empresa os limites de especificação do projeto, os limites inferior (LIE) e superior (LSE), pôde-se também realizar o estudo de capacidade do processo (Cp e Cp_k), conforme as figuras abaixo, na sequência das figuras 4.6, 4.7 e 4.8.

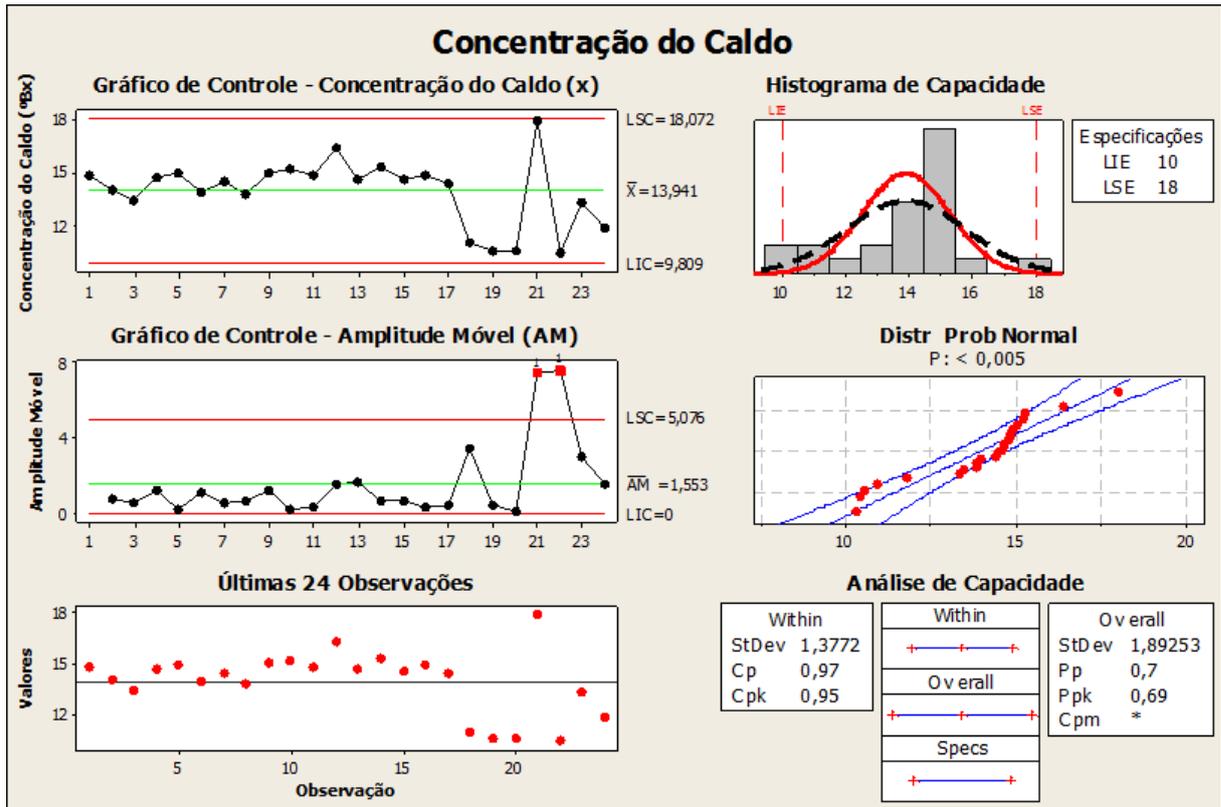


Figura 4.6: Análise estatística de capacidade – concentração do caldo ($^{\circ}\text{Bx}$).

A Figura 4.6 acima, mostra a análise estatística de capacidade do processo em relação a concentração do caldo, e através do gráfico de controle \bar{x} , constata-se que há uma variabilidade das amostras em relação ao processo normal, assumindo-se o controle de variáveis contínuas em distribuição de probabilidade normal, pois verificamos que este apresenta nove pontos consecutivos acima de $LM = \bar{x}$, podendo ser interpretado como uma tendência de aumento na média de x , e ainda o gráfico de AM apresenta dois pontos fora dos limites de controle. Poderia também ser considerado que o processo não é capaz de produzir itens conforme os limites de especificação, pois permanece desta maneira, apresentando C_p e C_{pk} menores do que 1. Esta última afirmação não é válida, uma vez que o estudo de capacidade de processo só deve ser realizado se o processo apresentar condições de capacidade imprescindivelmente.

Como se constatou na representação da Figura 4.6, há anormalidades no processo de extração que estão prejudicando os parâmetros de concentração do caldo, e a busca por causas especiais deverão ser tomadas, a fim de aplicar-se ações corretivas.

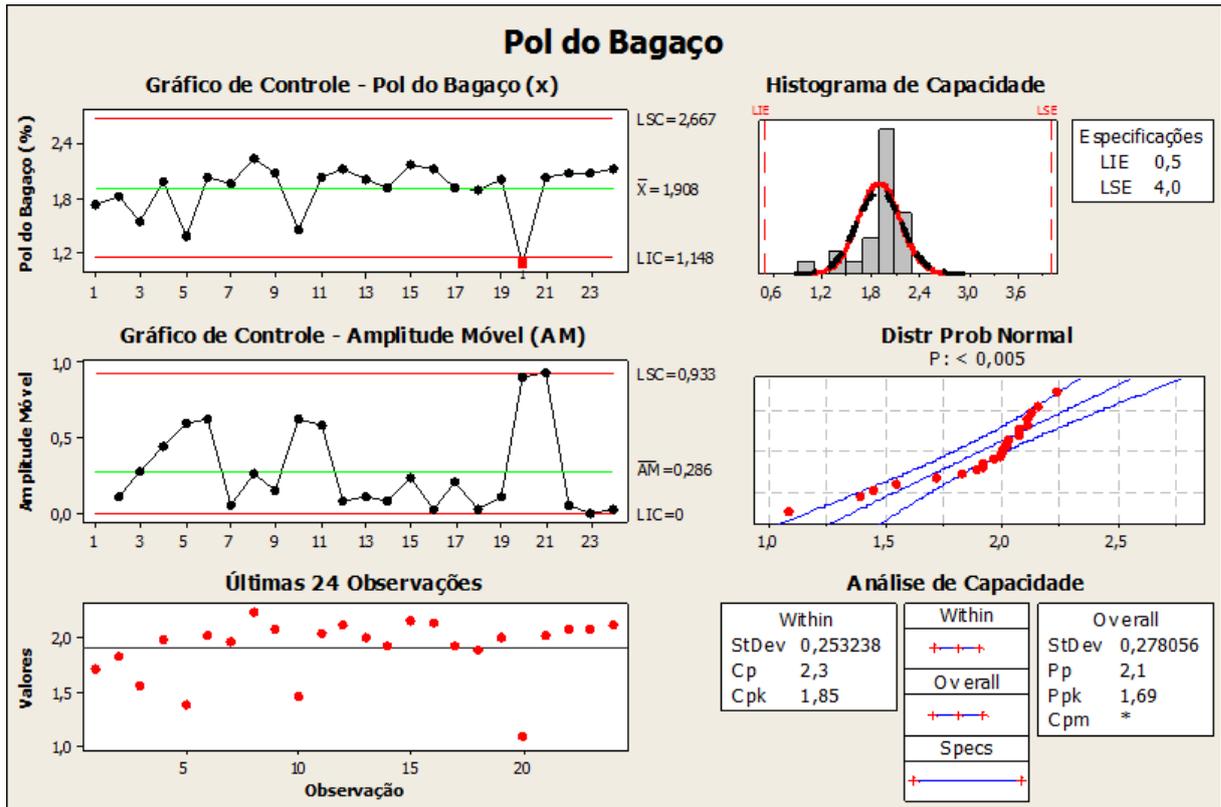


Figura 4.7: Análise estatística de capacidade – pol do bagaço (%).

Neste caso, a Figura 4.7 mostra a análise realizada sobre a Pol do bagaço, e é capaz de mostrar que há um ponto fora dos limites de controle estabelecidos no gráfico de controle de x , podendo estabelecer-se uma nova análise conforme a Figura 2.10, que diz que deve se encontrar as causas assinaláveis ao problema, abandonar os pontos fora do controle, e verificar novamente se houve melhoria na estabilidade do processo. Como no caso do gráfico de x para a concentração do caldo, no gráfico de AM para a Pol do bagaço constatou-se a presença de oito pontos abaixo da linha média $LM = \overline{AM}$, indicando que poderá haver uma baixa na média das amplitudes, dando o respaldo de afirmação da existência de instabilidade no processo de forma a prejudicar os parâmetros de controle da Pol do bagaço. Porém, vemos um pico de instabilidade explicitamente estampado nas amostras 19 a 22, provando que a instabilidade é constante nas amostragens da Pol do bagaço.

Um tipo de análise para se procurar os possíveis causadores de instabilidade no processo é a utilização do diagrama de causa e efeito, outra ferramenta da qualidade que nos auxiliará a eliminar as causas de instabilidade através da identificação dos efeitos, pois pôde-se conferir que o processo industrial apresentou certa instabilidade.

O uso desta ferramenta incide na aplicação da metodologia dos 6M's, que representam as seguintes macroatividades: Método, Medida, Mão-de-Obra, Material, Máquina e Meio Ambiente. O levantamento de dados que causam potenciais instabilidades ao processo foi adquirido através de uma *brainstorming*³, veiculando as principais ideias de vários colaboradores que participam diretamente das atividades do processo industrial, identificando as potenciais melhorias ao processo.

Abaixo está o diagrama de causa e efeitos para identificação das possíveis causas de instabilidade no processo de extração do caldo.

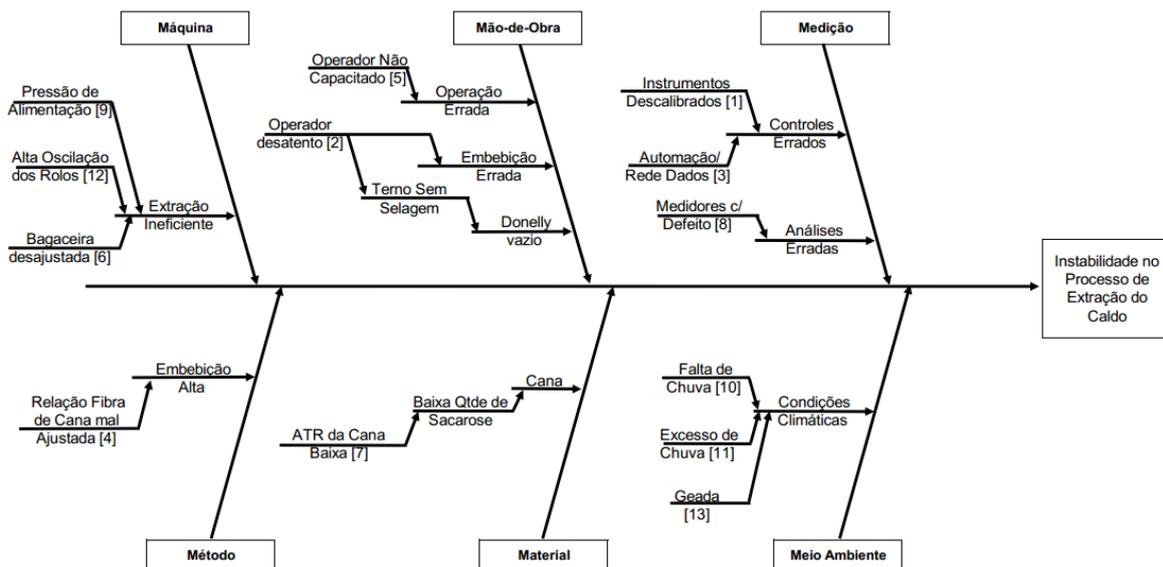


Figura 4.9: Diagrama de Causa e Efeito para identificação das causas de instabilidade no processo de extração do caldo.

As causas que podem afetar o processo industrial estão relacionadas na Figura 4.9 e evidenciam várias variáveis que afetam a concentração do caldo, a Pol e a umidade do bagaço de maneira semelhante. Porém, existem também as causas que afetam de forma única cada um dos parâmetros de controle, e foi necessário um novo estudo dos impactos causados pelas causas e suas respectivas importâncias ao afetarem o processo industrial.

Em relação a Matéria-Prima, os instrumentos descalibrados [1] foram relacionados em comum causa de descontrole de processo para os parâmetros concentração, Pol e umidade,

³ *Brainstorming*, tradução do termo em inglês “tempestade de ideias”, é um tipo de coleta de dados em espécie de reunião, que estimula a criação de um espaço de originalidade e potencial criativo de cada membro do processo, que expressam ideais de propostas de melhoria.

assim como os medidores com defeito [8], afinal as marcações erradas levam ao controle errado do processo. Quanto a Mão-de-Obra, falta de capacidade do operador [5] e a sua desatenção [2] também são de comum causa de instabilidade, uma vez que prejudicam diretamente o processo fazendo com que se tenha descontrole das variáveis. Já na Máquina, a alta oscilação dos rolos [12] influencia na Pol e umidade do bagaço, pois dão passagem livre para a cana passar e levar adiante consigo maior teor de sacarose e água no bagaço, do mesmo modo que a baixa na pressão de alimentação de cana [9] também afeta os controles de Pol e umidade. O desajuste na bagaceira [6] influi na concentração do caldo, pois permite que a cana desfibrada passe para a coleta de caldo, dando pérfida marcação de concentração. O Método de relação da fibra contida na cana [4] para controle da embebição prejudica a concentração e a umidade do bagaço, pois se mal calculada pode ejetar alta quantidade de água no último terno de extração. Quanto ao Material, a cana pode apresentar baixa quantidade de ATR, o que impacta na baixa concentração do caldo. E por fim, em Meio Ambiente, a falta [10] ou excesso de chuvas [11] e as geadas [13] prejudicam os parâmetros de controle, pois podem aumentar a umidade do bagaço (no caso de excesso de chuva) ou reduzir a concentração do caldo, pois baixam a quantidade de ATR contida na cana.

Uma maneira de se dar valor as criticidades do processo em função dos valores envolvidos é a criação de um diagrama de Pareto, que mostra-se como um método de diferenciação das causas em relação com seus valores ao afetarem o processo industrial, de modo a separar estas causas em classes de acordo com sua importância relativa.

Com base em uma documentação de apontamento de falha no processo industrial, relacionou-se os itens que afetaram o processo nas duas últimas safras e relacionou-se conforme as causas apontadas no diagrama de causa e efeito, de forma a estratifica-las conforme suas quantidades e importância.

Após relacionar todas as causas, pode-se fazer um levantamento das causas de instabilidade e confronta-las para então classifica-las, e a seguir um diagrama de Pareto mostra a classificação das causas de irregularidade no processo, conforme ilustra a Figura 4.10.

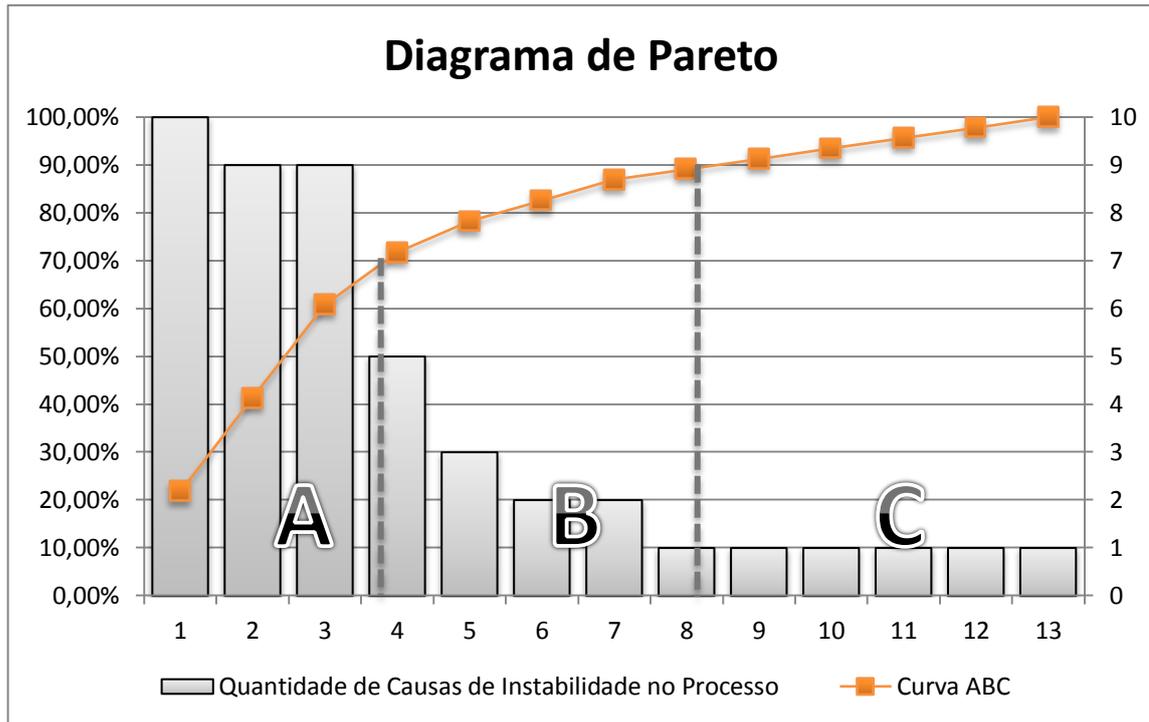


Figura 4.10: Diagrama de Pareto para classificação ABC das causas de instabilidade do processo.

Os sintomas de falhas no processo foram enumerados de 1 a 13 conforme aponta os índices no diagrama de causa e efeito (Figura 4.9). Desta maneira, classifica-se o conjunto de sintomas de falha como A, B e C, em que os itens classificados como “A” são de alta relevância e representam a maioria dos itens que apresentarão melhoria expressa ao processo. Os itens classificados como “B” são de média relevância e trarão ao processo, não muitas soluções para o problema encarado. Já os itens classificados como “C” são de baixa importância, mas apresentam valor de causas maior aos sintomas.

O que se fez a partir daqui, foi a eliminação e/ou mitigação dos itens que causavam descontrole ao processo, de modo a se estudar uma maneira e fazê-las de um jeito eficiente, dando um nivelamento que permitisse uma estabilidade, elevando a produtividade do local, e colocando o processo de extração a controle estatístico e também dando-o condições de produzir conforme as especificações.

Alguns instrumentos de controle de processo, tais como medidores de vazão, válvulas de controle automáticas, e painéis de automação, passaram por manutenção para que fossem aferidos e colocados em totais condições de trabalho.

Outro procedimento tomado foi o estabelecimento de um procedimento documental, onde há uma tabela que indica a embebição em relação a quantidade de fibra na cana e a rotação dos rolos, sendo documentado cada alteração nestes dados. Ainda trabalhando sobre a correção na operação de supervisor, foi colocado que somente os operadores devidamente

capacitados (com experiência comprovada) pudessem realizar as atividades no supervisor COI.

Ainda com relação as melhorias, uma revisão no sistema de automação e manutenção na rede de transmissão de dados foi necessária, fazendo com que os equipamentos trabalhassem em coerência com a lógica de automação, dando total capacidade de eliminação dos erros causados pela rede de dados/automação [3].

Desta maneira, o estudo de melhoria acometeu as causas imprescindíveis ao bom funcionamento do processo que foram classificadas como importância “A”, pois, além de não ser tecnicamente viável a eliminação de todas as causas, os itens mais relevantes acarretarão ao processo melhoria significativa em relação a proposta de controle do processo.

4.8. ESTUDO DA ESTABILIDADE E CAPACIDADE DO PROCESSO

Verificaram-se no estudo de melhoria os itens causadores de instabilidade no processo de extração do caldo através de um diagrama de Ishikawa, onde se encontrou uma variedade de problemas causadores de tal instabilidade. Um diagrama de Pareto, que separou as causas e as classificou por prioridades e vitalidade, foi necessário à confecção, e foram de onde partiram as melhorias no processo, que agiram a fim de trazer a realidade, as novas medidas de processo.

Por termos anteriormente constatado que o processo não estava em controle estatístico, foi necessário todo estudo e aplicação das melhorias nele. Agora que essas melhorias foram instaladas ao processo industrial, uma nova coleta de dados se fez necessária, para que fosse feita uma nova análise de estabilidade e capacidade da extração do caldo, com coleta em maio de 2012.

Novamente foram esboçados os gráficos de controle dos valores individuais (concentração do caldo, Pol e umidade do bagaço) e também da amplitude móvel, como sendo os gráficos de x e AM , e daqui saíram os gráficos com os limites de controle superiores e inferiores além dos limites de centralidade \bar{x} e \overline{AM} . Utilizaram-se os mesmos parâmetros para os limites de especificações determinado pela empresa e utilizados na análise de comportamento estatístico antes das melhorias, podendo-se, neste momento, realizar os estudos de capacidade do processo, tendo como resultados Cp e Cp_k .

Agora, com os novos dados amostrais coletados, foi possível a confecção dos novos gráficos de controle e análise de capacidade, sendo as figuras 4.11, 4.12 e 4.13 para concentração do caldo, Pol do bagaço e umidade do bagaço, respectivamente.

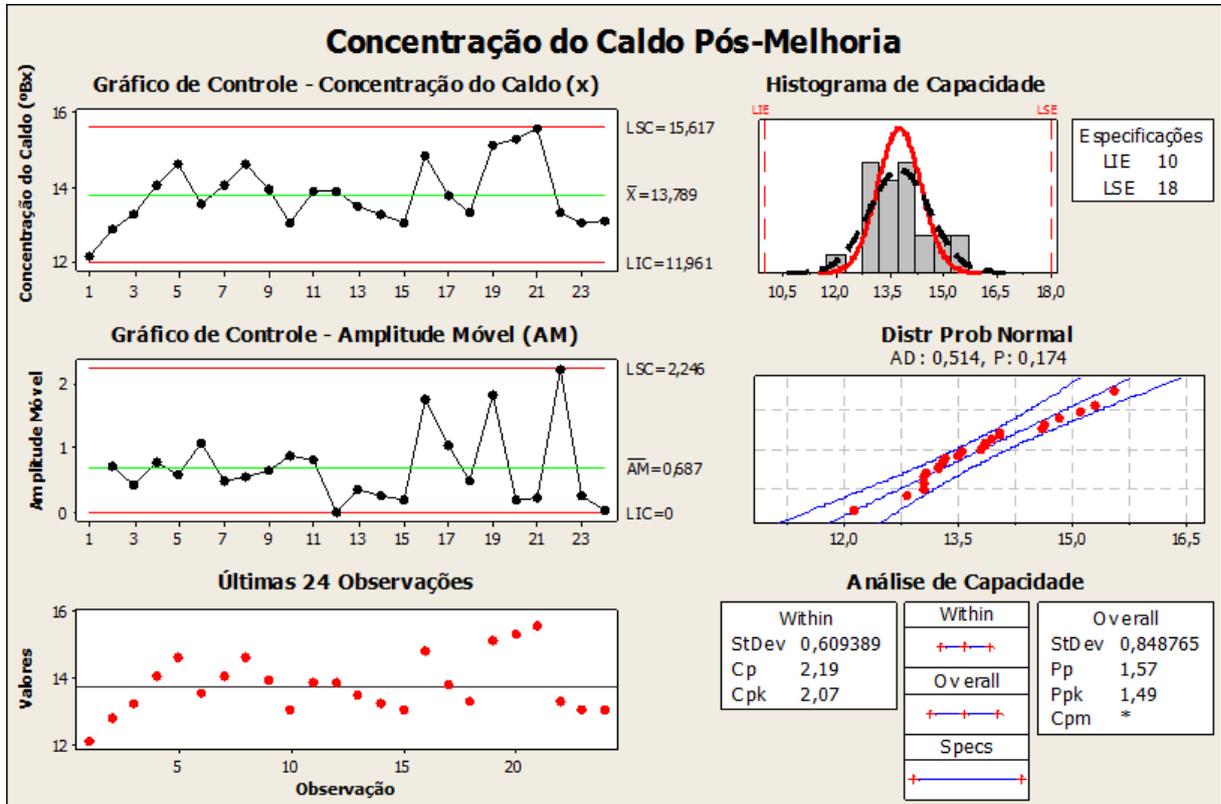


Figura 4.11: Análise estatística de capacidade pós-melhoria – concentração do caldo (°Bx).

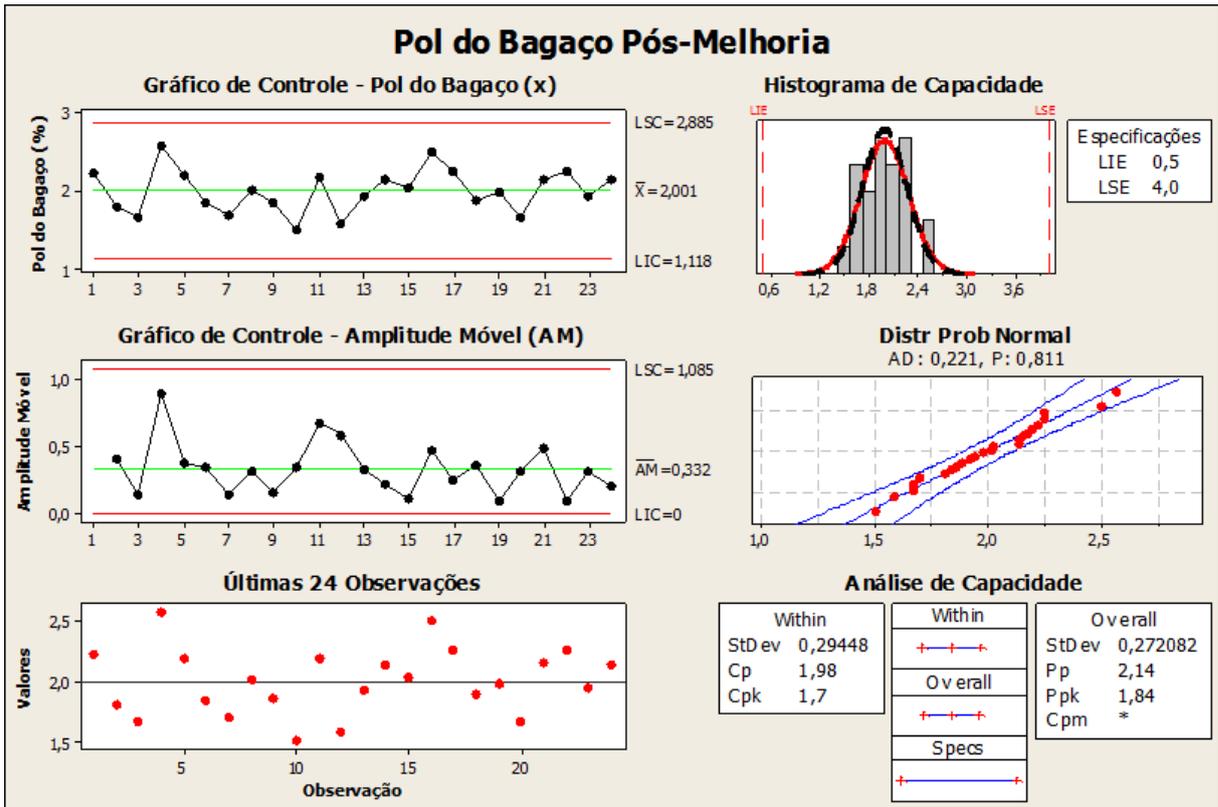


Figura 4.12: Análise estatística de capacidade pós-melhoria – pol do bagaço (%).

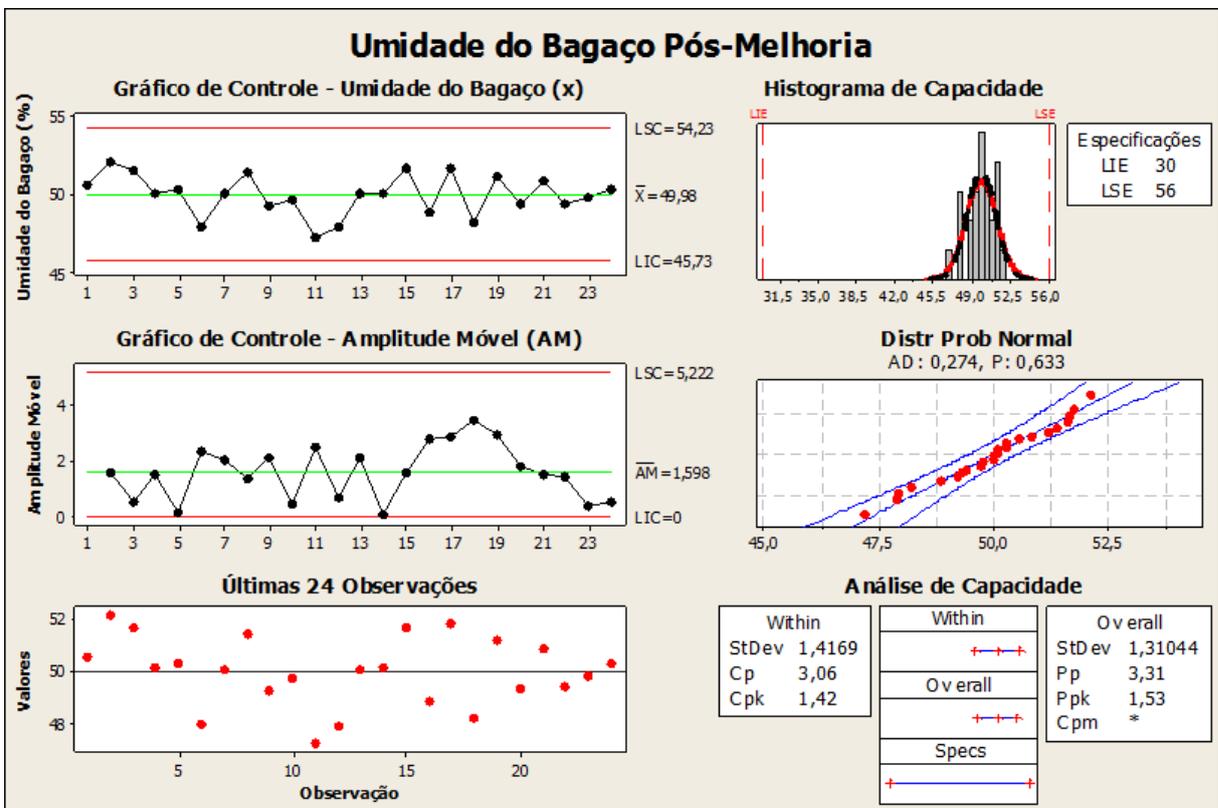


Figura 4.13: Análise estatística de capacidade pós-melhoria – umidade do bagaço (%).

As figuras acima apresentam os gráficos de controle para cada variável de controle do processo de extração do caldo de cana-de-açúcar e mostram que, para concentração do caldo

(Figura 4.11), houve estabilidade no processo industrial, havendo ainda um controle em relação a um possível aumento na média, e mantendo todos os pontos dentro dos limites de controle, além de mostrar que o processo é capaz de produzir itens conforme as especificações de projeto em variação de 6σ (seis desvios-padrão), conforme mostram os índices $Cp = 2,19$ e $Cp_k = 2,07$, todos acima de 1 conforme mostra a bibliografia.

Os gráficos de controle para a Pol do bagaço, exibidos na Figura 4.12, também mostram um processo em estabilidade conforme pode se constatar, e é fruto de uma nova coleta de dados – ao contrário do que foi dito anteriormente, quando se relatava que seria necessária somente uma nova análise com a mesma amostra, retirando-se apenas o ponto fora de controle após encontrar a causa do problema. Foi necessário esta nova coleta, pois as melhorias propostas afetaram os controles de processo de forma geral, englobando os parâmetros de concentração, Pol e umidade. Após esta nova coleta, tivemos um gráfico de controle satisfatório com todos os pontos dentro dos limites de controle, além de apresentar os índices $Cp = 1,98$ e $Cp_k = 1,70$, provando que o processo é capaz de produzir conforme especificações.

Por fim, os gráficos de controle em relação a umidade do bagaço revelam que o processo de extração, idem aos casos acima, está em controle estatístico, pois relatam todos os pontos dentro dos limites de controle, tanto quanto os valores de capacidade do processo, com $Cp = 3,06$ e $Cp_k = 1,42$, que provam que o processo também é capaz de manufaturar componentes condizentes às especificações exigidas.

Quando se diz que o processo está em controle estatístico, é porque o mesmo provou através dos estudos que as análises realizadas apresentam amostras dentro dos limites de controle, e, portanto, pôde ser feita também a análise de capacidade, que mostra que o processo é capaz de produzir conforme especificações quando nenhuma das amostras mostram valores fora das especificações, e o estudo de capacidade mostra que o processo é capaz de produzir os itens em até seis desvios-padrão (6σ). Sendo assim, foi possível afirmar que o processo de extração do caldo de cana-de-açúcar está em controle estatístico para produzir com qualidade a matéria-prima da produção de açúcar e etanol, dentro dos seis desvios-padrão instituídos pela literatura.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cada dia é possível observar que, em um mercado tão competitivo e variável como é o do setor sucroenergético, as empresas estão buscando a todo tempo aumentar suas capacidades de produção sempre com atenção redobrada para a lucratividade e produtividade, pois cada passo errado será fatal na busca por exigências dos clientes, que estão sempre a frente de qualquer incentivo a realização de melhorias num processo industrial, e um sistema de gestão da qualidade promove a estes processos, progressos significativos quando se trata de redução de desperdícios, estabilidade dos parâmetros de controle, e um melhor poder de gestão ao monitoramento do processo.

Assim sendo, os objetivos de se adotar a sistemática de uma metodologia de controle de processo, fez com que surgisse a oportunidade da aplicação do controle estatístico de processo, numa necessidade de se suprir a deficiência de um modelo de controle do processo de extração do caldo.

A proposição de uma metodologia de controle de processo através do CEP foi possível quando se estabeleceu ao estudo de caso, a pesquisa baseada em uma metodologia científica consistidas nas áreas da qualidade, com seus principais gurus e suas ferramentas, além das especificações do Controle Estatístico de Processo e Análise de Capacidade. A fim de se abranger o objetivo geral do trabalho, desenvolveu-se uma proposta de aplicação do CEP no processo de extração do caldo, sendo possível através do levantamento de uma série de informações, modelando-se e especificando-se para que fosse possível resolver os empecilhos que danificavam o bom comportamento do controle do processo de extração, conforme o questionamento feito anteriormente que fundamentou na realização deste trabalho.

A partir da necessidade da empresa de atender as especificidades de uma série de exigências de programas de Controle de Qualidade e Segurança do Alimento, partiu da investigação do local, e pesquisas foram realizadas levantando a necessidade de utilização de ferramentas da Engenharia da Qualidade, compreendendo os problemas em questão, após se ter uma caracterização e alto conhecimento sobre o processo industrial.

Com os dados e informações providos pela empresa, foi possível analisar e identificar através dos Gráficos de Controle, os pontos de atenção relacionados ao bom funcionamento do processo e com a execução do CEP. Isso fez ser possível afirmar que os gráficos de controle são ferramentas eficazes na análise de Comportamento Estatístico e Estabilidade no Processo.

Quando se estudou o Comportamento Estatístico do Processo, verificou-se que este não se mostrava em tal situação, o que gerou a necessidade do estudo de melhoria deste processo, não podendo sequer realizar a análise de capacidade de produção. Com esta decisão, realizou-se um plano de ação para constatação das possíveis causas que vinham prejudicando o processo, que consistiu na elaboração de um Diagrama de Causa e Efeito, levantando os possíveis agentes causadores de instabilidade no processo. Com isso, diversas causas foram detectadas como responsáveis por manter o processo industrial em alta variabilidade, e de acordo com suas macroatividades, foram classificadas segundo seis critérios com impacto no efeito da falha.

Os possíveis agentes causadores de inconstância no processo eram até então entendidos como problemas de causas comuns, encarados como sendo de difícil eliminação, pois eram inerentes ao processo produtivo. De fato, algumas situações eram sim de causas comuns – como a matéria-prima de baixa qualidade, falta de treinamentos e manutenção incorreta –, porém foi estabelecido aos coordenadores que alguns destes poderiam ser superados, e foi com essa consideração que se tomou rumo contrário as decisões de melhoria, fazendo com que se proporcionasse atenção maior para fatores colocados como causas comuns.

Dessa maneira, um Diagrama de Pareto foi feito para que se classificassem as causas com prioridade e essencialidade, de forma a eliminar os poucos itens de alto impacto na instabilidade, sendo os que foram classificados como “A”, caso da descalibração dos instrumentos de medição, a desatenção do operador de supervisório, e ainda reformulação de alguns itens da rede de dados de automação. Foi aí que surgiu a elaboração de um conjunto de técnicas e ferramentas ligadas ao CEP para monitoramento e controle do processo de extração do caldo, propiciando ferramentas úteis ao bom funcionamento do processo.

Depois de estratificar as causas conforme suas importâncias, as ações para eliminar as razões de instabilidade foram tomadas, realizando-se a manutenção nos instrumentos de medição e na rede de dados de automação, além de permitir que somente um operador munido de experiência e de preenchimento de documentação das ações tomadas, admitindo que o processo tomasse comportamento de estabilidade.

Após aplicação das melhorias propostas ao processo, elaboraram-se os novos Gráficos de Controle para os parâmetros de controle pós-melhoria. Logo, evidenciou-se que o processo se colocou em controle estatístico, mantendo todas as amostras dentro dos Limites de Controle, sem que houvesse possibilidades de aumento de tendência de descontrole dos limites centrais. Também foi possível visualizar que o processo se comportou como se

esperava, ou seja, atingindo a capacidade de produzir itens conforme as especificações, como mostraram os índices de capacidade Cp e Cpk , que foram superiores ao limite mínimo de 1 ponto.

Desta forma, foi possível realizar uma proposta de metodologia específica para a implantação do CEP no processo de extração do caldo da cana-de-açúcar, conforme mostrou toda essa aplicação de ferramentas da qualidade para solução dos problemas enfrentados para se manter o controle no processo. Assim, concretizaram-se todos os objetivos propostos no início do estudo.

Perante os objetivos alcançados neste trabalho e do conhecimento adquirido com a resolução do tema proposto, será possível estabelecer o uso de um Ciclo PDCA para constante observação e melhoramento contínuo do processo, além de propor novas técnicas de execução do CEP para controle de outros processos que são feitos dentro da própria empresa estudada, tais como na fabricação do açúcar, que é fortemente atacado pelas normas de controle de qualidade e segurança do alimento, ampliando-se assim uma gama de soluções dentro de suas limitações, dando outras saídas pra possíveis problemas comuns até mesmo a este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, J. *et al.* **Sistemas de produção**: conceitos para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008.

CABRERA JUNIOR, A. **Dificuldades de implementação de programas Seis Sigma**: estudos de caso em empresas com diferentes níveis de maturidade. 137 p. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2006.

CARPINETTI, L. C. R.; MIGUEL, P. A. C.; GEROLAMO, M. C. **Gestão da qualidade ISO 9001:2008**: princípios e requisitos. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

CARVALHO, M. M. *et al.* **Gestão da qualidade**: teoria e casos. São Paulo: Elsevier, 2006. 353 p.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações** - manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2010. 690 p.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2005. 334p.

DAVIS, M. M.; CHASE, R. B.; AQUILANO, N. J. **Fundamentos da administração da produção**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

DINIZ, M. G. **Desmistificando o controle estatístico de processo**. 1.ed. São Paulo: Artliber, 2001.

EBA, Consultoria Empresarial. **Apostila de treinamento industrial**: Extração do Caldo. 2009.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2010.

ISO – International Organization for Standardization. **Selection and use of the ISO 9000 family of standards**. Disponível em: <<http://www.iso.org/>>. Acesso em: 11 nov. 2011.

JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto**: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços. Traduzido por Nivaldo Montingelli Junior. São Paulo: Thomson, 2004.

KALTENECKER, E.; QUEIROZ, R. de. **Qualidade segundo Garvin**. 1.ed. São Paulo: Annablume, 1995.

KUME, H. **Métodos estatísticos para a melhoria da qualidade**. 5.ed. São Paulo: Gente, 1993.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LUCINDA, M. A. **Qualidade**: fundamentos e práticas para cursos de graduação. Rio de Janeiro: Brasport, 2010.

LUGLI. **Gestão e qualidade**: PDCA. 2009. Disponível em: <<http://www.lugli.com.br>>. Acesso em: 03 dez. 2011.

MDIC - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (Brasil). **Desenvolvimento da produção de álcool combustível**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 06 nov. 2011.

MICHEL, R; FOGLIATTO, F. S. **Projeto econômico de cartas adaptativas para monitoramento de processos**. *Gestão & Produção*, São Carlos, vol.9, n.1, pp. 17-31, 2002.

OAKLAND, J. S. **Gerenciamento da Qualidade Total**. Traduzido por Alberto Guedes Pereira. São Paulo: Nobel, 1994.

OLIVEIRA, O. J. *et al.* **Gestão da qualidade**: tópicos avançados. São Paulo: Thomson, 2004.

PAIM, R. *et al.* **Gestão de processos**: pensar, agir e aprender. Porto Alegre: Bookman, 2009. 328 p.

PALADINI, E. P. **Avaliação estratégica da qualidade**. São Paulo: Atlas, 2002.

PALMA, Dr. –Ing. E. S. **Apostila metrologia – mecatrônica**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PUC Minas, 2004. Disponível em: <<http://www.mea.pucminas.br/palma/metrolapostcep.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2011.

PAESE, C.; CATEN, C. T.; RIBEIRO, J. L. D. **Aplicação da análise de variância na implantação do CEP**. *Produção*, São Paulo, vol.11, n.1, pp.17-26, 2001.

RAMOS, A. W. **CEP para processos contínuos e em bateladas**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

ROBERTO, C. (Ribeirão Preto). **Mato Grosso do Sul: terra fértil para novos investimentos**. Canamix, Ribeirão Preto, v. 41, n. 4, p.12-18, out. 2011. Mensal.

SALOMON, D. V. **Como fazer uma monografia**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

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

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

STOCKERT, A. R. V. **Etanol – Aspectos históricos, tecnológicos e ambientais**. Florianópolis. UFSC, 2008.

TOLEDO, J. C.. **Enfoque dos principais autores para a gestão da qualidade**. GEPEQ - Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade. DEP-UFSCar. Disponível em: <<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/>>. Acesso em: 13 nov. 2011.

_____. **Introdução ao CEP**. GEPEQ - Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade. DEP-UFSCar. Disponível em: <<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

_____. **Qualidade industrial: conceitos, sistemas e estratégias**. São Paulo: Atlas, 1987. 182p.

TOLEDO, J. C.; ALLIPRANDINI, D. H. **Controle estatístico da qualidade**. GEPEQ - Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade. DEP-UFSCar, 2004. Disponível em: <<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/>>. Acesso em: 25 nov. 2011.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. São Paulo, Atlas, 2007. 196p.

UNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (Brasil). **O que foi o Proálcool?** Disponível em: <<http://www.unica.com.br/>>. Acesso em: 06 nov. 2011.

VASCONCELOS, D. S. C. **Aplicabilidade da especificação PAS 99:2006 como modelo integrado de gestão** – um estudo de caso. João Pessoa: UFPB, 2008.

VEJA.COM (Brasil). **Coleções Proálcool**. Disponível em: <<http://www.veja.abril.com.br/>>. Acesso em: 06 nov. 2011.

WERKEMA, M. C C. **As Ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. 4.ed. Belo Horizonte: FCO, 1995.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.