

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Informática
Curso de Engenharia de Produção

**Controle Estatístico de Processo Aplicado ao Tratamento de Caldo de
uma Destilaria de Álcool.**

Nome do Aluno: Paulo Alexandre Faria.

TCC-EP-05-2008

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Informática
Curso de Engenharia de Produção

**Controle Estatístico de Processo Aplicado ao Tratamento de Caldo de
uma Destilaria de Álcool.**

Nome do aluno: Paulo Alexandre Faria

TCC-EP-05-2008

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia
de Produção – Ênfase Agroindústria, do Centro de Tecnologia, da
Universidade Estadual de Maringá.

Orientador: *Prof^o*. *Doutor Wagner André dos Santos Conceição.*

**Maringá - Paraná
2008**

Paulo Alexandre Faria

**Controle Estatístico de Processo Aplicado ao Tratamento de Caldo
de uma Destilaria de Álcool**

Este exemplar corresponde à redação final do Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof(º). Doutor Wagner André dos Santos Conceição
Departamento de Engenharia Química, CTC

Prof(º). Mestre Olív ia Toshie Oiko
Departamento de Informática, CTC

Prof(º). Doutora Veronice Slusarsk Santana
Departamento de Engenharia Química, CTC

DEDICATÓRIA

Dedico em primeiro lugar a Deus, que me proporcionou cada momento (bom ou ruim) de minha vida. Nos momentos fáceis me deu discernimento para escolher as companhias, e nos momentos difíceis não as deixou me faltar. Em fim, nesse espaço de tempo me proporcionou uma bagagem de conhecimentos que vieram e foram assimilados em forma exponencial.

Aos meus pais, Vitor Correa Faria e Sebastiana das Graças Faria, aos meus irmãos, Everton Henrique Faria e Victor Correa Faria, que sempre me apoiaram e torceram por mim apesar das dificuldades, e Letícia Herreiro que me acompanhou durante quase toda essa caminhada.

Aos meus amigos (irmãos) de sempre, não citarei nome porque estes sabem quem são, pela força em todos os sentidos, estando comigo sempre apesar de tudo.

Epígrafe

*Eu pensei que podia
Viver por mim mesmo
Eu pensei que as coisas do mundo,
Não iriam me derrubar
O orgulho tomou conta do meu ser
E o pecado devastou
O meu viver
Fui embora
Disse ao Pai dai-me o que é meu
Dai-me a parte que me cabe da herança
Fui pro mundo,
Gastei tudo
Me restou só o pecado
Hoje eu sei que nada é meu
Tudo é do Pai
Tudo é do Pai,
Toda honra e toda glória
É dele a vitória,
Alcançada em minha vida
Tudo é do Pai,
Se sou fraco e pecador
Bem mais forte
É o meu Senhor
Que me cura por amor
Tudo é do Pai,
Toda honra e toda glória
É dele a vitória,
Alcançada em minha vida
Tudo é do Pai,
Se sou fraco e pecador
Bem mais forte é o meu Senhor
Que me cura por amor.
Eu pensei que podia viver
Por mim mesmo
Eu pensei que as coisas do mundo
Não iriam me derrubar*

Musica Tudo é do Pai, Banda Dom.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof(º) Doutor Wagner André dos Santos Conceição, pelo apoio e auxílio que sempre me dispusera. Aos outros professores também, bons ou ruins, por que de qualquer forma fizeram parte dessa jornada.

Aos poucos amigos que fiz na faculdade, que são Leandro Raizi, Raphael Moretti (Moguetti), Everton Caburon (inútil) e Ana Carolina Castilho (Caro!), que seja sempre lembrado com sorrisos o tempo que nos aturamos.

Agradeço a família Baú, família Herreiro, e a Waldemar Moretti, que foram muito mais que patrões.

E por último, mas não menos importante, agradeço a Aderson Roberto Righetto, Luis Carlos Secco, Patrícia Polli e todos os colaboradores da Cooperativa Agroindustrial Cocafé, pelo apoio, paciência e boa vontade.

RESUMO

Atualmente, as novas perspectivas do produto etanol vieram em decorrência à tecnologia dos automóveis Flexfuel e com a preocupação global relacionada a fatores ambientais. Com o aquecimento do mercado e a nova visão do empreendimento, a Lei do Mercado nos auxilia para prever que a subida na concorrência será crescente, assim como a procura do produto. Isso implica que deve-se focar os esforços na otimização e controle dos processos produtivos, já que se tornaram questões de extrema importância para a longevidade da indústria. O CEP (Controle Estatístico da Produção) nos traz perspectiva de avaliação das etapas do processo e acompanhamento (controle) da qualidade dos produtos advindos das etapas anteriores e fornecidos para as subseqüentes, e também dos produtos acabados.

No caso proposto, estaremos avaliando as variáveis pH e temperatura do Caldo Misto + Clarificado, que é resultado da mistura entre o Caldo Misto e o Caldo Clarificado. Essa mistura ocorre em um tanque de agitação sofrendo a Caleação. Essa mistura é bombeada para o sistema de aquecimento, seguindo posteriormente para os Decantadores. A eficácia da etapa de decantação é de suma importância, já que se sabe que esta interfere significativamente no rendimento fermentativo, e na produção do Vapor Vegetal. Quando por sua vez essas variáveis estão sob controle, se sabe que a floculação voluntária e a ação e consumo do polímero são otimizadas, gerando assim menos custos e favorecendo o balanço energético do sistema.

Palavras-chave: Qualidade. Controle Estatístico do Processo (CEP). produção de etanol.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	METODOLOGIA.....	2
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
4	DESENVOLVIMENTO	7
4.1	PERSPECTIVAS PARA O PRODUTO.....	7
4.1.1	<i>O etanol como combustível</i>	7
4.1.2	<i>A demanda do produto</i>	8
4.2	A IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE.....	9
4.2.1	<i>As Sete Ferramentas da Qualidade</i>	10
4.2.2	<i>Sete Ferramentas do Planejamento</i>	11
4.2.3	<i>Outras ferramentas estatísticas</i>	11
4.2.4	<i>Análises de falhas</i>	11
4.3	CAPABILIDADE.....	14
4.4	ANÁLISE DOS GRÁFICOS DE CONTROLE.....	15
4.5	EQUAÇÕES PARA CÁLCULOS.....	16
5	ESTUDO DE CASO	19
5.1	TRATAMENTO DE CALDO.....	19
5.2	INTERFERÊNCIA SOBRE O PROCESSO.....	22
5.2.1	<i>Interferência de diversos fatores sobre o pH</i>	22
5.2.2	<i>Interferência de diversos fatores sobre o aquecimento</i>	24
5.2.3	<i>Interferência dos parâmetros no processo</i>	25
6	ANÁLISES DOS RESULTADOS	30
6.1	GRÁFICOS DE CONTROLE.....	30
6.1.1	<i>Análise da temperatura</i>	30
6.1.2	<i>Análise do pH</i>	41
6.1.3	<i>Simulação de perdas por inversão</i>	52
7	CONCLUSÃO	55
8	REFERÊNCIAS	56
9	APÊNDICE	59
10	GLOSSÁRIO	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1: Ciclo PDCA de Controle de Processos.	12
Figura 4.2: Ciclo SDCA de Padronização de Controle de Processos.	12
Figura 5.1: Fluxograma Tratamento de Caldo.....	21
Figura 5.2: Aglomeração Primária.	27
Figura 6.1: Gráfico das Médias da Temperatura (19/05/2008).	31
Figura 6.2: Gráfico das Amplitudes da Temperatura (19/05/2008).	31
Figura 6.3: Gráfico das Médias da Temperatura (20/05/2008).	32
Figura 6.4: Gráfico das Amplitudes da Temperatura (20/05/2008).	33
Figura 6.5: Gráfico das Médias da Temperatura (22/05/2008).	34
Figura 6.6: Gráfico das Amplitudes da Temperatura (22/05/2008).	34
Figura 6.7: Gráfico das Médias da Temperatura (24/05/2008).	35
Figura 6.8: Gráfico das Amplitudes da Temperatura (24/05/2008).	36
Figura 6.9: Gráfico das Médias da Temperatura (25/05/2008).	37
Figura 6.10: Gráfico das Amplitudes da Temperatura (25/05/2008).	37
Figura 6.11: Diagrama de Causa e Efeito Para o Aquecimento do Caldo Misto + Filtrado. ...	39
Figura 6.12: Gráfico das Médias do pH (19/05/2008).	42
Figura 6.13: Gráfico das Amplitudes do pH (19/05/2008).	42
Figura 6.14: Gráfico das Médias do pH (20/05/2008).	43
Figura 6.15: Gráfico das Amplitudes do pH (20/05/2008).	44
Figura 6.16: Gráfico das Médias do pH (21/05/2008).	45
Figura 6.17: Gráfico das Amplitudes do pH (21/05/2008).	45
Figura 6.18: Gráfico das Médias do pH (22/05/2008).	46
Figura 6.19: Gráfico das Amplitudes do pH (22/05/2008).	47
Figura 6.20: Gráfico de Controle do pH (24/05/2008).	48
Figura 6.21: Gráfico de Amplitude do pH (24/05/2008).	48
Figura 6.22: Diagrama de Causa e Efeito Para a caleação do Caldo Misto + Filtrado.	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1: Aplicações das Ferramentas da Qualidade na Identificação do Problema.	13
Quadro 4.2: Aplicações das Ferramentas na Padronização da Operação.	13
Quadro 4.3: Capacidade potencial do processo.	17
Quadro 4.4: Capacidade real do processo.	18
Quadro 6.1: Equações - Variação Inversão x Temp.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Tabela de Comparação das Características dos Combustíveis.	7
Tabela 5.1: Perda no Rendimento x Tempo de Queima.	22
Tabela 5.2: Perda no Rendimento x Tempo de Queima.	23
Tabela 5.3: % Terra na Cana x Grau de Infecção.	23
Tabela 5.4: % Terra na Cana x Rendimento Global.	23
Tabela 5.5: Porcentagem de Sacarose Invertida por Hora (Stadler).	28
Tabela 6.1: Tabela de Cálculos do Processo – Temp. 29/05/08.	32
Tabela 6.2: Tabela de Cálculos do Processo – Temp 20/05/2008.	33
Tabela 6.3: Tabela de Cálculos do Processo – Temp. 22/05/08.	35
Tabela 6.4: Tabela de Cálculos do Processo – Temp. 24/05/08.	36
Tabela 6.5: Tabela de Cálculos do Processo – Temp. 25/05/08.	38
Tabela 6.6: Análise Quantitativa de Cp(temp).	38
Tabela 6.7: Análise quantitativa de Cpk(temp).	39
Tabela 6.8: Tabela de Cálculos do Processo – pH 19/05/08.	43
Tabela 6.9: Tabela de Cálculos do Processo – pH 20/05/08.	44
Tabela 6.10: Tabela de Cálculos do Processo – pH 21/05/08.	46
Tabela 6.11: Tabela de Cálculos do Processo – pH 22/05/08.	47
Tabela 6.12: Tabela de Cálculos do Processo – pH 24/05/08.	49
Tabela 6.13: Análise Quantitativa de Cp(pH).	49
Tabela 6.14: Análise Quantitativa de Cpk(pH).	49
Tabela 6.15: Tabela de Cálculos do Processo.	54

LISTA DE SIGLAS

CEP – Controle Estatístico do Processo

FEMEA – Análise do Modo de Efeito e Falha

LIC – Limite Inferior de Controle

LIE - Limite Inferior de Especificação / Engenharia

LSC – Limite Superior de Controle

LSE – Limite Superior de Especificação / Engenharia

PDCA – Plan (planejar), Do (fazer), Check (Verificar), Action (Aja Corretivamente).

1 INTRODUÇÃO

A qualidade em muitos seguimentos industriais vem sendo gradativamente trabalhada e dada a importância que se é necessária. Os resultados conseguidos por estas empresas, que ainda são poucas, são significativos. No seguimento sucroalcooleiro esta é tratada de forma errônea e superficial, onde se obtém dados, mas estes não são processados em informações, desperdiçando esforços e bases importantes para a tomada de decisão. Normalmente o cenário globalizado tende a normatizar produtos e serviços quando estes se tornam potencialmente requeridos mundialmente, para que assim os produtos de diferentes nacionalidades estejam dentro do que se julga necessário. O CEP vem proporcionar uma forma (conceito-prática) de controle dentro desses parâmetros, tornando assim o produto mais competitivo em relação à concorrência.

A eficiência global da indústria em questão, e qualquer indústria do ramo, dependem de um tratamento de caldo bem executado, pois este adequa o caldo para a fermentação e produção de açúcar, obtendo um maior rendimento fermentativo e uma melhor qualidade do produto açúcar. Este ainda fornece o vapor para a indústria auxiliando no balanço energético, pois fornece calor para o aquecimento e para a destilação. Várias outras variáveis poderiam e devem ser controladas no cotidiano, visto que esta etapa requer um alto grau de zelo e é relativamente complicada de ser conduzida.

A proposta de aplicação do CEP a duas variáveis Temperatura e o pH do caldo Misto + Clarificado, tem o objetivo de proporcionar bases técnicas para a melhoria contínua desta etapa, caindo no conceito de Qualidade Total. Este por sua vez deve ainda propiciar o controle de parâmetros, mas não deve nunca querer substituir conhecimento em engenharia ou qualquer outro conhecimento específico, pois apenas a identificação do problema não é suficiente. Após a identificação, devem se tomar medidas que curem a ferida do processo, caso contrário tal procedimento seria contrário ao conceito observado.

2 OBJETIVOS.

O trabalho tem por objetivo a aplicação do Controle Estatístico da Qualidade, visando avaliar o processo de controle de pH do Caldo Misto + Filtrado e o aquecimento deste, antes de ser dirigido ao Decantador. Sabe-se que um dos maiores problemas a serem geridos no ramo sucroalcooleiro é o processo de decantação do caldo, já que este sofre interferência de vários fatores inerentes ao processo ou não. No caso da destilaria de álcool estudada, que passa por uma remodelização de seu sistema de controle, existe um software que fornece os valores de temperatura na entrada do Tambor de Flash, mas não havendo um sistema de controle automatizado para esse. No caso do pH, como já dito as análises são feitas através de coletas manuais, também não havendo sistema de controle automatizado.

2.1 Metodologia.

Para que os objetivos acima citados fossem alcançados, o estudo seguiu as seguintes etapas;

- a) Levantamento bibliográfico;
- b) Reconhecimento do setor analisado, e os efeitos qualitativos que os parâmetros têm, sobre o processo localizado, e o processo como um todo.
- c) Levantamento de dados sobre os parâmetros estabelecidos para a proposta apresentada (os dados foram alocados em planilhas);
- d) Aplicação das Ferramentas da Qualidade para o controle do processo e;
- e) Análise dos resultados obtidos pelo estudo, apresentando a qualificação do processo e as vantagens de um controle de produção, com uma visão correta da qualidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

Com a globalização ocorrida nas últimas décadas e conseqüentemente o aumento da concorrência, estão forçando tardiamente as empresas brasileiras a investirem na qualidade dos produtos e processos. Isso não é diferente nas indústrias do ramo sucroalcooleiro, que teve firmação produtiva desde o anúncio do Proálcool. Ainda falta conhecimento sobre o aspecto da qualidade em todos os ramos da indústria, ocasionado por um descaso cancerígeno nas empresas.

A consciência da necessidade de gestão mais aguçada foi identificada na década de 30 com o desenvolvimento dos gráficos de controle pelo Dr. Walter A. Shewhart e a utilização destes na empresa “Bell Telephones Laboratories” para a inspeção de parâmetros e produtos. Desde então o controle de qualidade sofreu várias alterações evolutivas até ser denotado por Controle de Qualidade Total (TQC).

Atualmente a disseminação da qualidade é amplamente caracterizada pelas ISO's, mas sendo esporadicamente aplicadas, e até esquecida nas organizações. Segundo Campos, (1992), “*um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, acessível, segura e no tempo certo às necessidades do cliente*”. Este ainda apresenta cinco bases para a Qualidade Total:

i. Qualidade

Refere-se a características específicas do produto, bens ou serviços intermediários ou finais das empresas, promovendo a satisfação do cliente em questão. Também conhecida como qualidade intrínseca esta aborda a qualidade do bem ou serviço, do pessoal, do treinamento e da informação.

ii. Custo.

Aborda o custo operacional do produto ou serviço, resultando do projeto, fabricação e desempenho do deste.

iii. Entrega.

Relacionada aos aspectos de entrega dos produtos intermediários e finais da empresa, levando em consideração data e local corretos.

iv. Moral

Mede o nível de satisfação dos colaboradores da empresa. Levando em consideração o ambiente de trabalho, e podendo ser dimensionado por índices de absenteísmo, de dimensões, de reclamações trabalhistas e sugestões.

v. Segurança

Considera a segurança dos colaboradores e dos usuários dos produtos.

Ishikawa, (1993), defende que o Controle de Qualidade Total apresenta as seguintes características elementares:

- i. Participação de todos os setores e de todos os colaboradores da empresa na prática de controle de qualidade.
- ii. Educação e treinamento para o controle de qualidade.
- iii. Atividades dos círculos de controle de qualidade.
- iv. Auditorias do controle de qualidade.
- v. Utilização de técnicas estatísticas.
- vi. Campanhas nacionais de promoção de controle de qualidade.

Essas técnicas acima denotam o estilo japonês de controle de qualidade que por sua vez é adotado por diversos outros países.

Outro fator importante é saber que a qualidade não está somente ligada a fatores de processo, assim é indispensável citar que a qualidade é dividida em três modelos básicos, que são:

1. Qualidade *in-line* – que visa a qualidade no processo produtivo e linhas de produção de bens e serviços, sacrificando-se para a prevenção e correção de defeitos respectivamente.
2. Qualidade *on-line* – que procura embasar-se na satisfação do cliente, estando relacionado com a pesquisa de mercado e marketing, visando atender as necessidades e expectativas do cliente e procurando também atender as tendências de consumo.
3. Qualidade *off-line* - gerada pelas áreas que não estão ligadas diretamente ao processo produtivo, mas que dá suporte a este, como a compra de matérias-primas e fases complementares como vendas.

Deve se ter em mente ainda que a qualidade do produto e/ou serviço pode variar do projeto inicial. Segundo Costa (2004, p.16), *“Nem tudo que se estabelece no projeto é cumprido quando da fabricação do produto ou da prestação do serviço. Portanto, é necessário distinguir entre a qualidade de projeto e a qualidade de conformação, que avalia quão bem um produto atende às especificações do projeto”*.

Para uma melhor gestão da qualidade, o processo deve ser dominado pelo gestor, que deve conhecer as variáveis do processo, e as possíveis conseqüências causadas por estas. Segundo Harrington (1993, p.10), *“processo é qualquer atividade que recebe uma entrada (input), agrega-lhe valor e gera uma saída (output) para um cliente interno ou externo, fazendo uso dos recursos da organização para gerar resultados concretos”*. Já Juran (1995, p.197), um dos gurus da qualidade, afirma que *“processo é uma série de sistemática de ações direcionadas para a consecução de uma meta”*.

Como é impossível haver um processo ideal, a variabilidade é inevitável, o que pode ser feito é continuamente monitorar o processo com bases técnicas e gestão que ajudem na manutenção e controle do processo através de conceitos e ferramentas.

Segundo Werkema, (2006, p.3), *“no processo de fabricação de um produto (bem ou serviço), atuam diversos fatores que afetam suas características da qualidade. Neste sentido, o processo pode ser visualizado como um conjunto de causas de variação. Estas causas as mudanças nas diversas características da qualidade dos produtos, o que poderá dar origem a produtos defeituosos”*.

Para tanto o Controle Estatístico do Processo (CEP), vem auxiliar a determinação dos problemas e a tomada das decisões. Paladini, (1997), afirma que não se pode avaliar a qualidade a partir de opiniões do tipo, “eu acho”, “eu suponho”, “eu penso”, “eu acredito”. É necessário ter bases objetivas. Segundo Miranda (1994, p.14), o CEP objetiva *“registrar as variações existentes em qualquer processo, como forma de identificar desvios de desempenhos e, então, ataca-los preventivamente para mantê-los estabilizados dentro da capacidade do processo”*.

A eficácia do CEP ainda depende de uma equipe de qualidade integrada e consciente na importância deste trabalho, além de ser acessível a todos os membros da organização.

Segundo Hradesky (1990), para que o CEP seja eficaz são necessárias 90% de ações administrativas e 10% de ação estatística. Este controle eficiente é composto por 5 ingredientes principais:

- 1 Técnicas estatísticas;
- 2 Técnicas de solução de problemas;
- 3 Liderança e atitudes para aperfeiçoamento da produtividade e qualidade;
- 4 Planejamento da qualidade e;
- 5 Método sistemático que atua como catalisador.

A redução desta variabilidade é um desafio cotidiano, árduo e de responsabilidade de toda a organização. Segundo Werkema (2006, p.4), *“a redução da variabilidade dos processos permite a produção de itens cuja a característica da qualidade de interesse esteja próximo a um valor alvo desejado e dentro dos limites de especificações estabelecidos”*.

A evidência da competitividade atual, força a uma mudança cultural e de postura por parte da organização. Segundo Campos (1992, p.45), *“não se pode garantir a sobrevivência de uma empresa apenas exigindo que as pessoas façam o melhor que puderem ou cobrando apenas resultados, hoje são necessários métodos por todos em direção aos objetivos da sobrevivência da empresa”*.

Assim um CEP bem implantado e gerido, possibilita um acréscimo da qualidade do produto bem como maiores chances de sucesso para a organização.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Perspectivas Para o Produto.

4.1.1 O etanol como combustível.

Com larga aplicação como combustível para veículos motorizados, é utilizado na forma hidratada (adicionado diretamente ao tanque do veículo) e como carburante para a gasolina (para aumentar sua octanagem). A proporção de álcool na mistura álcool absoluto e gasolina oficialmente é de até 25%. Pode ser também usado como combustível no aquecimento de estufas, fonte de luz em lâmpadas, etc..

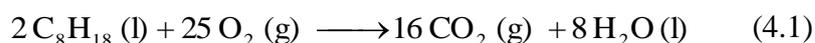
As características desse biocombustível podem ser evidenciadas na Tabela 4.1 que está representada abaixo abaixo.

Tabela 4.1: Tabela de Comparação das Características dos Combustíveis.

Parâmetro	Etanol	Gasolina (pura)	Diesel
Ponto de Ebulição (°C)	77,78 – 78,33	26,67 - 225	190,56 – 332,22
Densidade (kg/lt)	0,7893	0,7190 - 0,7789	0,8148 – 0,8747
Pressão de vapor (kPa)	15,858 – 17,237	55,158 – 103,421	0,103– 0,152
Calor de Vapor. (kj/kg)	841,97 – 930,35	325,62 – 395,40	232,59 – 604,73
Autoignição (°C)	365 – 425		203,89 – 260,00
Limite de Inflamabilidade (%)	3,3 – 19,0	1,0 – 8,0	0,6 -5,5
Estequiom. ar – comb. (peso)	8,97 – 9,0	14,5 – 14,7	14,6 – 15,0
Temperatura da chama (°C)	1930	1977	2054
Calor de Combustão (kj/lt)	21.098 – 21.376	30.378 – 33.165	35.869 – 36.231
Numero de Octanagem	96 – 113	85 -96	

Fonte: Adaptação de Handboock on Bioethanol, 1996., pág. 42.

A seguir estão representados os balanços estequiométrico da gasolina e do etanol respectivamente.



Com base nas equações acima, pode-se chegar a uma relação que a cada litro de gasolina, serão produzidos 2,16 kg de CO_2 enquanto cada litro de álcool produzirá cerca de 1,51 kg de CO_2 . Considerando que o consumo médio de álcool é 30 % maior que de gasolina, tem-se uma economia de 6,5 % de emissão de CO_2 .

4.1.2 A demanda do produto.

Com o fracasso do pró-álcool, a atividade sucroalcooleira freou sua expansão nacional na década de 90. A não perspectiva de ascensão do produto álcool como combustível, acabou reduzindo em muito o interesse nos investimentos para o seguimento. Atualmente com a tecnologia dos veículos “Flexfuel”, houve por parte do consumidor brasileiro um despertar para a retomada do produto como combustível, visto que, o preço geralmente é mais acessível e há a possibilidade de se poder migrar de um combustível para o outro (álcool para gasolina ou vice versa), dependendo apenas do critério do cliente. Outro fator determinante foi o ambiental, pois ocorre a nível mundial uma preocupação forçada para as questões ambientais. Os dois motivos juntos acabaram ocasionando um salto na demanda do produto. No início de 2007, o presidente George W. Bush anunciou que os Estados Unidos deverão substituir 20% de sua gasolina por etanol nos próximos dez anos. Para ter idéia da importância dessa meta, 20% do mercado de gasolina correspondem a 140 bilhões de litros, que mesmo com a expectativa de uma safra brasileira recorde para 2008, ficando em patamares de 16,6 bilhões de litros de Álcool Hidratado e 7,65 bilhões de litros de Álcool Anidro. Esta demanda representa quase três vezes à produção total de álcool mundial, que fica em torno de 50 bilhões de litros por ano.

Atualmente o parque sucroalcooleiro está se ampliando fortemente. Sabe-se que existem mais de 300 unidades produtoras de álcool no país, só na região centro-sul, 32 novas usinas estão sendo construídas.

Recentemente, o Conselho Europeu assumiu o compromisso de alcançar até 2020 uma redução de pelo menos 20% das emissões de gases de efeito estufa em relação a 1990. Duas metas foram estabelecidas: o alcance de 20% de participação com energias renováveis em relação ao consumo total de energia na União Européia e de 10% de participação com biocombustíveis do consumo de gasolina e diesel para transportes na União Européia, representando um volume de aproximadamente 13 bilhões de litros de álcool.

Outro mercado de relevante participação é o do Japão, que vem sinalizando intenção de adicionar até 10% de etanol na gasolina, equivalente a uma demanda de cerca de 6 bilhões de litros por ano do combustível renovável.

Com o aquecimento do mercado e a nova visão do empreendimento, a lei do mercado mostra que a subida na concorrência será crescente assim como a procura do produto, isso mostra que a otimização de processos produtivos, é de extrema importância para a longevidade da indústria. O CEP nos traz perspectiva de avaliação das etapas do processo e acompanhamento da qualidade dos produtos advindos das etapas anteriores e fornecidos para as subseqüentes dentro do fluxo do processo.

4.2 A Importância da Qualidade.

Atualmente no cenário mundial, a qualidade representa uma perspectiva de sucesso para as empresas. Um bom planejamento seguido de uma boa gestão da qualidade representa menores custos, relacionados a desperdícios e retrabalhos. Faz-se também necessário, um controle eficaz do processo, para uma manutenção da qualidade de produtos e serviços.

Ainda existe uma leva de profissionais que vêem na qualidade apenas uma filosofia, não despertando que, a qualidade leva em conta parâmetros técnicos e base científica para sua eficácia. Isso ocasionou um interesse tardio das indústrias de pequeno e médio porte, e das micro-empresas. Essa equivocada visão estipulada induziu o pensamento de que os gastos com a qualidade fossem encarados como custos e não investimentos, o que, principalmente as multinacionais, constataram há muito tempo, a improcedência desta informação, pois esses investimentos trazem melhoria no produto e processo, acarretando uma melhor aceitação e satisfação deste pelo consumidor, um maior valor agregado e a otimização do processo. Isto

tudo traz embutido em seu resultado um menor custo produtivo, aumento de valor agregado e fidelidade do cliente.

A complexidade da conceituação da qualidade fica explícita quando denota-se as várias formas de definição desta. Segundo Crosby (1995), *“a qualidade significa atender as especificações”*; para Taguchi (1990), *“o processo produtivo, o uso e o descarte do produto, sempre ocasionaram prejuízos (“perdas”) para a sociedade, assim conceituando como qualidade a minimização deste efeito”*; Juran (1999), *“conceituou a qualidade como a adequação ao uso”*; por fim Deming (2000) a definiu como, *“atender, e se possível, exceder as expectativas do consumidor”*. Existem várias outras definições para qualidade, que sempre levam em conta a satisfação dos clientes, normatização dos produtos e processos produtivos.

Ao contrário do que se observa rotineiramente, o Controle Estatístico do Processo, é muito mais que a observância das cartas de controle, mas sim é a aplicação de várias ferramentas da qualidade, objetivando buscar a(s) causa(s) raiz do(s) problema(s), sanando de uma vez este, sempre utilizando como base o Ciclo PDCA. *“O Ciclo PDCA é um método gerencial de tomada de decisões para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização”* (Werkema, 1995, p.24), para tanto se necessita de conhecimento das diversas ferramentas da qualidade para que sua eficácia seja satisfatória. Ainda devem se manter os padrões aceitáveis de especificação onde este será definido pelo SDCA, o que necessita do responsável pela qualidade, uma gestão desse conhecimento para alcançar a excelência desta. A familiarização, subdivide as Ferramentas da Qualidade em:

4.2.1 As Sete Ferramentas da Qualidade.

As Sete Ferramentas da Qualidade são compostas pelas ferramentas de Estratificação, Folha de Verificação, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, Histograma de Medida de Localização e Variáveis, Diagrama de Dispersão e, Gráfico de Controle.

A utilização dessas ferramentas pode ser feita em todas as etapas da qualidade, se bem conhecidas e aplicadas de forma correta e coerente. Vários são os casos de sucesso de aplicação in line, cabendo ao tutor da implantação, um bom conhecimento do processo produtivo, das expectativas a serem alcançadas e em que fases melhor se adequam as ferramentas. Essas levam consigo a vantagem de bons resultados no PDCA de melhoria e SDCA de padronização de resultados.

4.2.2 Sete Ferramentas do Planejamento.

Esta é composta pelas ferramentas de Diagrama de Afinidades, Diagrama de Ralações, Diagrama de Árvore, Diagrama de Matriz, Diagrama de Priorização, Diagrama de Processo Decisório e Diagramas de Setas.

Essas ferramentas como se pode deduzir são muito utilizadas no PDCA de melhoria principalmente nas fases de análise, plano de ação e conclusão, pois o seu caráter exploratório de correlação entre fatores permite uma gama de informações na tomada de decisão para melhoria.

4.2.3 Outras ferramentas estatísticas.

Composta pelos Índices de Capacidades de Processo, Repetibilidade e Reprodutibilidade, Amostragem, Anova, Análise de Regressão, Planejamentos de Experimentos, Otimização de processos, Análise multivariada, Inspeção por Amostragem e Confiabilidade.

As principais características dessas ferramentas são as possibilidades de utilização em qualquer fase dos dois ciclos e a quantidade de informações que essas fornecem para o tutor da qualidade, claro, desde que esse tenha os pré-requisitos para isso.

4.2.4 Análises de falhas.

Ainda pouco difundidas por serem mais peculiares, são compostas pelo FEMEA e FTA. Sua complexidade consiste em se ter um tato mais acurado na sua aplicação. Essas quando bem aplicadas dão resultados excepcionais. A aplicação consiste no PDCA nas fases de análise, plano de ações e padronização, e no SDCA nas fases do procedimento operacional padrão (POP) e na ação corretiva.

Abaixo as figuras 4.1 e 4.2 ilustram o Ciclo PDCA e o SDCA, e o quadro 4.1 e 4.1 que demonstram as aplicações das ferramentas da qualidade em suas determinadas etapas na sua forma mais usual.

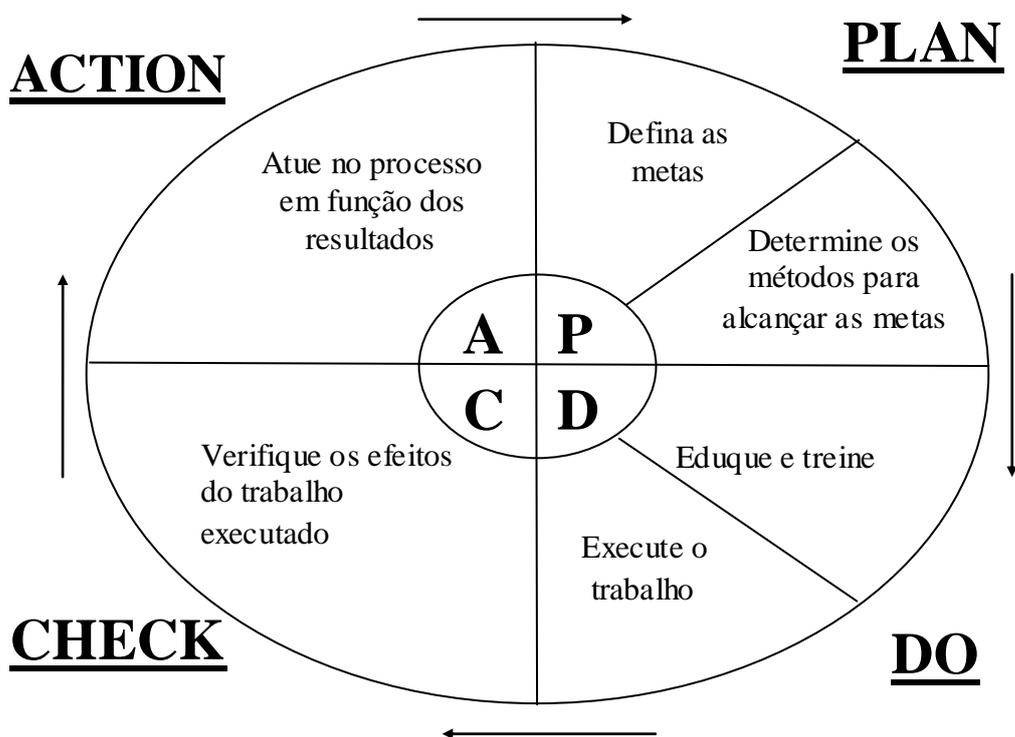


Figura 4.1: Ciclo PDCA de Controle de Processos segundo Campos, (1994).

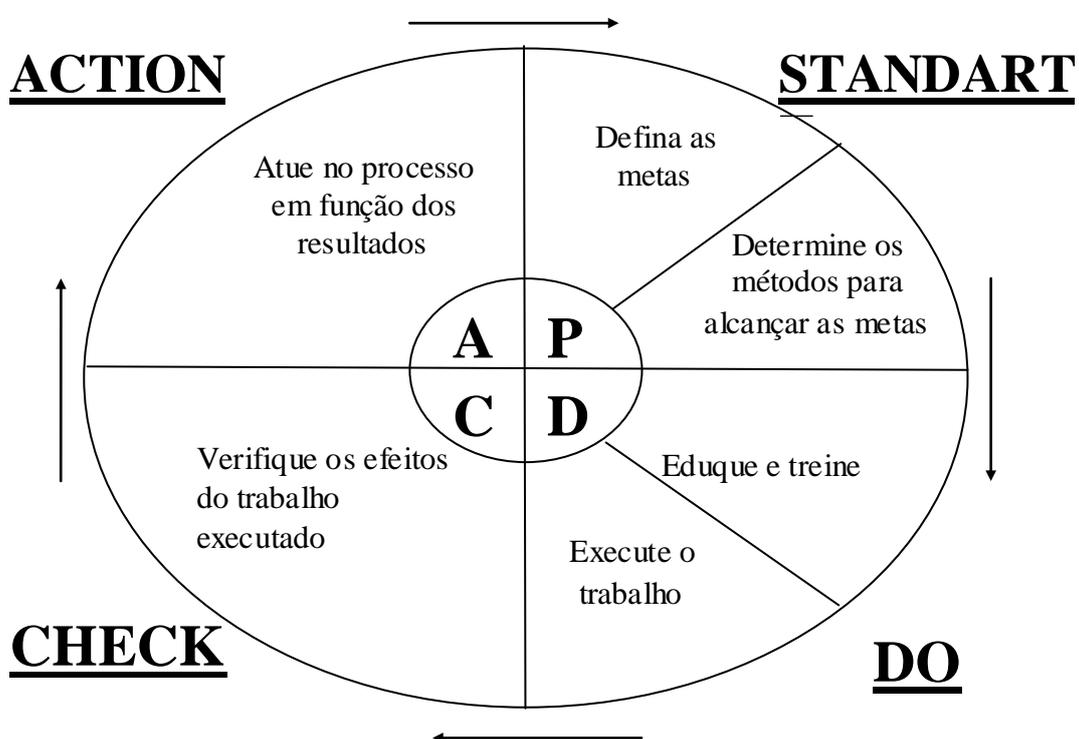


Figura 4.2: Ciclo SDCA de Padronização de Controle de Processos segundo Campos, (1994).

Fases do PDCA	Sete Ferramentas da Qualidade						
	Estratificação	Folha de Verificação	Gráfico de Pareto	Diagrama de Causa e Efeito	Histograma	Diagrama de Dispersão	Gráfico de Controle
Ident. do Problema	Δ	Δ	•	Δ	Δ		•
Observação	•	•	Δ	Δ	•	•	•
Análise	•	•	•	•	•	•	•
Plano de Ação							
Execução	•	•					Δ
Verificação	•	•	•		•	Δ	•
Padronização	•	•					
Conclusão			Δ		Δ		Δ

Legenda:

• Ferramenta muito efetiva

Δ Ferramenta efetiva

Quadro 4.1: Aplicações das Ferramentas da Qualidade na Identificação do Problema.

Fonte: Adaptação Werkema.

Fases do SDCA	Sete Ferramentas da Qualidade						
	Estratificação	Folha de verificação	Gráfico de Pareto	Diagrama de Causa e Efeito	Histograma	Diagrama de Dispersão	Gráfico de Controle
Meta Padrão							
Procedimento Operacional Padrão							
Execução	•	•					Δ
Verificação					•		•
Ação Corretiva	•	•		Δ	•	Δ	•

Legenda:

• Ferramenta muito efetiva

Δ Ferramenta efetiva

Quadro 4.2: Aplicações das Ferramentas na Padronização da Operação.

Fonte: Adaptação Werkema.

No caso das ferramentas estatísticas vale salientar a aplicação dos índices de capacidade do processo tem uma ação muito efetiva na Identificação do Problema no PDCA, e na verificação do problema tanto no PDCA quanto no SDCA. Assim para o estudo de caso proposto, a escolha vem de encontro à necessidade do problema.

4.3 Capabilidade.

Para o estudo do processo utilizou-se uma planilha (planilhas estão dispostas no Anexo I) na qual se inseriu os valores médios de pH e temperatura e esta confeccionava os gráficos de controle do tipo parâmetro médio e de amplitude das variáveis analisadas. Esta ainda executou cálculos de capabilidade e classificava o processo.

Segundo Werkema (2006, p.253), *“somente processos estáveis devem ter sua capacidade avaliada”*, no entanto como esse estudo vem demonstrar a eficácia da aplicação e disseminação dos conceitos de qualidade, respeitosamente ignorar-se esta postula.

O índice de capacidade de processo vem auxiliar de forma rápida e confiável a situação fabril da empresa.

Segundo Werkema (2006, p.557), *“Os índices de capacidade processam as informações de forma que seja possível avaliar se um processo é capaz de gerar produtos que atendam às especificações provenientes dos clientes internos e externos....”*

Para utilizar os índices de capacidade é necessário que:

- *O processo esteja sob controle estatístico.*
- *A variável de interesse tenha distribuição próxima da normal.”*

O C_p expresso em valores tem o poder de representar se a variabilidade natural do processo esta dentro da faixa de especificação, ou seja, se aquele é capaz de atender a esta. Segundo Werkema (2006, p.259), *“..., é conveniente pensar em C_p como uma medida de capacidade potencial, isto é, a capacidade de um processo centrado no valor nominal.”*

Segundo Werkema (2006, p.259), *“O índice C_{pk} nos permite avaliar se o processo está sendo capaz de atingir o valor nominal de especificação, já que leva em consideração o valor da média do processo. Logo, o índice C_{pk} pode ser interpretado como uma medida da capacidade real do processo”*.

4.4 Análise dos Gráficos de Controle.

Werkema (2006, p.202 a 207), apresenta alguns critérios indicativos para a falta de controle estatístico. Os critérios são:

1. Pontos fora dos limites de controle – esta é a mais evidente das indicações da falta de controle, e deve ser sanada imediatamente. Deve se tomar cuidado em relação aos dados, pois erros na coleta destes podem assinalar essa discordância. Esses pontos também podem ocorrer devido a instrumentos de medição descalibrados, defeitos nos equipamentos ou alguma ação incorreta do operador.
2. Periodicidade – essa é notada quando os pontos do gráfico apresentam uma tendência no que se diz respeito a pontos acima ou abaixo da linha média repetidos em determinados períodos de tempo, não sendo necessário que esses estejam fora dos Limites de Controles. As prováveis causas dessa situação são causadas pela mudança sistemática nas condições ambientais, cansaço do operador, rotatividade dos operadores ou equipamentos, flutuação das variáveis dos equipamentos e sazonalidade na qualidade da matéria ou insumo fornecido.
3. Seqüência – essa é configurada quando sete ou mais pontos consecutivos do gráfico em apenas um dos lados da linha média, também não sendo necessário que estejam fora do limite de controle. Essa seqüência indica uma mudança a nível de processo, ou seja, novos operadores, matérias-primas ou equipamentos, alterações nos métodos de inspeção ou padrões operacionais e de mudança na habilidade, atenção ou motivação dos operadores.
4. Tendência – é observada quando há um movimento contínuo de sete ou mais pontos do gráfico ascendente ou descendente. São geralmente provocadas por desgastes ou deteriorações graduais de ferramentas ou equipamentos, cansaço do operador ou presença de supervisores, além de mudanças ambientais.
5. Aproximação dos limites de controle – ocorre quando dois ou três pontos estão entre os limites de 2σ e 3σ . Um indicativo disso é a sobreposição de duas distribuições diferentes, que podem ser ocasionadas por duas máquinas ou operadores que trabalham de maneira diferente. Nesse caso necessita-se de um controle individual

desses fatores. Esse indicativo ainda pode ser causado pelo excesso de controle do processo.

6. Aproximação da linha média – essa é notada quando pontos do gráfico estão entre a linha média e uma linha de controle entre $1,5\sigma$ para mais ou para menos, o que significa uma variação menor que a esperada. Isso pode ocorrer por erros nos cálculos dos limites ou por erros na coleta de dados.

4.5 Equações Para Cálculos.

Os gráficos de controle das Médias (\bar{x}) e das Amplitudes R, são construídos tendo por base pré definida os Limites de Especificação, sendo o restante proveniente de cálculos estatístico. Para este estudo as equações retiradas foram retiradas segundo Werkema (2006, p.186 a 192). Estas equações estão representadas a seguir.

Gráfico de \bar{x} .

Em primeiro lugar determina-se a média de cada amostra (\bar{x}_i), e a média global $\bar{\bar{x}}$, que são determinadas por:

$$\bar{x}_i = \frac{x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{in}}{n} \quad (4.3)$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (4.4)$$

Para que daí possa calcular os limites inferior e superior de controle e a linha média:

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 * \bar{R} \quad (4.5)$$

$$LM = \bar{\bar{x}} \quad (4.6)$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 * \bar{R} \quad (4.7)$$

Gráfico de \bar{R} .

Posteriormente calcula-se as amplitudes de cada amostra (R) e a sua respectiva média (\bar{R}), pelas equações abaixo:

R = maior valor da amostra – menor valor da amostra

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} \quad (4.8)$$

Com isso pode-se calcular os limites de controle e linha média para os gráficos da amplitude

$$LSC = D_4 * \bar{R} \quad (4.9)$$

$$LM = \bar{R} \quad (4.10)$$

$$LIC = D_3 * \bar{R} \quad (4.11)$$

Onde m é o numero de amostras, n é o numero de observações das características da qualidade de interesse e A_2 , D_3 e D_4 são constantes estatística (Apêndice I) e \bar{R} é a média das amplitudes.

Para a análise da capacidade do processo, também se utilizou como base Werkema (2006, p.256 a 262). As equações são apresentadas a seguir:

Índice \hat{C}_p .

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad (4.12)$$

Posteriormente ao cálculo deste pode-se classificar o processo com base na Quadro 4.3 apresentada abaixo.

Classificações	
$\hat{C}_p < 1$	Insatisfatório
$1 \leq \hat{C}_p < 1,33$	Satisfatório
$\hat{C}_p \geq 1,33$	Muito Satisfatório

Quadro 4.3: Capacidade potencial do processo.

Fonte: autor.

Índice \hat{C}_{pk} .

O índice \hat{C}_{pk} pode ser expresso pela equação abaixo.

$$\hat{C}_{pk} = \text{MIN} \left[\frac{LSE - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}; \frac{\bar{x} - LIE}{3\hat{\sigma}} \right] \quad (4.13)$$

Mas para o nosso caso utilizaremos outra equação, que permite trabalhar com a incerteza de $8\hat{\sigma}$ e conseqüentemente classificar o processo conforme o Quadro 4.4. Dizer que o processo se enquadra em uma variação de $8\hat{\sigma}$, corresponde a dizer que o processo é muito satisfatório e altamente capaz de atender as especificações, pois existem 99,994% de chance do produto processo atender o requerido.

Aqui também utilizamos parâmetros para a classificação do processo, estes estão demonstrados pelo Quadro 4.4 abaixo.

$$\hat{C}_{pk} = \frac{LSE - LIE}{8\hat{\sigma}} \quad (4.14)$$

Classificações	
$\hat{C}_{pk} < 75$	Totalmente Incapaz
$75 \leq \hat{C}_{pk} < 100$	Relativamente Incapaz
$100 \leq \hat{C}_{pk} < 150$	Capaz
$\hat{C}_{pk} \geq 150$	Altamente Capaz

Quadro 4.4: Capacidade real do processo.

Fonte: autor.

Onde $\hat{\sigma}$ é calculado por \bar{R}/d_2 , sendo d_2 constante (Apêndice I) e μ é igual a \bar{x} .

5 ESTUDO DE CASO.

O estudo de caso consiste na aplicação de algumas das ferramentas estatísticas no tratamento do caldo de uma destilaria de álcool, para que se possam apresentar as possíveis causas, se assim for notado, do descontrole destes parâmetros, ou, se caso o controle for positivo, apresentação destas para a gestão do processo.

5.1 Tratamento de Caldo

O Caldo Misto (ou Caldo Peneirado) a 32° C, proveniente da Moenda, faz sua primeira troca de calor no T20 (trocador de calor do tipo a placas), com o Mosto advindo da última etapa do tratamento do caldo, chegando a 52°C, e posteriormente no trocador FM200 (trocador de calor do tipo placas), para a troca com a Vinhaça, chegando a 72°C, cada um deste com seu reserva. Este caldo segue ao Tanque Suspenso, no é adicionado o Leite de Cal a 5° Baumé e 34°C, e Caldo Filtrado proveniente do Filtro Rotativo a Vácuo a 68°C. O Controle de pH é feito neste tanque por meio de análises feitas a cada hora, e com base nesses resultados, a vazão do Leite de Cal é controlada manualmente por meio de uma válvula do tipo esfera. Existe neste tanque uma válvula automatizada que tem por objetivo o controle de nível deste, que se abre quando o nível do tanque se encontra abaixo do necessário para o bombeamento. Aqui ainda se encontra medidores de vazão para o Caldo Filtrado, Caldo Misto e um para o Caldo Misto + Filtrado. O caldo agora chamado de Caldo Misto + Filtrado é bombeado para os trocadores de calor TV4 (alimentado por Vapor Flasheado a 0,4 kgf/cm²), TH1, TH2 e TH3 respectivamente (alimentados por Vapor de Escape a 1,5 kgf/cm²), com o revezamento de limpeza de um parado para os outros dois funcionando. Após essa troca, o Caldo passa de 68°C a 106°C (teoricamente), que é o valor considerado ideal. Do aquecimento, o caldo é enviado para os Decantadores 1 e 2 com 600 e 400 m³ respectivamente. Após o aquecimento e próximo aos Tambores de Flash, é adicionado polímero para a aglomeração dos colóides, passando em seguida aos Tambores de Flash, que tem a função de fazer com que as bolhas de ar presas as partículas saiam e este abaixe sua temperatura de 106°C para 98°C em média.

O decantado leva o nome de Lodo, e é encaminhado para o Filtro Rotativo a Vácuo. Aqui as impurezas sólidas são filtradas para a retirada de açúcares que por ventura existam. O Caldo Filtrado retorna ao Tanque Suspenso, e as impurezas filtradas dão origem a Torta que é utilizada como fertilizante na lavoura.

O Caldo Decantado (Caldo Clarificado) segue para o Tanque de Caldo Decantado, donde é bombeado para os Trocadores TV1, TV2 e TV3 (alimentados por Vapor vegetal a 0,8 kgf/cm²) respectivamente passando de uma temperatura de 68°C para 107°C. Após o aquecimento este segue para o Pré-Evaporador (alimentado por Vapor de Escape em sua calandra), sofrendo a evaporação da água e conseqüentemente passando de uma concentração °Brix de 13,0 em média para 17,5. Esta água evaporada se transforma em Vapor Vegetal. Este Caldo segue para as Caixas de Evaporação, nas quais a água deste evaporação, concentrado o caldo de 17,0 para 19°,0 °Brix, aqui esta água evaporada da origem ao Vapor Flasheado. O Caldo Concentrado passa pela troca de calor no princípio do tratamento (já citado anteriormente), passando a chamar Mosto.

Para uma melhor visualização, a seguir está representado o fluxograma de processo do setor de Tratamento de Caldo, mostrando as etapas descritas.

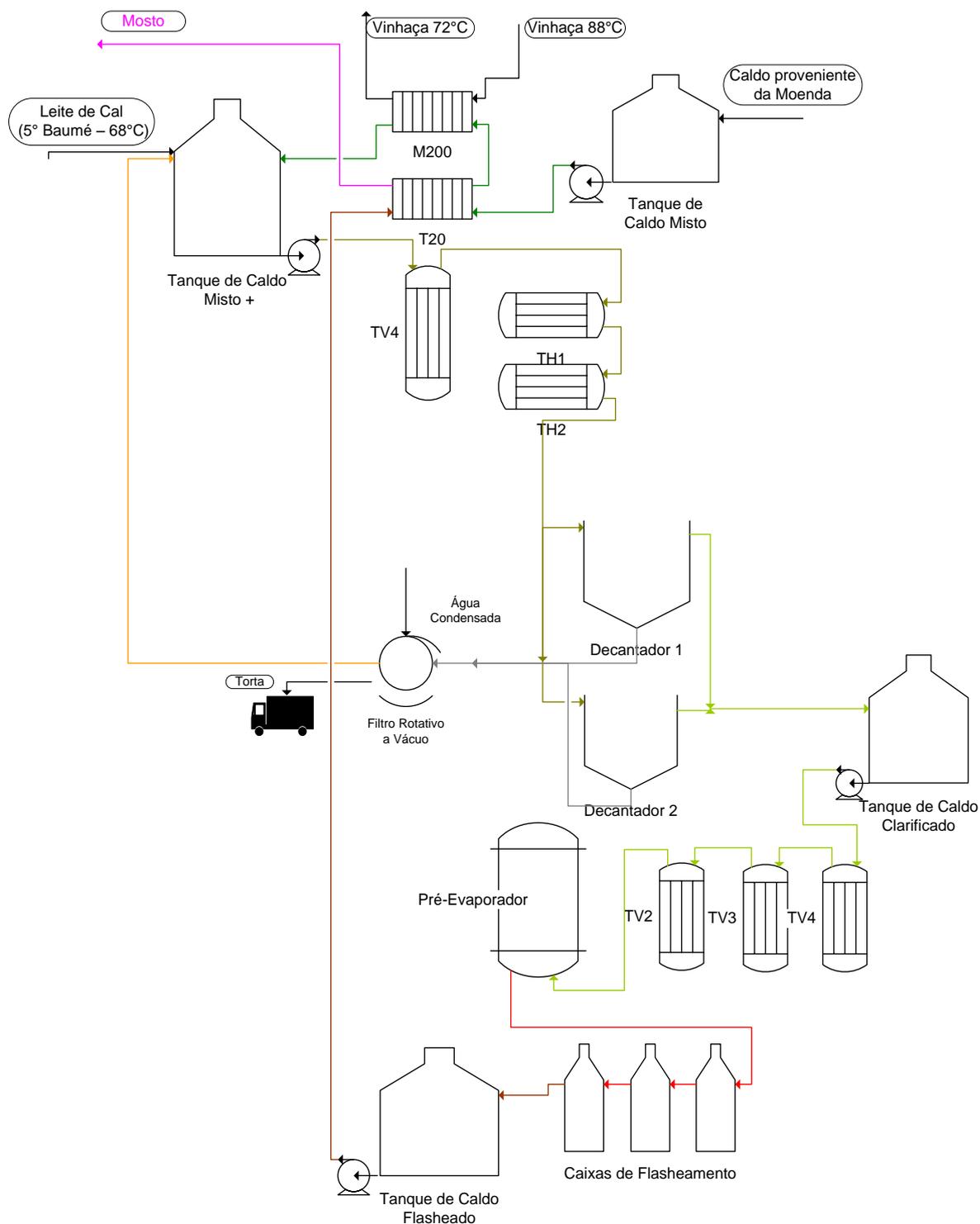


Figura 5.1: Fluxograma Tratamento de Caldo.

Legenda de traços e cores

—	Caldo Misto	—	Caldo Clarificado
—	Caldo Misto + Filtrado	—	Caldo Evaporado
—	Lodo	—	Caldo Flasheado

5.2 Interferência Sobre o Processo.

5.2.1 Interferência de diversos fatores sobre o pH.

A complexidade sobre o controle de pH é devido a vários fatores que interferem na variação deste. Para uma melhor compreensão, cita-se à fatores que atuam sobre este, de forma a estarem cronologicamente encaixados com o processo.

Tempo de Queima da Cana: O tempo entre o término da queima e o corte da cana é um dos fatores determinantes para o rendimento global da indústria, a Tabela 5.1, demonstra valores dessa relação.

Tabela 5.1: Perda no Rendimento x Tempo de Queima.

Tempo (hrs)	Rendimento Global (%)
20	86,18
30	83,60
40	81,03
50	78,45
60	75,87
70	73,29

Fonte: Apostila de Treinamento RAJQUIM.

Quanto maior for o tempo perdido, maior será a variação do pH provocado pela a ação de bactérias acidificantes como a *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas*, *Lactobacillus Plantarum*, *Escherechia coli*, *Leuconostoc Mesenteróide*, entre outras. Essas produzem Ácido Lático e Cítrico, sendo essa ultima causadora também da Dextrana.

A infecção na cana e no caldo, também está ligada à quantidade de terra que está sendo trazida a indústria. As tabelas 5.2, 5.3 e 5.4, representadas mostram o grau de interferência, entre a umidade e a quantidade de terra levada a fábrica, a percentagem de terra e o grau de infecção e a percentagem de terra e o rendimento global da fábrica.

Tabela 5.2: Perda no Rendimento x Tempo de Queima.

Umidade Ar (%)	Terra (kg/ton)
50	0,15
55	1,94
60	3,73
65	5,52
70	7,31
75	9,10

Fonte: Apostila de Treinamento RAJQUIM (2008).

Tabela 5.3: % Terra na Cana x Grau de Infecção.

% Terra	PCTS (x 105 Bastonete/ml)
0,50	9,32
0,70	9,86
0,90	10,40
1,10	10,94
1,30	11,48
1,50	12,01

Fonte: Apostila de Treinamento RAJQUIM (2008).

Tabela 5.4: % Terra na Cana x Rendimento Global.

% Terra	Rendimento Global (%)
0,30	88,07
0,35	87,73
0,40	87,39
0,45	87,04
0,50	86,70
0,55	86,35

Fonte: Apostila de Treinamento RAJQUIM (2008).

Lesão na Cana: A lesão na cana pode ser ocasionada tanto na colheita (corte e amontoamento), no transporte (má alocação ao caminhão), descarregamento (quebra da cana) e armazenamento (grande período de amontoamento e montes mal feitos). As lesões proporcionam uma facilidade para as infecções que dificultam na decantação, aumento da

produção de Dextrana (a produção de Dextrana acontece por inversão de sacarose, para a produção de 1 molécula de Dextrana são consumidas duas de glicose), além de perdas na lavagem da cana.

Palha e Folhas: As folhas, com o aumento da temperatura do caldo tendem a se arrebentar desestabilizando as reações de decantação, além de trazerem consigo o amido, que também interfere negativamente neste processo.

Tantas variáveis a serem controladas demonstram a complexidade de controle desse processo produtivo.

5.2.2 Interferência de diversos fatores sobre o aquecimento.

A temperatura se apresenta mais fácil de ser controlada, já que os fatores se apresentam em sua maioria com uma relevância não tão intensa, ou de controle mais fácil. A seguir estão relatados estes.

Concentração do Caldo (°Brix): essa relação pode é expressa pela equação abaixo:

$$\Psi = \frac{\Delta h}{ex - ex_s} \quad (5.1)$$

Com isso pode se afirmar a irrelevância desta, visto que variação do Brix do Caldo Misto + Clarificado resultante da mistura dos Caldos Filtrado, Misto e Leite de Cal é relativamente pequeno.

Qualidade do Vapor: o Vapor de Escape (1,5 kgf/cm², 150°C), que é resultado da diminuição da pressão do Vapor Vivo (21,0 kgf/cm², 300°C) nas Turbinas das Moendas, Gerador, Turbo-Bomba e Exaustor, tem sua qualidade diretamente relacionada qualidade do Vapor Vivo produzido na Caldeira. Essa qualidade pode ser expressa pela Segunda Lei da Termodinâmica, onde esta se apóia no conceito de exergia.

$$\Psi = \frac{\Delta h}{ex - ex_s} \quad (5.2)$$

Eficiência pela a segunda Lei da Termodinâmica, sendo Δh a variação de entalpia de entrada e saída do equipamento (kJ/kg), ex_e é a exergia de entrada do equipamento, ex_s exergia de saída do equipamento. Vale lembrar que exergia é definida como:

$$e = h_0 + T_0 \Delta s \quad (5.3)$$

$$e = h_0 + T_0 \Delta s \quad (5.4)$$

Sendo h e s respectivamente a entalpia e entropia de saída do equipamento, e h_0 e s_0 , são a entalpia e entropia da água no estado de referência (25°C a 1 atm), com as unidades em kJ/kg.

Grau de Impurezas do Caldo: além da dificuldade de bombeamento, ocasionado por esse empecilho, este tem o inconveniente de incrustações nos trocadores tubulares, obrigando a submissão destes a um sistema rodízio para a limpeza das tubulações, em um menor espaço de tempo.

5.2.3 Interferência dos parâmetros no processo.

5.2.3.1 Reações ocorridas no caldo caledado.

Uma das reações que ocorrem no processo de caleação é a inversão de açúcar, que consiste na divisão (hidrólise) da molécula de sacarose, em glicose e frutose. Essa reação é induzida pelo baixo nível do pH, conseqüentemente alto teor ácido, altas temperaturas e alta umidade.

A dissolução da Cal diretamente no caldo provoca reações secundárias indesejáveis que escurecem o caldo, o que não é aconselhável (SPENCER, 1983). Nos processos de clarificação do caldo, CaO na sua forma hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ é dosado no caldo. O hidróxido de cálcio reagirá com os sais provenientes da cana produzindo hidróxidos fortes, que irão catalisar reações indesejáveis com os açúcares redutores resultando na produção de substâncias que proporcionam cores escuras ao caldo. Essas reações ocorrem tanto a frio como a quente, mas sendo mais expressivas a temperaturas mais elevadas.

Quando o pH do meio se encontra alcalino (caldo caledado) e aquecido acima de 55 °C ocorre formação de estrutura enólicas que facilmente favorece a formação de substâncias cíclicas como os caramelos, polifenóis e ácidos orgânicos (SPENCER, 1993). Quando o pH do meio se encontra ácido (caldo sulfitado) e é aquecido acima de 105 °C formam-se substâncias ácidas como melansínico, glucínico e sacárico (ARQUED, 1955).

A mistura de aldo-pentoses e aldo-hexoses aquecidas com os ácidos minerais desidratantes, transformam-se em compostos cíclicos pentagonais derivados do furano, sendo que as aldo-

pentoses fornecem o furfural e as aldo-hexoses, o hidroximetil furfural. A hidrólise de gomas presentes na cana, como a dextrana, fornece a l-arabinose para o caldo. A d-galactose é proveniente da hidrólise da rafinose e é encontrada em concentrações elevadas no caldo (ARQUED, 1955; SPENCER,1993).

5.2.3.2 Interferência do pH no processo.

Para que se tenha uma boa compreensão, deve-se ter em mente a etapa do processo denominada caleação. A caleação nada mais é que a adição de Cal hidratada no Caldo Misto + Filtrado e tem por finalidade a neutralização dos colóides que em sua maioria se encontram carregados. Devida a adsorção de íons em sua superfície, as moléculas são sujeitas às forças de Van der Waals e Repulsão Eletrocinética, ocasionada pela diferença de potencial entre essas moléculas e a solução. Para uma boa aglomeração, a neutralização deste potencial é indispensável, fazendo com que assim as forças acima citadas não interfiram no objetivo. Para tanto, se fazem necessárias três etapas para que se obtenha uma boa eficiência nessa aglomeração dos colóides, são estas:

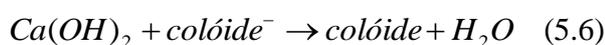
- 1 - Redução do potencial zeta das partículas dispersas (valor desejado igual a zero).

A cal adicionada hidratada previamente é adicionada ao caldo neutraliza os colóides e aumenta o pH. As reações de hidratação e neutralização estão respectivamente apresentadas a seguir.

Reação de hidratação.



Reação de neutralização:



Notamos que as reações acima, representam genericamente o que acontece sem a preocupação da representação estequiométrica, já que dependerá de quão carregado será o colóide.

- 2 - Flocculação primária (aglomeração de partículas neutras - coagulação).

Para que essa aconteça, além de uma boa neutralização, deve-se ter íons de fosfato suficientes para isso. Esses geralmente são fornecidos naturalmente pela cana de açúcar, mas se caso contrário, deve-se fornecer fosfato ao caldo até uma quantidade de 120ppm (habitualmente usa-se ácido fosfórico).



Figura 5.2: Aglomeração Primária.

Nota-se pela Figura 5.2 que a molécula de fosfato funciona como uma ponte intermediadora entre os colóides neutralizados.

3 - Floculação secundária (aglomeração em partículas maiores).

Para a floculação secundária se faz necessária a utilização de um polímero que no caso é do tipo aniônico, este se liga às moléculas de fosfato formando maiores aglomerados de moléculas suspensas, e conseqüentemente aumentando a velocidade de decantação.

5.2.3.3 Interferência da temperatura no processo.

Na etapa de clarificação, a temperatura do Caldo Misto + Filtrado promove nos Tambores de Flash uma diminuição dos gases que estão juntos com o bagacilho, o que acelera o processo de decantação, já que os gases fazem com que o bagacilho flutue. O Caldo Misto + Filtrado deve estar a 106°C, para a otimização do efeito do polímero.

Acima desta temperatura ocorre o rompimento de células vegetais, que liberam cargas do núcleo e alteram o pH do caldo dentro dos Decantadores, o que interfere na aglomeração, além de provocar uma maior inversão de açúcar.

Outro fator importante é a variação de temperatura do caldo fornecido para os Decantadores, este por sua vez não deve variar em mais de 2°C, já que o flasheamento pode não absorver essa variação. A conseqüência caso ocorra esta variação, é a formação de redes de convecção dentro dos Decantadores, atrapalhando assim a cinética de reação.

5.2.3.4 Perdas ocorridas pela falta de controle dos parâmetros.

As perdas ocorridas devido à falta de controle destes parâmetros são de complexa determinação, pois promovem uma reação em cadeia, que além de serem ocorridas no Tratamento de Caldo, também são sentidas na Fermentação.

As perdas no Tratamento de Caldo são ocorridas devido a incrustações de equipamentos, o que demanda maior mão de obra, maior concentração em °Brix do Mosto, maior concentração de moléculas de Cálcio no Mosto, menor produção de Vapor Vegetal e perdas por inversão. Já na fermentação, as perdas podem ocorrer por estresse osmótico da levedura ocasionado por uma maior concentração de moléculas de Cálcio, o que provoca o desvio de açúcar para a formação de glicerol.

Para uma breve noção quantitativa do que pode representar a falta de controle dos parâmetros analisados, apresenta-se a Tabela 5.5, que correlaciona em percentagem a variação de inversão de açúcar com pH e Temperatura.

Tabela 5.5: Porcentagem de Sacarose Invertida por Hora (Stadler).

pH	6,0	6,2	6,4	6,6	6,8	7,0
Temp. (°C)						
50	0,0010	0,00063	0,0004	0,00025	0,00016	0,00010
60	0,0035	0,0022	0,0014	0,00088	0,00056	0,00035
70	0,011	0,007	0,0044	0,0026	0,0018	0,0011
80	0,033	0,021	0,013	0,0083	0,0052	0,0033
85	0,053	0,034	0,022	0,013	0,0084	0,0053
90	0,089	0,056	0,035	0,022	0,014	0,0089
95	0,14	0,088	0,055	0,035	0,022	0,014
100	0,21	0,13	0,084	0,053	0,034	0,021
105	0,35	0,22	0,14	0,088	0,056	0,035
110	0,54	0,34	0,22	0,14	0,086	0,054
120	1,10	0,70	0,44	0,24	0,18	0,11

Fonte: Hugot, pág.375.

Essa tabela fornece uma dimensão real da importância do controle proposto na eficiência do processo. Uma simples variação de temperatura e ou de pH justifica a presença de uma gestão eficaz no controle deste processo, visto que, as perdas são decorrentes e muitas vezes não mensuráveis.

6 ANÁLISES DOS RESULTADOS.

6.1 Gráficos de Controle.

Para este estudo, os Gráficos de Controle foram utilizados na fase de identificação do problema do Ciclo PDCA, a fim de demonstrar a situação do processo atual de aquecimento e caleação do Caldo Misto + Filtrado. Os índices de capacidade do processo foram aplicados aqui para que possa possibilitar de certa forma a tangibilidade da situação que esta acontecendo ao processo. O trabalho não vem transgredir o que já foi dito anteriormente, que era que os índices de capacidade do processo só poderiam ser aplicados quando se observaria o controle estatístico, mas para que se divulgue a prática deste o mesmo foi usado neste estudo.

Na confecção dos gráficos, tanto de pH quanto temperatura foram utilizadas as equações de 4.3 a 4.11, e na classificação do processo foram utilizadas as equações de 4.12 e 4.14, e também os quadros 4.3 e 4.4., sendo o procedimento como descrito no item 4.5. sendo que nossos Grupos Racionais tinham $n=5$ e $m=120$.

6.1.1 Análise da temperatura.

Para uma análise sucinta, porém representativa, são demonstrados 5 dias de análises, sendo que cada dia apresenta 2 gráficos de controle, um das médias de temperatura e o outro das médias das amplitudes. Para cada dia também é demonstrado em forma de tabela os cálculos referentes ao processo, e sua situação no que diz respeito ao \hat{C}_p e \hat{C}_{pk} . Os dias abordados são respectivamente 29/05/2008 (Figuras 6.1 e 6.2 e Tabela 6.1), 20/05/2008 (Figuras 6.3 e 6.4 e Tabela 6.2), 22/05/2008 (Figuras 6.5 e 6.6 e Tabela 6.3), 24/05/2008 (Figuras 6.7 e 6.8 e Tabela 6.4) e dia 25/05/2008 (Figuras 6.9 e 6.10 e Tabela 6.5)

Dia 19/05/2008.

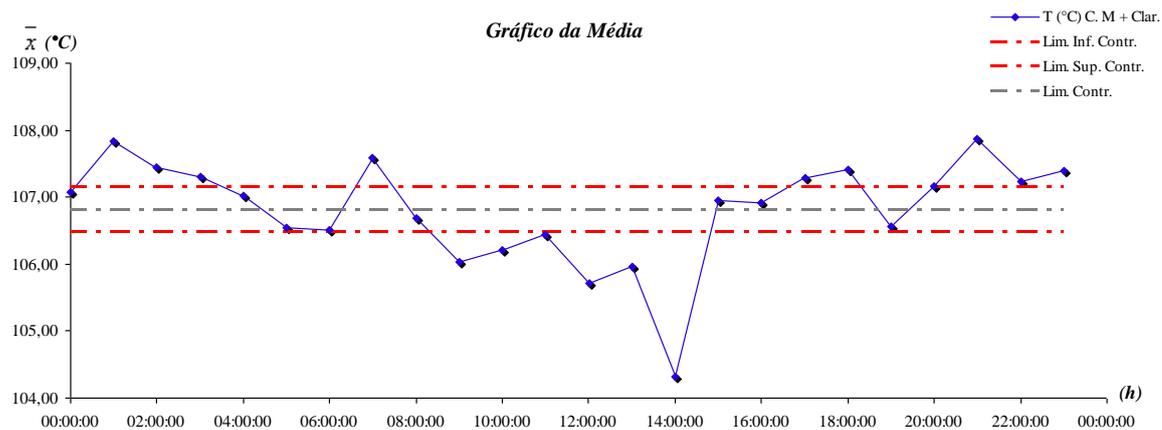


Figura 6.1: Gráfico das Médias da Temperatura (19/05/2008).

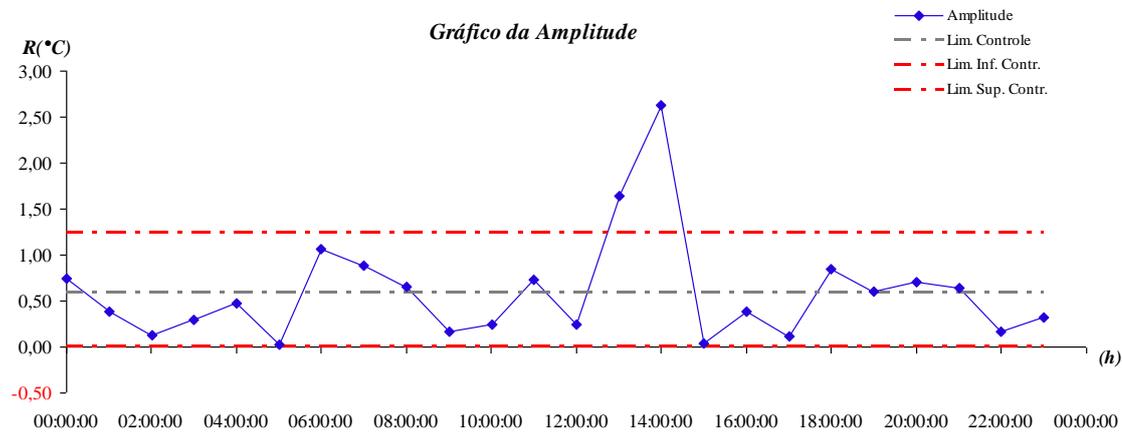


Figura 6.2: Gráfico das Amplitudes da Temperatura (19/05/2008).

Tabela 6.1: Tabela de Cálculos do Processo – Temp. 29/05/08.

Parâmetros	Valores
Limite Superior de Especificação	108,00 °C
Limite Inferior de Especificação	105,00 °C
Média da Temperatura	106,81 °C
$\hat{\sigma}$	0,25
C_{pk}^{\wedge}	1,97
C_{pk}	147,63
Situação do Processo	Muito Satisfatório
Classificação do Processo	Capaz
% Valores Conformes	33,33 %
% Valores não Conformes	66,67 %
Limite Superior de Controle	107,15 °C
Limite Inferior de Controle	106,47 °C

Fonte: Próprio autor.

Dia 20/05/2008.

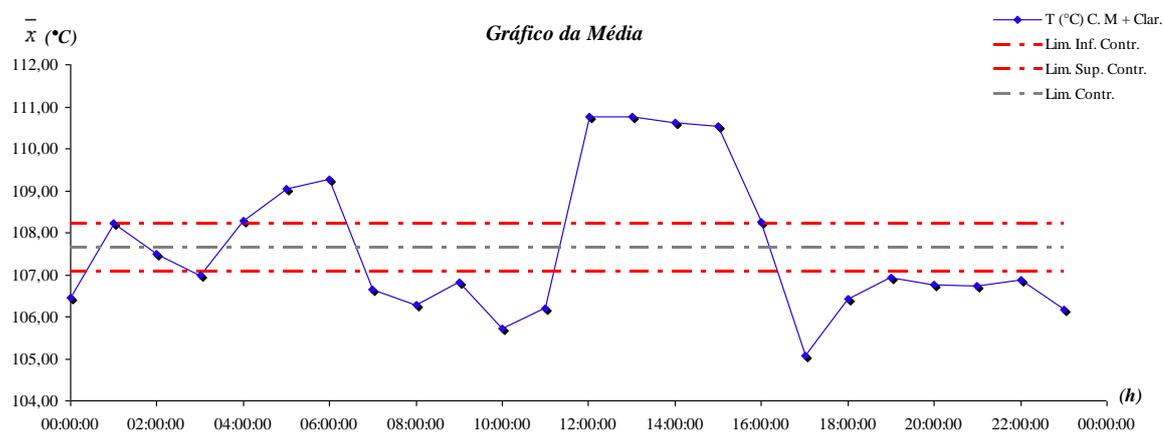


Figura 6.3: Gráfico das Médias da Temperatura (20/05/2008).

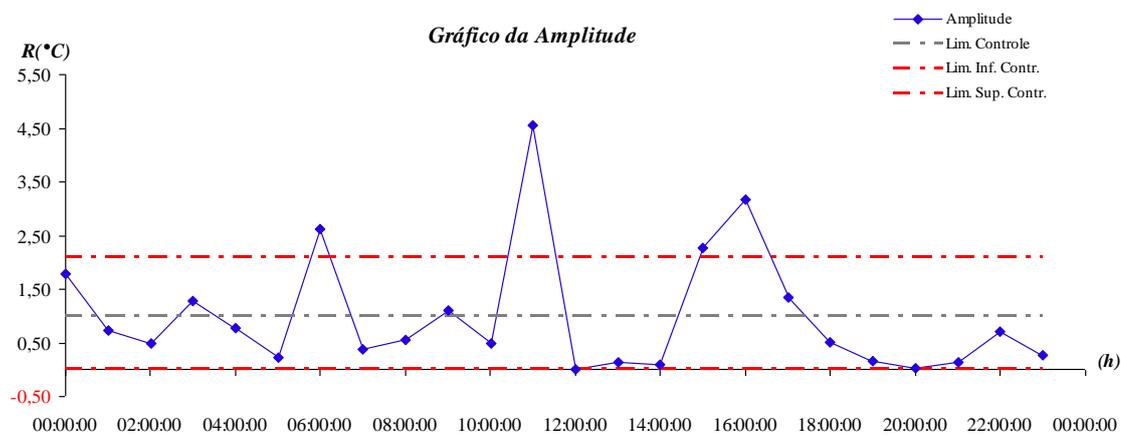


Figura 6.4: Gráfico das Amplitudes da Temperatura (20/05/2008).

Tabela 6.2: Tabela de Cálculos do Processo – Temp 20/05/2008.

Parâmetros	Valores
Limite Superior de Especificação	108,00 °C
Limite Inferior de Especificação	105,00 °C
Média da Temperatura	106,67 °C
$\hat{\sigma}$	0,43
C_p^{\wedge}	1,17
C_{pk}^{\wedge}	87,81
Situação do Processo	Satisfatório
Classificação do Processo	Relativamente Incapaz
% Valores Conformes	4,17 %
% Valores não Conformes	95,83 %
Limite Superior de Controle	108,22 °C
Limite Inferior de Controle	107,07 °C

Fonte: Próprio autor.

Dia 22/05/2008.

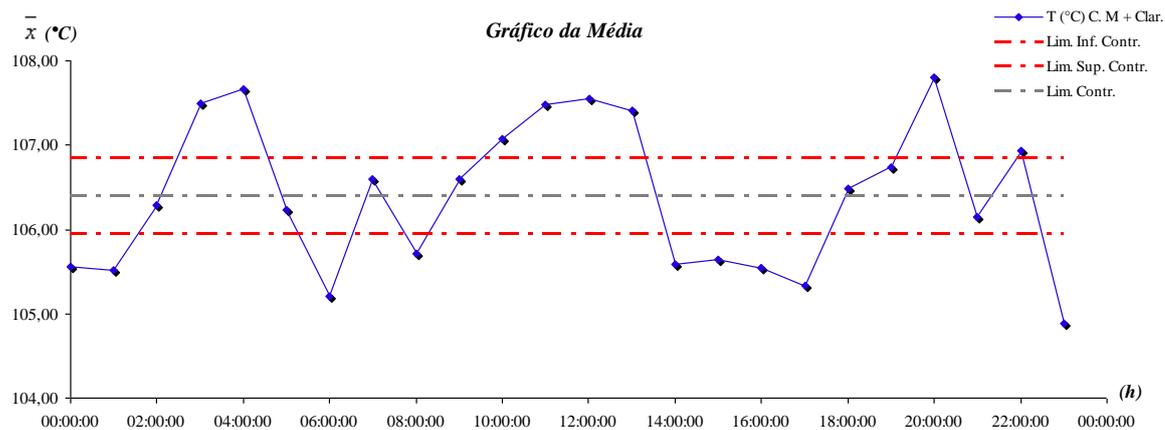


Figura 6.5: Gráfico das Médias da Temperatura (22/05/2008).

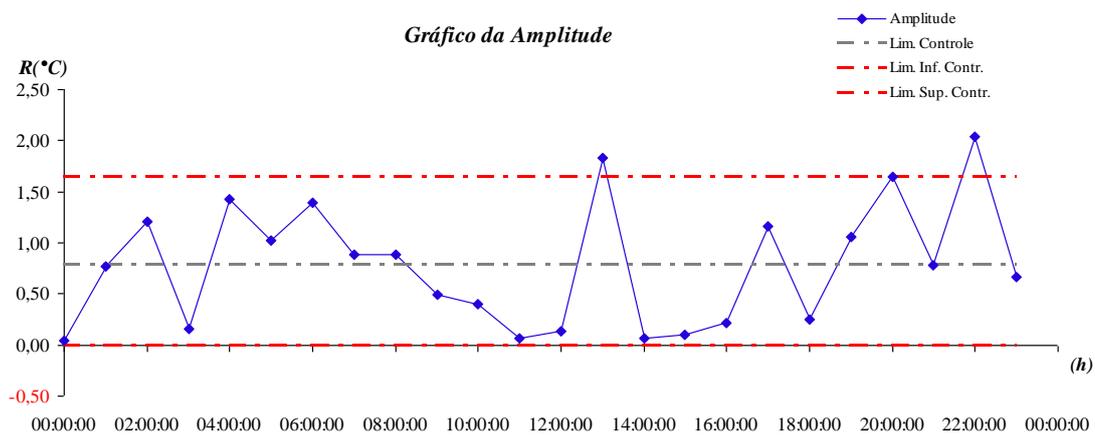


Figura 6.6: Gráfico das Amplitudes da Temperatura (22/05/2008).

Tabela 6.3: Tabela de Cálculos do Processo – Temp. 22/05/08.

Parâmetros	Valores
Limite Superior de Especificação	108,00 °C
Limite Inferior de Especificação	105,00 °C
Média da Temperatura	106,40 °C
$\hat{\sigma}$	0,33
C_p^{\wedge}	1,49
C_{pk}^{\wedge}	111,95
Situação do Processo	Muito Satisfatório
Classificação do Processo	Capaz
% Valores Conformes	29,17 %
% Valores não Conformes	70,83 %
Limite Superior de Controle	106,84 °C
Limite Inferior de Controle	105,95 °C

Fonte: Próprio autor.

Dia 24/05/2008.

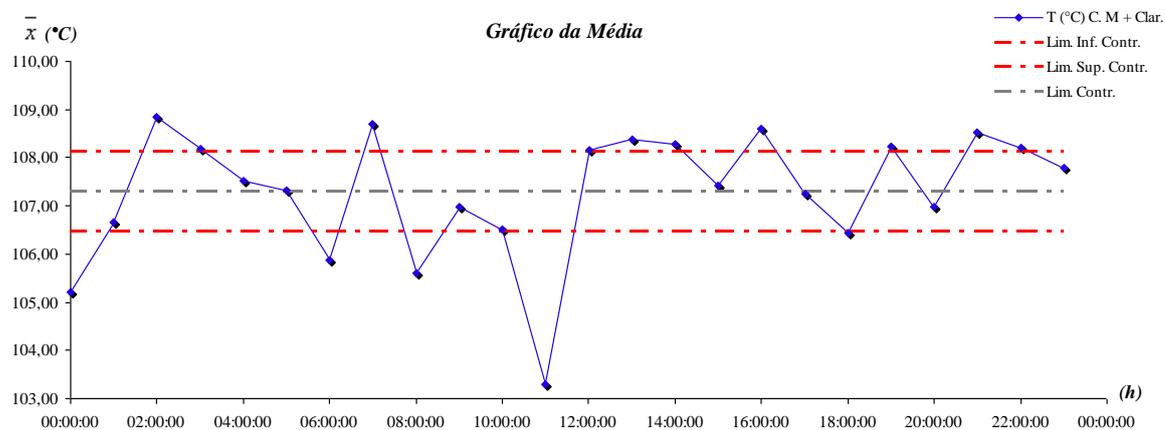


Figura 6.7: Gráfico das Médias da Temperatura (24/05/2008).

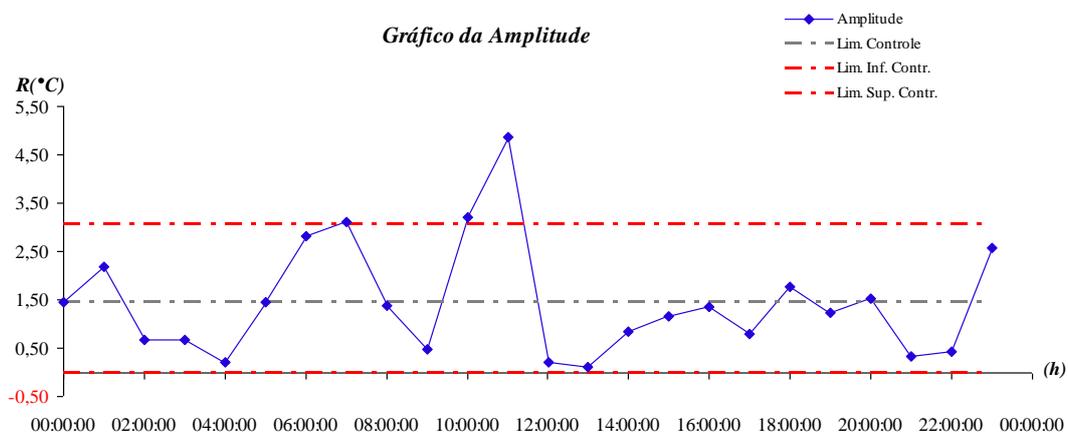


Figura 6.8: Gráfico das Amplitudes da Temperatura (24/05/2008).

Tabela 6.4: Tabela de Cálculos do Processo – Temp. 24/05/08.

Parâmetros	Valores
Limite Superior de Especificação	108,00 °C
Limite Inferior de Especificação	105,00 °C
Média da Temperatura	107,29 °C
$\hat{\sigma}$	0,62
C_p^{\wedge}	0,80
C_{pk}^{\wedge}	60,16
Situação do Processo	Insatisfatório
Classificação do Processo	Totalmente Incapaz
% Valores Conformes	37,50 %
% Valores não Conformes	62,50 %
Limite Superior de Controle	108,13 °C
Limite Inferior de Controle	106,45 °C

Fonte: Próprio autor.

Dia 25/05/2008.

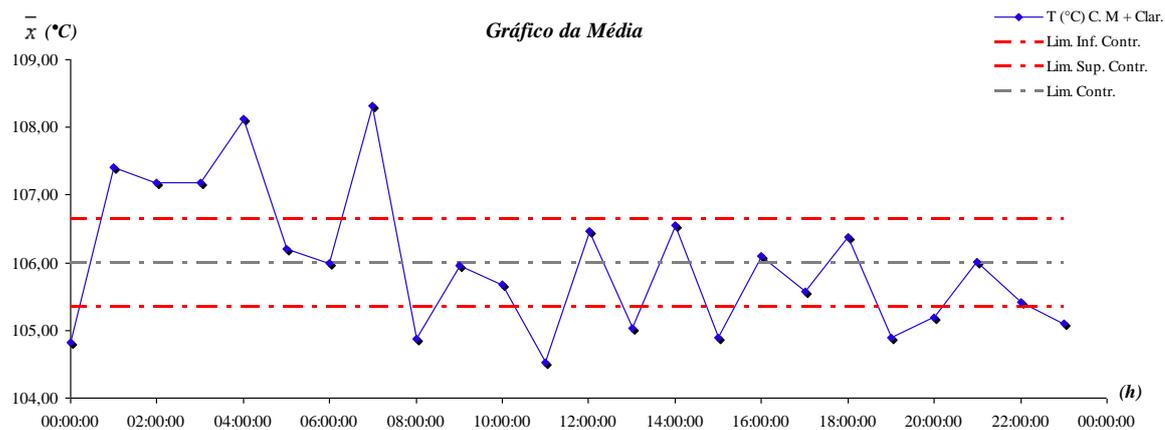


Figura 6.9: Gráfico das Médias da Temperatura (25/05/2008).

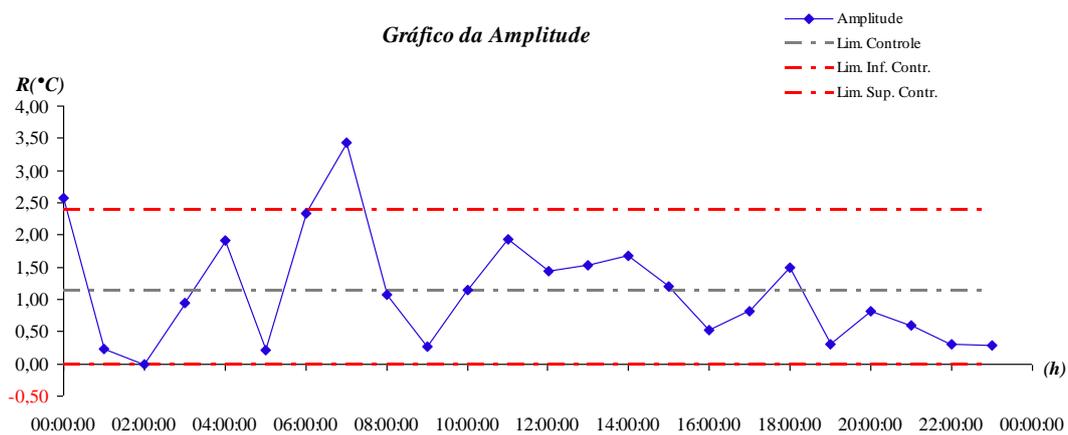


Figura 6.10: Gráfico das Amplitudes da Temperatura (25/05/2008).

Tabela 6.5: Tabela de Cálculos do Processo – Temp. 25/05/08.

Parâmetros	Valores
Limite Superior de Especificação	108,00 °C
Limite Inferior de Especificação	105,00 °C
Média da Temperatura	106,00 °C
$\hat{\sigma}$	0,48
\hat{C}_p	1,03
C_{pk}	77,42
Situação do Processo	Satisfatório
Classificação do Processo	Relativamente Incapaz
% Valores Conformes	45,83 %
% Valores não Conformes	54,17 %
Limite Superior de Controle	106,65 °C
Limite Inferior de Controle	105,34 °C

Fonte: Próprio autor.

Os Gráficos de Controle apresentam nitidamente a falta de controle estatístico do processo de aquecimento. Isto pode ser afirmado por estes apresentarem o descumprimento dos critérios 1, 3 e 4 (item 4.4), demonstrando uma alternância entre valores conformes e não conformes, sendo que essa alternância também se repete para índices de capacidade. A falta de controle estatístico fica mais evidente quando observadas as tabelas 6.6 e 6.7 que demonstram a ocorrência do parâmetro e sua respectiva percentagem.

Tabela 6.6: Análise Quantitativa de Cp(temp).

Capacidade do Processo	Quantidade	%
Insatisfatório	5	17,86
Satisfatório	13	46,43
Muito Satisfatório	10	35,71
Total	28	100

Fonte: Próprio autor.

Tabela 6.7: Análise quantitativa de Cpk(temp).

Índice de Capacidade do Processo	Quantidade	%
Totalmente Incapaz	6	21,43
Relativamente Incapaz	11	39,29
Capaz	10	35,71
Altamente Capaz	1	3,57
Total	28	100

Fonte: Próprio autor.

A demonstração do não controle desse parâmetro identifica a necessidade de uma ferramenta que possa levantar as possíveis causas que estão interferindo no controle. Para tanto, na Figura 6.11 está demonstrado o Diagrama de Causa e Efeito para o processo de aquecimento, este auxilia na identificação das possíveis causas que interferem no processo.

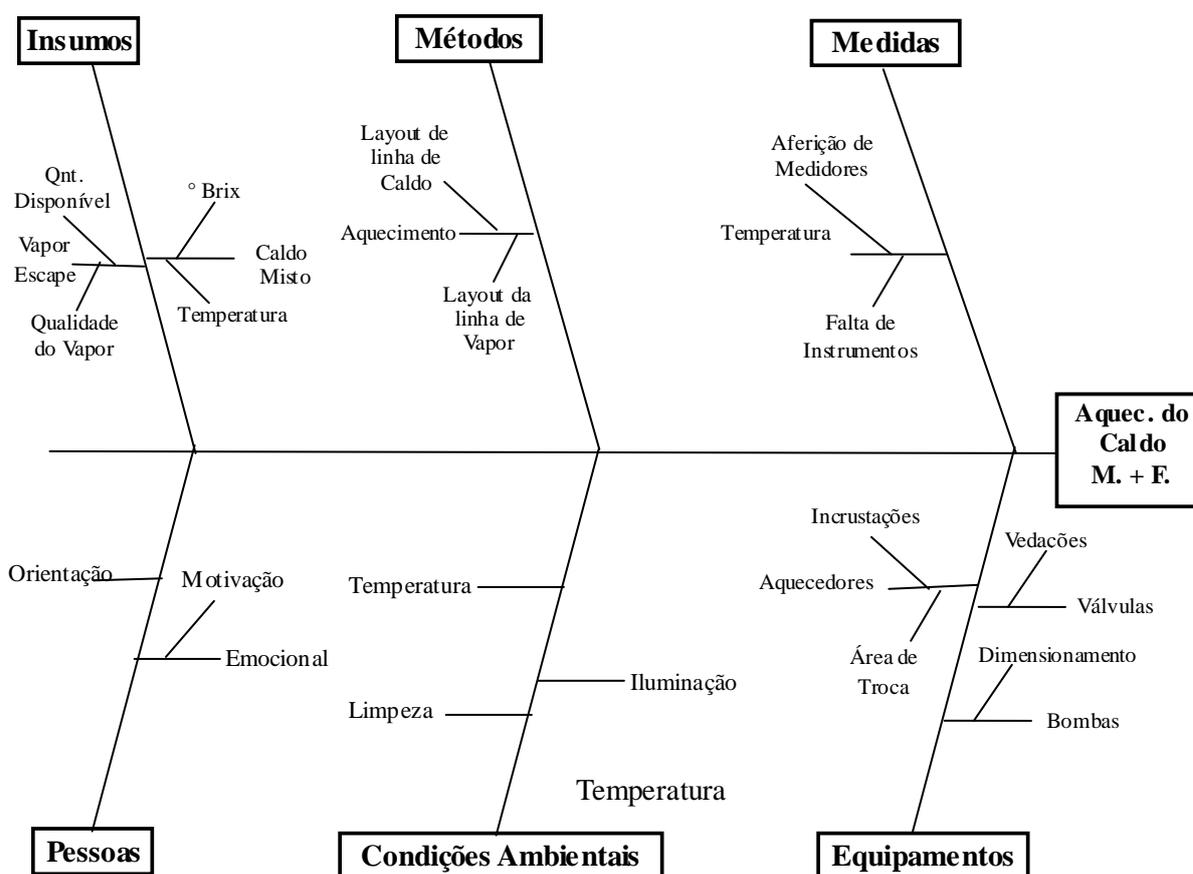


Figura 6.11: Diagrama de Causa e Efeito Para o Aquecimento do Caldo Misto + Filtrado.

Uma análise detalhada desse diagrama possibilita o levantamento de várias possíveis interferências. Essas hipóteses foram condensadas e apresentadas a seguir.

Qualidade e Quantidade de Vapor.

Notou-se que o vapor fornecido para as turbinas e conseqüentemente para o tratamento de caldo, sofre consideráveis variações de temperatura e pressão, o que pode ser sem dúvida uma potencial causa de efeito para a falta de controle no aquecimento. Estas variações interferem negativamente na qualidade do vapor fornecido para o aquecimento. Outro fator observado é o estrangulamento energético que a falta de vapores causa ao sistema. Esta falta de vapores acontece várias vezes ao dia, podendo ser também uma potencial causa da falta de controle.

•Brix, Temperatura e Vazão do Caldo.

Como demonstrado anteriormente, a variação em relação da concentração °Brix pode ser desprezada, pois sua variação não tem interferência significativa no processo, não atrapalhando este aspecto. A pré troca de calor feita com o Mosto e com a Vinhaça apresentou-se satisfatória quando em funcionamento, podendo ser também desprezada para tal análise. No entanto o processo apresenta uma correlação com a variação na vazão do fluido de aquecimento e o fluido a ser aquecido. Isso sinaliza que a vazão de caldo pode ser uma potencial causa desse descontrole, mais ainda, as vazões dos fluidos de aquecimento também interferem significativamente no controle desse processo, sendo o Mosto o que mais apresenta variações. A variação demasiada de fornecimento de algum desses fluidos para a troca de calor, efetiva um transtorno de manutenção da temperatura, já que as válvulas são manuais e não há nenhuma automação referente a isto. É de raciocínio lógico e de nenhuma necessidade acurada de técnica que será necessário uma quantidade maior de vapor para aquecimento, quanto maior for o volume a ser aquecido.

Layout das Linhas de Caldo e Vapor, Aferição e Falta de Instrumentos de Medidas, Vedações de Válvulas, Dimensionamento de Bombas e Área de Troca de Calor .

A empresa antes do início da época de colheita, no período de entressafra, passou por uma otimização do processo produtivo e utilidades. Neste período também houve a aferição, reposição e instalação de instrumentos de medidas, manutenção de equipamentos de processo e redimensionamento de bombas e equipamentos.

Condições Ambientais.

A temperatura no setor é realmente incômoda, mas não se justifica, pois mesmo com a instabilidade do processo, as visitas nas proximidades dos aquecedores são esporádicas, já que a simples abertura e fechamento das válvulas não são os fatores que garantem a estabilidade do processo. No que se diz respeito à limpeza e iluminação do ambiente, essas são satisfatórias e condizentes a necessidade de trabalho.

Incrustações.

A manutenção de limpeza dos aquecedores é feita com base em determinados cálculos de rendimento, onde quando necessário um aquecedor é submetido à limpeza e os outros dois continuam em processo, atendendo satisfatoriamente às necessidades. Se isso fosse a causa deste descontrole, notar-se-ia nos gráficos um tendencioso descontrole, que seria notado entre determinados períodos, o que não aconteceu. Portanto, podendo ser descartado este fator como causa de interferência do processo.

Emocional e Orientação dos colaboradores.

A empresa tem a filosofia de cooperativismo, o que agrega de certa forma um aspecto social à organização, que tenta sempre auxiliar os colaboradores nesse aspecto. O que se vê são poucas pessoas de campo capacitadas tecnicamente para um processo que exige de seus colaboradores um pouco mais de raciocínio desses. A empresa por intermédio de cursos, palestras e principalmente de seus membros técnicos (engenheiros e químicos) vem tentando com relativo sucesso a inserção do uso de certos conhecimentos inerentes ao processo. Mas, Nota se uma resistência maior em relação aos funcionários mais antigos, que pode ser causado por inocência ou por falta de escolaridade destes, o que não ocorre nos funcionários mais novos. Sendo que este pode ser uma potencial causa de descontrole do processo.

6.1.2 Análise do pH.

Os mesmos princípios foram utilizados para as análises de pH. Os dias de Controle foram 19/05/2008 (Figuras 6.12 e 6.13 e Tabela 6.8), 20/05/2008 (Figuras 6.14 e 6.15 e Tabela 6.9), 21/05/2008 (Figuras 6.16 e 6.17 e Tabela 6.10), 22/05/2008 (Figuras 6.18 e 6.19 e Tabela 6.11), 24/05/2008 (Figuras 6.20 e 6.21 e Tabela 6.12). Estes estão apresentados a seguir.

19/05/2008.

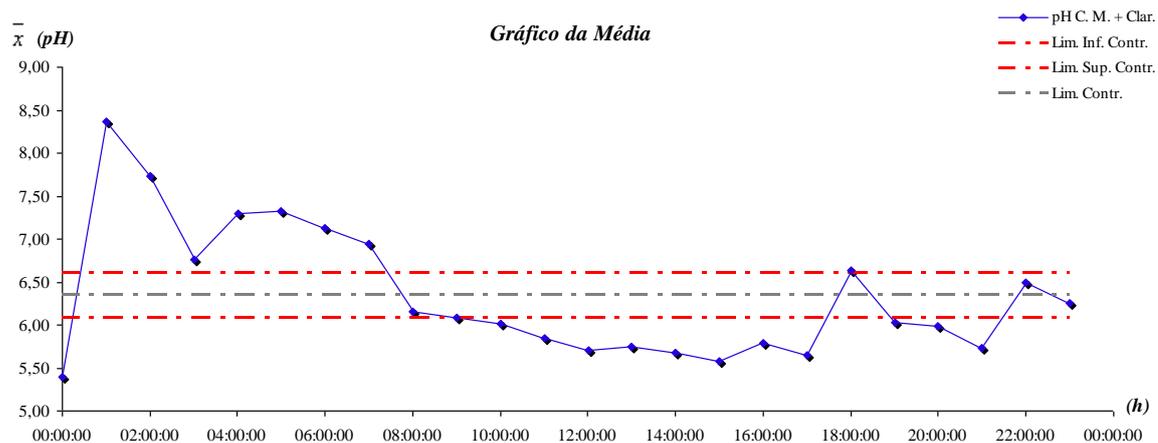


Figura 6.12: Gráfico das Médias do pH (19/05/2008).

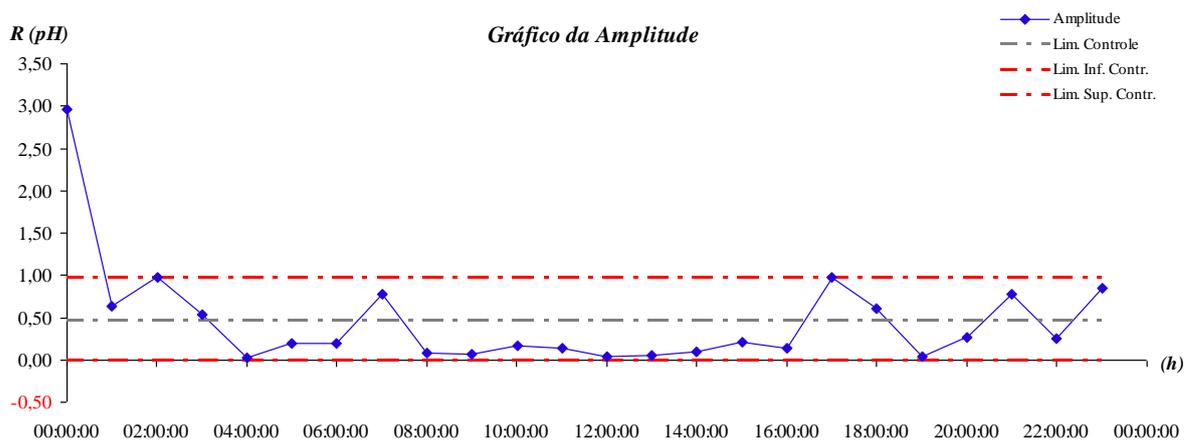


Figura 6.13: Gráfico das Amplitudes do pH (19/05/2008).

Tabela 6.8: Tabela de Cálculos do Processo – pH 19/05/08.

Parâmetros	Valores
Limite Superior de Especificação	6,00
Limite Inferior de Especificação	6,50
Média do pH	6,35
$\hat{\sigma}$	0,20
C_p^{\wedge}	0,42
C_{pk}^{\wedge}	31,55
Situação do Processo	Insatisfatório
Classificação do Processo	Totalmente Incapaz
% Valores Conformes	12,50 %
% Valores não Conformes	87,50 %
Limite Superior de Controle	6,61
Limite Inferior de Controle	6,08

Fonte: Próprio autor.

20/05/2008.

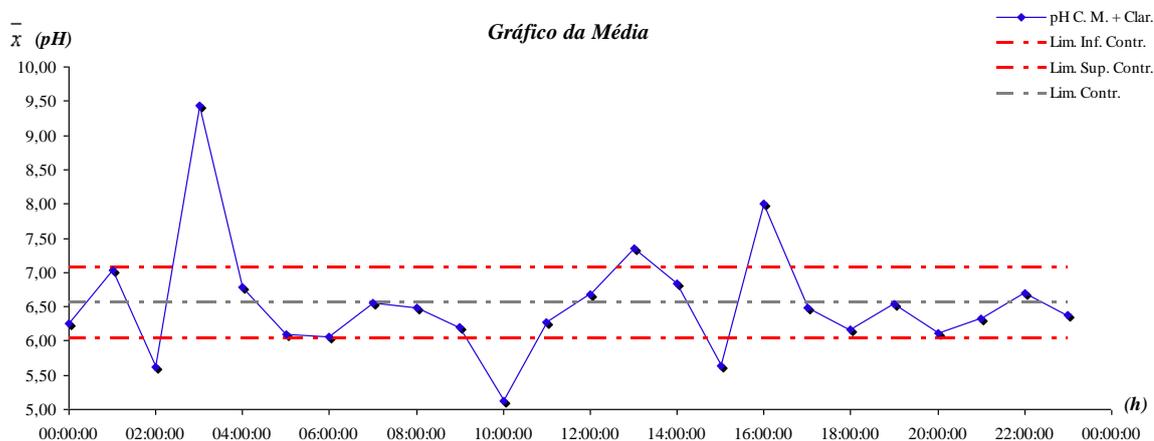


Figura 6.14: Gráfico das Médias do pH (20/05/2008).

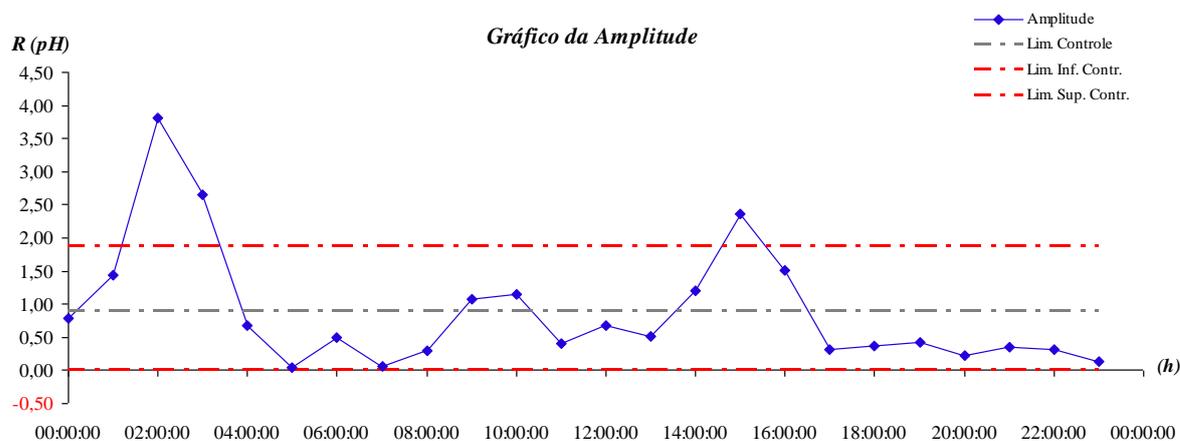


Figura 6.15: Gráfico das Amplitudes do pH (20/05/2008).

Tabela 6.9: Tabela de Cálculos do Processo – pH 20/05/08.

Parâmetros	Valores
Limite Superior de Especificação	6,00
Limite Inferior de Especificação	6,50
Média do pH	6,55
$\hat{\sigma}$	0,38
$C_{\hat{p}}$	0,22
C_{pk}	16,40
Situação do Processo	Insatisfatório
Classificação do Processo	Totalmente Incapaz
% Valores Conformes	75,00 %
% Valores não Conformes	25,00 %
Limite Superior de Controle	7,06
Limite Inferior de Controle	6,04

Fonte: Próprio autor.

21/05/2008.

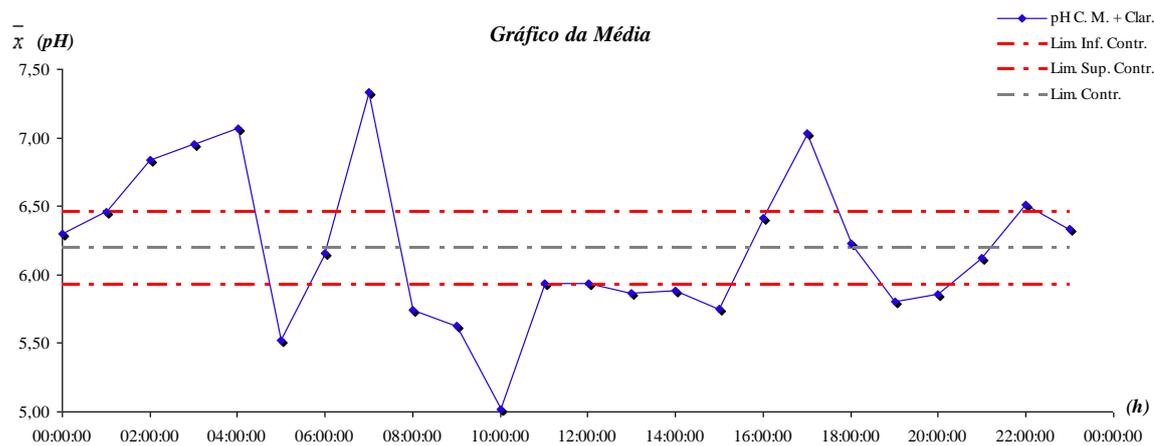


Figura 6.16: Gráfico das Médias do pH (21/05/2008).

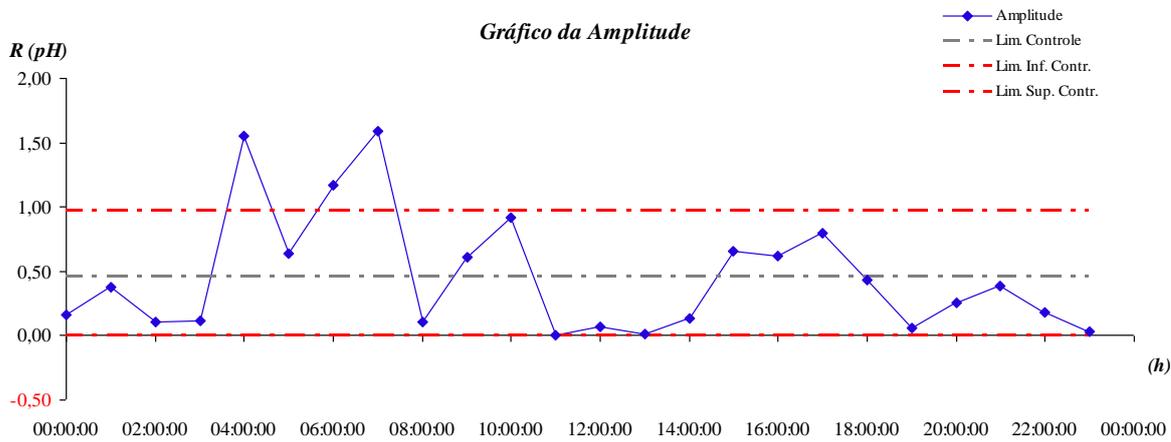


Figura 6.17: Gráfico das Amplitudes do pH (21/05/2008).

Tabela 6.10: Tabela de Cálculos do Processo – pH 21/05/08.

Parâmetros	Valores
Limite Superior de Especificação	6,00
Limite Inferior de Especificação	6,50
Média do pH	6,20
$\hat{\sigma}$	0,20
C_p^{\wedge}	0,42
C_{pk}^{\wedge}	31,72
Situação do Processo	Insatisfatório
Classificação do Processo	Totalmente Incapaz
% Valores Conformes	33,33 %
% Valores não Conformes	66,67 %
Limite Superior de Controle	6,46
Limite Inferior de Controle	5,93

Fonte: Próprio autor.

22/05/2008.

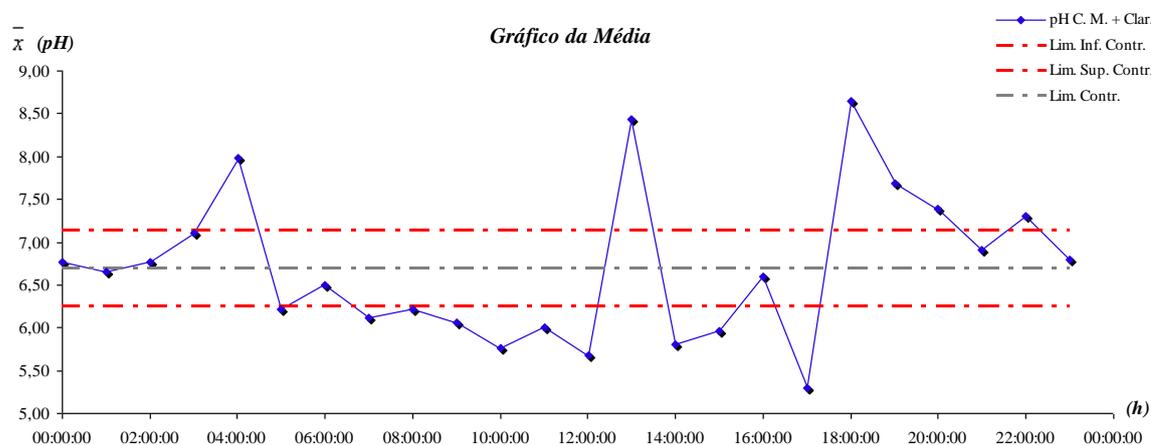


Figura 6.18: Gráfico das Médias do pH (22/05/2008).

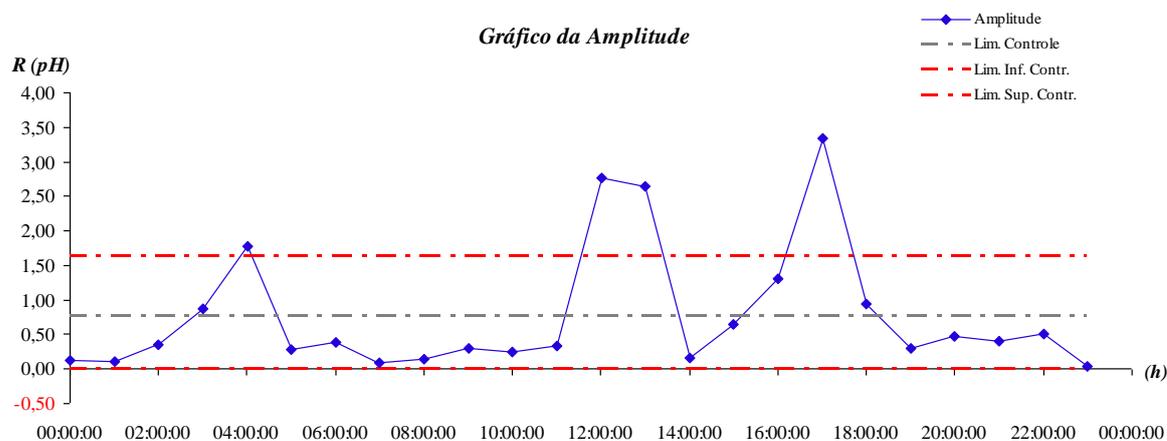


Figura 6.19: Gráfico das Amplitudes do pH (22/05/2008).

Tabela 6.11: Tabela de Cálculos do Processo – pH 22/05/08.

Parâmetros	Valores
Limite Superior de Especificação	6,00
Limite Inferior de Especificação	6,50
Média do pH	6,20
$\hat{\sigma}$	0,33
$C_{\hat{p}}$	0,25
C_{pk}	18,84
Situação do Processo	Insatisfatório
Classificação do Processo	Totalmente Incapaz
% Valores Conformes	33,33 %
% Valores não Conformes	66,67 %
Limite Superior de Controle	7,14
Limite Inferior de Controle	6,25

Fonte: Próprio autor.

24/05/2008.

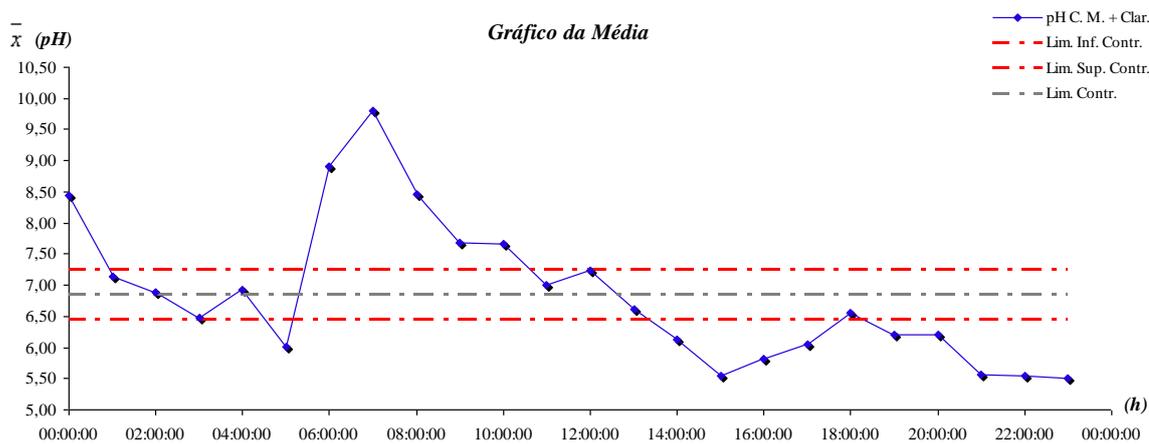


Figura 6.20: Gráfico de Controle do pH (24/05/2008).

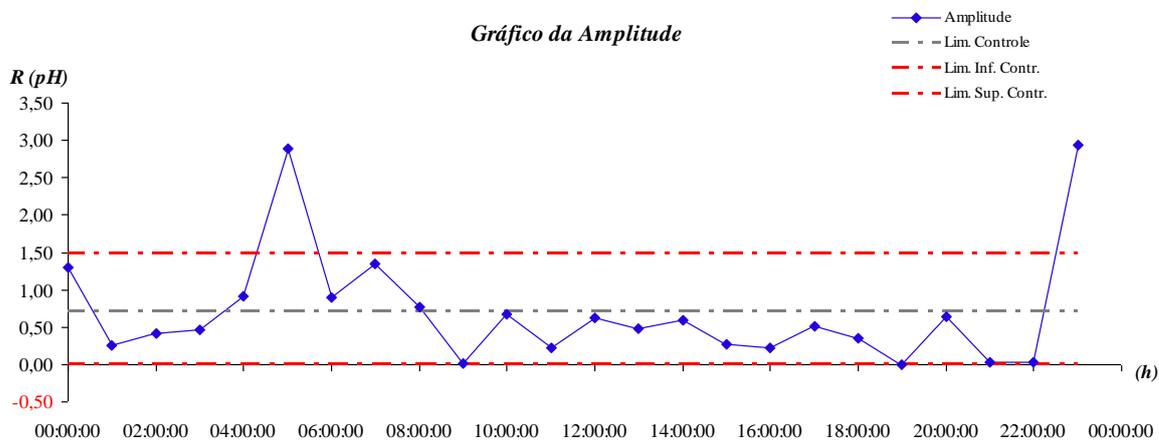


Figura 6.21: Gráfico de Amplitude do pH (24/05/2008).

Tabela 6.12: Tabela de Cálculos do Processo – pH 24/05/08.

Parâmetros	Valores
Limite Superior de Especificação	6,00
Limite Inferior de Especificação	6,50
Média do pH	6,85
$\hat{\sigma}$	0,30
C_p^{\wedge}	0,28
C_{pk}^{\wedge}	20,72
Situação do Processo	Insatisfatório
Classificação do Processo	Totalmente Incapaz
% Valores Conformes	33,33 %
% Valores não Conformes	66,67 %
Limite Superior de Controle	7,25
Limite Inferior de Controle	6,44

Fonte: Próprio autor.

Os Gráficos de Controle de pH demonstram indiscutivelmente que o processo encontra-se fora de controle estatístico, pois também se enquadram nos critérios 1, 3 e 4. Isto fica mais evidente quando se analisa as tabelas quantitativas 6.13 e 6.14.

Tabela 6.13: Análise Quantitativa de $C_p(\text{pH})$.

Capacidade do Processo	Quantidade	%
Insatisfatório	26	100
Satisfatório	0	0
Muito Satisfatório	0	0
Total	26	100

Fonte: Próprio autor.

Tabela 6.14: Análise Quantitativa de $C_{pk}(\text{pH})$.

Índice de Capacidade do Processo	Quantidade	%
Totalmente Incapaz	26	100
Relativamente Incapaz	0	0
Capaz	0	0
Altamente Capaz	0	0
Total	26	100

Fonte: Próprio autor.

Aqui também utilizou se o artifício do Diagrama de Causa e Efeito, representado na Figura 6.22, e posteriormente condensando e discutindo as possíveis causas que poderiam interferir no processo.

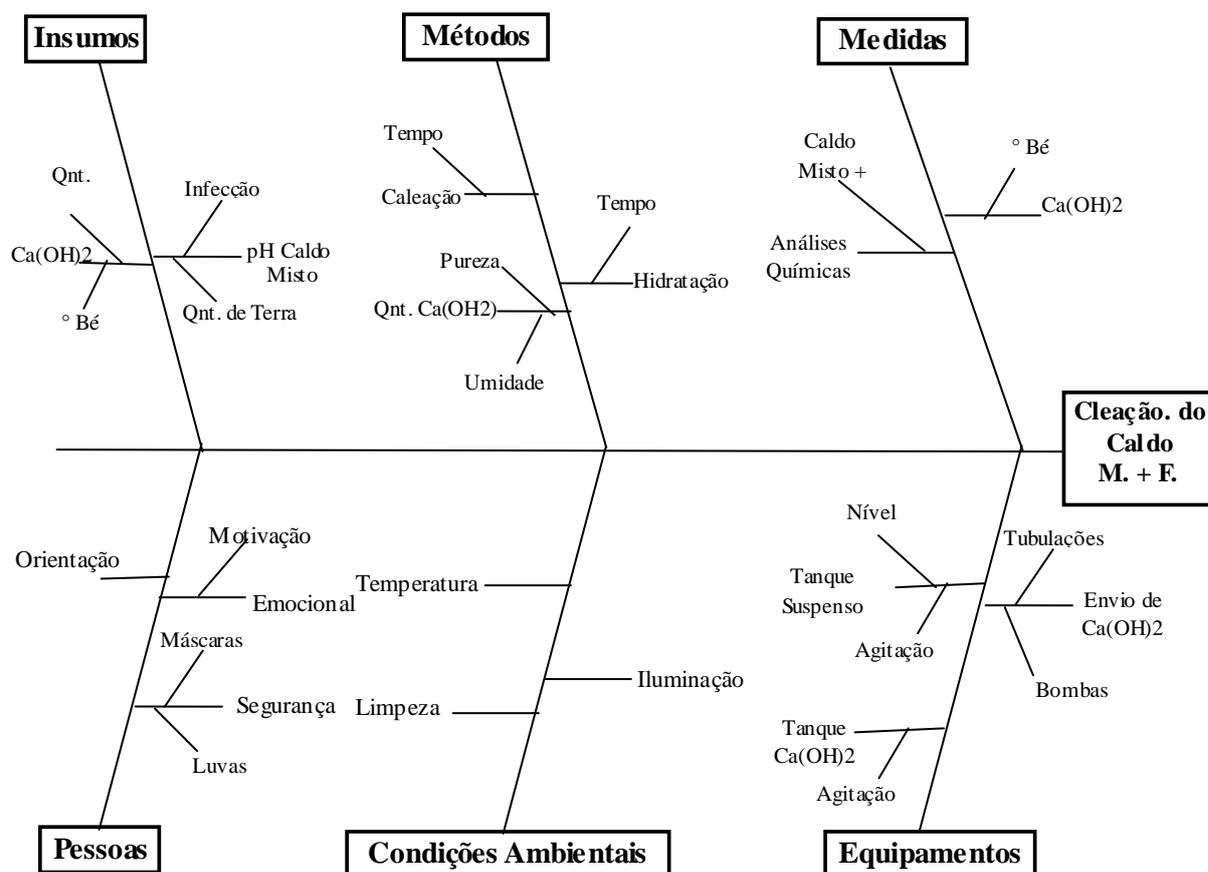


Figura 6.22: Diagrama de Causa e Efeito Para a caleação do Caldo Misto + Filtrado.

Concentração do Leite de Cal e Qualidade do CaO.

Uma hipótese a ser levantada, é a de que o preparo do Leite de Cal estava sendo executado de forma errônea pelos colaboradores. A fim de esclarecer esta dúvida mediu-se a concentração do Leite de Cal e temperatura em horários definidos. Notou-se uma variação entre as medidas de densidade de $^\circ$ Baumé em relação à temperatura do Leite de Cal. Para tanto análises feitas em campo demonstraram que existe mesmo um fator de correção entre a densidade e temperatura do Leite de Cal. Outro fator que pode ser uma causa potencial se refere à qualidade da Cal fornecida, visto que se a cal não estiver dentro de especificações necessárias, o processo de hidratação e caleamento propriamente dito sofrerá interferência.

O tempo de hidratação da Cal poderia ser outro fator de interferência. Segundo Meade (1985), o tempo de hidratação deve ser de no mínimo 30 min, sendo que este tempo era respeitado.

Variação de pH do Caldo Misto +.

A variação de pH no Caldo Misto + pode ser ocasionada pela qualidade da cana, quantidade de terra e infecção da cana, isso tem uma interferência significativa no processo, no que se diz respeito à quantidade de Leite que deveria ser adicionado ao Caldo Misto + Filtrado. No entanto, partindo se do princípio de que o sistema deveria suprir essa variação, ou seja, ele deveria trazer o Caldo Misto + Filtrado para condições ideais ao processo. Isso não pode ser apontado como uma causa potencial para a variação de pH do Caldo Misto + Filtrado após o caleamento, mas sim, uma causa potencial da variação de pH a ser suprida pela caleação. Uma discussão mais profunda sobre essa interferência, foge do escopo desse trabalho por envolver etapas antecedentes a caleação.

Equipamentos e Medidas.

Como dito anteriormente, no início da época de colheita, foi feita o redimensionamento de bombas e tubulações, podendo ser descartada esta hipótese. No entanto o tanque no qual ocorre a caleação denominado de Tanque Suspenso, opera com um tempo de retenção baixo, baixo nível de fluido e a mistura é feita simplesmente por efeitos dos movimentos dos líquidos que entram neste em regime turbulento. Segundo Meade (1985), o tempo de reação para a caleação deve estar entre 10 e 15 minutos. Assim este pode ser uma potencial causa do descontrole na caleação. Normalmente adota-se nessa etapa um pHmetro de linha para o controle desta. Na unidade estudada esse equipamento não existe, o que pode ser uma potencial causa do descontrole.

Emocional e Orientação dos colaboradores.

Notou se que a orientação foi dada a todos os que preparam o Leite de Cal. Para o preparo são fornecidos máscaras e luvas, e o local de preparo apresenta iluminação e temperatura ambiente. A questão motivacional recai nas argumentações já apresentadas na análise de temperatura. No que diz respeito à questão da quantidade adicionada de cal na hidratação, esta pode ter influência, pois a quantidade não segue um padrão, visto que a referência de medida

é a densidade em ° Bé e essa sofre influência da temperatura. Assim isso pode ser uma causa potencial da variação do pH.

6.1.3 Simulação de perdas por inversão.

Um método de simulação de perdas que seria interessante sua aplicação neste caso, seria o Método de Taguchi, mas este apresenta uma limitação, pois só é aplicável a perdas relativas a uma variável. No entanto, pela Tabela de Standler apresentada anteriormente, fica notório a relação que a temperatura e o pH tem sobre a inversão de açúcar, justificando a não utilização deste método.

Para o caso proposto, utilizou-se o recurso de regressão, que possibilitou encontrar as equações que representam o coeficiente de inversão. O método consistiu em considerar a temperatura constante e sobre a variação de pH delinear a equação que representasse a variação relativa do coeficiente de inversão. Contudo para encontrar-se os coeficientes de inversão em temperaturas não demonstradas no Quadro 6.1, basta a aplicação de interpolação simples.

Temperatura	Equação
50	$979,69 * \text{Exp}^{(-2,30^{\circ}\text{pH})}$
60	$3.391,25 * \text{Exp}^{(-2,30^{\circ}\text{pH})}$
70	$10.923,6 * \text{Exp}^{(-2,30^{\circ}\text{pH})}$
80	$33.930,73 * \text{Exp}^{(-2,3^{\circ}\text{pH})}$
85	$59.330,85 * \text{Exp}^{(-2,32^{\circ}\text{pH})}$
90	$89.921,63 * \text{Exp}^{(-2,3^{\circ}\text{pH})}$
95	$140.032,84 * \text{Exp}^{(-2,30^{\circ}\text{pH})}$
100	$188.28,39 * \text{Exp}^{(-2,29^{\circ}\text{pH})}$
105	$339.125,27 * \text{Exp}^{(-2,30^{\circ}\text{pH})}$
110	$530.518,28 * \text{Exp}^{(-2,30^{\circ}\text{pH})}$
120	$1.161.050, 23 * \text{Exp}^{(-2,3^{\circ}\text{pH})}$

Quadro 6.1: Equações - Variação Inversão x Temp.

Fonte: autor.

Para nossa simulação, observou-se ainda que a temperatura de saída do Caldo Decantado (saída dos Decantadores) se encontrava em média 88°C, não podendo ser delineado o perfil dessa variação dentro dos Decantadores, pela falta de instrumentos de medida. Também se salienta que para os cálculos fossem simplificados, considerou-se que o tempo de movimentos do Caldo Misto + Filtrado no Sistema de aquecimento foi desprezado e que o tempo de retenção do caldo nos Decantadores era de 4 horas.

Para se ter uma estimativa da inversão açúcar no Decantador, utilizou-se a equação 6.1 confeccionada pelo próprio autor:

$$P_h = Q * \rho * ART * I * t \quad (6.1)$$

Na qual P_h refere-se à perda de açúcar em relação à vazão na hora de controle (kg), Q é a vazão de Caldo Misto + Filtrado (m³/h), ρ é a densidade do caldo naquela concentração em ART (ton/m³), ART são os Açúcares Redutores Totais (%) no caldo, I é a taxa de inversão de açúcar na temperatura e pH analisados (que foi encontrada através da média ponderada dos valores entre as temperaturas de retenção no intervalo de 1°C), e t é o tempo de retenção que no caso se encontra constante e igual a 4 horas.

Na demonstração que se propõe, o raciocínio foi a comparação dos dados do pH do dia 24/05/08, considerando que a temperatura de entrada média depois do flasheamento era de 100°C e de saída de 90°C, ou seja 2 °C a mais em média da temperatura de referência, que como já citada era de em média 98°C e 88°C e um pH padrão de 6,35. A Tabela 5.15 demonstra os resultados dos cálculos das perdas.

Tabela 6.15: Tabela de Cálculos do Processo.

Hora	pH	ART (95%)	Vazão (m ³ /h)	Densidade (ton/m ³)	Inversão Padrão	Inversão Real	Perda Kg de Açúcar
07:00	9,80	13,21	182,50	1,04865	0,0511316	0,0000224	-51,66
08:00	8,46	13,30	180,52	1,04904	0,0511316	0,0004981	-51,01
09:00	7,69	13,68	77,61	1,05021	0,0511316	0,0031292	-21,41
10:00	7,67	14,25	141,22	1,05255	0,0511316	0,0031292	-40,67
11:00	7,00	13,97	223,73	1,05138	0,0511316	0,0139298	-48,88
12:00	7,23	15,77	233,29	1,05840	0,0511316	0,0087984	-65,94
13:00	6,61	13,68	234,42	1,05021	0,0511316	0,0349163	-21,84
14:00	6,13	13,78	224,67	1,05060	0,0511316	0,1101258	76,73
15:00	5,54	13,78	232,39	1,05060	0,0511316	0,4370468	519,16
16:00	5,81	13,11	244,29	1,04826	0,0511316	0,2193853	225,94
17:00	6,04	15,01	250,67	1,05567	0,0511316	0,1385676	138,92
18:00	6,56	13,68	267,96	1,05021	0,0511316	0,0391665	-18,43
19:00	6,21	12,16	266,47	1,04436	0,0511316	0,0875219	49,26
20:00	6,21	12,35	274,50	1,04514	0,0511316	0,0875219	51,57
21:00	5,57	13,21	267,34	1,04865	0,0511316	0,3896199	501,23
22:00	5,54	12,92	268,59	1,04748	0,0511316	0,4370468	561,11
23:00	5,51	12,92	272,41	1,04748	0,0511316	0,4370468	569,09
24:00	8,44	13,02	273,65	1,04787	0,0511316	0,0005587	-75,50
01:00	7,14	13,11	255,30	1,04826	0,0511316	0,0110707	-56,22
02:00	6,89	12,92	252,90	1,04748	0,0511316	0,0196608	-43,08
03:00	6,47	12,45	257,42	1,04553	0,0511316	0,0492818	-2,48
04:00	6,93	13,30	260,65	1,04904	0,0511316	0,0175273	-48,88
05:00	6,02	13,40	247,35	1,04904	0,0511316	0,1385676	121,56
06:00	8,91	12,73	270,74	1,04670	0,0511316	0,0001771	-73,53
Total de Perdas							2.195,04

Fonte: Próprio autor.

Conforme pode se notar pela Tabela 6.15, pode-se observar, que as perdas excedentes de açúcar alcançam 2.195,00 kg de açúcar em um dia de moagem. Se for levada em consideração uma moagem de 240 toneladas de cana por hora, ter-se-ia um resultado de 5.760,00 toneladas de cana moída por dia. A estimativa de moagem para a época 2008/2009 é de 1.000.000,00 de toneladas. Assim sendo, tendo como base a relação de 2.195,00 kg de açúcar para 5.760,00 toneladas de cana moída, ter-se-ia então para 1.000.000,00 de toneladas de cana moídas uma perda estimada de 381,00 toneladas de açúcar durante a safra. Em álcool com o auxílio da relação de Gay-Lussac e considerando uma recuperação industrial dos setores adiante de 90%, as perdas em etanol chegaram em aproximadamente 222 m³/safra.

7 CONCLUSÃO

Conclui-se então que o CEP se bem gerido, pode oferecer um melhor controle do processo e a identificação de causas especiais de interferência, analisando e dando possibilidade de identificar a situação do processo, diminuindo perdas na cadeia produtiva e sinalizando onde deve se atuar sob forma corretiva, levando em consideração todos os aspectos (humanos, tecnológicos e ambientais).

O caso estudado vem exemplificar esta afirmação, pois após o levantamento de dados, foram feitas as Cartas de Controle de temperatura e pH, as quais propiciavam a possibilidade de análise da verdadeira situação do processo, e com auxílio do Diagrama de Causa e Efeito foi possível o levantamento das causas potenciais que interferiam no processo. Sendo estas:

Em relação à temperatura.

- Quantidade e qualidade do vapor;
- Variação na vazão de Caldo Misto + Filtrado e;
- Resistência no que se diz respeito à operação dos equipamentos.

Em relação ao pH

- Dimensionamento do Tanque Suspenso e;
- Automação e controle do pH do Caldo Misto + Filtrado.

Também observou-se que uma melhora da qualidade dessas operações levaria a uma melhora da eficiência na recuperação do setor e uma melhor eficiência na fermentação.

Enfim, o CEP pode ser implantado no ramo sucroalcooleiro, ajudando na gestão da qualidade do produto final e do processo como um todo, na atuação de causas potenciais de variação e na redução de desperdícios do sistema.

8 REFERÊNCIAS

Referências. ARQUED, Antônio Porta. Tratamiento del jugo de la caña. In: Fabricação del azucar. Barcelona: Salvat, 1955.

<<http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u396881.shtml> > Acesso em 24 de abril de 2008, 12:32:00. ANEXOS

AMORIM, H. V., Fermentação Alcoólica, Ciência e Tecnologia, Vol. 1, 1ª ed., 2005.

Apostila RAJQUIM 2008.

BARREDA DEL C., E.R., ROXO, R., NEBRA, S.A. & BORDONAL, A.F., 1998, "Análises Energética e Exergética do Sistema de Cogeração da Usina Vale do Rosário", Anais do VII Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas, Vol. 1, Rio de Janeiro – RJ.

BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U.A.; AQUARONE, E. Biotecnología Industrial. Vol. 1. Ed. Edgard Blucher Ltda.

CAMPOS, V. F. *TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)*. 5ª Edição. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CARPIO, R.C., T., F.N., BESSA, F.C. & LORA, E.S., 1999, "Critérios de Avaliação Termodinâmica para Sistemas de Cogeração em Usinas de Açúcar", Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Código AACBDD, Águas de Lindóia - SP, 10p.

CHEN, J. C.P., Cane Sugar Handboock. Ed. Copyringh, 1883.

COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇUCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DO DE SÃO PAULO. Disponível em <http://www.copersucar.com.br/institucional/por/academia/cana_acucar.asp> Acesso em 24 de abril de 2008, 12:32:00. ANEXOS

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E; CARPINETTI, L. C. R.. Controle Estatístico de qualidade. Editora Atlas, 2004.

DEMING, E. W. *Qualidade: A Revolução da Administração*, Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 2000.

GOMIDE, R *Operações Unitárias IV*. Ed. Do autor, SP, 1988.

HARRINGTON, J. *Aperfeiçoando Processos Empresariais*. São Paulo, Editora McGraw-Hill Ltda e Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1993.

HRADESKY, J. L. *Aperfeiçoamento da Qualidade e da Produtividade*. Guia prático para implementação do Controle Estatístico de Processo (CEP). São Paulo, Editora McGraw-Hill Ltda, 1990.

HUGOT, E. Defecation, Carbonation, Sulfitation. *In: La sucrerie de canes: manuel de l'ingénieur*. Paris: Dunod, 1950..

INCROPERA, F. P., DeWitt D.P., *Fundamentos de Transferência de Massa e Calor*, 4ª Edição, 1998.

ISHIKAWA, K. *Controle de Qualidade Total (à maneira japonesa)*. 6ª Edição. Rio de Janeiro, Editora Campus, 1993.

JURAN, J. M. . *na liderança pela qualidade*. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1993.

JURAN, J. M. *Juran Planejando para a Qualidade*. 3ª Edição. São Paulo, Livraria Editora Pioneira, 1995.

JURAN, J. M.; GRZYNA, Frank M. *Controle da qualidade: métodos estatísticos clássicos aplicados à qualidade*. 4th ed. São Paulo: Makron, 1993. v. 6.

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

MEADE, GP. *Special Reagentes*. Cane Sugar Handbook, New York, Wiley, 1945.

MIRANDA, Roberto Lira. *Qualidade Total*. São Paulo: Makron Books, 1994.

MONTGOMERY, D. C., *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*. Editora LTC. 4ª ed. 2004.

PALADINI, E. P. Gestão da Qualidade no Processo: a qualidade na produção de bens e serviços. São Paulo: Atlas, 1995.

PALADINI, E. P. Qualidade Total na Prática: implantação e avaliação de sistemas de qualidade total. São Paulo: Atlas, 1997.

PERRY, R.H. e GREEN, D.W. Chemical Engineers Handbook, McGraw Hill, NY, 7ª Edição. 1997.

SIQUEIRA, L. G. P.. Controle estatístico do processo. São Paulo: Pioneira, 1997.

SPENCER, G. L. Manual de fabricantes de açúcar de cana e químicos açucareiros. 7. ed. ver. E aum. New York: John Wiley & Sons, 1983.

TAGUCHI, G, ELSAYED, E.A., HSIANG, T. TAGUCHI - Engenharia da Qualidade em Sistemas de Produção. São Paulo: Mc Graw Hill, 1990.

TUBINO, D.F. Manual de Planejamento e Controle da Produção, Editora Atlas, 1997.

VIEIRA, S.. Estatística para a qualidade: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

WERKEMA, M.C. Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos. Volume 2. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, 2006.

WYMAN, C. E., Handbook on Bioethanol: Production and Utilization. Ed. Copyringh, 1996

9 APÊNDICE

Apêndice I – Tabela de Constantes para Cálculos Estatísticos.

Nº de Amostras, n	A ₂	D ₃	D ₄	d ₂
5	0,577	0	2,115	2,326

Fonte: Adaptação de Werkema, 2006.

10 GLOSSÁRIO

Álcool Anidro – Mistura hidroalcolica que possui mais de 99,3% em peso de etanol.

Álcool Hidratado – Mistura hidroalcolica que possui em média 93,2% em peso de etanol.

A.R.T – Porcentagem em peso de açúcares (sacarose, glicose e frutose) presentes no produto.

Bagaçó – Fibra resultante da extração da cana.

° BRIX – Porcentagem em peso de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada.

Grau GL – Porcentagem em volume de álcool em uma mistura a 15° C de temperatura.

Grau INPM – Porcentagem em peso de álcool de uma mistura a 20° C de temperatura.

Lodo – Impurezas do Caldo Misto + Cal separadas pelo processo de decantação.

POL – Porcentagem em peso sacarose contida em uma solução açucarada.

Torta – Resíduo sólido resultante do processo de filtração do Lodo, que serve como adubo orgânico.

Vapor de Escape – Vapor resultante (1,5 kgf/cm² e 150,0°C) do Vapor Vivo, após utilização nas máquinas a vapor.

Vapor Vegetal – Vapor resultante da evaporação do caldo, obtidos nos equipamentos de evaporação, este vapor pode ser Vapor Vegetal V1 (0,8 kgf/cm² e 116,3°C).

Vapor de Flashe - Vapor Vegetal (0,4 kgf/cm² e 106,0°).

Vapor Vivo – Vapor fornecido diretamente da Caldeira (23,0 kgf/cm² e 300°C).

Vinhaça – Produto de fundo resultado da epuração do vinho, constituído de água condensada, e vinho desalcolizado.

° Baumé (° Bé) – medida de densidade adimensional, relacionada com a densidade padrão da água a 20° C.

Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Informática
Curso de Engenharia de Produção
Av. Colombo 5790, Maringá-PR
CEP 87020-900
Tel: (044) 3261-4196 / Fax: (044) 3261-5874