

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO INDUSTRIAL**

BRUNO MENOZZI PAGAN

**APLICAÇÃO DE UM CONTROLE DE MANUTENÇÃO NO CONSUMO DE
INSUMOS DE UMA EMPRESA SUCROENERGÉTICA**

Botucatu-SP
novembro– 2014

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO INDUSTRIAL

BRUNO MENOZZI PAGAN

APLICAÇÃO DE UM CONTROLE DE MANUTENÇÃO NO CONSUMO DE
INSUMOS DE UMA EMPRESA SUCROENERGÉTICA

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Antonio Sleiman

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à FATEC - Faculdade de Tecnologia de Botucatu, para obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Produção Industrial, da Faculdade de Tecnologia de Botucatu.

Botucatu-SP
novembro – 2014

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À Instituição pelo ambiente criativo e amigável que proporciona.

Ao meu orientador, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O objetivo desta monografia é analisar um sistema de manutenção produtiva implantado em uma empresa sucroenergética, no processo de dosagem de caldo, com o objetivo de reduzir seus custos com insumos importantes nesse processo. Aplicando métodos da filosofia TPM (manutenção produtiva total) e apresentando os dados de forma gráfica comparando os resultados, a fim de buscar a melhor eficiência do instrumento de controle considerado crítico, ou seja, a falha zero e quebra zero para buscar maior qualidade e produtividade nos processos subsequentes.

PALAVRAS-CHAVE: Dosagem de caldo; TPM; Instrumento de controle

ABSTRACT

The purpose of this monograph is to analyze a system of productive maintenance sucroenergetico deployed one company, at bouillon dosing process, with the goal of reducing their costs with important inputs in this process. Applying methods of philosophy TPM (Total Productive Maintenance) and present data graphically comparing the results in order to get the best efficiency of instrument control considered critical, ie, the zero failure and breakage to zero therefore fetch higher quality and productivity in the subsequent processes.

PALAVRAS-CHAVE: Dosage broth; TPM; Instrument Control

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os oito pilares do TPM.....	15
Figura 2 - Terno Donnelly	22
Figura 3 - Processo de moagem da cana-de-açúcar.....	23
Figura 4 - Processo de tratamento do caldo.....	24
Figura 5 - Evaporação do caldo clarificado.....	27
Figura 6 - Esqueleto cozedor de açúcar.....	29
Figura 7 - Modelo centrífuga de açúcar.....	30
Figura 8 - Processo de secagem de açúcar	31
Figura 9 - Sistema de Malha fechada	35
Figura 10 – Definições dos indicadores para quantificação das melhorias.....	45
Figura 11 – Gráfico da dosagem do cal e disponibilidade do transmissor de pH	72
Figura 12 – Gráfico de insumos utilizados no tratamento do caldo	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de moagem efetiva da safra 2013/2014.....	38
Tabela 2 - Moagem safra 2013/2014.....	38
Tabela 3 – Consumo de insumos não renováveis – Safra 2009 até 2012.....	40
Tabela 4- Evolução das responsabilidades de conservação da operação	43
Tabela 5 - Média das análises do pH da caldo dosada - Safra 2013/2014	54
Tabela 6 - Medição da variância do transmissor de pH	54
Tabela 7 – Indicadores de produtividade.....	55
Tabela 8 - Horas de serviço para o transmissor de pH	56
Tabela 9 - Disponibilidade total do transmissor de pH	57
Tabela 10 - Consumo de cal nos dois silos.....	58
Tabela 11 – Indicadores de qualidade.	59
Tabela 12 – Consumo de polímero nos decantadores	60
Tabela 13 – Consumo de polímero nos filtros de lodo.....	61
Tabela 14 – Indicador de custo.....	62
Tabela 15 – Ordens de serviço corretivas abertas para transmissor de pH	63
Tabela 16 – Rotas preventivas abertas para transmissor de pH	64
Tabela 17 – Custo total de manutenção.....	64
Tabela 18 – Pureza media mensal do xarope	66
Tabela 19 – Indicadores de segurança.....	67
Tabela 20 – Acidentes leves para o setor do tratamento de caldo.....	68
Tabela 21 – Frequência de acidentes leves para o setor do tratamento de caldo	68
Tabela 22 – Acidentes graves para o setor do tratamento de caldo.....	69
Tabela 23 – Frequência de acidentes graves para o setor do tratamento de caldo	70
Tabela 24 – Horas de treinamento safra 2013/2014.....	71
Tabela 25 – Horas de treinamento por horas trabalhadas.....	71

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	6
1 INTRODUÇÃO	8
1.1 Objetivo	9
1.2 Justificativa	9
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 Conceitos de manutenção.....	11
2.1.1 Definição de manutenção	11
2.1.2 Manutenção Corretiva	12
2.1.2 Manutenção Preventiva	12
2.1.3 Manutenção Preditiva	13
2.1.4 Manutenção produtiva total (TPM).....	14
2.2 Processo de fabricação de açúcar	17
2.2.1 Composição da cana-de-açúcar	17
2.2.2 Importância da cana-de-açúcar no Brasil	18
2.2.3 O processo de plantio da cana-de-açúcar	19
2.2.4 O processo de colheita da cana-de-açúcar.....	19
2.2.5 Processo de moagem da cana-de-açúcar	21
2.2.6 Processo de tratamento do caldo.....	23
2.2.7 Processo de tratamento do lodo.....	25
2.2.8 Processo de evaporação do caldo do açúcar.....	26
2.2.9 Processo de cristalização e centrifugação.....	28
2.2.10 Processo secagem	30
2.2.11 Processo armazenamento.....	31
2.3 Do instrumento de medição	33
2.3.1 Instrumentação	33
2.3.2 Sistema de controle.....	34
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 Materiais.....	36
3.2 Métodos	36
3.2.1 Planejamento.....	39
3.2.2 Etapas da implantação da manutenção produtiva total	41
3.2.3 Indicadores	44
3.2.4 Coleta dos dados	49
3.3 Estudo de caso.....	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 Variação do instrumento de controle	53
4.2 Indicadores de processo	55
4.2.1 Produtividade (P).....	55
4.2.1.1 Disponibilidade	55
4.2.1.2 Dosagem de cal.....	58
4.2.2 Qualidade (Q).....	59
4.2.2.1 Dosagem de polímero no decantador.....	59
4.2.2.2 Dosagem de polímero no filtro de lodo	61
4.2.3 Custo (C).....	62
4.2.3.1 Horas de manutenção.....	62
4.2.4 Entrega (D).....	65
4.2.5 Segurança (S)	66

4.2.5.1	Frequência de acidentes leves	67
4.2.5.2	Frequência de acidentes graves	69
4.2.6	Moral (D)	70
4.3	Visão global do processo	71
5	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

Em busca do aumento da eficiência e da rentabilidade do processo, muitas indústrias tem investido e buscado a melhoria contínua do seu sistema de controle. Uma dessas melhorias reside na implementação de técnicas de controle avançada do processo, possibilitando trabalhar a margem das restrições operacionais em foco do maior ganho financeiro e rendimento de máquina e ferramental.

Uma destas técnicas é controle preditivo multivariável, sendo um tipo de estratégia que permite ao controlador prever o comportamento de dados do processo com uma janela de predição utilizando base nas variáveis de leitura do processo.

No contexto sucroenergético, ou sucroalcooleiro a predição dessas variáveis e de suma importância no controle e aplicação dos insumos no processo de fabricação dos seus produtos e subprodutos, tendo instrumentos de alta precisão que fornecem essas variáveis de forma confiável e rápida em determinados pontos considerados críticos.

Um desses pontos críticos relacionados seria no processo de dosagem do caldo, onde apresenta a necessidade da utilização do enxofre para sua clarificação e cal para o controle de sua acidez para atingir um ponto de maior eficiência em sua decantação, dispondo de um sistema de neutralização de pH descrito em uma malha de controle fechada, PID, utilizando-se um transmissor e transdutor de pH e um conjunto de bombas em sincronia para fazer a correta aplicação desses insumos vitais ao processo.

Nesse trabalho, tendo o controle de neutralização do pH um ponto sensível do processo, e assim descrito por Favaro (2012), o processo de neutralização de pH tem sido por muito tempo uma referência de problema não-linear no controle do processo químico. Isso se deve não apenas a sua importância em diversos processos industriais e biológicos, mas

também a sua grande não linearidade, podendo variar sensivelmente sob pequenas mudanças nas condições iniciais do processo. Inspira importância em seu estudo e instalação de um sistema manutenção produtiva total a fim de reduzir os custos e quantidade de insumos utilizados para com o processo, visando à máxima eficiência e capacidade produtiva como também a sustentabilidade do processo, otimização de recursos e aumento da produtividade.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é reduzir a demanda mensal de insumos no processo de dosagem do caldo da cana-de-açúcar, utilizando ferramentas da filosofia TPM (manutenção produtiva total).

1.2 Justificativa

Tendo em vista um cenário mundial, onde as empresas buscam cada vez mais produtividade a partir da redução de custos, seria impossível imaginar isso sem a utilização dos componentes de automação industrial e a tecnologia empregada em seu processo, sendo um fator seletivo da empresa em um nicho competitivo diferenciando de seus concorrentes no mercado.

Ressaltando da mesma forma que o compromisso das empresas na atualidade com a sustentabilidade vem se reforçando cada vez mais perante a sociedade, em vista que processo de tratamento do caldo de cana-de-açúcar pelo método de sulfitação, destinado a fabricação de açúcar branco ou clarificado, gera resíduos não renováveis ao meio ambiente devido à grande toxicidade do enxofre e seus derivados. Isso sugere que esse trabalho não apenas tem o propósito financeiro focando a redução do uso do enxofre e por conseguinte a liberação dos seus derivados com a queima, como óxido de enxofre (SO), mas também um impacto sustentável, reduzindo a necessidade de queima do mesmo no processo e a liberação atmosférica desse gás.

Partindo da dosagem de cal (CaCo) para a estabilização da acidez do caldo, assim que o mesmo esteja estável em uma faixa próximo aos 7,0 pH, contribui para uma melhor decantação, diminuindo a quantidade de perda de açúcares na torta, reduzindo o tempo de cozimento dos vácuos e mantendo um tempo de centrifugação baixo, pelo fato de uma

clarificação mais consistente, logo aumentando a produtividade e evitando o retrabalho e reprocesso desse caldo.

Assim será proposto a implantação de uma manutenção autônoma, isso representa a evolução da manutenção utilizada atualmente para esse equipamento, elevando ela a um patamar que faz aumentar a fiabilidade dos equipamentos, melhora a qualidade do produto, reduzindo os custos, através de técnicas de controle das condições desses mesmos itens, procurando estudar a evolução das falhas ao longo do tempo tendo em conta o contexto operacional desses item físico, mantendo em maior disponibilidade possível de maneira confiável para o processo, diminuindo seu tempo de paradas corretivas e atingindo as falhas apresentadas de maneira preventiva utilizando a metodologia TPM.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Conceitos de manutenção

2.1.1 Definição de manutenção

A manutenção pode ser definida, segundo o dicionário Aurélio como: “A medidas necessárias para a conservação ou permanência, de alguma coisa ou situação” e ainda “Os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas”. Segundo Lima (2006) o conjunto de atividades e recursos aplicados aos sistemas e equipamentos, visando garantir a continuidade de sua função dentro de parâmetros de disponibilidade, de qualidade, de prazo, de custos e de vida útil adequados. Nesta definição, de grande abrangência, a manutenção é caracterizada como um processo. Um processo que deve iniciar antes da aquisição e que tem como principal função o prolongamento da vida útil do equipamento ou sistema.

E segundo Marques (2009) é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar itens em um estado no que possa desempenhar uma função requerida. Assim temos também dentro desta ciência uma ramificação mais detalhada dos tipos de manutenção que serão utilizada no mesmo.

2.1.2 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é o tipo de manutenção mais antiga e mais utilizada, sendo empregada em qualquer empresa que possua itens físicos, qualquer que seja o nível de planejamento de manutenção.

Segundo a Norma NBR 5462 (1994), manutenção corretiva é “a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”. Em suma: é toda manutenção com a intenção de corrigir falhas em equipamentos, componentes, módulos ou sistemas, visando restabelecer sua função.

De acordo com Márques (2009), a manutenção corretiva pode ser imediata ou diferida.

- **Manutenção imediata:** Este tipo de manutenção é executado sem demora após a detecção de uma falha para evitar consequências mais problemáticas.

- **Manutenção diferida:** Esta estratégia consiste em não actuar imediatamente após a detecção da falha mas atrasando a sua intervenção de acordo com determinadas regras estipuladas.

Segundo Lima (2006) este tipo de manutenção, normalmente implica em custos altos, pois a falha inesperada pode acarretar perdas de produção e queda de qualidade do produto. As paralisações são quase sempre mais demoradas e a insegurança exige estoques elevados de peças de reposição, com acréscimos nos custos de manutenção.

De acordo com Kardec e Nascif (2001) quando uma empresa tem a maior parte de sua manutenção trabalhando em manutenção corretiva, seu departamento de manutenção é gerenciado pelos equipamentos e o desempenho empresarial da organização, certamente, não está adequado às necessidades de competitividade atuais.

2.1.2 Manutenção Preventiva

A essência da Manutenção Preventiva é a substituição de peças ou componentes antes que atinjam a idade em que passam a ter risco de quebra. A base científica da manutenção preventiva é o conhecimento estatístico da taxa de defeito das peças, equipamentos ou sistemas ao longo do tempo. A Manutenção Preventiva também é chamada de manutenção baseada em intervalos/tempo.

Como nem sempre os fabricantes fornecem dados precisos para os planos de manutenção preventiva, além das condições operacionais e ambientais influírem de modo significativo na expectativa de degradação dos equipamentos, a definição de periodicidade e

substituição deve ser estipulada para cada equipamento e instalação. (KARDEC; NASCIF, 2001)

A manutenção preventiva consiste no cuidado e conservação que os técnicos responsáveis devem exercer para manter as instalações em bom estado operacional, através de um processo sistemático de inspeção, detecção e correção das falhas incipientes quer antes da sua ocorrência, quer evitando o desenvolvimento em falhas de grande magnitude (Dhillon, 2006).

A manutenção preventiva pode ser dividida em dois grupos: pré-determinada ou baseada na condição / preditiva (Marques, 2009):

- **Manutenção pré-determinada:** Este tipo de manutenção consiste em realizar manutenção preventiva de acordo com um determinado intervalo de tempo ou número de unidades em uso, isto é, manutenção programada, mas sem investigação prévia da condição do equipamento.

- **Manutenção baseada na condição / preditiva:** Este método consiste em efetuar manutenção preventiva baseando-se no desempenho e/ou monitorização de parâmetros. O desempenho e a monitorização dos parâmetros podem ser programados, pedidos ou contínuos. A aplicação desta manutenção é realizada através de uma previsão derivada da análise e avaliação dos parâmetros significativos de degradação do equipamento.

2.1.3 Manutenção Preditiva

Inversamente a política de manutenção corretiva, a preventiva procura obstinadamente evitar a ocorrência de falhas, ou seja, prevenir.

A manutenção preditiva pode ser considerada como uma forma evoluída da manutenção preventiva. Com o aperfeiçoamento da informática, tornou-se possível estabelecer previsão de diagnósticos de falhas possíveis, através da análise de certos parâmetros dos sistemas produtivos. Através do acompanhamento sistemático das variáveis que indicam o desempenho dos equipamentos, define-se a necessidade da intervenção.

Segundo Lima (2006) ela privilegia a disponibilidade, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento em funcionamento.

Destaca-se a importância da manutenção preditiva na definição de Nanbucú (2011) que a aplicação da manutenção preditiva traz como resultado, índices ideais de prevenção de falhas, tanto sob os aspectos técnicos, como, pelo aspecto económico, uma vez que é aplicada

na intervenção no equipamento durante o período em que ainda está em condições de prestar o serviço, também período em que suas características operativas estão comprometidas.

Já a norma NP EN 13306:2007 define manutenção preditiva como manutenção condicionada efetuada de acordo com as previsões extrapoladas da análise e da avaliação de parâmetros significativos de degradação do equipamento.

Entende-se que a manutenção preditiva como uma regular monitorização do atual estado das condições mecânicas, eficiência de operação, e outros indicadores, de forma a proporcionar dados que assegurem o máximo intervalo entre reparações e minimizem o número e custo das paragens não agendadas.

Resumindo, pode-se definir manutenção preditiva como um conjunto de tarefas de manutenção efetuadas com recurso a equipamentos de medição, em que é possível medir os parâmetros físicos imanados por componentes, equipamentos ou sistemas. Os dados obtidos são usados para a avaliação da condição do equipamento em análise e como apoio na decisão de medidas corretivas a efetuar, caso necessário, podendo assim assumir um planeamento específico para um determinado caso. As características intrínsecas a esse tipo de manutenção impedem que ela seja empregada de forma generalizada porque exige grande volume de recursos iniciais, tanto humanos com materiais; mão-de-obra muito qualificada e treinada; e a restrição para aplicação em sistemas industriais complexos.

2.1.4 Manutenção produtiva total (TPM)

Segundo Marques (2009) podemos descrever a história da Manutenção Produtiva Total (TPM) que teve origem nos programas de qualidade surgidos após a segunda guerra mundial, em face da necessidade de produção em massa, de forma a suprir a demanda, numa conjuntura em que muitas nações industriais tinham sido destruídas pela guerra.

Em função dos programas de qualidade, as manutenções seguiam programações pré-determinadas, desconsiderando a real necessidade de intervenções e ocorriam sem a participação dos operadores das máquinas. Em muitos casos a manutenção era desnecessária, acarretando em novos defeitos e aumento de custos.

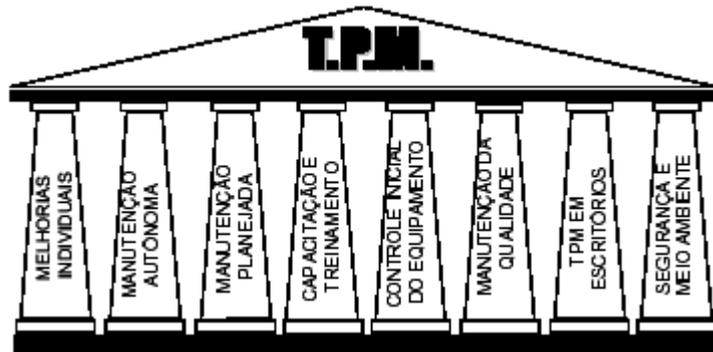
Como uma das características dos programas de qualidade era o controle dos defeitos na sua origem, os operadores passaram a participar e apontar os defeitos nas suas máquinas, para evitar falhas futuras. Surge assim, em meados da década de 70 do século XX, a Manutenção Produtiva Total.

O TPM é a ampliação do conceito da manutenção, pela promoção da manutenção do

sistema de produção com a participação das pessoas de produção. O TPM objetiva a eficácia da empresa através da maior qualificação das pessoas e melhoramentos introduzidos nos equipamentos permanecendo a equipe de manutenção com as tarefas de maior complexidade.

Marques (2009) descreve os oito pilares da Manutenção produtiva total como:

Figura 1 - Os oito pilares do TPM



Fonte: Manutenção industrial e ciclo de vida do produto (2009)

- Melhoria focada - Como o próprio nome indica, é focar a melhoria global do negócio. Deste modo procura-se reduzir os problemas para melhorar o desempenho.

- Manutenção planejada - Significa planejar e controlar a manutenção, (manutenção preventiva e preditiva) através de técnicas de planejamento(software).

- Educação e treinamento - Ampliação da capacidade técnica, gerencial, comportamental do pessoal de manutenção e operação.

- Controle inicial - Estabelecimento de um sistema de gerenciamento da fase inicial para novos projetos/equipamentos. Eliminar falhas no nascedouro, implantar sistema de monitoração.

- Manutenção da Qualidade - Estabelecimento de um programa de zero defeito. Máquinas em melhores condições resultam em produtos melhores.

- TPM Office - Estabelecimento de um programa nas áreas administrativas, visando o aumento de sua eficácia. Tendo como objetivo principal eliminar desperdícios no escritório.

- Segurança - Estabelecimento de um programa de saúde, segurança e meio ambiente. Sendo que o principal objetivo é o acidente zero

- Manutenção Autônoma - A Manutenção Autônoma (MA) é uma ferramenta enxuta que é usada por empresas de manufatura de classe mundial O objetivo principal da MA é:

Formar o operador para se tornar responsável pela manutenção da máquina, mantendo-a em ótimas condições.

Segundo Moraes (2004) Os principais objetivos do TPM são, o aumento da confiabilidade dos equipamentos, eliminação de quebras e aumento da disponibilidade das máquinas, garantia do fluxo contínuo do processo de manufatura garantia da qualidade de engloba todo o ciclo de vida útil da máquina e do equipamento, um sistema onde participam a engenharia, a produção e a manutenção, um sistema que congrega a participação de todos, desde os da alta direção até os últimos dos operacionais, movimento motivacional na forma de trabalho em grupo. O que caracteriza o TPM em relação às técnicas de manutenção preditiva e preventiva e do enfoque sistêmico produtos, gerenciamento integrado homem/máquina para a melhoria da produtividade e o aumento do lucro e da competitividade.

Ainda segundo ao autor a TPM pois as seguintes características, um sistema total que da engenharia, produção e manutenção, é a condução da manutenção autônoma ou voluntária dos trabalhos desenvolvidos pelos pequenos grupos.

Segundo Marques (2009) a TPM visa maximizar a performance operacional das máquinas. Para alcançar-se este objetivo, deve-se eliminar as causas que acarretam um desempenho negativo às máquinas.

Segundo Moraes (2004) as etapas a serem desenvolvidas na implementação de TPM dependem da situação e peculiaridade de cada empresa e área. Porém, são considerados "cinco pilares básicos" que obrigatoriamente suportam o programa. São eles:

- I. Incorporação de melhorias específicas e individualizadas nas máquinas;
- II. Estruturação para condução da manutenção voluntária ou autônoma;
- III. Estruturação do órgão de manutenção para condução da manutenção planejada;
- IV. Capacitação técnica e busca de novas habilidades, tanto para os elementos da produção como para os de manutenção;
- V. Estruturação para controle dos equipamentos já na fase inicial de funcionamento.

Segundo Marques (2009) o TPM rompe a tradição quanto ao tratamento dado à máquina ou equipamento, através de uma mudança de postura dos três órgãos relacionados:

1. Produção: Os operadores passam a ser corresponsáveis pelas atividades de manutenção mais simples.

2. Manutenção: É responsável pelo treinamento dos operadores nas atividades mais simples de manutenção, e continua responsável por tarefas mais complexas, procurando manter a confiabilidade do equipamento.

3. Engenharia: Passa a ser alimentada mais eficazmente pela manutenção e produção, sobre os problemas provocados por deficiência no projeto do equipamento, possibilitando uma atuação direta no projeto ou aquisição de novos equipamentos, ou desenvolvendo mudanças no próprio equipamento existente.

2.2 Processo de fabricação de açúcar

2.2.1 Composição da cana-de-açúcar

Segundo ANDRADE e CASTRO (2006) a cana-de-açúcar, pertence à família das gramíneas e ao gênero *Saccharum*. As canas nobres ou nativas, cultivadas em regiões tropicais e sub tropicais do globo até a introdução de variedades nascidas de semente, pertenciam todas a mesma espécie: *Saccharum Officinarum*. Existem 4 espécies adicionais: *s. berberie*, *s. sinense*, *s. spontaneum* e *s. robustum*. Sendo a formação de açúcar na haste da cana resulta de uma ação fotossintética, um acumulador de carbono, hidrogênio, oxigênio, energia solar, clorofila e forças radioativas, por via de suas folhas e de toda riqueza orgânica e mineral do solo, por via de suas raízes. É a cana-de-açúcar uma eficiente fábrica de carboidrato. Ela é uma das maravilhas do reino vegetal, e o açúcar é o alimento mais puro e energético da natureza, pois, não é nada mais nada menos do que a “luz solar cristalizada”.

O caldo que se extrai da cana, é a matéria prima da indústria açucareira, e tem composição variável. Para que possa ter idéia desta composição o caldo extraído de uma cana sadia possui a seguinte composição:

Água.....	75,0 – 82,0 %
Sólidos totais dissolvidos.....	18,0 – 25,0 %
Açucares.....	15,4 – 24,0 %
Sacarose.....	14,5 – 23,5 %
Glicose.....	0,2 - 1,0 %
Levulose.....	0,0 - 0,5 %
Não açucares.....	1,0 - 2,5 %
Substancias orgânicas.....	0,8 - 1,5 %
Substancias inorgânicas.....	0,2 - 0,7 %.

Segundo Heizer (2013) o período de crescimento é de aproximadamente 1 ano. O percentual dos principais componentes da cana-de-açúcar varia em função das condições climáticas, da variedade da cana, com a natureza e as condições do solo, com a classe de

fertilizantes, com a idade da cana (estado de maturação) e uma série de outros fatores. Por esta razão, as Usinas realizam um controle rígido da qualidade da cana recebida para o processamento, sendo analisados os seguintes componentes:

Brix: Mede sólidos solúveis e está diretamente associado ao teor de sacarose, tendo um valor de aproximadamente 18% na cana madura.

POL: Teor de sacarose na cana, medido por polarímetro ou sacarímetro.

Pureza: É a relação entre o teor de sacarose e o teor de sólidos solúveis

Açúcares Redutores: Conteúdo de açúcares simples (glicose e frutose)

2.2.2 Importância da cana-de-açúcar no Brasil

Segundo Heizier (2013) é difícil determinar quando o açúcar tornou-se conhecido da humanidade, entretanto na literatura europeia existem indicações que a cana-de-açúcar foi descoberta na Índia Ocidental, por um dos oficiais de Alexandre o Grande, mais ou menos no ano de 325 A.C.

Os métodos de extração e de purificação do açúcar da cana foram muito lentamente desenvolvidos. Existem registros, que por volta de 1400, métodos grosseiros foram trazidos do Oriente para a Europa. O comércio de açúcar entre a Ásia e a Europa era então, dos mais importantes nos séculos passados.

No Brasil, Martim Afonso de Sousa ao fundar a 1ª Vila do Brasil, a de São Vicente, também introduziu a cana-de-açúcar fazendo com que esta vila se tornasse o primeiro centro produtor de açúcar do país. A cultura da cana foi, então, o elemento agrícola da civilização brasileira, fazendo crescer as cidades, influenciando no organismo econômico e na vida social.

Atualmente a agroindústria do açúcar e do álcool gera para o Brasil, em produto final, dez bilhões de dólares por ano, um milhão de empregos diretos e o sequestro de 20% das emissões de carbono que o setor de combustível fósseis emite no país (Rodrigues, 2004). Com efeito, a cana-de-açúcar tem grande importância econômica, social e ambiental, fazendo do país o maior produtor mundial, com cinco milhões de hectares cultivados e uma produção que supera 340 milhões de toneladas de colmos. A região Centro-Sul concentra 85% da produção, das quais mais de 70% são produzida no Estado de São Paulo (Unica, 2004)

2.2.3 O processo de plantio da cana-de-açúcar

Para a instalação do canavial, todos os preceitos de boas técnicas agronômicas devem ser considerados, tais como: preparo do solo; mudas de qualidade (sadias e bem manipuladas); tratamento fitossanitário do solo e das mudas; adubação, entre outros (RIPOLI & RIPOLI, 2004).

Ainda segundo o autor, o plantio é o investimento crucial na condução de qualquer cultura, sendo a base do desenvolvimento e, independentemente das práticas de plantio adotadas (semimecanizado ou mecanizadas), as demandas devem ser atendidas.

De acordo com RIPOLI & RIPOLI (2004), existem três sistemas de plantio em utilização no Brasil: o manual, o semimecanizado e o mecanizado. O primeiro tem maior ocorrência em regiões do Nordeste brasileiro e é caracterizado pelo fato de todas as operações de plantio serem manuais. No segundo sistema, a sulcação, a cobertura e adubação de superfície são efetuadas mecanicamente, sendo a deposição das mudas manual. No sistema mecanizado, todas as operações citadas anteriormente são realizadas mecanicamente, com adição da aplicação de insumos no solo.

O plantio semimecanizado ou convencional, erroneamente denominado de manual, é composto de um conjunto de operações mecanizadas, as quais estão envolvidas as etapas de sulcação, cobertura do sulco, aplicação de defensivos e fertilizantes, e manuais em que se incluem a distribuição, o alinhamento e o fracionamento das mudas. Já o plantio mecanizado, compõe-se de todas as etapas descritas acima efetuadas mecanicamente, utilizando apenas de mão de obra especializada para a operação da plantadora (RIPOLI et al., 2006).

As práticas de plantio são de extrema importância na determinação do sucesso no cultivo da cana-de-açúcar. A qualidade do plantio garante população adequada de plantas, ausência de pragas durante a fase inicial da cultura e bom uso do solo (CARLIN et al., 2004).

Atualmente, há tendência para a mecanização do plantio, justificada pelo menor custo da operação e alto desempenho operacional das plantadoras disponíveis no mercado (RIPOLI, 2006).

2.2.4 O processo de colheita da cana-de-açúcar

A colheita da cana de açúcar pode ser realizada manualmente com facões, ou por cortadeiras mecânicas. Para proporcionar uma maior produtividade da colheita e maior proteção e ganho do trabalhador rural, tem sido muito empregado a queima da cana antes da

colheita. Entretanto, este procedimento tem trazido como efeito residual para os centros urbanos localizados próximos às lavouras, a fuligem. Para contornar esse problema, estão sendo desenvolvidas diferentes ações, como por exemplo: desenvolvimento de máquinas apropriadas para colheita mecânica de cana não queimada, desenvolvimento de variedades de cana com hábito de despalha natural, muito importante para áreas com topografias inadequadas à colheita mecânica. (Heizier, 2013)

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar representa a necessidade de mão de obra, aliada à busca por rendimentos satisfatórios, menores custos de produção e leis ambientais a cumprir. Foi acordado para 2014 e 2017 o término da queima para áreas mecanizáveis e não-mecanizáveis, respectivamente. Às usinas que aderirem ao cumprimento das regras estabelecidas garantirão o selo ambiental, o qual contribuirá para facilitar a comercialização do etanol.

COSTA NETO (2006) adverte que a mecanização da colheita de cana-de-açúcar é inevitável, pois uma colhedora equivale a 100 cortadores, podendo chegar ao rendimento de 15 a 20 t h⁻¹, comparada a 5 ou 6 t dia⁻¹ por pessoa. O autor afirma, ainda, que programas educacionais e de qualificação profissional são essenciais, assim como políticas públicas objetivas para minimizar reflexos do êxodo rural que provavelmente ocorrerá nos próximos anos.

As perdas quantitativas no campo, as reduções da qualidade da matéria-prima e redução da longevidade do canavial na colheita mecanizada de cana-de-açúcar têm causado preocupações relevantes. No Brasil, na última década, vêm ocorrendo mudanças gradativas na operação de corte de cana-de-açúcar. Em 1950, observava-se que a referida operação era realizada em condições de cana-de-açúcar crua com despalha manual, com os colmos dispostos em eitos formados a partir de três linhas de plantio, no sentido longitudinal do corte, para facilitar o carregamento manual. A vantagem desse sistema era a entrega à unidade industrial de matéria-prima praticamente isenta de impurezas (RIPOLI & RIPOLI, 2005).

Rodrigues (2008) encontrou valores de 3,06 US\$ t para o custo da colheita mecanizada de cana crua e de 7,74 US\$ t para a colheita manual de cana crua, observando-se redução de 60,46% em favor do custo da tonelada colhida mecanicamente.

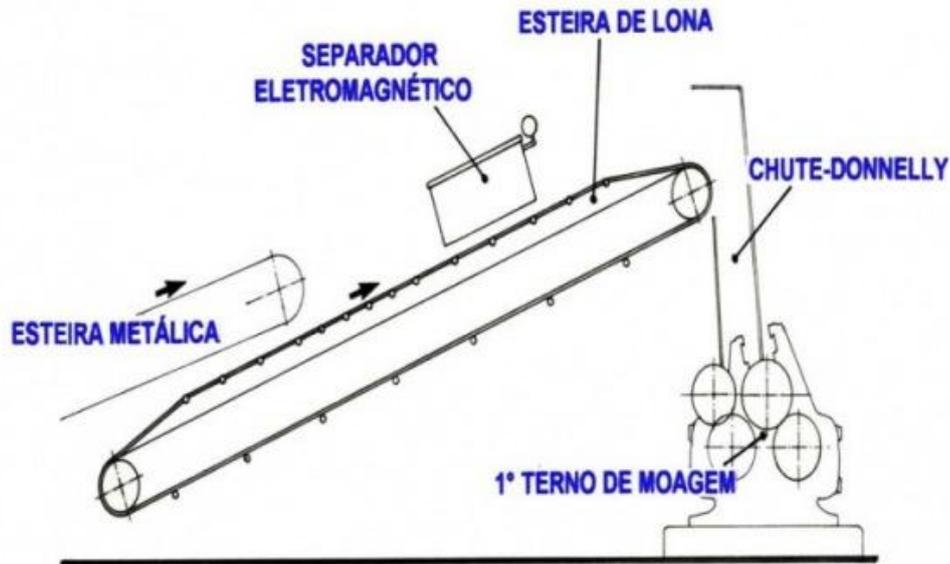
2.2.5 Processo de moagem da cana-de-açúcar

Segundo Heizier (2013) a cana colhida inteira (corte manual) é normalmente lavada para diminuir as impurezas (que afetam negativamente o processamento da cana) na própria mesa de recepção da cana; no caso de cana picada (corte mecanizado), a cana não pode ser lavada, pois as perdas de sacarose seriam muito elevadas, por isso algumas usinas estão começando a utilizar o sistema de limpeza a seco, baseado em jatos de ar sobre a cana.

Da mesa de alimentação, a cana é transportada por esteiras até os equipamentos de preparo; normalmente existe um ou dois conjuntos de facas rotativas, que tem a finalidade de picar a cana (quando inteira) e nivelar a camada de cana na esteira, facilitando o trabalho do desfibrador. Este equipamento, composto de um rotor com martelos oscilantes e uma placa desfibradora, pulveriza a cana e abre as células que contêm os açúcares, facilitando o processo de extração desses açúcares pela moenda (pelo menos 82% das células devem estar abertas para se conseguir uma boa eficiência de extração nas moendas).

Na saída do desfibrador, a altura do colchão de cana é uniformizada por equipamento denominado espalhador, localizado na descarga da esteira metálica, para uma esteira de borracha de alta velocidade e que alimenta a calha de alimentação forçada da moenda (chute Donnely); dentro desta calha, a cana desfibrada forma uma coluna com maior densidade, aumentando a alimentação e capacidade da moenda. O nível da cana dentro da calha é utilizado para controlar o fluxo de cana para a moenda.

Figura 2 - Terno Donnelly

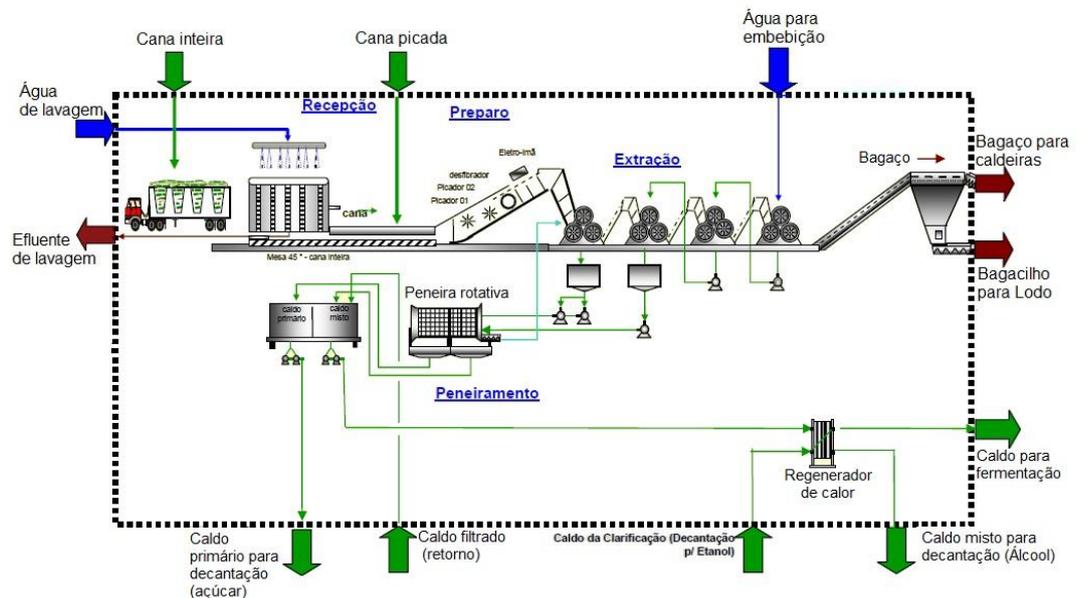


Fonte: Usina Açucareira (2014)

Segundo Rodrigues (2004) a moagem é um processo de extração do caldo que consiste em fazer a cana passar entre dois rolos, com uma pressão pré-estabelecida aplicada a eles. A moenda deve extrair o caldo, como também produzir bagaço, no final do processo, com um grau de umidade que permita sua utilização como combustível nas caldeiras. A moenda é normalmente formada por quatro a sete ternos em série.

Após a passagem pelo primeiro destes ternos, a proporção de caldo em relação à fibra cai de aproximadamente sete para algo entre 2 a 2,5, ficando difícil extrair este caldo residual; o artifício usado é o que se chama de embebição. A embebição pode ser simples, composta e com recirculação, sendo o tipo composta o mais usado. Neste caso, água é injetada na camada de cana entre os dois últimos ternos e o caldo de cada terno é injetado antes do terno anterior até o segundo terno. Normalmente, o caldo extraído no primeiro terno é enviado para a fábrica de açúcar (por ser de melhor qualidade) e o restante do caldo vai para a destilaria. A eficiência de extração de açúcares varia de 94,0% a 97,5% e a umidade final do bagaço é em torno de 50%.

Figura 3 - Processo de moagem da cana-de-açúcar



Fonte: Usina Açucareira (2014)

2.2.6 Processo de tratamento do caldo

Segundo Bayrna (2005) o caldo de cana, quando sai do processo de extração, contém uma quantidade de impurezas que tem de ser reduzida para deixá-lo numa qualidade adequada para seu processamento na fábrica de açúcar e na destilaria. A primeira fase do tratamento é destinada à remoção, por meio de peneiras, dos sólidos insolúveis (areia, argila, bagacilho, etc.), cujos teores variam entre 0,1% e 1,0%. A segunda fase é o tratamento químico, cujo objetivo é remover as impurezas insolúveis que não foram eliminadas na fase anterior e as impurezas coloidais e solúveis; este processo visa à coagulação, floculação e precipitação destas impurezas, que são eliminadas por sedimentação. É necessário, ainda, fazer a correção do pH para evitar inversão e decomposição da sacarose.

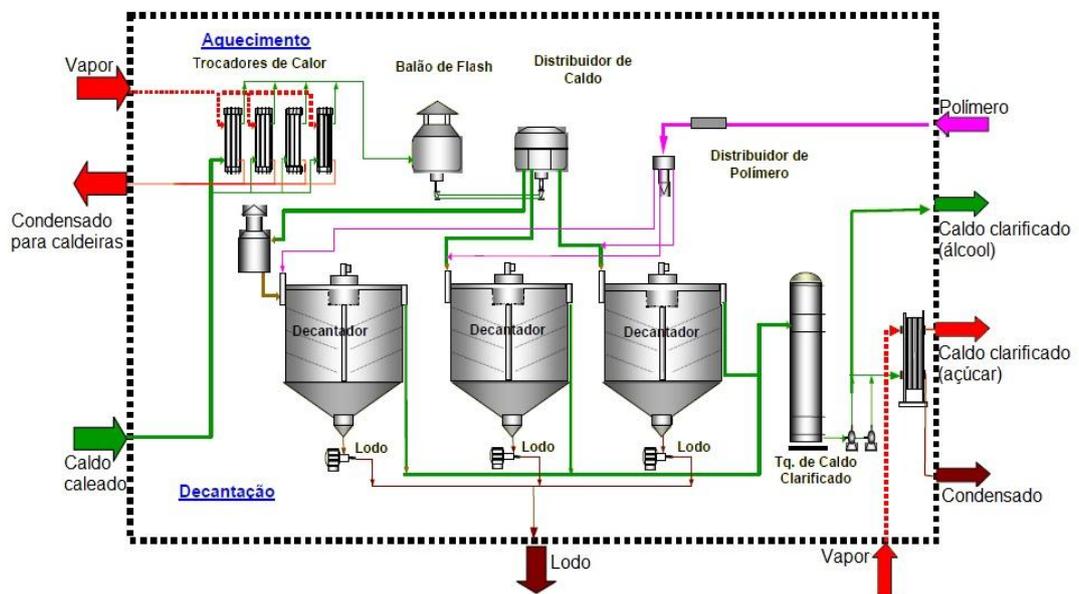
O caldo tratado pode ser enviado à fabricação de açúcar ou de etanol. Na fabricação do açúcar, é obrigatória a etapa de sulfitação, que tem como objetivos principais inibir reações que causam formação de cor, coagulação de coloides solúveis, e formação do precipitado CaSO_3 (sulfito de cálcio) e diminuir a viscosidade do caldo e do xarope, massas cozidas e méis, facilitando as operações de evaporação e cozimento.

Após passar pelo tratamento inicial, o caldo deverá passar pela pasteurização com aquecimento e resfriamento imediato. Um tratamento mais completo do caldo implica adição de cal, aquecimento e posterior decantação, que gera a torta ou lodo, tratamento semelhante ao utilizado na fabricação de açúcar.

Segundo Heizier (2013) polímeros são macromoléculas formadas pela repetição de uma unidade molecular pequena denominada monômero. A reação que produz um polímero é denominada reação de polimerização, em que a molécula inicial (monômero) se une, sucessivamente a outras.

A aplicação de polímeros no caldo promover formação de flocos mais densos nos processos de clarificação do caldo visando a maior velocidade de sedimentação, compactação e redução do lodo, (matéria de sedimentos proveniente da decantação do caldo), melhoria na turbidez do caldo clarificado, produzir lodo com melhor filtrabilidade, ocasionando um caldo filtrado mais limpo, menores perdas da sacarose na torta.

Figura 4 - Processo de tratamento do caldo



Fonte: Usina Açucareira (2014)

No processo de dosagem de fosfato ou ácido fosfórico é a melhor clarificação do caldo, alta taxa de sedimentação, lodo mais concentrado, melhor filtrabilidade de lodo, menor cor no açúcar, açúcar de melhor qualidade.

Segundo Heizier (2013) na sulfitação consiste em adicionar o dióxido de enxofre (SO_2) ao caldo na forma de gás obtido a partir da combustão direta do enxofre em fornos rotativos.

Sendo suas principais vantagens a formação de sulfito de cálcio, sal pouco solúvel que será removido por tratamentos posteriores, redução do pH para precipitação e eliminação das albuminas (pH desejado 3,8 a 4,2) ou que o nível de SO_2 no caldo esteja em torno de 600 ppm, diminuição da viscosidade do caldo e conseqüentemente nos xaropes, massas e méis, ação inibidora de formação de cor, evitar desenvolvimento de microrganismos prejudiciais.

Assim como o processo de dosagem de cal, ou calagem, que tem como princípio reação com ácidos orgânicos presentes no caldo, provocar floculação de colóides e conseqüentemente agrupamento do material em suspensão no caldo, também o cal corrige o pH que deve se manter entre 6,9 e 7,0 pH. (RIPOLI, 2006).

Se essa correção não ocorrer a admissão desses valores críticos descritos acima, pode ocorrer a destruição da molécula de sacarose, assim se for atingindo a temperatura de 55°C e manter-se por um determinado tempo, assim sendo crítico para a formação do açúcar. (RIPOLI, 2006).

2.2.7 Processo de tratamento do lodo

O objetivo da filtração é recuperar açúcar do lodo, retornando-o ao processo na forma de caldo filtrado. O lodo removido dos decantadores possui uma considerável quantidade de açúcar que, portanto, deve ser aproveitado. (BAYRNA, 2005)

Segundo Heizer (2013) a filtração é uma operação difícil de ser regulada e que exige cuidados. Para reunir as melhores condições à sua realização, é preciso observar vários pontos:

1º) Temperatura – A viscosidade dos caldos, sobretudo, das gomas e das ceras que decantam na superfície filtrante deve diminuir com o aumento da temperatura. É, portanto, conveniente filtrar o caldo a alta temperatura. Trabalhe-se, preferivelmente, acima de 80°C .

2º) Reação – Os caldos alcalinos são mais facilmente filtrados que os caldos ácidos ou neutros. Geralmente acrescentava-se cal ao lodo, antes de filtrá-lo, deixando-o com um pH de 8 a 8,5. Isto era necessário com filtros-prensa, porém não com os filtros rotativos a vácuo.

Na fabricação do açúcar, utilizam-se normalmente Filtros-Prensa e Filtros Rotativos a vácuo.

Segundo Bayrna (2005) filtro prensa é um equipamento pouco usado hoje em dia na filtração do lodo, em função da grande mão de obra exigida e de sua capacidade relativamente baixa sendo assim pouco convencional no processo de produção do açúcar. Sendo definido abaixo os melhores filtros para desempenhar essa função.

- Rotativo: menor consumo de polímero, maior área ocupada na fábrica, maior custo de instalação e maior quantidade de torta.

- VP (Filtros Rotativos a vácuo): melhor qualidade do caldo filtrado, facilidade operacional, pode operar sem bagacilho, maior capacidade, maior consumo de polímero, gera água de lavagem de tela com 0,5 brix (usada na embebição), gera um caldo filtrado mais diluído.

Segundo Bayrna (2005) depois de retirar a sacarose do lodo é homogeneizado com água e retorna ao processo de inicial do tratamento de caldo na forma de caldo filtrado, o resíduo desse processo recebe o nome de torta e tem como destino a adubação de lavouras.

2.2.8 Processo de evaporação do caldo do açúcar.

Segundo Ribeiro (1999) o caldo clarificado que flui para os evaporadores é uma solução diluída de sacarose de 13 a 16 brix e que apresenta uma temperatura variável entre 95 - 98 °C. A remoção da maior parte da água deste caldo (83 a 86%) constitui o objetivo principal da evaporação. Nas usinas, a concentração do caldo clarificado até a fase da cristalização de sua sacarose é realizada por razões de ordem técnica e econômica, em dois estágios:

a) 1º estágio: compreende a concentração do caldo clarificado em evaporadores de múltiplos-efeitos até a obtenção de um líquido denso, de cor marrom, denominado xarope e que não mostra nenhum sinal de sacarose cristalizada. Sua concentração é variável de 55 a 65 brix.

b) 2º estágio: compreende a concentração do xarope, em evaporadores de simples efeito até a condição de massa cozida, produto este constituído de cristais de sacarose e de mel, possuindo aproximadamente 90 brix. Este segundo estágio é conhecido por cozimento.

Segundo Bayrna (2005) as bases da evaporação do caldo clarificado em aparelhos de múltiplos efeitos, estão alicerçados em três princípios básicos, destacando-se em importância o primeiro que diz: “Em um múltiplo efeito, cada quilograma de vapor usado no primeiro vaso, evaporará tantos quilogramas de água quantos forem os vasos”. Diante deste princípio, tem-se: num simples-efeito, um quilograma de vapor evapora um quilograma de água. Num duplo efeito: um quilo de vapor evapora dois quilos de água, etc. Portanto, um quilo de vapor evaporará o número de evaporadores em quilos de água.

Verifica-se que, por este princípio, o consumo de vapor se restringe apenas ao primeiro vaso e que quanto maior for o número de vasos, mais econômica será a operação.

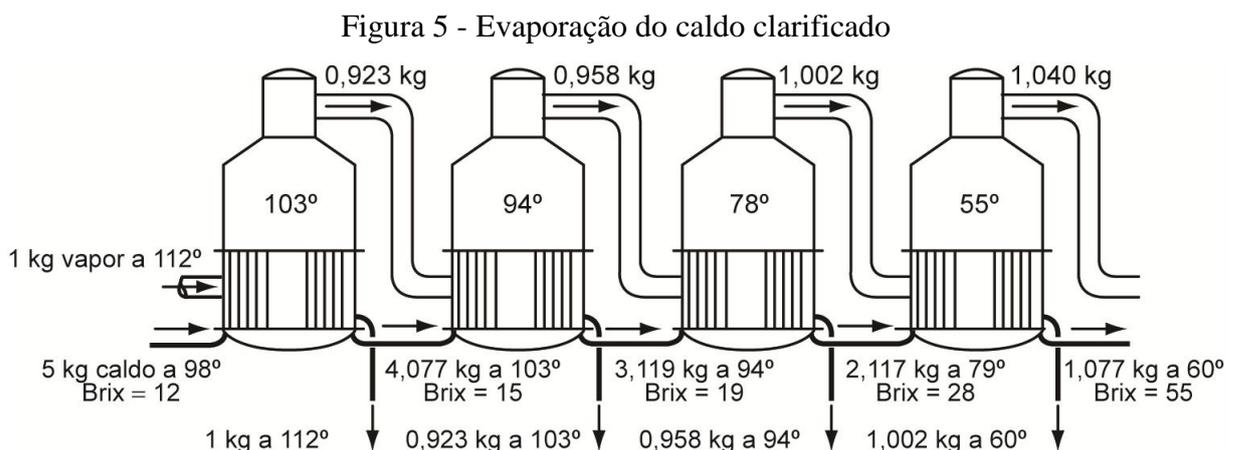
Mas por questões de ordem econômica e técnica, a evaporação se restringe à utilização de três a cinco vasos (quanto maior número de vasos, maior custo de equipamentos, dificuldades no controle da operação).

O segundo princípio diz respeito à utilização do vapor efluente (vapor vegetal) de qualquer dos vasos de múltiplo efeito em outros setores da fábrica, o que representa uma 43 economia do sistema.

O terceiro, refere-se a necessidade de se extrair continuamente das calandras, os vapores incondensáveis que são prejudiciais à evaporação.

Segundo Ribeiro (1999) a evaporação do caldo realizada em apenas um vaso é a de simples-efeito. Os gases resultantes dessa operação vão diretamente ao condensador. Este caso é usado nas operações de cozimento. No múltiplo efeito, quando o vapor do primeiro corpo é encaminhado a um segundo vaso, tem-se um duplo efeito; o vapor deste para o aquecimento do terceiro, tem-se o tríplice-efeito. E assim, um quadruplo-efeito, um quádruplo-efeito, se forem aproveitar os vapores resultantes da ebulição do caldo do vaso anterior.

O vapor do último irá sempre para o condensador. Atualmente usa-se um pré-evaporador, o que nada mais é do que um primeiro vaso de evaporação, diferenciado dos demais pelo seu tamanho. O caldo entra no pré-evaporador com cerca de 13 brix aproximadamente e sai com 20-25 brix, seguindo para o primeiro vaso propriamente do quadruplo-efeito.



Fonte: Usina Açucareira (2014)

Segundo Ribeiro (1999) o funcionamento deste conjunto obedece ao seguinte esquema: o caldo clarificado flui do decantador e é encaminhado a uma caixa que tem a incumbência de alimentar continuamente, através de bomba, o 1º vaso do múltiplo efeito (pré

ou primeiro vaso do quadruplo- efeito). O aquecimento deste primeiro vaso evaporador é feito com vapor de escape das turbinas.

Percebe-se que o conjunto trabalha sob condições decrescentes de pressão, considerando do primeiro ao último vaso. Com esta diminuição de pressão, consegue-se a diminuição da temperatura de ebulição do caldo em evaporação, permitindo a utilização do vapor vegetal que possui temperatura igual ou inferior à 100 °C, e ainda a menor formação de substâncias corantes. O caldo passa, em consequência das diferenças de pressão, de vaso a vaso, até sair na condição de xarope no último vaso. (RIBEIRO, 1999)

2.2.9 Processo de cristalização e centrifugação.

Segundo Ribeiro (1999) o xarope, material que flui dos evaporadores em múltiplos-efeitos, tem uma concentração variável de 50-60° Brix. O xarope é bombeado do último vaso de evaporação para uma caixa metálica, situada próximo dos evaporadores e cozedores.

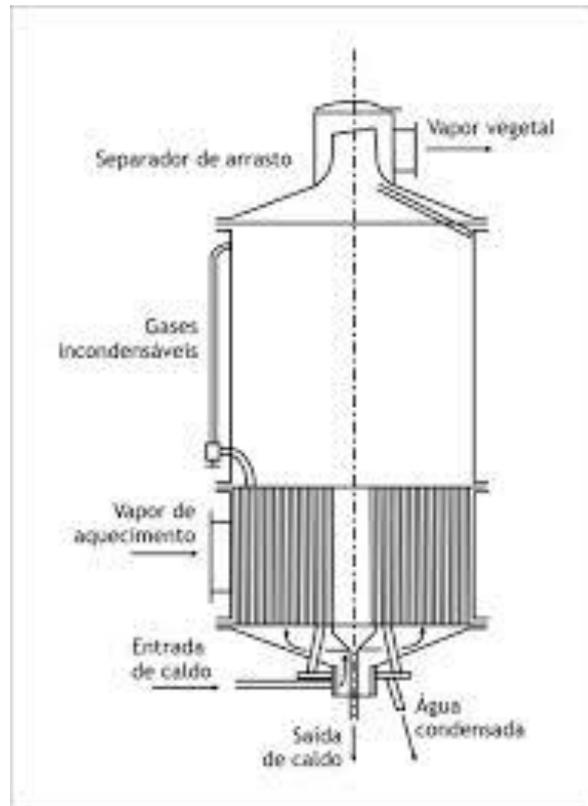
No cozimento, a concentração do xarope e obtenção dos cristais são feitas em 2 fases:

a) Fase inicial: formação dos cristais de sacarose. Esta fase é conhecida por nucleação, pé de cozimento ou granagem.

b) Fase final: crescimento dos cristais. Os cristais crescem de tamanho pela deposição de sacarose nos núcleos inicialmente formados. O produto final formado é a massa cozida, formada de cristais de sacarose e mel.

Segundo Ribeiro (1999) um cozedor é um vaso de simples-efeito, muito semelhante a um corpo de evaporação em múltiplos-efeitos. As diferenças essenciais entre um cozedor e um evaporador dizem respeito a forma do fundo do vaso, as dimensões dos tubos de aquecimento e de circulação de massa cozida, as condições de pressão e temperatura de trabalho e a forma de operação. A configuração do fundo do cozedor é determinada de tal forma a favorecer a circulação da massa cozida que é viscosa e espessa. A abertura da saída da massa na parte inferior é de grande diâmetro o que facilitará o seu rápido escoamento. O cozedor é construído em chapas de aço carbono, possuindo em sua parte superior o domo e o vaso de segurança por onde saem os gases para o condensador.

Figura 6 - Esqueleto cozedor de açúcar



Fonte: Usina Açucareira (2014)

Segundo Bayrna (2005) a cristalização dos cristais de sacarose nos cozedores tem por objetivo:

- a) aumentar o tamanho dos cristais;
- b) aumentar a esgotabilidade dos méis;
- c) aumentar o rendimento final em termos de quilogramas de açúcar por tonelada de cana moída.

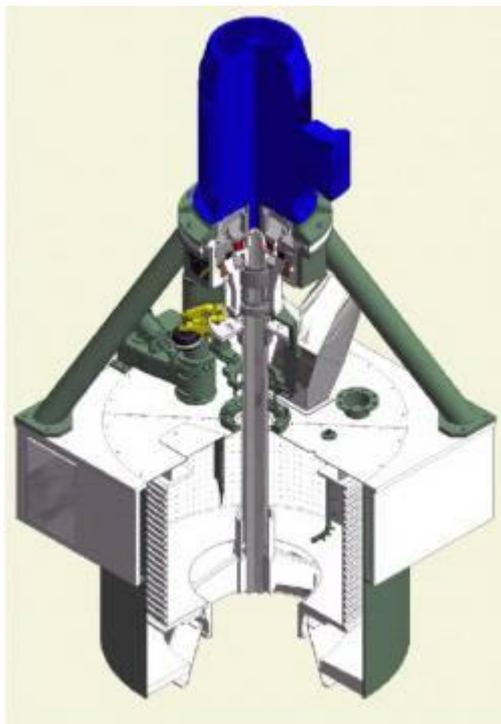
Segundo Ribeiro (1999) após o processo de cozimento a massa cozida com os cristais já desenvolvidos são armazenadas em enormes caixas de nome cristalizadores aonde, a temperatura da massa cozida à saída dos cozedores varia de 65 a 75° C e nos cristalizadores a massa cozida vai se resfriando, podendo chegar às condições de temperatura ambiente. Entretanto, é necessário que esta massa cozida seja mantida em movimento, pois, caso contrário, ela pode se endurecer e formar um bloco único e de difícil manipulação.

Segundo Ribeiro (1999) a separação dos cristais da massa cozida é feita pela ação da força centrífuga em centrífugas de tipos variáveis - fluxo intermitente e fluxo contínuo - em função da natureza da massa cozida. As centrífugas açucareiras constam essencialmente de

cesto perfurado suspenso por um eixo ligado a um motor elétrico, que propicia rotações de 1200-2600 rpm.

Nestas centrífugas, a massa cozida é introduzida por gravidade no cesto, sendo que o mel atravessa a tela, enquanto que os cristais são retidos. Durante a operação de centrifugação, em função do sessenta e um tipo de açúcar em processo, os cristais podem ser submetidos a uma lavagem com água e vapor. O mel proveniente das massas cozidas de maior pureza, retorna ao processo, enquanto que o proveniente da centrifugação da massa cozida de menor pureza, denominada de melaço ou mel final é enviado, normalmente, para a destilaria para a produção de álcool ou comercializado “in natura” (RIBEIRO, 1999).

Figura 7 - Modelo centrífuga de açúcar



Fonte: Texas Industrias LTDA (2014)

2.2.10 Processo secagem

Segundo Ribeiro (1999) vários são os tipos de secadores utilizados, mas, quanto à sua posição de trabalho, eles podem ser classificados em dois tipos essenciais: o horizontal e o vertical

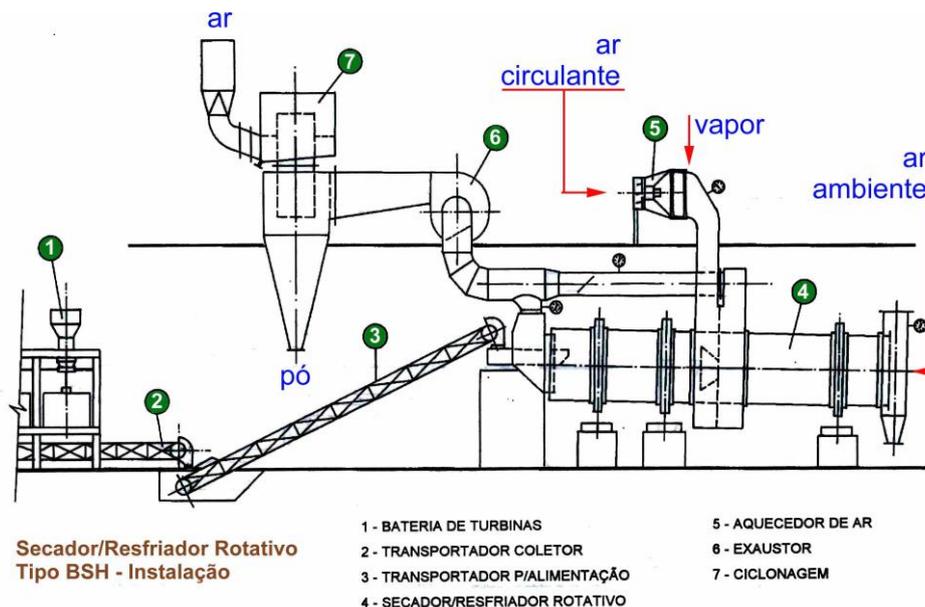
Secador horizontal em contracorrente O ar de secagem deve ser aquecido, pois, a remoção de umidade cresce com o acréscimo de temperatura. O grau de saturação do ar de

entrada também tem importância na eficiência da secagem. O açúcar entra nos secadores com uma temperatura de 52 – 60 °C e deve deixá-lo com 30 – 35 °C.

Para isto o ar utilizado para a secagem tem que ser aquecido, mas não deve estar a uma temperatura superior a 95 – 105 °C, de modo geral está em torno de 70 – 90 °C. Temperaturas acima de 110 °C podem caramelizar o açúcar. Após a secagem o açúcar deve ser pesado para os controles operacionais necessários.

Segundo Bayrna (2005) A operação de secagem consiste num abaixamento da umidade do açúcar até um ponto que ela seja compatível com a estocagem, outro ponto importante a considerar é que a temperatura do açúcar na saída dos secadores deve ser mantida preferencialmente na faixa de 30 a 40°C para que não ocorra amarelamento e empedramento do açúcar no período de estocagem. O açúcar então vai ser armazenado a granel ou acondicionado em sacos (o mais usado é o de juta com capacidade de 50 Kg). Para exportação usa-se muito o “big-bag” com capacidade de 1 tonelada.

Figura 8 - Processo de secagem de açúcar



Fonte: Usina Açucareira (2014)

2.2.11 Processo armazenamento

Segundo Ribeiro (1999) a melhor condição para estocagem é aquela que não possibilita o crescimento de microrganismos, os quais podem favorecer a decomposição e perda de sacarose. Um grande número de microrganismos pode se desenvolver no açúcar, em

condições favoráveis, como: bactérias, fungos e leveduras, principalmente no filme de mel, mas não pode desenvolver-se em elevadas concentrações de sólidos neste filme.

Segundo Bayrna (2005) o açúcar a ser armazenado não pode ser seco abaixo da sua umidade de equilíbrio, isto é, com o conteúdo de umidade que está em equilíbrio com o ar que o rodeia. A umidade de equilíbrio varia com a umidade do ar, e, no caso do açúcar demerara, com a natureza e a quantidade de impurezas.

Segundo Ribeiro (1999) define as características do açúcar que pode ser armazenado tendo menores possibilidades de se deteriorar se tem as seguintes condições:

- a) ausência relativa de insolúveis no açúcar, isto é, se a massa cozida foi obtida de um caldo bem clarificado;
- b) o cristal consista em um grânulo duro, uniforme, de tamanho médio e livre de conglomerados;
- c) se a relação entre a umidade e a polarização está dentro dos fatores de segurança;
- d) se o açúcar não foi lavado, isto é, se conserva o filme de mel original;
- e) se foi obtido sob condições sanitárias boas.

Segundo Bayrna (2005) Os principais fatores que causam deterioração:

- falta de assepsia no processo
- água de lavagem de açúcar contaminada
- tamanho irregular dos cristais
- retenção excessiva de umidade na película de mel que recobre os cristais
- mistura de açúcares de diferentes polarizações
- presença de microrganismos
- condições anormais de armazenamento.

Segundo Ribeiro (1999) o empedramento do açúcar é uma dos principais problemas em sua armazenagem e está relacionado ao teor de umidade, temperatura no momento do ensacamento, condições de tempo e armazenamento. O empedramento do açúcar causará problemas quanto ao armazenamento e ao transporte. Observou-se que o açúcar bruto ensacado, com teor de umidade acima de 0,8%, apresentava formação de torrões ao armazená-lo. A explicação para esta ocorrência é que o açúcar, ao perder umidade e esfriar, concentra a película de mel que atinge o coeficiente de supersaturação e, nestas condições, a sacarose dissolvida se cristaliza.

Segundo Bayrne (2005) outro fator importante é a temperatura de ensacamento. Se superior a 43° C, aumenta o risco de formação de torrões e endurecimento, pois favorece a

evaporação da água, concentrando sacarose no mel, a qual se cristalizara soldando os cristais entre si.

2.3 Do instrumento de medição

2.3.1 Instrumentação

Segundo Viana (1998) instrumentação é a ciência que aplica e desenvolve técnicas para adequação de instrumentos de medição, transmissão, indicação, registro e controle de variáveis físicas em equipamentos nos processos industriais.

Nas indústrias de processos tais como siderúrgica, petroquímica, alimentícia, papel, etc.; a instrumentação é responsável pelo rendimento máximo de um processo, fazendo com que toda energia cedida, seja transformada em trabalho na elaboração do produto desejado. As principais grandezas que traduzem transferências de energia no processo são: pressão, nível, vazão, temperatura; as quais denominamos de variáveis de um processo.

Já cabe a instrumentação definir e medir variáveis de processo com o auxílio de instrumentos de mediação, assim Viana (1998) tem como definição:

Instrumentos: medem variáveis de processo. Em instrumentação, quando dizemos "medir" geralmente queremos dizer indicar, registrar, totalizar ou controlar. Medida é o tipo mais comum de controle. Os instrumentos de controle industrial, trabalham só ou em combinação para sentir e controlar o trabalho das variáveis do processo. Os mostradores são os indicadores e registradores.

Variáveis de Processos: são fenômenos físicos que chamamos simplesmente variáveis, por exemplo: vazão, temperatura, pressão, nível, densidade, etc. Cada sistema de Instrumentos pode ser compreendido em termos do que ele faz, por exemplo: indicar temperatura ou totalizar vazão ou registrar pressão, ou controlar nível. Cada uma dessas questões é a base da descrição de sistema de instrumentos.

Assim a instrumentação é a ciência que por vir irá atuar na área determinada do processo a ser estudado, por cabe a ela determinar se o ponto de medição está apto e atua de forma confiável.

2.3.2 Sistema de controle

No ponto que temos como objetivo do estudo, está a disposição de uma malha fechada aonde um transmissor de pH que controla a variável de rotação da bomba de cal por meio de um PID, assim aplicando o mesmo de maneira continua.

Segundo Viana (1998) transmissor é um dispositivo que prepara o sinal de saída de um transdutor para utilização a distância, fazendo certas adequações ao sinal. Estas adequações são os chamados padrões de transmissões de sinais. Um exemplo bastante conhecido é o loop 4 à 20mA, que um padrão de transmissão de sinais em corrente ou comunicação Hart. O termo transmissor é utilizado também para dispositivos que integram um sensor, transdutor e transmissor no mesmo dispositivo.

Nessa descrição temos a base pra indicar que o transmissor de pH obtém a leitura do acidez do caldo (pH) e nos transmite a variável em mA.

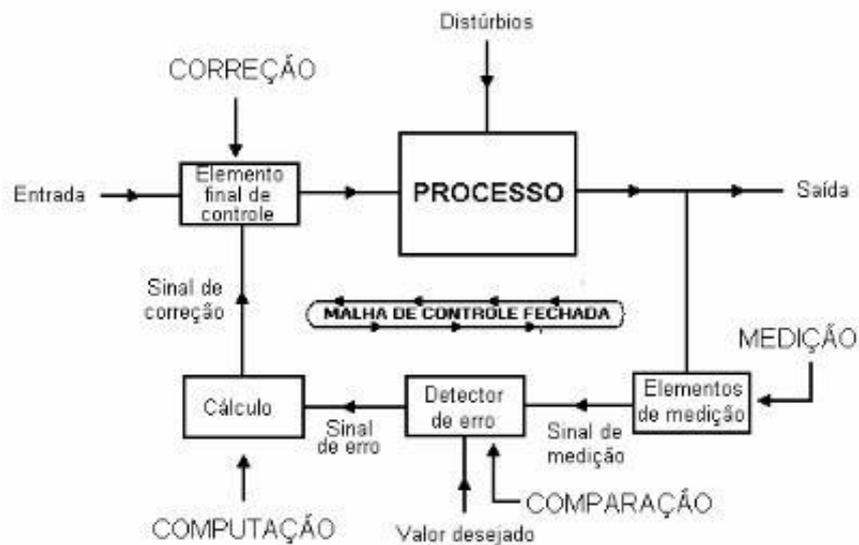
Segundo Viana (1998) sendo um sistema de controle automático como a manutenção do valor de uma certa condição através da sua média, da determinação do desvio em relação ao valor desejado, e da utilização do desvio para se gerar e aplicar um ação de controle capaz de reduzir ou anular o desvio.

Ou seja, um sistema PID, aonde obtemos o valor da variável do transmissor de pH, estabelecemos um valor prévio, ou set point, aonde o PID tenta corrigir esse erro através do controle de um inversor que dosa insumo no caldo.

Segundo Viana (1998) segue-se da seguinte forma a programação de uma sistema automático, ou PID:

- A- Medida do valor atual da variável que se quer regular.
- B- Comparação do valor atual com o valor desejado (sendo este o último indicado ao sistema de controle pelo operador humano ou por um computador). Determinação do desvio.
- C- Utilização do desvio (ou erro) para gerar um sinal de correção.
- D- Aplicação do sinal de correção ao sistema a controlar de modo a ser eliminado o desvio, isto é, de maneira a reconduzir-se a variável ao valor desejado. O sinal de correção introduz pois variações de sentido contrário ao erro.

Figura 9 - Sistema de Malha fechada



Fonte: Viana (2008)

Sendo assim o sistema proposto um controle de malha fechada aonde a ação de controle depende, de algum modo, da saída. Portanto, a saída possui um efeito direto na ação de controle. (Viana, 1998)

Neste caso, conforme pode ser descrito a saída que seria a ligação direta com o inversor da bomba de dosagem é sempre medida e comparada com a entrada que no caso seria o transmissor de pH a fim de reduzir o erro, ou seja a acidez do caldo e manter a saída do sistema em um valor desejado.

Nesse sistema é necessária a aplicação de um controlador PID e de extrema importância, ele que irá calcular a variável indicada pela interface humana (set-point), e fara a correção do erro de acordo com a indicação do instrumento designado (PV).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Materiais

- Notebook.
- Impressora.
- Caneta, lápis, borracha, prancheta.
- Folhas para fichamento.
- Pacote com planilha e editor de texto eletrônico.
- Pastas de arquivo.

3.2 Métodos

Este estudo foi realizado em uma empresa do setor sucroenergético, que utiliza cana-de-açúcar para a produção de açúcar, etanol e seus subprodutos, desta forma a compreensão da política de moagem é de extrema importância a correta interpretação dos números.

O fator meteorológico tem uma total influência na colheita da cana-de-açúcar na lavoura, onde conforme as chuvas torrenciais acontecendo em longos períodos, ocorre a dificuldade do maquinário em se movimentarem para sua extração. Além dessa dificuldade logística, a colheita da matéria prima não é recomendada pelo fato de se extrair por inteiro caule e raiz, impossibilitando seu crescimento cíclico, que é de 4 anos. Assim, a chuva interfere diretamente na moagem parando o processo, e, por isso, a medida utilizada tem sempre sua divisão relacionada a quantidade de cana moída e não de forma temporal como as demais empresas.

Ao iniciar os registros dividiu-se a utilização dos insumos e mão-de-obra relacionados a quantidade de cana moída em um determinado período. Tendo seu início de registro datado do dia 21 de maio e o término no 22 de outubro, contabilizando 167 dias de safras analisados. No mês de maio 19 dias de moagem e 4 com parada por chuva, junho 30 dias de moagem sem período de chuvas, julho com 30 dias de moagem e um dia de processo parado por chuva, agosto também com 30 dias de moagem e 1 dia de chuva, setembro com 26 dias de moagem e apenas 4 dias de chuva e outubro 22 dias de moagem denotados até o fim da observação.

O início da safra foi marcado pelo dia 4 de Maio, então conforme deste dia até o dia 22 de Maio começou o processo padrão compreendido como moagem teste e adequação de fábrica e equipamentos, afim de localizar falhas e possíveis erros cometidos na entressafra, condicionando os instrumentos ao processo com um tempo hábil para corrigi-los para assim dar início a produção contínuo de fabricação.

O primeiro período do estudo foram demarcadas do dia 22 de maio até dia 23 de junho, totalizando neste período 27 dias de moagem, com uma moagem média de 20409 mil Ton/cana por dia, onde o segundo período por conseguinte foi marcado pela estiagem e um processo agressivo que exigiu bastante dos equipamentos, moendo 30 dias seguidos com uma média de 20887 toneladas de cana dia, com um acumulado de 598961 toneladas de cana. Com a chegada do terceiro período, que data de 22 de julho a 21 de agosto, é o período de maior produtividade para o processo, quando a porcentagem de sacarose na cana-de-açúcar chega em seu ápice, em torno de 14%, possibilitando a extração desta em maior volume, assim contabilizando números de moagem de 509289 toneladas de cana com uma média diária de 18837, mas também é retratado pelo constante defeito de máquina pois se trata da metade do momento de safra. Com a chegada do quarto período que se estende do dia 22 de agosto até 21 de setembro, é marcada com uma ligeira queda no rendimento produtivo da matéria-prima, contabilizando 503844 toneladas de cana dia com uma média de 19842 toneladas de cana por dia.

No quinto e último período onde foi coletado os dados para a aferição da implantação é marcado pela proximidade do término da safra, onde a matéria-prima a ser colhida se encontra em posições logísticas desfavoráveis, desta forma a moagem média diária cai para 18815 toneladas dia, tendo um período sem chuva portanto sem paralização do processo, uma moagem acumulada de 542402 toneladas de cana dia, sendo dia 22 de outubro o último dia e apontamentos para realização dos relatórios.

A Tabela 1 mostra o tempo de moagem efetiva da safra 2013/2014.

Tabela 1 – Tempo de moagem efetiva da safra 2013/2014

Período	Tempo de Funcionamento Efetivo				
	1º período	2º período	3º período	4º período	5º período
Dias trabalhados	31	30	31	31	30
Dias de moagem parada por chuva	4	0	2	4	0
Dia de moagem efetiva	27	30	29	27	30

O processo de implantação do sistema TPM teve o início do planejamento e adequação entre a liderança no começo de julho e teve sua implantação efetiva dia 22 de agosto. Com base na literatura, os resultados efetivos apareceram após o decorrer de um tempo do início da implantação, pelo fato de se fazer necessário alguns ajustes e avaliar estratégias, demonstrando na Tabela 2 os números de moagem destes períodos.

Tabela 2 - Moagem safra 2013/2014

Período	Moagem safra 2013/2014 (TON)				
	1º	2º	3º	4º	5º
Moagem Acumulada	533149	598961	509289	503844	542402
Moagem Media	20409	20887	18837	19842	18815

O estudo se dividiu em dois momentos, sendo o primeiro momento uma análise dos dados do primeiro até o terceiro período, que ajudaram a compreender as dimensões do consumo de insumos, equipamentos e mão-de-obra que a empresa está regendo hoje e em um segundo momento, o quarto e quinto período, quando se implantou a manutenção produtiva total, relacionando-os com o auxílio de métricas de processo.

Esses indicadores auxiliaram para determinar se as metas de redução de insumos foram atingidas, assim possibilitando uma visão macro e racional do sistema, direcionado a tomada de decisão a fim de cumprir o objetivo do estudo, que a redução total dos insumos por meio de uma manutenção planejada.

Utilizando a família de indicadores P ,Q, C, D, S, M, que tem sua tradução do inglês *productivity, quality, cost, delivery, safety e morale*, significando em português: produção, qualidade, custo, entrega, segurança e moral.

Dentro de cada grupo foram definidas métricas agregadas de acordo com as características do processo, afim de medir pontos que acrescentam valor a empresa e a

produção, utilizando metodologias da manutenção produtiva total reduzindo falhas, na forma de uma manutenção espontânea, sendo executada pelo próprio operadores.

Foi utilizado um procedimento metodológico combinando dois distintos tipos de técnicas de coleta de dados, sendo eles a pesquisa bibliográfica e trabalho de campo realizado em uma usina do setor sucroenergetico localizada no interior de São Paulo, auxiliado por um *software* de controle de gestão, com o propósito de obter informações sobre indicadores processuais e da função manutenção.

Analisou-se a implantação de um sistema de controle de manutenção no setor de tratamento de caldo, focando na manutenção autônoma e nos desperdícios proporcionados por um sistema de controle automático na dosagem de insumos, considerando que é de vital importância a utilização de um método de gerenciamento de processo de sistema, para se desenvolver de maneira organizada o objetivo.

3.2.1 Planejamento

O processo de tratamento do caldo da cana-de-açúcar é vital para a produção do açúcar branco, é nele que o caldo recebe os tratamentos necessários para que hajam os fatores que levem a clarificação do produto afinal, atingindo as expectativas do cliente. Comparando com a literatura, definiu-se que o mesmo é um ponto crítico porque envolve processos como o de aquecimento, calefação, sulfitação e decantação.

O processo de tratamento de caldo utiliza insumos sendo recursos naturais que não podem ser regenerados ou reutilizados a uma escala que possa sustentar a taxa de consumo, também chamado de recursos não sustentáveis. Esses recursos não renováveis por muito tempo tem sido palco de discussões internacionais pela sua utilização, sendo desenvolvidos estudos para diminuir seu consumo, pois causam um impacto social e global. Um exemplo a ser citado é a utilização do enxofre na forma de sal, que a partir da combustão direta em fornos rotativos libera o dióxido de enxofre (SO₂) ao caldo na forma de gás, sendo ele um gás tóxico liberado por meio de chaminés filtradas a atmosfera.

Sendo uma empresa agroindustrial, utilizando da terra para gerar sua matéria-prima, ela desenvolve uma política sustentável, reutilizando os resíduos renováveis como a vinhaça e a torta em meio cíclico no processo. Quanto aos resíduos não renováveis, a empresa compensa a sociedade com projetos sociais, por não ter essa volatilidade em reutilizá-los.

Tendo seu processo produtivo evoluindo gradativamente ano a ano, também aumenta a utilização destes insumos em meio ao processo, adotando-se medidas para diminuir sua utilização com melhores tratamento dos mesmos, assim como demonstra a Tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de insumos não renováveis – Safra 2009 até 2012

	Materiais (t)		
	2009/2010	2010/2011	2011/2012
Não renovável			
Cal virgem	2.191,94	2.270,95	2.300,37
Ácido sulfúrico	1.413,86	1.533,09	1.273,90
Enxofre	328,73	353,62	372,78
Soda cáustica	171,41	154,59	135,28
Polímero	-	39,54	29,41
Antiespumante	18,00	44,08	40,13
Outros materiais	209,99	11.309,62	15.130,03
Total	4.333,93	15.705,49	19.281,90

Entendendo a importância, o foco volta-se ao processo posterior ao de sulfitação, que tem como objetivo neutralizar a acidez do caldo, deixando em níveis decantáveis. Mas este processo de neutralização de pH tem sido por muito tempo uma referência de problemas na não-linearidade pelo controle químico. Isso se deve não apenas a sua importância em diversos processos industriais e biológicos, mas também a sua grande não linearidade, podendo variar sensivelmente sob pequenas mudanças nas condições iniciais do processo.

Pode-se facilmente entender que é necessário manter um controle rígido na medição das variáveis de processos que envolvem a neutralização ácida. Segundo Favero (2013) a melhor forma de controlar a alcalinização do caldo da cana-de-açúcar é através de um potenciômetro registrador e controlador contínuo de pH. Na empresa citada, tem-se empregado um instrumento transmissor de pH, atuando em um sistema PID controlando uma bomba centrífuga que remete o cal junto processo de neutralização.

O transmissor e controlador de pH além de ser uma ferramenta vital para a qualidade do produto final é também uma fonte de dados, tornando possíveis a análise destes processos produtivos, possibilitando a averiguação dos eventos ocorridos e a análise e otimização. Analisando-se de outra maneira, ele pode ser um agente redutor de insumos que envolvem a dosagem do processo, tratando-se de estar situado em meio ao processo, tendo como fornecedor o processo de sulfitação e o cliente o processo de decantação e peneiramento.

Ao apresentar algum defeito do transmissor de pH e havendo a necessidade da inserção da manutenção de maneira corretiva, acarretava num uso às vezes em demasia ou insatisfatório do cal e, por conseguinte, a correção era realizada no decantador pelo polímero para que não se perdesse a qualidade nem aumentasse o tempo desta massa em cozimento e centrifugação para atender as necessidades do cliente.

Dentro do sistema empregado na empresa estudada, esse transmissor não é considerado como ponto crítico de processo, sendo então retirada sua criticidade do planejamento de manutenção e periodizado rotas de inspeção de funcionamento mensais.

Desta forma, a implantação de um sistema de manutenção afim de demonstrar que é possível interferir no consumo de insumos não renováveis através de uma manutenção planejada no transmissor de pH, propôs como idéia central a utilização de uma manutenção autônoma e pró ativa, capacitando os colaboradores do setor de tratamento de caldo como executores de uma manutenção preventiva.

Essa manutenção antes realizada pelo setor de instrumentação, consistia na calibração semanal do transmissor de pH utilizando soluções padrões de 4,0pH e 7,0 pH conforme a descrição do fabricante. Após recolhia-se uma amostra em pontos pré estabelecidos e comparava-se a efetividade da operação de calibração com um segundo equipamento no laboratório industrial.

Esse roteiro de manutenção preventiva tornou-se responsabilidade do operador de tratamento de caldo, onde com a proximidade do processo e o conhecimento tácito deste meio, facilitaria na detecção dos problemas dos equipamentos ou manobras erradas na produção.

Dentro dos limites propostos pela empresa com esse estudo, houve um comprometimento dos líderes de manutenção e fabricação de açúcar, por meio de informativas diárias exporem os conceitos de TPM, métodos de fabricação, segurança e ferramentas da qualidade, tendo o objetivo de fazer o processo de manutenção e produção de maneira integrada com a qualidade do produto, utilizando-se um sistema planejado como proposto pela manutenção produtiva total, direcionando recursos já existentes, de maneira com que aumente a disponibilidade global de máquinas, proporcionando lucros.

3.2.2 Etapas da implantação da manutenção produtiva total

Pode-se definir o TPM como uma série de métodos destinados a garantir que cada máquina em um processo de produção seja sempre capaz de realizar tarefas necessárias para

que a produção jamais seja interrompida, através da integração de pessoas, processos e equipamentos.

Por se tratar de um piloto, seguiu-se passo referentes a implantação desse método de maneira definitiva, restringindo alguns passos dentro das limitações impostas pela empresa, pois este estudo tem o intuito de demonstrar a necessidade da implantação da TPM para com o processo de tratamento de caldo, principalmente nos pontos críticos relevantes, o transmissor de pH.

A implantação seguiu os passos descritos na revisão de literatura:

- comprometimento da alta gerência: a alta gerência precisa decidir adotar o método. Não deve apenas se envolver, mas se comprometer na sua realização. Por meio de conversas e apresentando idéia, houve o apoio da gestão que envolve o tratamento do caldo do açúcar e instrumentação responsável pela manutenção do setor.

- Estabelecimento de uma linha piloto: linha piloto é necessária para depurar o método e melhorar o aprendizado. Foi proposta a implantação piloto em meio ao contexto representado pelo estudo, no setor responsável pelo tratamento do caldo do açúcar, de maneira a ser analisado seus resultados para futuras maiores implantações.

- Treinamento de chefias e supervisores: é necessário dominar os conceitos de TPM. Desta forma, os supervisores tinham um embasamento sobre o assunto e procuraram se aprofundar de acordo com que foi proposto o estudo.

- Preparação dos instrutores: os instrutores seriam responsáveis pelo treinamento dos operadores, mecânicos, etc. Por se tratar de um processo piloto, a instrução foi realizada pelos líderes e responsáveis da manutenção para a correta realização dos procedimentos operacionais.

- Preparação de documentos e procedimentos: documentos e procedimentos elaborados por pequenos grupos de trabalho. Com o auxílio do órgão responsável pelo planejamento e controle da manutenção, criou-se rotinas de verificação e acompanhamento para junto dos profissionais do processo que se tornaram responsáveis pela manutenção autônoma dos equipamentos.

- Treinamento dos operadores: introdução à TPM por meio de rigoroso treinamento. Por se tratar de um programa experimental, optou-se da introdução da idéia em conversas no primeiro período do dia, onde demonstravam a importância das boas práticas de fabricação, segurança, TPM e assuntos relacionados com a política da empresa.

- Implantação efetiva da TPM: áreas da fábrica passam a utilizar a TPM. A implantação deste projeto piloto foi dia 22 de agosto com o auxílio dos líderes de setor envolvidos.

- Medição dos resultados: parâmetros para acompanhar a influência da TPM nos resultados das áreas que a utilizam. Esses indicadores foram demonstrados através da metodologia P,Q,C,D,S,M junto com outros demonstrativos de processo.

- Auditoria: desenvolvimento de um sistema de auditoria para introduzir os ajustes da TPM. Ficando a cargo dos líderes supervisionar o andamento correto do sistema e os profissionais da manutenção acompanharem os métodos utilizados.

A implantação do sistema TPM partiu com a idéia central manutenção autônoma onde o colaborador do tratamento de caldo realizando uma verificação das condições do transmissor de pH e agindo de forma preventiva se necessário. Foi delegada a responsabilidade de interpretar os relatórios diários gerados a partir de dois pontos de aferição, laboratorial e campo, assim dando a ele as condições para realizar uma calibração conforme o padrão do fabricante se o desvio padrão do instrumento fosse não conforme a tolerância de três pontos.

Essa idéia foi proposta junto aos líderes de produção de açúcar e instrumentação, ficando definido que se o problema fosse intermitente ou complexo, o acionamento da manutenção seria necessário e a solução envolvesse a calibração e conservação ficaria a cargo da produção. Aonde se definiu as seguintes responsabilidades:

Tabela 4- Evolução das responsabilidades de conservação da operação

	Antes do TPM	Com o TPM
conservar	responsabilidade da manutenção	responsabilidade da produção
consertar	responsabilidade da manutenção	responsabilidade da manutenção

A TPM possuem as seguintes características, um sistema total que da engenharia, produção e manutenção, é a condução da manutenção autônoma ou voluntária dos trabalhos desenvolvidos pelos pequenos grupos. Desta forma instalou-se uma rotina de treinamentos e informativas, deixando os colaboradores aptos para realizar a manutenção autônoma, também abordando temas como responsabilidade social, segurança, valores da empresa, direitos dos colaboradores, envolvendo a gestão.

Houve um engajamento da gestão da fabricação de açúcar em conjunto com a manutenção em implantar a nova idéia, na forma que tornou viável essa situação, tomando a responsabilidade de supervisionar e auxiliar, apresentando os objetivos e metas de maneira sistêmica aos envolvidos.

3.2.3 Indicadores

Todos os resultados obtidos pela implantação da manutenção produtiva total devem ser medidos e comparados com os resultados da organização obtidos antes da mesma. Devem ser medidos não só sob aspectos de produtividade, mas também relacionados com a melhoria da qualidade, redução de custos, atendimentos e entregas nos prazos e quantidades estabelecidos, maior segurança para o empregado e o cliente, moral mais elevada e um ambiente de trabalho mais agradável.

Portanto os resultados devem ser medidos por indicadores que caracterizem a evolução por intermédio das dimensões PQCDMS - P (produtividade), Q (qualidade), C (Custo), D (entrega), S (segurança), M (moral). Para medir o desempenho do processo, foram caracterizados indicadores, métricas a serem adotadas que possibilitam mensurar as variáveis de processo e assim definir as diretrizes a serem seguidas, relacionados na Figura 10.

Assim demonstra-se a metodologia do TPM no processo de dosagem de insumos no caldo do açúcar, e a partir desta pode-se checar os resultados na forma de indicadores, tanto para o equipamento como para o consumo e utilização dos insumos.

No caso da empresa citada que teve seu início de operação em safra no dia quinto do mês de maio, tomaram-se anotações a partir do vigésimo segundo dia do mês de maio, assim contando-se trinta dias para seu fechamento.

Nesse contexto sucroenergético, a parametrização do processo é feita a partir da quantidade em toneladas de cana moída, onde os insumos e serviços utilizados são comparados com esse fator. Todos esses valores são registrados e controlados por um sistema CEP (controle estático da produção) com o auxílio do sistema ERP vigente.

Figura 10 – Definições dos indicadores para quantificação das melhorias

Dimensão	Item	Formula	UNIT	Ciclo
P	Disponibilidade	Tempo médio até apresentar falha / (Tempo médio até apresentar falha + Tempo de reparo)	%	Mensal
	Dosagem de cal	(Consumo de cal no silo 1 + Consumo de cal silo 2/Quantidade de cana moída mês) *1000	KgCal/TonCana	Mensal
Q	Dosagem de polímero no decantador	(Quantidade de polímero decantador mês/ Quantidade de cana moída mês) * 1000	gPol/TonCana	Mensal
	Dosagem de polímero no filtro lodo	(Quantidade de polímero filtro lodo mês/ Quantidade de cana moída mês) * 1000	gPol/TonCana	Mensal
C	Custo de manutenção médio total	Custo de manutenção corretiva + Custo de manutenção preventiva	R\$	Mensal
D	Qualidade do xarope	Brix do xarope após evaporação	BRIX	Mensal
S	Frequência de acidentes	(Nº de acidentes leves / Nº de horas trabalhadas) *100	%	Mensal
	Frequência de acidentes graves	(Nº de acidentes graves / Nº de horas trabalhadas) *100		
M	Horas de treinamento realizados	Horas de treinamento / Horas totais trabalhadas *100	%	Mensal

Para se obter a produtividade relacionada a métrica da dosagem de cal no caldo do açúcar, foi utilizado a somatória do consumo mensal, dos dois silos de cal, em gramas, dividido pela quantidade de cana moída do mês vigente, em toneladas, sendo o resultado multiplicado por mil, conforme a equação 1.

$$QCD = \frac{\text{Consumo de cal no silo 1} + \text{Consumo de cal silo 2}}{\text{Quantidade de cana moída mês}} \times 1000 \quad (1)$$

Nesta equação se encontra a QCD, quantidade de cal dosado, em gramas por tonelada de cana moída, que seria a quantidade utilizada deste insumo para a neutralização do caldo. Por meio desta pode-se definir a eficácia sistema de controle, entende-se que mantendo o controlador com a falha zero, como proposto, por conseguinte esse valor ira de ratificar ao manter a correta correção no transmissor de pH.

Por conseguinte se a correta dosagem for feita com o cal e manter-se a neutralização correta do caldo, a necessidade da ingestão de polímero, que tem por intuito ajudar na decantação do caldo e ajudar na clarificação, tende a diminuir aumentando a eficácia dos decantadores, influenciado pela qualidade da medição. A métrica utilizada é quantidade de polímeros decantadores é igual a consumo de polímero nos decantadores no mês, em gramas, dividido por quantidade de cana moída mês, o resultado multiplicado por mil, conforme a equação 2.

$$QPD = \frac{\text{Quantidade de polímero decantador mês}}{\text{Quantidade de cana moída mês}} \times 1000 \quad (2)$$

Com essa equação é possível se definir se ocorre a ingestão correta da quantidade de cal de acordo com o valor indicado pelo transmissor, pois o polímero seria dosado no decantador de acordo com a perda relacionado com a análise da torta, que é o subproduto dos decantadores. Se o polímero ingerido é suficiente, a quantidade de sacarose presente na torta é ínfima, não necessitando assim aumentar a quantidade de polímero utilizado nesse setor.

É válido instalar mais um indicador no processo de prensagem do lodo, pelo fato de identificar a qualidade do processo de sedimentação, assim descrevemos a quantidade de polímero no lodo é igual a consumo de polímero no lodo mês, em gramas, dividido pela quantidade de cana moída, em toneladas, o resultado multiplicado por mil, conforme a equação 3.

$$QPL = \frac{\text{Consumo de polímero lodo mês}}{\text{Quantidade de cana moída}} \times 1000 \quad (3)$$

Este indicador trará a eficiência dos decantadores e a validação do processo de dosagem do cal, se a calibração está válida, corrigindo a acidez de acordo com o indicado.

Para entender o retrabalho do caldo é necessário voltar os olhos para o processo de sulfitação. Sendo ela o primórdio para o tratamento do caldo, ela tem como uma das utilidades retrabalhar o caldo que foi perdido em meio aos processos seguintes, desta forma, pode estabelecer uma relação com o enxofre aos processos perdidos.

Estipulando um controle em meio esse processo, pode-se manter a conformidade do produto, desta forma, entende-se que se os decantares trabalham no máximo de sua eficiência e a dosagem de cal contribui para isso em meio ao transmissor de pH, assim o caldo clarificado que é o produto proveniente do processo de tratamento de caldo chega aos pré evaporadores e evaporadores em valores ótimos (25° BRIX), facilitando no seu tempo de evaporação retirando um xaropo excelente que mantém índices de 68° BRIX a 70° BRIX. Instalaremos uma métrica na forma de medir os sólidos solúveis (BRIX) do xaropo retirados da última caixa de evaporação.

É necessário visualizar as ações da manutenção, com meio de indicadores que permite a entender de forma mais ampla da confiabilidade e disponibilidade do equipamento, atingindo o objetivo proposto pelo plano de manutenção autônoma que é a melhora no rendimento global das máquinas. Assim foi definido a métrica do fator de disponibilidade do transmissor de pH pelo tempo médio até apresentar falhas dividido pelo tempo médio até apresentar falha mais o tempo de reparo, conforme a equação 4:

$$\text{Fator de disponibilidade} = \frac{\text{Tempo médio até apresentar falha}}{(\text{Tempo médio até apresentar falha} + \text{Tempo de reparo})} \quad (4)$$

É necessário medir o custo que a manutenção gera em cada equipamento ao destinar um colaborador conforme a necessidade, para isso foi utilizado um indicador que abrange a somatória do custo de manutenção corretiva e manutenção preventiva, que neste contexto

envolve hora/homem dos colaboradores envolvidos, bens utilizados e tempo disposto, conforme a equação 5:

$$\text{Custo de manutenção} = \text{Custo de manutenção corretiva} + \text{Custo de manutenção preventiva} \quad (5)$$

A métrica para demonstrar as melhora da moral dos colaboradores envolvidos seria a partir do método proposto pela sistema TPM, que seria o acréscimo no tempo de treinamento melhorando a qualidade da mão-de-obra e capacitando-a de forma a atingir as metas estabelecidas, conforme a equação 6.

$$\text{Horas de treinamento realizados} = \frac{\text{Horas de treinamento}}{\text{Horas totais trabalhadas}} \times 100 \quad (6)$$

Tendo também o enfoque do TPM na relação de segurança dos colaboradores envolvidos com o processo, a medição da variável foi realizada junto com o setor de segurança, afim de medir a frequência dos acidentes graves e leves relacionados com o processo de tratamento de caldo, hidratação do cal e filtragem do lodo, representado pelas equações 7 e 8:

$$\text{Frequencia acidentes leves} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de acidentes leves}}{\text{N}^\circ \text{ de horas trabalhadas}} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{Frequencia acidentes graves} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de acidentes graves}}{\text{N}^\circ \text{ de horas trabalhadas}} \times 100 \quad (8)$$

A partir destes valores expressos em porcentagem, índice mensal de acidentes junto ao processo de tratamento de cal e insumos.

Tendo o laboratório industrial a responsabilidade de aferir de maneira periódica o valor da acidez do caldo dosado com um segundo pHmetro, gerando relatórios do valor do instrumento em relação ao uma amostra aferida. Consegue-se calcular a confiabilidade do equipamento utilizando o método do desvio padrão, que leva em consideração a média aritmética ou o valor desejado com os valores amostrados, conforme a equação 9.

$$S^2 = \frac{\sum_i^N (X - \bar{X})^2}{N - 1}$$

Aplicando a raiz quadrado sobre o valor resultante, pode-se chegar ao variância, que será utilizado para determinar a confiabilidade do instrumento e sua variação.

Os dados obtidos por esses indicadores proporcionam uma análise se o operador de tratamento de caldo está agindo corretamente em sua aferição e calibração do instrumento, assim gerando uma correlação entre a confiabilidade da medição do instrumento e os valores das reduções de insumos.

3.2.4 Coleta dos dados

Os dados que alimentam esses indicadores foram oferecidos pela empresa estudada, sendo todos eles documentados e registrados pelo sistema interno de controle de dados, o ERP. Os métodos estudados foram dispostos de forma gráfica e em tabelas, mês a mês, para analisar de melhor o atual rendimento de insumos e equipamento.

Por se tratar de um processo contínuo, onde teve seu início no dia cinco de maio, foram divididos em cinco períodos, onde o primeiro período se estende do dia vinte e dois de maio até dia vinte e um de junho, o segundo é de vinte e dois de junho até vinte e um de julho e o terceiro período do dia vinte e dois de julho até vinte e um de agosto, o quarto período do dia vinte e dois de agosto até dia vinte e um de setembro e o quinto período sendo de vinte dois de setembro até dia vinte e um de outubro, que teve seu término para a realização das análises e apresentação gráficas.

Marcando início da implantação do TPM datada no dia dezoito de agosto. O primeiro período por se tratar da fase inicial de processo espera-se o consumo anormal dos insumos até a adequação do maquinário, calibração dos instrumentos e a adaptação dos colaboradores referentes a esse processo de tratamento do caldo. O segundo e terceiro período evidenciaram os reais índices da empresa de consumo e demanda de insumos junto com o processo de manutenção. O quarto e último período analisado, representam os resultados da implantação, entendendo que o quarto período, que trata da instalação da idéia, pode-se tratar de um período de resistência do processo, esperando resultados expressivos no último período.

Com os dados desenvolvidos em forma de indicadores e junto com o conhecimento da dosagem do caldo dosado do açúcar, foi realizada uma análise dos mesmos, traçando a

paridade e coincidência dos fatos, levantando hipóteses e demonstraram na forma de conclusão o encerramento do estudo.

3.3 Estudo de caso

A empresa que foi estudada atua no setor sucroenergético com atuação exclusiva no Brasil. Fundada em 1949, está localizada no interior do estado de São Paulo onde se encontra toda a estrutura administrativa e de produção.

Faz parte da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), entidade nacional que reúne mais de uma centena de indústrias brasileiras de etanol e açúcar.

É integrante de um grupo de 48 unidades produtoras Sócias da Copersucar S.A., a quem fornece 100% da produção de açúcar e etanol, operando por meio da participação na Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. Cabe à Copersucar a comercialização e distribuição desses produtos para os mercados interno e externo, onde conta com clientes em cerca de 50 países.

Os balanços finais das safras 2010/2011 e 2011/2012 contaram, respectivamente, com a participação de 3.132 e 2.376 colaboradores, que contribuíram para a obtenção de uma receita operacional líquida de R\$ 324.504.000,00 e R\$ 328.895.000,00, respectivamente.

Para a informação do volume de cana processada em cada safra de forma alinhada com a prática no setor, utilizando o conceito da totalização da moagem, temos: na safra 2010/2011, 3.071.774 toneladas e na 2011/2012, 2.867.487 t.

Já para fins de informação do volume de cana processada nos períodos correspondentes ao do exercício social da empresa, referente a safra 2010/2011 (de 01/05/2010 a 30/04/2011) e 2011/2012 (de 01/05/2011 a 31/03/2012), condição utilizada quando do uso de informações/métricas de qualquer volume/peso/unidades por tonelada de cana processada, temos, na safra 2011/2012, 2.692.146,3 toneladas de cana moídas e na 2010/2011, 2.967.563,2 t. As áreas de cultivo abrangem os municípios de São Manuel, Botucatu, Pratânia, Areiópolis, Igarçu do Tietê, Barra Bonita, Jaú, Itatinga, Pardinho. A empresa não faz uso significativo da terceirização em seus processos e atividades, principalmente aquelas consideradas como atividades-meio.

Os produtos finalizados são direcionados para clientes dos segmentos industriais e comerciais, distribuídos pela Copersucar S.A., da qual é sócia, que detém a marca

COPERSUCAR utilizada na venda dos produtos açúcar e etanol e tem atuação nos principais mercados no Brasil e no exterior.

Nas safras 2010/2011 e 2011/2012, seus produtos representaram 4,33% e 3,97%, respectivamente, do total comercializado pela Copersucar, com vendas dos seguintes produtos derivados da cana-de-açúcar:

1. Açúcar cristal – produzidos de acordo com padrões técnicos Copersucar, em versões de embalagens tipo saca de 50 kg e big bag de 1.200 kg. Esse produto atende a diferentes seguimentos da indústria alimentícia, de bebidas e química.

2. Etanol hidratado carburante – produzido conforme especificações da agência reguladora federal ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), para uso direto nos veículos a etanol e veículos flex fuel.

3. Etanol anidro carburante – produzido conforme especificações da ANP para adição à gasolina.

4. Etanol especial para uso industrial. Os etanóis têm como clientes distribuidoras, petroquímicas e outras indústrias.

Embora o maior volume comercializado da produção da empresa esteja direcionado ao sistema Corpesucar, outros produtos e subprodutos também são negociados. Essa venda se dá de forma direta ou por meio de empresas especializadas, sendo:

Levedura seca inativa – obtida a partir da fermentação de caldo de cana-de-açúcar, destinada a compor rações para alimentação animal (aves, peixes, suínos, camarões, rações extrusadas para cães e gatos) com elevado conteúdo proteico. Os principais consumidores da levedura são países europeus como França, República Checa, Alemanha, Bélgica e Itália. Na safra 2011/2012, 100% da produção foi comercializada junto à ICC Indústria e Comércio de Exportação e Importação Ltda., destinando 97% do volume para a exportação e 3% para o mercado interno. Na produção da safra 2010/2011, o perfil da comercialização foi de 71% para o mercado interno e 29% destinado à exportação. Todas as saídas de produto são em embalagens de big bags de 800 kg.

Óleo Fúsel – subproduto constituído de álcoois superiores, resultante da destilação do caldo de cana com melaço já submetido à fermentação. É extraído em pequena quantidade na coluna de retificação, sendo usado na indústria química e de cosméticos e comercializado diretamente, sendo 100% para o mercado interno.

Bagaço – produzido a partir do processamento da cana-de-açúcar, onde em média temos 30% de produto por unidade de cana esmagada. É o combustível usado no processo de

geração de vapor destinado à produção de energia motriz e elétrica para o processamento industrial. Seu excedente é comercializado in natura no mercado interno.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variação do instrumento de controle

A análise dos resultados parte do princípio de controlar a variação do instrumento responsável pela dosagem automática dos insumos no processo de calefação. Este equipamento é o “coração” do tratamento de caldo, e tem como principal característica a sensibilidade dos componentes interdependentes do sistema, por sua complexidade.

O eletrodo que é o transdutor do sistema, sofre ações corrosivas e incrustantes durante todo processo de medição. Partiu a ideia da manutenção autônoma por ter uma maior agilidade em agir de maneira preventiva, diminuir esse agentes que ocasionam a falha do instrumento, assim melhorando sua confiabilidade.

A TPM tem como objetivo a melhoria do rendimento global, e partindo desta premissa, com o controle sistêmico nesta variável, pretende-se melhorar de forma global o processo utilizando recursos já existente, apenas destinando-os de forma planejada e organizada.

O laboratório industrial tem por obrigação instalar uma rotina de verificação que parte a cada duas horas, em retirar amostrar do caldo dosado e compará-las com o instrumento de medição. O lançamento destas variáveis possibilitou gerar pelo método do desvio padrão a variação referente aos meses anteriores da implantação atingindo os seguintes valores.

Tabela 5 - Média das análises do pH da caldo dosada - Safra 2013/2014

Média da análises pH caldo dosado			
Período	Laboratório	Campo	Desvio padrão
1º período	6,4	6,2	0,0904
2º período	7,3	7,1	0,0967
3º período	7,5	7,2	0,1483
4º período	7,3	7,1	0,1056
5º período	7,3	7,3	0,0307

Com a tabulação deste dados, pode-se avaliar a variação na medição do transmissor de pH. A partir da fórmula da variância obteve-se as seguintes porcentagens descrito na Tabela 6.

Tabela 6 - Medição da variância do transmissor de pH

Variação da medição do transmissor de Ph					
Período	1º período	2º período	3º período	4º período	5º período
Variância	30,06%	31,09%	38,51%	32,49%	17,53%

Observa-se com a Tabela 6 que há uma crescente na variação do equipamento, onde conforme seu desgaste natural ele diminui sua precisão é aonde ocorre o grande consumo de insumos.

Logo com a inserção do sistema de manutenção produtivo total é possível avaliar que há uma forte tendência a manter-se a padrões normais, podendo dizer até melhor que o *startup* do equipamento.

O programa de manutenção produtiva total foi efetivo para o aumento da confiabilidade do equipamento, assim diminuindo sua variação no quinto período conforme indica a Tabela 6. Tomando isso como premissa, pode-se dizer que o transmissor de pH controlando a dosagem do insumo conforme os dados medidos de maneira correta, então, espera-se a diminuição dos insumos a maior produtividade do processo.

4.2 Indicadores de processo

4.2.1 Produtividade (P)

A produtividade assim como foi definido no ciclo planejar, era desenvolvida sendo justificada pelas métricas referentes a disponibilidade do equipamento para o processo e a dosagem de cal pelo sistema de controle, demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Indicadores de produtividade

Dimensão	Item	Formula	UNIT	Ciclo
P	Disponibilidade	Tempo médio até apresentar falha / (Tempo médio até apresentar falha + Tempo de reparo)	%	Mensal
	Dosagem de cal	(Consumo de cal no silo 1 + Consumo de cal silo 2/Quantidade de cana moída mês) *1000	KgCal/TonCana	Mensal

4.2.1.1 Disponibilidade

A disponibilidade do equipamento para com o processo se refere ao tempo do equipamento em trabalho, sendo dela descontada ao período em que se encontra em manutenção. Feita em porcentagem, ela determina o quantidade do tempo que se tornou em condições disponíveis.

O tempo que esse equipamento encontra-se em operação é de suma importância pelo que a paralização do transmissor de pH, por se tratar de um controlador, não pode gerir a informação de leitura precisa para controlar a rotação da bomba dosadora de cal. Esse período que o equipamento fica sem dar a variável de controle gera um acréscimo em demasia do cal em meio ao caldo prejudicando a eficiência dos decantadores e até gerando a reversão da sacarose e sua decantação em meio ao lodo.

Para a elaboração do cálculo foi necessário estipular o tempo meio entre falhas e o tempo médio de reparo. Ao ser acionada a manutenção industrial, ela por roteiro definido gera ordens de serviço que tem em sua espécie a definição do serviço junto com o tempo de manutenção necessário para executá-lo, sendo esses valores documentados e registrados no sistema.

A Tabela 8 mostra a data que a ordem de serviço foi gerada, o tempo médio de manutenção e o intervalo entre as ocorrências, demonstrando o tempo médio entre falhas e o tempo médio de manutenção como pede o indicador.

Tabela 8 - Horas de serviço para o transmissor de pH

Data	Tempo de manutenção (horas)	Intervalo (horas)
27/05/2014	1,00	123,71
29/05/2014	0,50	74,23
03/06/2014	0,50	98,97
05/06/2014	0,75	49,48
09/06/2014	0,75	98,97
09/06/2014	0,50	2,16
13/06/2014	0,50	98,97
Media	0,50	98,97
26/06/2014	0,50	5,10
26/06/2014	2,00	24,74
27/06/2014	0,50	74,23
30/06/2014	0,50	123,71
05/07/2014	1,00	173,20
12/07/2014	0,50	173,20
19/07/2014	0,50	197,94
Media	0,50	123,71
24/07/2014	1,00	173,20
31/07/2014	1,00	321,65
31/07/2014	1,00	3,70
13/08/2014	1,00	74,23
16/08/2014	1,00	24,74
17/08/2014	0,75	24,74
18/08/2014	2,00	123,71
Media	1,00	74,23
24/08/2014	1	148,45
18/09/2014	0,5	618,56
Media	0,75	383,51
30/09/2014	0,5	296,91
02/10/2014	1	49,48
14/10/2014	1	296,91
Media	1	296,91

Observa-se na Tabela 8 que após a implantação da TPM no dia 22 de agosto, as ocorrências de manutenção corretiva diminuíram. Mantinha-se uma média de sete chamadas corretivas ao mês antes da manutenção, em conjunto com as medidas preventivas que eram previstas por rota de inspeção semanal.

Ao analisar as ordens geradas, nota-se a grande incidência de serviços descritos com equipamento descalibrados e indicação incorreta, onde que a intervenção da instrumentação se fazia por meio da calibração com soluções tampão, sendo requisitados pelos operadores de tratamento de caldo.

Com a utilização dos operadores para fazer a calibração assim que diagnosticarem a instabilidade, diminuiu consideravelmente as ordens de serviço expedidas, restringindo apenas para a manutenção o agir em caso que o problema foge do alcance técnico deles.

Desta forma ao calcularmos a disponibilidade notamos de acordo com a tabela abaixo.

A Tabela 9 mostra que nos dois primeiros meses ocorre um período estabilidade da disponibilidade do transmissor para com o processo, mantendo sua disponibilidade entre 99,4% e 99,5%, pelo fato destes períodos serem iniciais e o eletrodo a cada começo de safra ser trocado por novo, caracteriza sua estabilidade. Quando se aproxima do terceiro período onde se encontra no meio da época de safra, verifica-se já uma fadiga do equipamento e necessidade de uma intervenção maior por parte da manutenção caracterizado pelo seu tempo médio de reparo elevado em relação aos outros.

Após a instalação da manutenção total produtiva notou-se que as ordens de serviço diminuíram sua quantidade, tornando a intervenção da manutenção só quando realmente fosse necessário, onde as aferições menores foram realizadas pelos profissionais da área de tratamento de caldo, assim aumentando sua disponibilidade, a níveis consideráveis nos meses em que a manutenção produtiva total foi instalada.

Tabela 9 - Disponibilidade total do transmissor de pH

Disponibilidade			
Período	Tempo Médio entre falhas	Tempo médio de reparo	Disponibilidade
1º período	98,97	0,50	99,497%
2º período	123,71	0,50	99,597%
3º período	74,23	1,00	98,671%
4º período	383,51	0,75	99,805%
5º período	296,91	1	99,664%

4.2.1.2 Dosagem de cal

O processo de dosagem de cal é o ponto central para entender se o processo aumentou sua produtividade geral, pelo fato de ser ele o centro das atividades relacionadas ao tratamento de caldo do açúcar.

O controle exercido pelo sistema de manutenção implantado contribui para um melhoramento do controle da variável realizado pelo instrumento de medição, em cascata, dosa de forma correta, sem desperdícios, o cal necessário para alcalinizar o cal do açúcar, otimizando sua decantação no processo seguinte.

O cal admitido pela empresa se encontra na forma sólida, aonde a liquefação deste é necessária para o bombeamento até ser utilizado no processo, esse processo de diluição é nomeado com hidratação do cal.

O cal em estado sólido é armazenado em silos, contabilizando dois silos na empresa. O depósito deste insumo no silo é controlado pelo supervisor de tratamento do caldo que faz o controle meio a uma planilha única, com controle mensal, denotando a quantidade de cal consumida, utilizada para liquefação e armazenada de forma diária.

Por meio deste controle junto com a quantidade de cana processada nos períodos estipulados para o estudo, é possível entender se houve o controle exato do transmissor de pH para com a dosagem no caldo comparando com períodos anteriores, conforme demonstrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Consumo de cal nos dois silos.

Consumo de cal em gramo por cana em tonelada					
Período	1	2	3	4	5
Silo1	32,91	36,28	25,80	44,62	24,24
Silo 2	29,25	28,95	45,49	23,86	37,23
Total	62,16	65,23	71,30	68,48	61,47

Este indicador demonstra a efetividade do sistema TPM sobre a função relativa do instrumento. É possível identificar que no primeiro período onde se inicia a safra o consumo se mantém estável e a qualidade do eletrodo deste equipamento estar novo, com o decorrer e desgaste do equipamento, também se eleva a quantidade da inclusão deste insumo não renovável até o terceiro período.

No quarto período com a adequação da ferramenta e capacitação dos operadores de processo nota-se que houve uma grande quantidade ingerida em relação ao primeiro e

segundo período, mas uma ligeira queda em relação ao terceiro período, demonstrando uma queda crescente consumo.

Com as bases da TPM funcionando no último período, observou a efetividade do método, onde registra uma queda de 11,4% em relação ao período anterior e 15,9% referente ao maior consumo em safra.

4.2.2 Qualidade (Q)

A qualidade assim como foi definido no ciclo planejar, era desenvolvida sendo justificada pelas métricas referentes a dosagem de polímero utilizada no processo de decantação e retirada de sacarose da torta nos filtro prensa, demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11 – Indicadores de qualidade.

Dimensão	Item	Formula	UNIT	Ciclo
Q	Dosagem de polímero no decantador	$(\text{Quantidade de polímero decantador mês} / \text{Quantidade de cana moída mês}) * 1000$	gPol/TonCana	Mensal
	Dosagem de polímero no filtro lodo	$(\text{Quantidade de polímero filtro lodo mês} / \text{Quantidade de cana moída mês}) * 1000$	gPol/TonCana	Mensal

4.2.2.1 Dosagem de polímero no decantador

O polímero tem por sua característica otimizar o processo de decantação em meio ao ambiente adequado, decantadores e filtros, e sua dosagem nesse meio deve ser de maneira controlada de acordo com os níveis de alcalinização do caldo, para realizar a decantação de impurezas pelas raspas.

A aplicação de polímeros no caldo promove a formação de flocos mais densos nos processos de clarificação do caldo visando a maior velocidade de sedimentação, compactação e redução do lodo, matéria de sedimentos proveniente da decantação do caldo, melhora na

turbidez do caldo clarificado, produzir lodo com melhor filtragem, ocasionando um caldo filtrado mais limpo, menores perdas da sacarose na torta.

A correta aplicação do polímero em meio aos decantares envolve um ambiente com caldo próximo a um pH de 6,9 a 7,2.

Então entende-se que se a dosagem do cal for feita de forma correta e manter essa faixa de alcalinização, a utilização do polímero tende a ter uma ligeira redução.

Caso seja aplicado de forma errônea em meio ao processo, pode causar o escurecimento do caldo, necessitando a aplicação de mais caldo no meio ou até mesmo a reversão a decantação da sacarose, que pode ser analisada a partir do filtro.

O polímero que irá ser dosado em meio aos decantadores é homogeneizado com água e tem sua contabilização feita a partir dessa mistura nos tanques.

Os dados obtidos são registrados, dessa forma pode-se aplicar em meio aos indicadores propostos, assim como demonstrada na Tabela 12 o consumo de polímero por cana moída, agrupada em períodos de acordo com os métodos do estudo

Tabela 12 – Consumo de polímero nos decantadores

Consumo de polímero nos decantadores					
Período	1	2	3	4	5
gPol/TonCana	4,56	4,46	4,73	4,50	4,26

No primeiro período com o início da moagem e baseando em dados históricos de processo, se preparou uma quantidade em demasia do polímero para a aplicação no decantador. No segundo período houve uma estabilização em padrões normais para a empresa.

Já no período decorrente a quantidade utilizada foi alta, caracterizando um mau controle do processo antecessor, relacionando com a dosagem e cal.

Com a implantação do sistema de controle de manutenção observou-se uma estabilização no consumo e no último período caindo cerca de 5,6% em relação ao mês anterior, caracterizando a estabilidade da dosagem correta do cal no processo anterior realizada pelo transmissor de pH.

4.2.2.2 Dosagem de polímero no filtro de lodo

Como forma de avaliar a qualidade da dosagem de cal em meio ao caldo pelo processo de dosagem automática, os filtros de lodo são aliados pelo fato de tratarem o rejeito dos decantadores.

A sedimentação promovida pelos decantadores tem por objetivo retirar o máximo de impurezas possíveis do caldo, quando isso não ocorre acaba pelo, processo agressivo, a retirada de sacarose do caldo junto com esses materiais.

Essas impurezas recebem o nome do lodo e tem por destino o filtro de lodo, esse filtro tem por função separar essa sacarose restante dos rejeitos como areia, sais e outras matérias e são aproveitados na lavoura e a sacarose retirada do caldo volta para a moagem com o nome de caldo filtrado.

Esse processo de filtração, igual aos decantadores, recebe o acréscimo de agentes que otimizam a decantação, polímeros. Esse polímero por sua vez é homogeneizado com água em meio a tanques de processo e acrescido ao meio de acordo com a necessidade.

A quantidade injetada é definida em análises diárias, hora a hora, do teor de sacarose presente no lodo, e conforme indicado pelo laboratório industrial, o polímero é colocado no meio.

Tomando como base que a alcalinização do caldo gera uma decantação de maior efetividade e melhor qualidade, ou seja, a maior sedimentação de impurezas sem perda de sacarose neste processo, então a necessidade de acrescentar esse insumo não renovável ao caldo se torna menor, conforme demonstrado na Tabela 13.

Tabela 13 – Consumo de polímero nos filtros de lodo

Consumo de polímero nos filtros					
Período	1	2	3	4	5
gPol/TonCana	4,30	4,19	4,59	4,22	4,30

A empresa estudada nos três primeiros períodos trabalhava com quatro filtros de lodo e em meados de mês de agosto adquiriu nova tecnologia para esse processo.

Esse novo maquinário não trabalhou em um processo contínuo como os demais filtros, por se tratar de uma tecnologia em teste, mas seu consumo de polímero foi contabilizado do final do terceiro período até.

Com a aquisição dessa tecnologia teste foi impossível determinar o consumo médio desse filtro, pela coleta dados proporcionados pela empresa, mas com olhos analíticos pode-se entender que a eficiência relativa de quatro filtros dispostos no primeiro e segundo período se equivaleu aos quarto e quinto período que teve seu processo guiado por cinco filtros.

Tendo o terceiro período um período impar por se tratar da época em que essa tecnologia foi testada, que demandou uma quantidade maior de polímero até sua adequação ao sistema.

4.2.3 Custo (C)

O custo, assim como foi definido no ciclo planejar, foi desenvolvido sendo justificado pelas métricas referentes ao custo médio de manutenção que os equipamentos referentes ao sistema de dosagem de insumo requereram para seu funcionamento normal.

Tabela 14 – Indicador de custo

Dimensão	Item	Formula	UNIT	Ciclo
C	Horas de manutenção	(Horas de manutenção corretiva + Horas de manutenção preventiva) *custo médio da manutenção	R\$/h da	Mensal

4.2.3.1 Horas de manutenção

Para analisar o custo referente ao processo de dosagem automático do cal em meio ao caldo, tomou-se por base as ordens de serviços e rotas de inspeção geradas pela manutenção.

Nessas ordens de serviços onde são prescritos a execução de serviço sendo assinadas pelos responsáveis da manutenção e processo, também levam a informação do materiais utilizados pela manutenção, seu executor e tempo de parada de equipamento.

Com base nesses documentos pode-se determinar as horas gastas e seus recursos utilizados, formando um custo médio mensal, assim, avaliando os recursos monetários necessários.

A Tabela 15 descreve o custo individual de cada ocorrência aberta, junto com as horas de realização do serviço e os custo dos recursos utilizados para cada intervenção corretiva em relação ao transmissor de pH do caldo dosado e o sistema que o envolve.

Tabela 15 – Ordens de serviço corretivas abertas para transmissor de pH

Data de Abertura	Tempo de execução (horas)	Hora/Homem	CUSTO CORRETIVA	RECURSOS MAN.
27/05/2014	1	R\$ 8,76	R\$ 8,76	R\$ 12,56
29/05/2014	0,5	R\$ 5,68	R\$ 2,84	R\$ 4,86
03/06/2014	0,5	R\$ 5,68	R\$ 2,84	R\$ -
05/06/2014	0,75	R\$ 11,26	R\$ 8,45	R\$ 8,65
09/06/2014	0,75	R\$ 5,68	R\$ 4,26	R\$ 8,65
09/06/2014	0,5	R\$ 5,68	R\$ 2,84	R\$ 8,43
13/06/2014	0,5	R\$ 11,26	R\$ 5,63	R\$ 6,89
26/06/2014	0,5	R\$ 11,26	R\$ 5,63	R\$ -
26/06/2014	2	R\$ 4,35	R\$ 8,70	R\$ -
27/06/2014	0,5	R\$ 5,68	R\$ 2,84	R\$ 8,65
30/06/2014	0,5	R\$ 11,26	R\$ 5,63	R\$ 8,65
05/07/2014	1	R\$ 8,76	R\$ 8,76	R\$ -
12/07/2014	0,5	R\$ 4,35	R\$ 2,18	R\$ -
19/07/2014	0,5	R\$ 11,26	R\$ 5,63	R\$ 7,98
24/07/2014	1	R\$ 8,76	R\$ 8,76	R\$ -
31/07/2014	1	R\$ 8,76	R\$ 8,76	R\$ -
31/07/2014	1	R\$ 5,68	R\$ 5,68	R\$ 37,20
13/08/2014	1	R\$ 5,68	R\$ 5,68	R\$ 6,54
16/08/2014	1	R\$ 5,68	R\$ 5,68	R\$ 4,78
17/08/2014	0,75	R\$ 11,26	R\$ 8,45	R\$ -
18/08/2014	2	R\$ 13,05	R\$ 26,10	R\$ -
24/08/2014	1	R\$ 8,93	R\$ 8,93	R\$ -
18/09/2014	1	R\$ 5,68	R\$ 2,84	R\$ 37,86
30/09/2014	0,5	R\$ 8,93	R\$ 4,47	R\$ -
02/10/2014	1	R\$ 11,26	R\$ 11,26	R\$ 5,67
14/10/2014	0,75	R\$ 5,68	R\$ 4,26	R\$ -
14/10/2014	1	R\$ 5,68	R\$ 5,68	R\$ 13,56

A Tabela 15 foi montada a partir das ordens de serviço geradas, onde vale ressaltar que delega-se o colaborador para executar a manutenção de acordo com o grau de complexidade que se encontra a falha.

Retira-se a média salarial de cada colaborador junto com o custo de material necessário para executar a manutenção, onde pode encontrar fitas isolantes, soluções para limpeza e calibração do eletrodo, cabo específico entre outros recursos.

A manutenção preventiva nesse equipamento, já é delegada a um colaborador em específico que tem por obrigação verificar a variância do equipamento junto com os aspectos físicos. Se houver a necessidade de intervenção imediata, ele logo gera uma ordem de serviço,

se não houver urgência, ele gera um pedido de trabalho que será executado em um momento oportuno de parada de fábrica.

A Tabela 16 representa todas as manutenção preventivas executadas no período estudado por meio das rotas semanas.

Tabela 16 – Rotas preventivas abertas para transmissor de pH

manutenção	Data Execução	Tempo execução (h)
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	26/05/2014	1
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	02/06/2014	0,75
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	09/06/2014	1
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	16/06/2014	0,1
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	23/06/2014	1
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	30/06/2014	0,5
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	07/07/2014	0,2
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	14/07/2014	1
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	21/07/2014	1
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	28/07/2014	0,5
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	05/08/2014	0,5
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	11/08/2014	0,5
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	18/08/2014	0,1
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	25/08/2014	0,5
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	01/09/2014	0,2
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	08/09/2014	0,2
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	15/09/2014	0,5
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	22/09/2014	0,5
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	29/09/2014	0,5
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	06/10/2014	0,2
Insp. Eletrodo PH/Grau alcóolico	13/10/2014	1

Por meio desta informação fornecida pela empresa, pode-se calcular o custo médio de manutenção de teor preventivo.

Com esses dados aplicando na formula proposta, se avaliou o custo de manutenção médio mensal do equipamento, obtendo os seguintes resultados descritos na Tabela 17.

Tabela 17 – Custo total de manutenção

CUSTO DE MANUTENÇÃO						
Períodos	1	2	3	4	5	
Preventiva	R\$ 16,19	R\$ 21,02	R\$ 9,09	R\$ 9,09	R\$ 12,50	
Corretiva	R\$ 85,66	R\$ 64,65	R\$ 117,63	R\$ 49,63	R\$ 44,90	
Total	R\$ 101,84	R\$ 85,66	R\$ 126,71	R\$ 58,72	R\$ 57,39	

No primeiro período que seria a moagem teste, nota-se a necessidade da manutenção corretiva, pelo fato de estar em período teste de maquinário, onde se destina mais recursos e calibração dos instrumentos.

Com a chegada do segundo período, obteve-se os padrões normais de operação, de acordo com dados históricos, ficando incube a manutenção corretiva de realizar as calibrações quando necessário e aferir parâmetros anormais que o transmissor apresentou, segundo dados fornecidos em ordens de serviços.

No terceiro período houve um aumento de 48% nos gastos com a manutenção do transmissor de pH, onde levou em conta matérias como cabo de comunicação que foi necessária a troca, soluções tampões que estavam contaminadas entre outros insumos relacionados.

Por se tratar do terceiro período, sendo um processo contínuo, é o período onde tem a maior fadiga dos equipamentos, também justificando o aumento expressivo.

Com a implantação do sistema de manutenção, houve uma redução expressiva se comparar com o mês anterior e com o menor valor no ano. Isso deve a ocorrência corretiva ter diminuído acarretando em uma imobilização menor dos profissionais de manutenção, assim reduzindo os custos relacionados.

Vale ressaltar que com a implantação da TPM, o tempo de manutenção preventiva também sofreu um reflexo, onde nota-se de acordo com dados que no primeiro ao terceiro período o profissional da manutenção gastava em média 40 minutos para executar a sua rota de inspeção e assim com a implantação do novo sistema ele passou a gastar em média 33 minutos para executar sua função.

Essa evolução na redução do custo da manutenção do transmissor de pH se mantém no último período, logo, comprovando sua eficiência.

4.2.4 Entrega (D)

O indicador de entrega detém seu foco no cliente do processo analisado, se está ou não atingindo a expectativa dele.

Ao analisar o processo de dosagem do caldo ele tem o objetivo de preparar o caldo, sua concentração, turbidez e pureza, para o cliente, que no caso é a pré-evaporação e evaporação do caldo.

A pré-evaporação do caldo tem por objetivo evaporar a água presente no caldo elevando seu Brix até 25°, onde envia seu produto ao processo de evaporação.

Esse por sua vez reduz mais ainda água presente, na forma a concentrar a aproximadamente 65° de Brix, transformando o caldo em xarope, pronto para o seu cozimento.

A fatos que contribuem para um maior tempo e evaporação, sendo desvantajoso para o processo, que é a composição do caldo, características dos insumos da clarificação e o processo de clarificação em si.

O controle deste Brix do xarope é realizado a partir de um transmissor de densidade junto com análises periódicas em laboratório, desta forma mantém a confiabilidade do processo.

A análise da entrega foi retirada a partir da média mensal dos períodos estudados, na forma que se tornaria benéfico ao processo manter índices de 65° a 67° Brix sendo tolerado de 60° a 70° Brix no xarope final, descritos na Tabela 18

Tabela 18 – Pureza media mensal do xarope

PUREZA DO XAROPE					
Período	1	2	3	4	5
Brix Xarope	66,2 °	68,53°	65,4 °	65,9 °	66,3 °

Analisando os dados propostos, pode-se entender que as necessidades do cliente foram atingidas com clareza, mantendo uma variação estável, após o período de adequação da manutenção produtiva total, ao contrário dos períodos anteriores. Foi confirmado por amostrar laboratoriais que a pureza do xarope manteve-se estável apesar de um período de cana-de-açúcar ruim, ou seja, com pouca sacarose.

4.2.5 Segurança (S)

O sistema da manutenção total produtiva prevê um programa de saúde, segurança e meio ambiente, que tem por objetivo manter um universo de acidente zero com os envolvidos no processo de transformação.

A empresa estudada está diretamente envolvida com esses valores para com os colaboradores, na forma que mantém uma política rígida sobre prevenção de acidentes, instalando equipamentos de proteção coletiva, palestras informativas e métodos preventivistas.

Como o desenvolvimento do estudo envolve o setor de tratamento de caldo e seus sub processos, a análise foi voltada a esse ambiente, estudando os acidentes relacionados e as médias tomadas neste meio.

A Tabela 19 demonstra o indicador utilizado para medir a eficiência da segurança aplicada no contexto do tratamento de caldo do açúcar.

Tabela 19 – Indicadores de segurança

Dimensão	Item	Formula	UNIT	Ciclo
S	Frequência de acidentes leves	$(N^{\circ} \text{ de acidentes leves} / N^{\circ} \text{ de horas trabalhadas}) * 100$	%	Mensal
	Frequência de acidentes graves	$(N^{\circ} \text{ de acidentes graves} / N^{\circ} \text{ de horas trabalhadas}) * 100$		

Foi estudado separadamente os acidentes leves dos acidentes graves por se tratarem de intensidades diferentes e planos diferentes.

Os acidentes leves são considerados aqueles que não necessitam do afastamento dos envolvidos, retornando ao trabalho no dia ou um dia após o ocorrido.

Já os acidentes graves são aqueles que tem o afastamento do envolvido ou a perda da capacidade de trabalho, ou até a morte do envolvido.

Conforme os atributos apresentados, a empresa apresenta os dados de maneira separada para melhor visualização e ação, conforme a intensidade ou se pode acarretar em mais acidentes de trabalho.

Com a implantação da metodologia TPM, foi abordada a segurança em seu treinamento, demonstrando práticas seguras que envolvem a dosagem de insumos e limpeza e operações diárias, junto com informativas semanais abordando temas como a segurança do trabalho, EPIs e segurança de alimentos.

4.2.5.1 Frequência de acidentes leves

Os acidentes leves são definidos pela empresa como acidentes que não necessitam de afastamento do trabalho com retorno na hora ou dia após o ocorrido.

Com essa premissa dentro dos períodos estudados foram contabilizados no total dezoito dentro do setor do tratamento de caldo. Assim sendo, eles estudados de maneira

isolada caso por caso pode-se corrigir algumas anomalias do processo junto com os profissionais da segurança.

Por exemplo, a instalação de plataformas e escadas para o acesso seguro até as tampas dos evaporadores que são realizadas limpezas semanais pelos profissionais do tratamento de caldo, diminuindo a probabilidade dos colaboradores escorregarem ao tentar o acesso.

A Tabela 20 demonstra os números referentes aos acidentes leves na área de tratamento do caldo.

Tabela 20 – Acidentes leves para o setor do tratamento de caldo

ACIDENTES LEVES NO SETOR DE TRATAMENTO DE CALDO					
Período	1	2	3	4	5
Acidentes	6	4	3	2	3

Durante os períodos anteriores aos treinamentos realizados com os colaboradores, pode notar uma média de 3,75 acidentes nos três primeiros momentos. Assim após os treinamentos e informativas mais voltadas à segurança do trabalho, pode notar uma média de 2,5 acidentes, ou seja, uma melhora de 50% nos acidentes considerados leves, conforme a Tabela 21.

Tabela 21 – Frequência de acidentes leves para o setor do tratamento de caldo

FREQUÊNCIA DE ACIDENTES					
Período	1	2	3	4	5
Frequência	0,93%	0,56%	0,43%	0,31%	0,42%

O funcionamento de processo é influenciado pelas condições climáticas. O período chuvoso impossibilita a extração da cana-de-açúcar e, assim, interrompe a produção.

Desta forma, no primeiro período foram trabalhados vinte sete dias equalizando 648 horas realmente trabalhadas e os outros quatro dias dispensados os funcionários. O segundo são trinta dias trabalhados ou 720 horas. No terceiro são vinte e nove dias ou 696 horas trabalhadas. No quarto período foram vinte e sete dias somando 648 horas trabalhadas e logo no último período foram trinta dias trabalhados formando 720 horas.

Levando em consideração o período de estudado e as horas de processo, calculou-se as frequências de acidentes, observando-se que nos primeiros períodos antes das ações preventivas com treinamentos e informativas houve uma média de 0,64%, ou seja, de 2064 horas trabalhadas neste período 0,64% ocorreram acidentes leves.

Com a implantação que tem por objetivo a taxa de acidentes zero, houve uma queda de aproximadamente 88% dos acidentes, isso pode ser justificado pela conscientização dos profissionais e liderança que é pautada nos treinamentos executados.

4.2.5.2 Frequência de acidentes graves

A frequência de acidentes graves foi estudada separadamente dos acidentes leves, pela intensidade e prejuízo tanto material quanto pessoal que ela acarreta. Sendo a política da empresa tratar este tema de maneira eficaz e enérgica, atua nas causas raízes de forma a evitar tais ocorrências.

Tendo essa idéia bem alicerçada nos princípios da empresa, os índices de acidentes graves que levam ao afastamento do colaborador ou até o óbito, são demonstrados sem expressão, conforme a Tabela 22.

Tabela 22 – Acidentes graves para o setor do tratamento de caldo

ACIDENTES GRAVES NO SETOR DE TRATAMENTO DE CALDO					
Período	1	2	3	4	5
Acidentes	1	0	2	0	0

Os acidentes graves que ocasionaram esses números foram justificados como falha operacional. Como exemplo o terceiro período, que o colaborador executou fora do roteiro padrão, o acendimento da enxofreira, ocasionando em queimaduras em seu corpo.

Com a implantação da manutenção total produtiva, os treinamentos visaram a conscientização e o treinamento das corretas práticas de fabricação, sendo orientados por roteiros padrão de operação, assim minimizando os riscos, como mostra a Tabela 23.

Tabela 23 – Frequência de acidentes graves para o setor do tratamento de caldo

FREQUÊNCIA DE ACIDENTES GRAVES					
Período	1	2	3	4	5
Frequência	0,15%	0,00%	0,29%	0,00%	0,00%

A eficiência da TPM foi incontestável nesse último período, que pela conscientização dos colaboradores, resultou em dois meses sem acidentes graves.

4.2.6 Moral (D)

A manutenção total produtiva tem como um dos princípios a avaliação da moral da equipe, que por meio deste estudo, foi avaliada na condição de treinamento.

Os treinamentos é uma peça vital na implantação da TPM, só por meio deste que é possível a capacitação do operador de operação realizar pequenas manutenções no ambiente de trabalho, edificando a base do sistema de manutenção proposto.

Os treinamento ocorriam uma vez por semana, geralmente aos sábado, onde se destinava duas horas para informar sobre as condições e visões da empresa.

Treinamentos que aperfeiçoariam a capacidade profissional ocorreriam fora do expediente de trabalho normal, sendo pagos adicionais extras.

A proposta com esse sistema de manutenção visou destinar trinta minutos iniciais do dia para informar sobre assuntos pertinentes ao processo, como roteiro de operação, segurança, valores e ambiente atual da empresa.

Foram delegadas responsabilidades a colaboradores específicos e experientes do processo, assim aplicando treinamento conforme sua especialidade em horas normais de trabalho, para não acrescentar horas extras.

Desta forma nos três primeiros períodos estudados entende-se que de 2046 horas trabalhadas apenas 2,46% foram destinadas a treinamentos e informativas e após o novo método implantado indicou 4,08% atingindo o mesmo número de pessoas.

A Tabela 24 demonstra as horas utilizadas para informativas e treinamentos nos períodos estudados.

Tabela 24 – Horas de treinamento safra 2013/2014

HORAS DE TREINAMENTO POR PERÍODO					
Período	1	2	3	4	5
Informativas (H)	10	8	8	13,5	15
Treinamento (H)	12	4	4	8	8

Assim com os dados, foram utilizado o indicador proposto para observar quanto das hora trabalhadas foram ocupadas com especialização de mão-de-obra, destacado na Tabela 25.

Tabela 25 – Horas de treinamento por horas trabalhadas

HORAS TREINADAS POR HORAS TRABALHADAS					
Período	1	2	3	4	5
Horas treinadas	3,06%	1,67%	1,67%	2,99%	3,19%

Pode-se observar com a Tabela 25 que os índices provenientes do primeiro período se destacam, por ser início da safra a empresa utiliza desta para reciclar os cursos normativos, tratando de um período anormal.

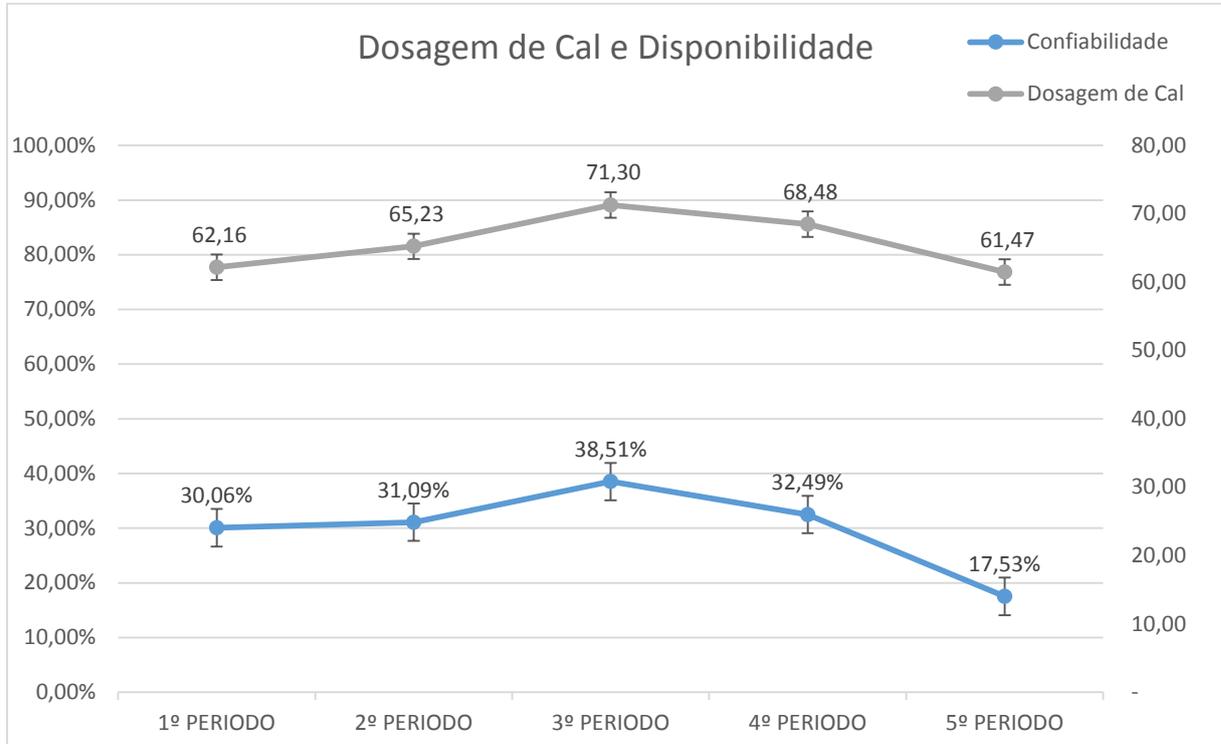
Já no segundo e terceiro período se mantiveram estáveis retratando a condição da empresa. Com a implantação da manutenção produtiva total e a política de informativas diárias, houve uma capacitação maior dos colaboradores, refletindo até em indicadores externos, dizendo que de fato houve uma melhora na moral dos envolvidos com o processo com a TPM.

4.3 Visão global do processo

Analisando os números obtidos pode-se dizer que esse projeto piloto de implantação do sistema de manutenção total produtiva teve bons resultados em relação aos objetivos propostos pelo método. Onde mudando o homem pode prover mudanças nas máquinas e equipamentos, gerando uma melhoria de rendimento global dos equipamentos, otimizando a

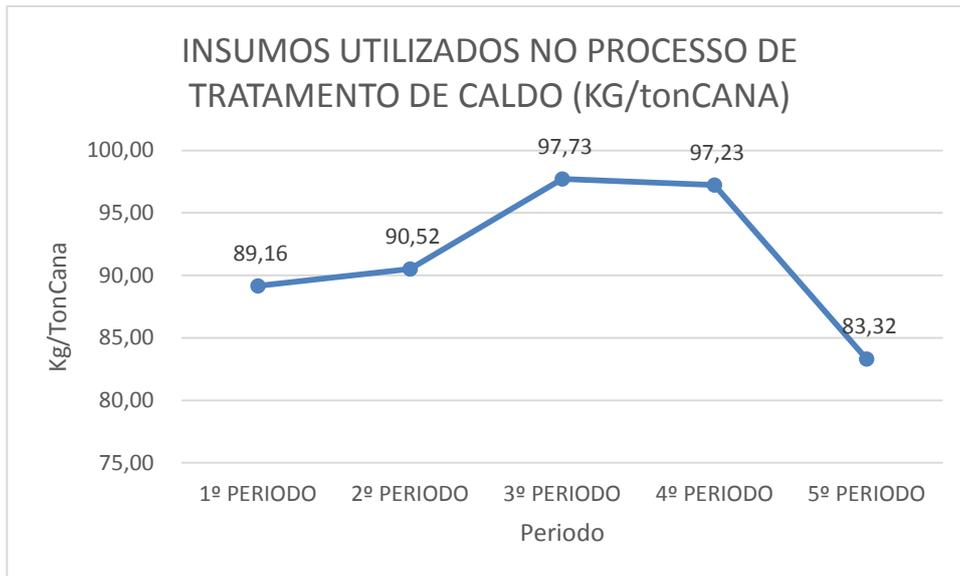
disponibilidade em 0,48% e a confiabilidade em 32,83% comparando com os meses anteriores ao início da implantação, conforme a Figura 11.

Figura 11 – Gráfico da dosagem do cal e disponibilidade do transmissor de pH



Da mesma forma que o consumo total de insumos do tratamento de caldo, somando as quantidades de polímeros nos filtros e decantadores, junto as quantidades de cal e enxofre reduzindo em 2,46% comparados com meses anteriores da implantação e se comparados com o menor consumo de insumos prevenido no mês anterior ao TPM, gerou uma redução de 7%, onde no terceiro mês datou um consumo média de 89,16 quilos de insumos por tonelada de cana e no quinto mês 83,32 quilos de insumo por cana moída, conforme demonstrado na Figura 12.

Figura 12 – Gráfico de insumos utilizados no tratamento do caldo



Estas melhorias, tanto das pessoas como dos equipamentos, promovem a melhoria da estrutura da empresa, como é almejado pelo TPM. Essa melhoria pode ser destacada pelos valores atingidos com a segurança e treinamento, onde gerou uma mão de obra mais consciente e valorizada, sendo excelente em um contexto empresarial.

Como maximização do índice operacional ou do seu rendimento, entende-se o incremento da produtividade. Em outras palavras, significa a minimização dos *inputs* (despesas) e a maximização dos *outputs* (resultados).

Na grande maioria das empresas japonesas, os resultados alcançados com o TPM, após a sua implementação são aumento da produtividade, diminuição das paradas imprevistas, melhoria do rendimento operacional, diminuição da ocorrência de defeitos e consequente reclamação por parte dos usuários, diminuição dos custos de manutenção, diminuição do estoque de produtos acabados e paradas por acidente, e poluição.

Existem, ainda, os resultados intangíveis, que compreendem a consolidação da manutenção espontânea, ou seja, a condução do trabalho sem a necessidade de ordem, autoconfiança e melhoria no ambiente de trabalho.

Esses são ambientes a serem consolidados pela empresa estudada, mas de tal forma o primeiro passo foi dado com a implementação deste sistema em menor escala.

5 CONCLUSÃO

Na forma como foram demonstrados os valores obtidos partindo das análises dos dados, pode-se afirmar que a implantação de um controle de manutenção, no caso da TPM, foi eficaz para com o processo de tratamento do caldo do açúcar.

Ao definir os pontos críticos e atacar com uma manutenção autônoma e planejada junto com a capacitação dos colaboradores envolvidos, como propõe a manutenção produtiva total, possibilitou a redução de insumos não renováveis no processo de dosagem de caldo de maneira expressiva, onde obteve-se uma economia de 6,6% na média de consumo de cal, representando 2,25 toneladas deste insumo, 8% o equivalente a 370 mil quilos de polímero e 9,2% no consumo de enxofre o que seria 800 mil quilos e menos, aumentando em 0,48% a disponibilidade do equipamento, melhorando sua eficiência e aproveitando o máximo da sua capacidade produtiva.

Conclui-se que o objetivo proposto pelo estudo foi planejado, mensurado e atingido utilizando uma metodologia de manutenção autônoma e proativa, sem a necessidade de um alto investimento de capital, apenas explorando os recursos já existentes. Graças a metodologia da manutenção total produtiva pode-se tornar o processo envolvido mais rentável e produtivo, assim tornando a empresa mais competitiva no mercado mundial.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, S.A.C.; CASTRO. S.B. **Engenharia e tecnologia açucareira**. Departamento de Engenharia Química.CTG – UFPE. 2006, Pernambuco.

BAYRNA, A. Da C. **Tecnologia do Açúcar (II)**. Coleção Canavieira Nº 15.2005.

CAMPOS, V.F. **TQC: Controle da qualidade no estilo japonês**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1991

CARLIN, S. D.; SILVA, M. A.; PERECIN, D. **Fatores que afetam a brotação inicial da Cana-de-açúcar**. Revista Ceres, Viçosa, v. 51, n. 296, p.457-466, 2004

COSTA NETO, J. D. **A cana em tempo bom**. Revista CREA-PR, Curitiba, n.41, p.16-19, out. 2006.

DHILLON, B. S. **Engineering Maintenance: A Modern Approach**. CRC Press LLC, Boca Raton.2002.

FAVARO, J. **CONTROLE PREDITIVO APLICADO A PLANTA PILOTO DO PROCESSO DE NEUTRALIZAÇÃO DE PH**: introdução. São Paulo, 2012. P. 17.

HEIZIER, F. C. **Processos químicos industriais: Industria açucareira**.V.2.São Paulo,2013.

LIMA, F. De A.; de CASTILHO, J. C. N. **Aspectos da Manutenção dos Equipamentos Científicos da Universidade de Brasília**. Brasília, 2006

MARQUES, S. (2009). *Manutenção Industrial e Custo do Ciclo de Vida - Extração Oleaginosas*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

MORAES, Paulo Henrique de Almeida. **Manutenção produtiva total**: estudo de caso em uma empresa automobilística. Taubaté: UNITAU, 2004.

NASCIF, Júlio, KARDEC, Alan e BARONI, Tarcísio. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Rio de Janeiro: Qualitimark, 2002.

RIBEIRO, C.A.F. **Fundamentos de tecnologia sucroalcooleira: Tecnologia do açúcar**.1.ed.Piracicaba.1999

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Ed. Autor, 2004. 309 p.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2.ed. Piracicaba: Ed. Autor, 2005. 302 p.

RIPOLI, T. C. C. **Aumenta o interesse pela mecanização do plantio**. Jornal Cana, Ribeirão Preto, n.151, p. 30-31, 2006.

RODRIGUES, R. **Século XXI, o novo tempo da agro energia renovável**. Visão Agrícola, V.1, n.1, p. 4-7, 2004.

RODRIGUES, E. B. **Comparação técnico-econômica da colheita de cana-de-açúcar na região de Bandeirantes – PR**. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

UNICA. **Estatística. Produção de Cana-de-Açúcar**. <http://www.unica.com.br>. Retirado em: 31, 2014 de Maio

VIANA, B. **Instrumentação Básica- Pressão e Nível – Instrumentação**. Espirito Santo: SENAI, 1998.V. 1.p.7.