UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

FACULDADE DE ENGENHARIA

ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE UMA SISTEMÁTICA DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE APLICADA PARA COLHEDORAS DE CANA DE AÇÚCAR

Adriano Thomé Marcellino

DOURADOS/MS

2015

ADRIANO THOMÉ MARCELLINO
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – UFGD

ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE UMA SISTEMÁTICA DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE APLICADA PARA COLHEDORAS DE CANA DE AÇÚCAR

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. Faculdade de Engenharia
Universidade Federal da Grande Dourados
Orientador: Prof. Dr. Marcus Varanis

DOURADOS/MS

2015

ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE UMA SISTEMÁTICA DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE APLICADA PARA COLHEDORAS DE CANA DE AÇÚCAR.

ADRIANO THOMÉ MARCELLINO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção e aprovado em sua forma final pela Comissão Julgadora da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados.

COMISSÃO JULGADORA

_____

Prof. Dr. Marcus Vinicius Monteiro Varanis
Orientador

_____

Prof. Me. Márcio Rogério Silva

_____

Prof. Me. Rafael Ferreira Gregolim

NOVEMBRO / 2015

AGRADECIMENTOS

- Àqueles que me transformaram na pessoa que sou hoje, meus pais Alcides e Emilcy, por todo o suporte e incentivo que sempre me deram.
- À minha adorável Lis Thayane, esposa e companheira, pelo apoio, motivação e compreensão.
- Aos meus adorados filhos Giovanna e Ian, como exemplo para suas vidas.
- Ao estimado Prof. Dr. Marcus Varanis, pelo suporte e dedicação dado a este trabalho.

RESUMO

O setor sucro energético vive um período de desafios onde a necessidade de aumentarmos a produtividade dos equipamentos e reduzirmos seus custos é fundamental para a sobrevivência de uma empresa. Com o propósito de melhorar a assertividade em relação à manutenção de suas colhedoras de cana de açúcar, o setor de Manutenção Automotiva das usinas produtoras de etanol, constantemente busca novos conceitos e tecnologias de reparo e monitoramento com aplicação em maquinários agrícolas, para reduzir custos e aumentar a disponibilidade dos equipamentos. A fim de testar a eficiência de uma sistemática de manutenção centrada na confiabilidade aplicada no ativo fundamental e de maior valor econômico do processo de colheita da cana de açúcar, a colhedora, este trabalho analisou um caso real de implantação ocorrido em uma usina. Este trabalho utilizou como metodologia uma pesquisa quantitativa e de caráter exploratório, fazendo um comparativo dos resultados obtidos entre os quatro anos analisados, 2011 a 2014. Os indicadores analisados comprovaram a eficiência dessa sistemática de manutenção deixando claro uma tendência crescente a cada ano.

Palavras Chave: manutenção, colhedora de cana de açúcar, confiabilidade.

ABSTRACT

The sugarcane industry is going through a period of challenges where the need to increase the productivity of equipment and reduce your costs is critical to the survival of a company. In order to improve the assertiveness regarding the maintenance of its sugar cane harvesters, the Automotive Maintenance sector of producing ethanol plants, constantly seeking new concepts and repair and monitoring technologies with application in agricultural machinery, to reduce costs and increase the availability of equipment. In order to test the effectiveness of a maintenance system centered in reliability applied in fundamental active and higher economic value of harvesting sugar cane, the harvester, this study analyzed a real case of implementation occurred at a sugarcane industry. This study used as methodology a quantitative and exploratory research, making a comparison of the results between the four years analyzed, 2011 to 2014. The indicators analyzed proved the efficiency of the new maintenance system deployed making clear an increasing trend every year.

Keywords: maintenance, sugar cane harvester, reliability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO 20
FIGURA 2 – MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA 22
FIGURA 3 – MANUTENÇÃO PREVENTIVA (FONTE: KARDEC & NASCIF, 2009) 27
FIGURA 4 – MANUTENÇÃO PREDITIVA 30
FIGURA 5 – COMPARAÇÃO DA MANUTENÇÃO TRADICIONAL COM A MCC 32
FIGURA 6 – MASP (MÉTODO DE ANÁLISE DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS) 38
FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS SISTEMAS DE COLHEITA NAS UNIDADES DA REGIÃO CENTRO-SUL 40
FIGURA 8 – COLHEDORA DE CANA DE AÇÚCAR 42
FIGURA 9 – ORGANOGRAMA CMA 45
FIGURA 10 – DISPONIBILIDADE MÉDIA ANUAL DAS COLHEDORAS DE CANA DE AÇÚCAR NO PERÍODO DE 2011 A 2014 52
FIGURA 11 – CUSTO DE MANUTENÇÃO MÉDIO POR COLHEDORA DE CANA NO PERÍODO DE 2011 A 2014 (SAFRA E ENTRESSAFRA) 53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DISPONIBILIDADE MÉDIA MENSAL DAS COLHEDORAS DE CANA DE AÇÚCAR NOS ANOS DE 2011 A 2014 50
TABELA 2 – CUSTO MÉDIO DE MANUTENÇÃO DAS COLHEDORAS DE CANA DE AÇÚCAR NO PERÍODO DE 2011 A 2014 - SAFRA E ENTRESSAFRA. 51
TABELA 3 – CUSTO MÉDIO DE MANUTENÇÃO DURANTE A REVISÃO DE ENTRESSAFRA DAS COLHEDORAS DE CANA DE AÇÚCAR (2011 A 2014) 51

LISTA DE EQUAÇÕES

(1) CÁLCULO DA CONFIABILIDADE DO EQUIPAMENTO R(T) 31
(2) DISPONIBILIDADE INERENTE 35
(3) DISPONIBILIDADE TÉCNICA 35
(4) DISPONIBILIDADE OPERACIONAL 35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 APRESENTAÇÃO DO CASO 14
1.2 JUSTIFICATIVA 14
1.3 OBJETIVOS 15
1.3.1 Objetivos Específicos 15

2 REVISÃO DA LITERATURA 17
2.1 DEFINIÇÃO DA MANUTENÇÃO 17
2.2 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO 18
2.3 FORMAS DE MANUTENÇÃO 20
2.3.1 Manutenção corretiva 21
2.3.2 Manutenção preventiva 25
2.3.3 Manutenção preditiva 28
2.4 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC) 31
2.4.1 Objetivos do MCC 33
2.4.2 Indicadores da Manutenção 34
2.4.3 Análise de Falhas Ocorridas 37
2.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO 39
2.6 MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS 39
2.6.1 Definição da Colhedora de Cana 41

3 MATERIAIS E MÉTODOS 44
3.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO 44
3.2 DESCRIÇÃO DA SISTEMÁTICA APLICADA. 46

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 50

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 52

REFERÊNCIAS 55

1 INTRODUÇÃO

Uma manutenção de alta eficiência é uma das ferramentas fundamentais para que os empreendimentos agrícolas que utilizam intensivamente maquinários de alta tecnologia, como é o caso das usinas produtoras de açúcar, etanol e energia, cumpram metas de produção e alcancem lucros planejados.

O Mato Grosso do Sul e mais especificamente o conjunto de municípios que fazem parte da Alta Bacia do Rio Ivinhema é uma das regiões do Brasil que mais expandiu a plantação de cana de açúcar nos últimos cinco anos. Chegaram empreendimentos capitaneados por grandes grupos econômicos como Odebrecht, Louis Dreyfus, Bunge, entre outros.

Todos esses empreendimentos trouxeram com eles a determinação de não fazer o corte manual da cana, que requere a queima prévia, mas sim utilizar colhedoras de última geração que, além de não agredir o meio ambiente, possuem uma capacidade de produção bem maior (em média uma colhedora substitui 80 a 100 trabalhadores do corte manual) e com um custo menor.

Para que as usinas processadoras da cana de açúcar consigam cumprir suas metas de moagem e produção de etanol, açúcar e energia é preciso que seus equipamentos possuam um alto índice de disponibilidade operacional. Para que isto aconteça são necessários processos de manutenção que considerem cuidadosamente todos os aspectos técnicos, que capacite pessoal e tenha organogramas e fluxogramas elaborados de acordo com os mais modernos desenvolvimentos na área.

Geraghety (2002) afirma que a manutenção moderna possui uma visão voltada para a preservação das funções dos ativos físicos, distribuindo atividades que atendam o principal propósito de garantir que os equipamentos disponíveis possam realizar suas funções quando for necessário.

O capital empregado em bens imóveis juntamente com um aumento acentuado do custo de capital trouxe a necessidade de aumentar ao máximo a vida dos equipamentos e sistemas produtivos. Os gastos com manutenção ocupam, em diversos setores, o segundo, senão, o principal elemento dos custos operacionais (MOUBRAY, 1997).

O caminho aqui percorrido contrapõe a manutenção mais comum, que consiste basicamente na “correção” de problemas que surgem durante a operação (corretiva emergencial ou não planejada), e atenta às modernas técnicas preventivas e preditivas de manutenção como

ferramenta para atingir uma manutenção centrada na confiabilidade, pois aumentando a confiabilidade do maquinário é possível prever as quebras e paradas mais impactantes para a produção, aumentando também a disponibilidade e produção da máquina e maximizando a vida útil dos equipamentos.

1.1 APRESENTAÇÃO DO CASO

O caso estudado neste trabalho refere-se a analise da implantação de uma sistemática de manutenção aplicada nas colhedoras de cana no setor de manutenção agrícola. O estudo será realizado em uma usina processadora de cana de açúcar que produz etanol e energia elétrica situada na região da grande Dourados (MS).

A estratégia de manutenção adotada segue os conceitos da confiabilidade, que foca na utilização de técnicas preventivas e preditivas que auxiliam na prevenção da falha, podendo reduzir quebras inesperadas, paradas de máquinas não programadas e aumentar a disponibilidade dos equipamentos produtivos os tornando mais “confiáveis”, possibilitando assim a realização de um planejamento de colheita mais preciso e eficiente.

Este estudo tem o intuito de verificar a eficiência de um sistema de manutenção centrado na confiabilidade aplicado nas colhedoras de cana, realizando um comparativo em relação ao modelo anteriormente utilizado (mais conhecido como “quebra – conserta”). Esta “eficiência” será medida através do uso de indicadores de custo e disponibilidade de máquina, buscando evidenciar se é viável e se traz bons retornos econômicos e operacionais.

1.2 JUSTIFICATIVA

As crescentes exigências e mudanças do mercado sucroalcooleiro obrigam de certa forma as empresas a acompanharem este processo de uma forma quase simultânea. A não ocorrência disto pode fazer com que fiquem atrasadas, diminuindo gradativamente seus ganhos, podendo até levá-las a falência.

Uma das principais exigências do mercado atual não é somente o lucro através do aumento nas vendas e na capacidade e velocidade da produção, mas também na eliminação dos desperdícios e diminuição dos custos, principalmente os relacionados à manutenção.

Segundo Kardec e Nascif (2009), “o custo de manutenção representou 4,2%, na média, do custo geral das empresas entre 1995 e 2007. Apesar de ser importante continuar reduzindo os custos de manutenção, é preciso dar prioridade ao aumento da disponibilidade e da confiabilidade, já que estes fatores estão intimamente ligados ao faturamento e representam 95,8% da equação Faturamento X Custo”.

São por esses e outros motivos que um programa de manutenção deve ser bem projetado, caso contrario pode levar a grandes perdas de disponibilidade, confiabilidade e segurança, podendo afetar negativamente a produtividade e, conseqüentemente, o lucro da empresa.

Em observação aos fatores citados neste capítulo, será feito um estudo com o intuito de verificar se um modelo de manutenção, centrado nos conceitos e práticas da confiabilidade, aplicado em máquinas agrícolas do setor sucroalcooleiro (mais precisamente nas colhedoras de cana de açúcar) pode ser uma boa solução para atender as exigências e requisitos do mercado.

1.3 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar e comparar os resultados de custo e disponibilidade de máquina, obtidos antes e depois da aplicação de uma sistemática de manutenção centrada na confiabilidade dos equipamentos como ferramenta de apoio a manutenção do maquinário agrícola de uma usina processadora de cana de açúcar.

1.3.1 Objetivos Específicos

Coleta e compilação dos dados de disponibilidade e custos de manutenção das colhedoras de cana de açúcar, da usina em questão, dos anos de 2011 a 2014. Com isto será possível realizar um comparativo dos dados obtidos (custo e disponibilidade) dos anos anteriores à utilização da

sistemática de manutenção centrada na confiabilidade (2011 e 2012) com os dados dos anos posteriores ao início da sua utilização (2013 e 2014), evidenciando a sua eficiência ou não.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem o intuito de apresentar um embasamento teórico para que o estudo do plano de manutenção centrada na confiabilidade aplicado possa obter um melhor entendimento através de conceitos de manutenção de maquinários e equipamentos aplicados no setor sucroalcooleiro.

2.1 DEFINIÇÃO DA MANUTENÇÃO

Uma das definições do termo manutenção pode ser encontrada na Norma NBR 5462 (1994), que descreve a manutenção como "um conjunto de ações técnicas e administrativas que possuem um intuito de conservar ou recolocar um item em seu estado de funcionamento padrão".

Buscando uma abordagem mais científica, a Norma da AFNOR NFX 60-010 (1988) define manutenção como "um grupo de ações que permitem manter ou restabelecer um item em um bom estado de funcionamento para garantir a realização de um serviço determinado".

Abrangendo de uma forma mais geral e completa pode-se definir como,

> *"Manutenção – Conjunto de ações para detectar, prevenir, ou corrigir falhas e defeitos, falhas funcionais e potenciais, com o objetivo de manter as condições operacionais e de segurança dos itens, sistemas ou ativos. As ações cuja finalidade é modificar um item para que ele desempenhe a função pretendida pelo usuário ou proprietário, mas não alcançada, são ações de Engenharia, mas podem ser consideradas como ações de manutenção, normalmente apontadas pela Engenharia de Manutenção e detalhadas pelos diversos ramos da engenharia (civil, mecânica, elétrica, eletrônica etc.)" (BRANCO FILHO, 2008, p. 34 e 2006, p. 75).*

2.2 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

A palavra manutenção é oriunda do latim *manus tenere* (manter o que se tem) e está presente na humanidade há muito tempo, desde quando começou a serem usados os mais primitivos instrumentos de produção. A explosão da Revolução Industrial no fim do século XVIII trouxe um gigantesco aumento na capacidade de produção de bens de consumo, algo que até aquele momento era considerado impossível por muitos. No século seguinte houveram várias revoluções, principalmente na área da tecnologia, que causaram um grande impacto na forma de viver da população mundial (VIANA, 2002).

A dificuldade em definir quando surgiu à atividade de manutenção de modo preciso é muito grande, pois desde sempre existe a necessidade de se reparar alguma coisa. Os registros históricos demonstram que os primeiros profissionais da área da manutenção surgiram por volta do século XVI na Europa, junto com a fabricação dos primeiros relógios mecânicos. Após este fato a manutenção teve grande evolução com a chegada da Revolução Industrial e a Primeira Grande Guerra, que contribuíram na expansão das atividades de manutenção emergenciais. Já na Segunda Grande Guerra veio a tona alguns conceitos como a disponibilidade e a produtividade, que passaram a ser explorados com um maior afinco pelas grandes companhias, o que, futuramente, deu início ao conceito da manutenção preventiva e outros tipos mais modernos (GERAGHETY, 2000).

Fazendo uma rápida análise histórica, pode-se perceber claramente que grandes conflitos levaram a grandes evoluções também, não apenas na área da manutenção e produção industrial, mas em um campo amplo de inovações, indo desde a área da medicina e saúde a área da construção civil, comunicação, entre várias outras.

Kardec & Nascif (2009), defendem a ideia que a partir dos anos 30, devido ao grande numero de transformações sofridas, a manutenção pode ser dividida em quatro gerações, sendo:

- <u>Primeira Geração</u> – Devido à economia da época a produtividade não era uma questão de prioridade nas grandes companhias, com isso não se fazia necessário um sistema de manutenção, apenas serviços de limpeza, lubrificação e reparos após a quebra eram satisfatórios, ou seja, a manutenção era apenas corretiva emergencial. As falhas dos equipamentos eram vistas como um desgaste natural, pois se acreditava que todos os equipamentos se desgastavam com o passar dos anos, surgindo quebras ou falhas, por isso

buscavam-se profissionais na área da manutenção que possuíssem a habilidade de realizar o reparo necessário do equipamento (Kardec & Nascif, 2009).

- Segunda Geração – Sievuli (2001) defende que a segunda geração se caracteriza pela necessidade de um aumento na disponibilidade e na vida útil dos equipamentos, pelas intervenções preventivas com base no tempo de uso, pelo alto custo de manutenção, pelos sistemas de planejamento manuais, registros das tarefas e das intervenções de manutenção e, posteriormente, pelo início da informatização das atividades manutentivas.
- Terceira Geração – Iniciada a partir de 1970, a terceira geração da manutenção pode ser reconhecida pelo aumento da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, do custo e benefício da manutenção, aumento na qualidade dos produtos e na preocupação com a segurança e saúde do funcionário e com o meio ambiente, aumento no uso das manutenções preventivas baseadas nos riscos potenciais de quebra, pelo surgimento de computadores menores e mais potentes e dos grupos de trabalhos multidisciplinares (SIEVULI, 2001, p8).
- Quarta Geração – Para Kardec & Nascif (2009), nesta fase a análise de falhas se torna uma prática essencial em relação à melhora do desempenho dos equipamentos e, conseqüentemente, da empresa. Com o intuito de minimizar ao máximo a parada dos equipamentos para manutenção, o uso de práticas preditivas e de monitoramento de condição do maquinário se destaca e é cada vez mais utilizado, o que leva a uma diminuição no uso de outras práticas como a manutenção preventiva ou programada e, principalmente, na corretiva não planejada (emergencial), tornando se um indicador de ineficácia da manutenção.

Esta é a fase atual da manutenção, pois as exigências do mercado aumentam drasticamente a competitividade entres as empresas e cria um ambiente onde não há espaço para paradas não planejadas, perda de produtividade, alto custo de manutenção, entre outros que possam impactar negativamente na produção e no lucro. Com isso a alta disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos tornaram-se fatores fundamentais para estabilidade, desenvolvimento e sucesso das empresas dentro do mercado.

A Figura 1, a seguir, apresenta um resumo descrevendo as mudanças ocorridas em cada uma das fases evolutivas da manutenção.

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO				
	PRIMEIRA GERAÇÃO	SEGUNDA GERAÇÃO	TERCEIRA GERAÇÃO	QUARTA GERAÇÃO
Ano	1940 1950	1960 1970	1980 1990	2000 2010
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	• Conserto após a falha	• Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento	• Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Melhor relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente	• Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Preservação do Meio Ambiente • Segurança • Influir nos resultados do negócio • Gerenciar os ativos
Visão quanto à falha do equipamento	• Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham	• Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	• Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubray)	• Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F. (Nowlan & Heap e Moubray)
Mudança nas técnicas de Manutenção	• Habilidades voltadas para o reparo	• Planejamento manual da manutenção • Computadores grandes e lentos • Manutenção Preventiva (por tempo)	• Monitoramento da condição • Manutenção Preditiva • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Softwares potentes • Grupos de trabalho multidisciplinares • Projetos voltados para a confiabilidade • Contratação por mão de obra e serviços	• Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição • Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada • Análise de falhas • Técnicas de confiabilidade • Manutenibilidade • Engenharia de Manutenção • Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida • Contratação por resultados

Figura 1 - Evolução da Manutenção
(Fonte: Kardec e Nascif, 2009)

2.3 FORMAS DE MANUTENÇÃO

As várias formas de manutenção existentes se diferem umas das outras conforme o tipo de intervenção realizada nas instalações, equipamentos ou sistemas. Dentre elas há uma enorme variedade de denominação, por isso serão abordadas apenas as principais, destacando-se:

- Manutenção Corretiva (planejada e não planejada);
- Manutenção Preventiva;

- Manutenção Preditiva;

2.3.1 Manutenção corretiva

Segundo Kardec e Nascif (2009), “manutenção corretiva é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menos do que o esperado”.

Conforme Viana (2002), “manutenção corretiva é a atividade que existe para corrigir falhas decorrentes dos desgastes ou deterioração de máquinas ou equipamentos. São os consertos das partes que sofreram a falha, podendo ser: reparos, alinhamentos, balanceamentos, substituição de peças ou substituição do próprio equipamento”.

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”.

Viana (2002), afirma que o fato de atuar em maquinário que demonstra uma falha ou um desempenho diferente das suas condições normais de operação é uma manutenção corretiva. Desta forma, a manutenção corretiva não pode ser considerada somente como de emergência, pois seu principal foco é a restauração das condições normais de funcionamento de um equipamento e não a simples correção de falhas decorrente do desgaste de peças ou mau uso do equipamento. Em função disto pode ser divida em duas, sendo:

- Manutenção Corretiva Não Planejada (ou Emergencial);
- Manutenção Corretiva Planejada.

2.3.1.1 Corretiva não planejada

A manutenção corretiva não planejada ou emergencial implica na correção de uma quebra inesperada, ou seja, é uma intervenção da manutenção em algo que já ocorreu, podendo ser tanto uma falha quanto uma queda de desempenho do equipamento.

Kardec & Nascif (2009) definem a manutenção corretiva não planejada como “a correção de uma falha de maneira aleatória”.

Essa manutenção é caracterizada pela correção de fatos que já ocorreram, sejam eles desempenhos inferiores ao esperado ou uma falha. Sem tempo para preparação de peças e nem de planejar o serviço; isto é, manutenção corretiva não planejada é a correção da falha de modo aleatório a fim de evitar maiores consequências (WILLIANS, 1994 *apud* CASTELLA, 2001).

Devido à falta de tempo para a preparação do serviço, este tipo de intervenção acaba implicando em altos custos, perda de tempo e de produção. Além de diminuir a produtividade da máquina e a qualidade do produto, ela também acarreta elevados custos indiretos de manutenção e graves consequências para os equipamentos, como a diminuição de sua vida útil.

Os custos de uma manutenção emergencial podem se tornar três a quatro vezes maiores do que de um serviço planejado e isto ocorre, principalmente, devido aos fatores descritos abaixo:

- Mínima utilização dos recursos da manutenção e de sua mão de obra por não possuir um planejamento adequado;

- Foco em reparar apenas os sintomas óbvios da falha, ou seja, a intervenção ocorre direto na quebra identificada sem buscar a causa raiz do problema a fim de evitar a recorrência do mesmo tornando cada vez mais frequente a necessidade de reparos.

O desempenho de um equipamento mantido através da manutenção não programada pode ser demonstrado através da Figura 2.

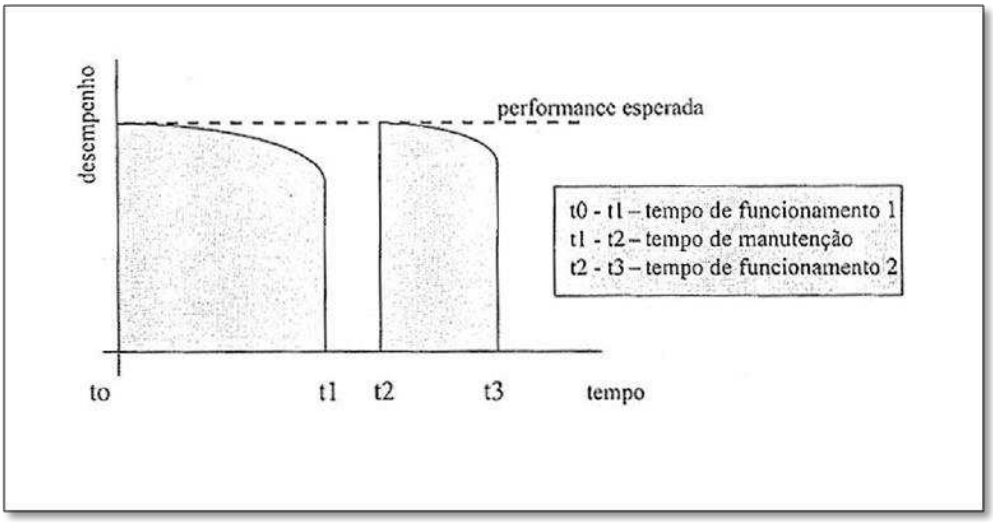

Figura 2 – Manutenção Corretiva Não Planejada
(Fonte: Kardec & Nascif, 2009)

Pode se observar na Figura 2 que o tempo até a quebra é aleatório e tempo de funcionamento 1 (t_0-t_1) difere do tempo de funcionamento 2 (t_2-t_3), ou seja, conforme o tempo vai passando o equipamento apresenta uma queda de desempenho, diminuindo assim sua

produtividade e vida útil. Porém não são todos os equipamentos que apresentam este tipo de comportamento, há aqueles que ao longo do tempo apresentam um desempenho constante e de repente ocorre uma falha instantânea, como por exemplo, as lâmpadas.

Empresas que trabalham com manutenção corretiva não planejada na maior parte de suas intervenções manuteníveis se tornam obsoletas na visão competitiva do mercado atual, isto ocorre devido ao alto custo de manutenibilidade, desperdício de materiais, queda no desempenho e na vida útil dos maquinários, entre outros. Além disso, seu departamento de manutenção acaba sendo comandado pelos equipamentos, pois o setor fica aguardando que haja uma falha para entrar em ação.

No setor sucroalcooleiro essa forma de manutenção sempre foi fortemente utilizada, sendo predominante nos equipamentos agrícolas durante muitos anos desde o inicio das suas atividades no Brasil. Com o passar dos anos e o surgimento de novos estudos e conceitos da manutenção as empresas do ramo foram obrigadas a tomarem outra atitude e agregar os outros tipos (corretiva planejada, preventiva e preditiva) no seu escopo para se adequarem às necessidades e exigências do mercado.

No cenário atual das usinas processadoras da cana de açúcar ainda há um volume considerável de manutenções corretivas não planejadas dos equipamentos agrícolas, porém esta realidade está com os dias contados, pois não há mais espaço para tipos de manutenção que acarretam elevado custo e tempo de parada de produção. Não há como eliminar totalmente a manutenção corretiva emergencial, devido a imprevistos que vão desde o operador da máquina ao terreno em que ela está operando, porém as usinas devem buscar sempre um numero que mais se aproxime de zero, ou seja, quanto menor forem as manutenções corretivas emergências, menor será o custo da parada do equipamento e da intervenção.

2.3.1.2 Corretiva planejada

A manutenção corretiva planejada consiste na intervenção para corrigir uma possível falha ou um desempenho menor que o esperado de um equipamento, sendo a primeira identificada antes de sua ocorrência através de inspeções preventivas visuais ou análises preditivas.

Para Kardec e Nascif (2009), a manutenção planejada é a correção de um desempenho menor que o esperado ou correção de uma falha por decisão gerencial. Normalmente a decisão gerencial baseia-se em uma modificação dos parâmetros de condição observados pela manutenção preditiva.

Pinto e Xavier (2001) define este tipo de manutenção como uma falha ou condição anormal de operação de um equipamento na qual a correção depende de decisão gerencial, seja em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra. A decisão de adotar a política de manutenção corretiva planejada pode ser originada com base em vários fatores, tais como: negociação de parada do processo produtivo com a equipe de operação, aspectos ligados à segurança, melhor planejamento dos serviços, garantia de ferramental e peças sobressalentes, necessidade de recursos humanos tais como serviços contratados. Esse tipo de manutenção possibilita o planejamento dos recursos necessários para a intervenção de manutenção, uma vez que a falha é esperada.

A principal diferença entre a manutenção corretiva planejada e a preventiva é que o problema deve existir antes que ocorra algum tipo de intervenção manutenível. Atividades preventivas agem na intenção de prevenir a ocorrência de uma falha e a corretiva planejada age na correção de um problema já existente.

A corretiva planejada é focada em atividades regulares e planejadas que possuem o intuito de manter todo maquinário critico e os sistemas de uma planta operando em suas perfeitas condições. A eficácia da manutenção deve ser medida através dos custos e do tempo de vida útil dos equipamentos e não com que rapidez um equipamento danificado pode retornas as suas atividades (HIGGINS & MOBLEY, 2002).

Esse tipo de manutenção pode ser considerado como um subconjunto de um programa de manutenção preventiva sendo neste caso uma aproximação proativa para o gerenciamento da manutenção. O objetivo fundamental desta aproximação é eliminar quebras inesperadas, queda no desempenho da máquina, reparos desnecessários e aperfeiçoar a eficácia do sistema produtivo como um todo.

Inicialmente os problemas não apresentam caráter mecânico ou elétrico, ou seja, em sua maioria eles podem surgir como um desvio das condições ótimas de operação de um equipamento seja na sua eficiência, capacidade de produção, qualidade ou em qualquer outro aspecto que afete sua excelência operacional. Em vista disso acabou sendo adotado como

principal conceito da manutenção corretiva planejada a idéia de que todos os problemas sejam completamente reparados da forma adequada conforme a necessidade de cada equipamento. Todos os reparos devem ser bem planejados, executados por uma equipe propriamente treinada, e verificados quanto a sua eficácia antes do equipamento retornar ao serviço (HIGGINS & MOBLEY, 2002).

Para que a manutenção corretiva planejada possa ser implantada com qualidade e eficácia são necessários alguns pré-requisitos essenciais, sendo:

- Identificação precisa do inicio de uma falha ou quebra – um programa de manutenção preventiva eficaz deve possui a habilidade de identificar com precisão a causa raiz inicial de todas as possíveis falhas antes que elas cheguem a ocorrem. Sem esta habilidade não é possível planejar ou programar as ações corretivas planejadas;
- Planejamento – todas as intervenções de manutenção devem ser muito bem planejadas e programadas a fim de minimizar tanto os custos quanto as paradas programadas da produção. O tempo estimado adequadamente deve permitir um reparo completo do dano causado por cada problema encontrado nos equipamentos eliminando-o desde sua causa raiz. Para que isto ocorra com precisão os planejadores devem ser muito bem treinados e possuir o conhecimento e as habilidades necessárias para executar suas atividades com maestria, alem disso é extremamente importante que haja um banco de dados com o histórico dos problemas contendo informações como o tempo médio de reparo, as ferramentas e os procedimentos necessários para executar tal atividade.

A manutenção ainda é realizada em sua grande parte por corretivas não planejadas, porém como já foi citado anteriormente esta realidade está mudando gradativamente.

2.3.2 Manutenção preventiva

Manutenção preventiva pode ser definida como um programa de manutenção comprometido em prever ou eliminar a quebra ou queda no rendimento desejado de um equipamento através de alguns métodos que possam identificar possíveis falhas antes que elas ocorram, como, por exemplo, as inspeções periódicas.

Monchy (1989) traz a seguinte definição, "manutenção preventiva é uma intervenção manutentiva planejada e programada antes do suposto surgimento de uma falha”.

Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou a queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.

Para Viana (2006), “manutenção preventiva é uma filosofia, uma série de procedimentos, ações, atividades ou diretrizes que podem, ou não, ser adotados para se evitar, ou minimizar a necessidade de manutenção corretiva. Adotar a manutenção preventiva significa introduzir o fator qualidade no serviço de manutenção.”

Um efetivo programa de manutenção preventiva deve utilizar de uma avaliação regular dos componentes críticos de um equipamento a fim de detectar problemas em potencial e após a identificação dos mesmos deve-se imediatamente planejar e programar a devida manutenção para evitar quebras e desgastes dos componentes que possam causar paradas não programadas da produção (HIGGINS & MOBLEY, 2002).

Para os autores, não há uma regra ou padrão para se definir quais equipamentos e componentes devem ser inspecionados e a periodicidade para isto acontecer. No inicio da elaboração de um projeto de manutenção preventiva a escolha dos equipamentos para serem avaliados nas inspeções devem seguir o critério de criticidade da produção, ou seja, deve-se dar uma maior atenção para os equipamentos vitais para o processo produtivo e assim por diante. Já a periodicidade de execução das inspeções devem ser definidas pontualmente para cada instalação, levando sempre em consideração fatores relevantes para a degradação dos equipamentos como as condições operacionais e ambientais.

Na fase inicial de operação podem ocorrer algumas situações adversas, porém comum neste período, como por exemplo, a ocorrência de falhas antes do período previsto pelo plano e o inverso, ou seja, a abertura prematura de um componente ou uma reposição de peça indevida. Com o tempo e o acúmulo de informações a respeito dos equipamentos e seus históricos de manutenção os planos de inspeções e intervenções preventivas vão se tornando cada vez mais eficazes e precisos (KARDEC & NASCIF, 2009).

Mesmo com toda a informação do equipamento, históricos e o bom funcionamento do plano da preventiva, os autores afirmam que com o decorrer da vida útil do equipamento aumenta

a probabilidade em ocorrer uma falha entre duas manutenções preventivas implicando em uma ação corretiva não planejada, como demonstrada no gráfico da Figura 3.

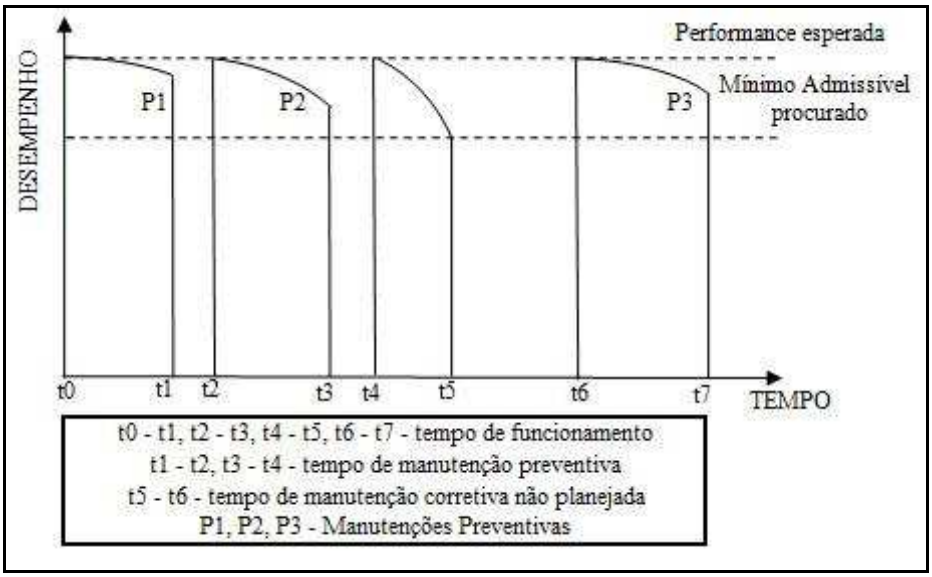

Figura 3 – Manutenção Preventiva
(Fonte: Kardec & Nascif, 2009)

Segundo Kardec e Nascif (2009) antes de se adotar um plano de manutenção preventiva é necessário considerar alguns fatores para que ele deva ser aplicado:

- Quando não for possível adotar a manutenção preditiva.
- Caso os aspectos relacionados com a segurança da instalação ou do pessoal definam a intervenção, geralmente para troca de componentes.
- Dependendo da criticidade de certos equipamentos sua liberação para intervenção se torna muito difícil, tendo que aguardar uma oportunidade de parada.
- Riscos ao meio ambiente.
- Sistemas complexos e/ou de operação contínua, como uma siderúrgica ou uma indústria automobilística.

A adoção de uma política preventiva será um tanto mais conveniente quanto mais alto for o custo das falhas, quanto maior for o dano causado na produção, quanto maior o risco para a segurança pessoal e operacional e quanto mais simples for a reposição do equipamento em operação (Kardec & Nascif, 2009).

Ainda para os autores, a manutenção preventiva apresenta alguns pontos negativos, são eles:

- Paradas periódicas dos equipamentos da produção para inspeções, correções planejadas, lubrificações, entre outras intervenções.
- Risco da introdução de defeitos nos equipamentos através de falha humana, contaminação no sistema de lubrificantes e combustíveis, ou entre outros aspectos ocorridos durante uma intervenção.

Um plano de manutenção em equipamentos agrícolas sempre utiliza a manutenção preventiva como um fator fundamental para sua eficácia por mais simples seja o plano, na verdade isto inclui todo e qualquer maquinário, pois equipamentos mecânicos precisam de, no mínimo, um bom plano de lubrificação para que possa desempenhar suas funções como o esperado. Caso contrário ele vai perdendo sua eficácia gradativamente até ruir por completo, diminuindo em muito sua disponibilidade e vida útil.

Por serem equipamentos extremamente complexos, as colhedoras de cana de açúcar necessitam de um plano de manutenção preventiva de exímia eficácia, incluindo um plano meticuloso de lubrificação e troca de óleo, pois precisam estar muito bem lubrificadas e seus óleos com suas propriedades ativas para que possam desempenhar suas funções com precisão e produtividade sem serem prejudicadas pelas más condições do ambiente em que trabalham (terra, poeira e sujeira em demasia), podendo contaminar severamente o sistema trazendo danos considerados simples ou até irreparáveis para a máquina.

Além dos planos essenciais (lubrificação e troca de óleo) é interessante também incluir um bom plano de acompanhamento das colhedoras de cana de açúcar através das inspeções visuais e preditivas a fim de prever cada vez mais e com maior antecedência uma quebra inesperada, diminuindo significativamente os gastos com manutenção, as paradas não programadas, as perdas na produção e aumentando em muito a disponibilidade da máquina (HIGGINS & MOBLEY, 2002).

2.3.3 Manutenção preditiva

Kardec e Nascif (2009), definem a manutenção preditiva como “a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece

a uma sistemática. Através de técnicas preditivas é feito o monitoramento da condição e a ação de correção, quando necessária, é realizada através de uma corretiva planejada.”

A manutenção preditiva é considerada como um programa manutentivo mal entendido e pouco usado. A maioria dos usuários define como sendo um meio de prevenir falhas catastróficas em maquinários críticos para a planta, já outros consideram como uma ferramenta da manutenção programada e planejada que utiliza da vibração, infravermelho e análise de óleo para determinar quando há a necessidade de uma intervenção corretiva planejada. Ainda há uma minoria que acredita que esta forma de manutenção é a panacéia das “doenças” críticas para os equipamentos, ou seja, é como se fosse a cura para evitar grandes falhas (HIGGINS & MOBLEY, 2002).

A manutenção preditiva é muito mais que uma ferramenta da manutenção planejada, pois se considerado como parte do plano de gerenciamento de desempenho da planta pode trazer benefícios para a produção, como o aumento da capacidade de produção, da qualidade do produto e acima de tudo da eficácia da produção da planta (HIGGINS & MOBLEY, 2002).

Kardec e Nascif (2009), defendem que para se adotar um plano de manutenção preditiva é necessário que sejam atendidas algumas condições básicas, como:

- O equipamento, sistema ou a instalação devem permitir alguma forma de monitoramento/medição.
- O equipamento, sistema ou instalação devem merecer esse tipo de ação, em relação dos custos envolvidos.
- As falhas devem ser originadas por causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada.
- Estabelecer um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado.

Kardec e Nascif (2009), também indicam fatores para análise da adoção de política de manutenção preditiva, sendo:

- Aspectos relacionados com a segurança pessoal e operacional.
- Redução de custos com o monitoramento constante das condições das máquinas, evitando paradas manutentivas desnecessárias.
- Manter o equipamento operando, de forma segura, por mais tempo.

No que diz respeito à produção, a manutenção preditiva é a que oferece os melhores resultados, pois como ela vai monitorando o desempenho dos equipamentos acaba efetuando

poucas paradas na produção para manutenção, fazendo assim com que a planta opere o maior tempo possível, como pode ser observado na Figura 04.

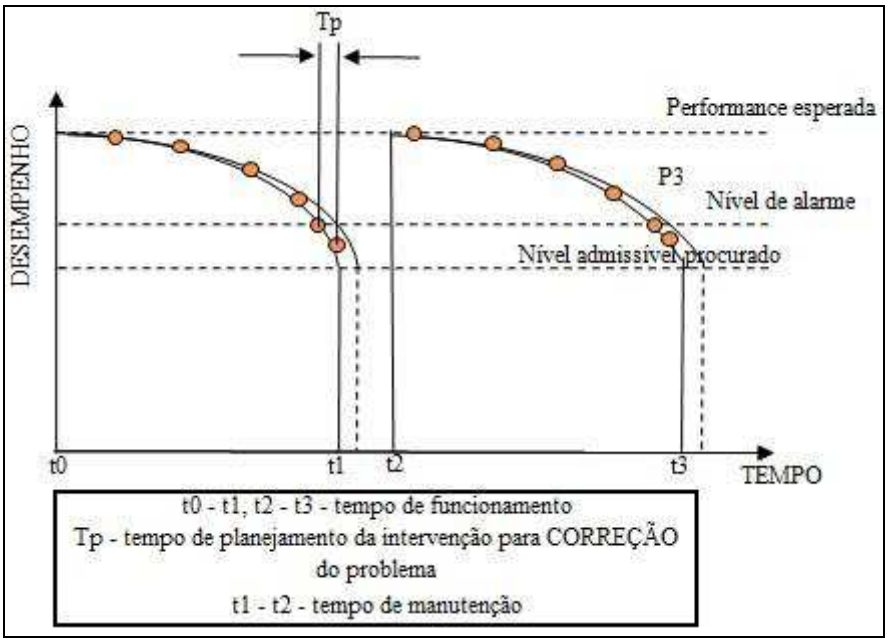

Figura 4 – Manutenção Preditiva
(Fonte: Kardec & Nascif, 2009)

Outro fator importantíssimo para a eficácia de um programa preditivo de manutenção é a mão de obra, ela deve ser altamente especializada e treinada, pois não vai apenas realizar as medições necessárias, mas também deve analisar os resultados e apresentar os diagnósticos. Por isso que em sua maioria as empresas que querem adotar esse tipo de manutenção acabam contratando mão de obra terceirizada para efetuar as medições e o acompanhamento do maquinário, porém deve-se conhecer muito bem a precisão da empresa a ser contratada para que não haja diagnósticos errôneos causando assim intervenções desnecessárias, originando perdas de produção e de recursos manutentivos mal utilizados (HIGGINS & MOBLEY, 2002).

A tecnologia preditiva pode ser usada para muitas outras coisas além de somente mensurar as condições de operação dos equipamentos. Essa tecnologia permite uma avaliação eficaz de todo o grupo funcional dentro da planta e, caso usado adequadamente, pode identificar boa parte dos fatores que limitam a sua eficiência total.

2.4 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)

Analisando o conceito de manutenção pode-se identificar como seu principal objetivo a garantia de disponibilidade dos equipamentos e instalações, de forma a exercer suas funções com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado. (KARDEC & NASCIF, 2009).

Ainda os autores, afirmam que o termo confiabilidade (do inglês *Reliability*) surgiu na década de 50 nos Estados Unidos através das análises de falha em equipamentos eletrônicos de uso militar. Durante os anos 60 houve a criação de um grupo de estudo e desenvolvimento de um programa baseado na confiabilidade focado na indústria aeronáutica. Durante os estudos o grupo chegou a várias conclusões, sendo que duas delas causaram uma mudança nos procedimentos até então seguidos, são elas:

- Na ausência de um padrão de falha em um determinado item, suas revisões programadas afetam muito pouco o nível de confiabilidade.
- A manutenção preventiva é ineficaz para muitos itens.

A NBR 5462-1994 define confiabilidade como *"a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo. O termo confiabilidade R(t) é usado como uma medida de desempenho de confiabilidade".*

A confiabilidade de um equipamento ou sistema pode ser medida por uma expressão que mede o número de falhas por período, que segue abaixo (KARDEC & NASCIF, 2009):

$$R(t) = e^{-\lambda t} \tag{1}$$

R(t) = confiabilidade a qualquer tempo t.

e = base dos logaritmos neperianos (e = 2,718).

λ = taxa de falhas (número total de falhas dividido pelas horas totais de operação).

t = tempo previsto de operação.

Um equipamento pode ser considerado confiável, seja um automóvel, avião ou qualquer outro mecanismo, quando consegue manter o cumprimento de suas funções estabelecidas pelo projeto durante toda a sua vida útil, sejam elas em condições adversas ou favoráveis. Lembrando apenas que para atingir este nível de confiabilidade o mesmo deve ser mantido adequadamente

(conforme orientações do fabricante) e as condições adversas não podem exceder limites considerados razoáveis (NEPOMUCENO, 1989).

Segundo Garza (2002), além de novos conceitos, a manutenção centrada na confiabilidade apresenta uma orientação diferenciada do modelo tradicional focando suas tarefas em novos objetivos. A Figura 5 apresenta um comparativo entre os dois modelos:

Características	Manutenção Tradicional	MCC
Foco	Equipamento	Função
Objetivo	Manter o Equipamento	Preservar a função
Atuação	Componente	Sistema
Atividades	O que pode ser feito	O que deve ser feito
Dados	Pouca ênfase	Muita ênfase
Documentação	Reduzida	Obrigatória e Sistemática
Metodologia	Empírica	Estruturada
Combate	Falhas	Consequências das Falhas
Normalização	Não	Sim
Priorização	Inexistente	Por Função

Figura 5 – Comparação da manutenção tradicional com a MCC
(Fonte: Siqueira, 2009)

Para atingir uma manutenção centrada na confiabilidade de um equipamento ou sistema é necessário que seja definida uma estratégia baseada nas técnicas de confiabilidade e métodos de análise de falhas, tais como os métodos de análise de causa raiz.

O estudo das falhas é de suma importância para obter uma boa confiabilidade de um sistema, pois identifica e examina as falhas críticas a fim de determinar qual o tipo de manutenção ideal para reduzir sua gravidade ou até eliminá-las. A estratégia de manutenção escolhido deve levar em conta o custo, segurança, meio ambiente e as conseqüências operacionais.

Com a definição da estratégia de manutenção ideal para um sistema ou equipamento, é possível fornecer previsões de desempenho e custos, o que possibilita um planejamento de produção e manutenção mais assertivo aumentando assim a disponibilidade do mesmo.

A MCC visa manter a confiabilidade de qualquer instalação ou equipamento a um custo compatível. Busca promover a interação entre os vários tipos de manutenção (corretiva,

preventiva, etc.) e o reprojeto dos equipamentos, visando obter um equilíbrio entre a disponibilidade, confiabilidade e segurança a um custo dentro do orçamento empresarial. Além de encontrar pontos de melhoria para futuros projetos, também define uma estratégia de manutenção para cada sistema, ou seja, utiliza-se de duas linhas de ações (MOUBRAY, 1997; PRADHAN, 1994; PRADHAN, 1996; SMITH, 1993):

- Avaliação da mantenabilidade dos equipamentos e identificação de pontos críticos para posterior definição de itens ao reprojeto ou até projeto de modelos mais aperfeiçoados;
- Atribuições das atividades através da escolha do método de manutenção de maior eficácia para cada tipo de falha encontrado.

Para Geraghety (2002), a MCC pode ser resumida através de sete perguntas sobre as instalações ou equipamentos submetidos a este tipo de manutenção, são elas:

- Quais são as suas funções (da planta e seus subsistemas)?
- De que forma elas (as funções) podem falhar?
- Os que as fazem falhar?
- O que acontece quando elas falham?
- O que importa se elas falham?
- Pode alguma coisa ser feita para predizer ou prevenir a falha?
- Que devemos fazer se não podemos predizer nem prevenir a falha?

2.4.1 Objetivos do MCC

O objetivo principal do MCC é de implantar um modelo de manutenção que entregue os resultados conforme suas expectativas.

Smith e Hinchcliffe (2004), também definem que um dos principais motivos do surgimento da MCC foi à necessidade de criar um método de manutenção planejada que trabalhe em conjunto a disponibilidade e a segurança do equipamento sem aumento dos custos.

Moubray (1997), afirma que a MCC aplicada de forma eficaz apresentará uma redução de 40% a 70% nas intervenções manutentivas, trazendo em conjunto inúmeras vantagens nas áreas da segurança, logística, operação e administração das empresas.

Já Backlund (2003), explica que para extrair um melhor resultado da MCC deve haver uma interação e apoio entre todas as áreas, operação e manutenção, e, além disso, o programa deve passar por uma atualização periódica a fim de incluir novas informações e alterações, caso julgue-se necessário.

2.4.2 Indicadores da Manutenção

Segundo Kardec e Nascif (2009), indicadores são dados numéricos ou medidas definidas em cima dos processos ou atividades que possuem a necessidade de serem medidos ou controlados.

Para Alvares (2006), os indicadores de desempenho da manutenção são utilizados para medir em valores quantitativos as atividades que foram realizadas. Atualmente, com a competitividade tão acirrada do mercado, torna-se essencial o uso de medidas para a compreensão da realidade da empresa.

Kardec e Nascif (2009) afirmam que somente os indicadores possuem a capacidade de quantificar e acompanhar os processos, eliminando o desnecessário e proporcionando as correções necessárias. Ou seja, os indicadores são itens chave para a tomada de decisão.

Os indicadores podem ser de disponibilidade, custo, entre outros que sirvam para medir ou controlar algum tipo de processo.

2.4.2.1 Disponibilidade

A NBR 5462 (1994), define a disponibilidade como a capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, mantenabilidade e suporte de manutenção. Supondo que os recursos externos requeridos estejam

assegurados. O termo “disponibilidade” é usado como uma medida do desempenho de disponibilidade.

Para Kardec e Nascif (2009), a disponibilidade pode ser classificada em três tipos diferentes, são eles:

- Disponibilidade Inerente – É calculada através da fórmula:

$$Disponibilidade\ Inerente\ (\%) = \frac{TMEF}{TMEF+TMPR}\ x\ 100 \qquad (2)$$

TMEF = Tempo Médio Entre Falhas – Medida básica de confiabilidade de componentes reparáveis em geral, ou seja, a vida média de uma população.

TMPR = Tempo Médio Para Reparos – Medida básica de confiabilidade de componentes não reparáveis, ou seja, uma peça de um equipamento.

- Disponibilidade Técnica – Também conhecida como Disponibilidade Obtida ou Encontrada, é calculada através da fórmula:

$$Disponibilidade\ Técnica\ (\%) = \frac{TMEF}{TMEM+TMPativo}\ x\ 100 \qquad (3)$$

TMEM = Tempo Médio Entre Manutenção.

TMP_{ativo} = Tempo Médio Para Reparos (corretivos e preventivos).

- Disponibilidade Operacional – Considerada como a melhor avaliação da disponibilidade ao ponto de vista funcional, ou seja, é a que realmente interessa à organização, pois apresenta o resultado mais próximo do real. Pode ser calculada através da fórmula:

$$Disponibilidade\ Operacional\ (\%) = \frac{TMEM}{TMEM+TMp}\ x\ 100 \qquad (4)$$

TMp = Tempo Médio de Paralizações – Inclui todos os tempos de paradas do equipamento, desde esperas, atrasos, deslocamentos, a paradas para manutenção ou inspeção, ou seja, tudo o que contribui para que a máquina ou instalação fiquem indisponíveis ou fora da condição de operação.

2.4.2.2 Custos de Manutenção

Os custos de manutenção são um dos principais elementos nos custos operacionais de uma organização. Devido à enorme concorrência entre as empresas no mercado atual, tudo que gera gasto, por menor que seja, deve ser tratado de forma a ser eliminado o máximo possível e o quanto antes. Com isso as organizações estão cada vez mais buscando minimizar ao máximo os custos de manutenção através do planejamento e controle da manutenção.

Mirshawa e Olmedo (1993) (*apud* Lima e Marcorin, 2003), afirmam que "os custos oriundos da manutenção são apenas a ponta de um iceberg". Sendo a ponta do iceberg os custos visíveis, como os custos com mão de obra, ferramentas e instrumentos, custos com peças e materiais utilizados nas intervenções manutentivas, custos com mão de obra terceira e outros referentes à instalação ocupada pela equipe de manutenção. Logo abaixo desta ponta encontram-se os maiores custos, que são os relacionados à indisponibilidade do equipamento.

Mirshawa e Olmedo (1993) (*apud* Lima e Marcorin, 2003), também concluem que "o custo da indisponibilidade concentra-se naqueles decorrentes da perda de produção, da não qualidade dos produtos, da recomposição da produção e das penalidades comerciais, com possíveis consequências sobre a imagem da empresa".

Segundo Kardec e Nascif (2009), os custos de manutenção podem ser compostos, basicamente, por: custos de mão de obra própria, de serviços de terceiros e de material. Porém, é comum encontrarmos outro tipo de custo denominado "outros custos", que inclui no orçamento da manutenção custos de melhorias (pequenos projetos ou obras de melhoria para a produção ou mantenabilidade) e de aquisição de ferramentas e instrumentos. Sendo assim, estes custos devem ser levados em consideração a fim de calcular o seu custo real.

Para fins de controle, Kardec e Nascif (2009), classificam os custos de manutenção em três grandes famílias:

- <u>Custos Diretos</u> – São os custos inerentes para manter os equipamentos em operação, ou seja, são os custos com Manutenção Preventiva, inspeções regulares (como a lubrificação, por exemplo), Manutenção Preditiva, Manutenção Detectiva, Manutenção Corretiva, reparos e revisões de modo geral.

- Custos de Perda de Produção – Como o próprio nome já diz, originam-se da perda da produção, são causados por: falha de um equipamento crítico para a produção sem que haja outro disponível para substituí-lo a fim de manter a produção, ou falha de um equipamento crítico causado por um erro da manutenção.
- Custos Indiretos – São os custos relacionados com a área administrativa e de apoio, com análises e estudos de melhoria, treinamentos e capacitações, engenharia de manutenção, supervisão e gerência, entre outros. Fazem parte ainda os custos com amortização, depreciação, energia elétrica e outras utilidades.

Kardec e Nascif (2009), também afirmam que o acompanhamento de custos, por ser um dos itens mais importantes de controle na manutenção, deve ser apresentado em forma de gráfico para facilitar a visualização e deve conter no mínimo:

- Previsão de custos mês a mês.
- Realização – quanto foi realmente gasto em cada mês.
- Realizado no ano anterior (ou anos anteriores)
- *Benchmark* – qual a referência do mercado, ou seja, quais os valores da empresa que possui o menor custo de manutenção do segmento.

2.4.3 Análise de Falhas Ocorridas

Segundo Kardec e Nascif (2009), a análise de falhas já ocorridas possui um grande potencial de ganho, porém para utilizar ferramentas como a Análise de Modo e Efeito de Falha (*Failure Mode and Effect Analysis* – FMEA) e a Análise de Causa Raiz de Falha (*Root Cause Failure Analysis* – RCFA) são necessárias algumas adaptações, já que ambas trabalham na prevenção de falhas que ainda não ocorreram. Neste caso a ferramenta mais adequada para este tipo de análise é o MASP – Método de Análise e Solução de Problemas.

Para Kardec & Nascif (2009), "*MASP é uma sistemática de análise e solução de problemas adotada na Gestão da Qualidade Total".* Seus principais passos são observados na Figura 6.

PDCA	Fluxo	Fase	Objetivo
P	1	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância
	2	Observação	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob
	3	Análise	Descobrir as causas fundamentais
	4	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais
D	5	Ação	Bloquear as causas fundamentais
C	6	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo
	N ? S	Bloqueio foi efetivo	
A	7	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema
	8	Conclusão	Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro

Figura 6 – MASP (Método de Análise de Solução de Problemas)
(Fonte: Kardec & Nascif, 2009)

Kardec e Nascif (2009), também afirmam que a utilização do MASP demonstra que:

- Quanto maior e melhor for o histórico da manutenção de um item ou equipamento, mais consistente será o método.
- Durante a formação do grupo que irá participar da realização do MASP, é extremamente importante a participação de pessoas da manutenção e da operação, além de outros que possuam conhecimento específico ou experiência em determinadas áreas ou processos.
- Tanto o período de observação quanto o de verificação são diferentes para atividades variadas.

2.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

Segundo Kardec e Nascif (2009), a prática da engenharia de manutenção é considerada como uma quebra de paradigma e uma mudança cultural, no qual se dedica a consolidação da rotina e implantação da melhoria.

Kardec e Nascif (2009) ainda definem como as principais atribuições da engenharia de manutenção: aumento da confiabilidade, disponibilidade e segurança; eliminar problemas crônicos; fazer análise de falhas; elaborar planos de manutenção, de inspeção e fazer sua análise crítica; acompanhar indicadores; zelar pela documentação técnica; participar de novos projetos; melhorar capacitação da mão de obra; solucionar problemas tecnológicos; gestão de materiais de reserva; dar apoio a execução.

Em resumo a engenharia da manutenção deve sempre buscar atingir os padrões de excelência e aplicar as técnicas mais modernas existentes no mercado, ou seja, deve estar nivelado com a manutenção de Primeiro Mundo (KARDEC & NASCIF, 2009).

2.6 MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

Em usinas produtoras de etanol, energia elétrica e açúcar a área que agrega os maiores custos da produção é a agrícola, na qual utiliza a mecanização em grande parte de seu processo produtivo. Isto possibilita uma maior produtividade em um espaço de tempo menor, principalmente no plantio e na colheita. O uso do plantio e da colheita mecanizada na região Centro-Sul do Brasil é cada vez mais comum, e vem aumentando cada vez mais nos últimos anos. No Estado do Mato Grosso do Sul a proporção da área plantada através do sistema mecanizado em 2010 era de aproximadamente 50% e, no ano seguinte, houve um aumento de 15%, totalizando 65% de toda a área de cana do Estado. Já no uso da mecanização na colheita de cana pode-se perceber uma evolução tímida no começo dos anos 2000, tendo um grande avanço a partir de 2007, como é demonstrado na Figura 07.

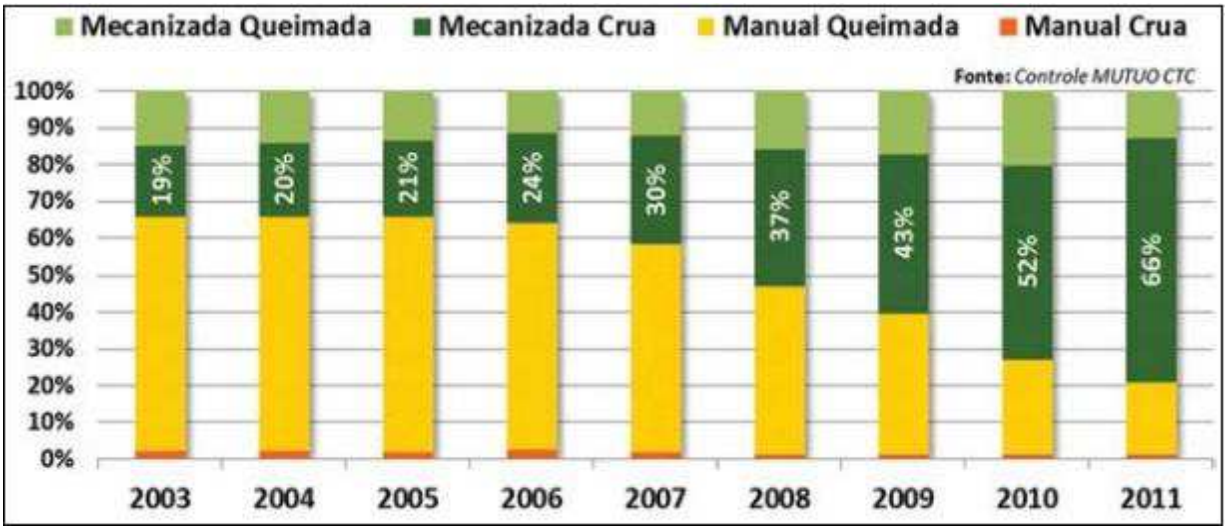

Figura 7 – Distribuição percentual dos sistemas de colheita nas unidades da região Centro-sul
(Fonte: Controle MUTUO CTC, 2011)

Os dados demonstrados na figura acima são uma média entre os estados que representam a região Centro-Sul do país, sendo o Mato Grosso do Sul e o Mato Grosso os estados que apresentaram a maior porcentagem de mecanização da colheita (ambos com 90%).

Em função desse aumento na mecanização em conjunto com a produtividade a custos adequados, surge uma grande necessidade em manter a disponibilidade operacional e prolongar a vida útil das máquinas, o que somente pode ser atingido através de uma boa e eficiente estratégia de manutenção.

A manutenção de máquinas agrícolas pode ser descrita como uma série de procedimentos que buscam manter os equipamentos em suas condições operacionais originais de fábrica e aumentar a sua vida útil, através do uso de processos como a lubrificação, correções de falhas, ajustes, revisões periódicas, entre outros que possam ajudar na proteção do maquinário da ação de agentes, presentes no ambiente de trabalho, que os danificam, tais como poeira, umidade, água, lama, etc. Com isso é possível obter ganhos de produtividade com uma redução de custo.

Para Oliveira (2001) os custos com manutenção contribuem com a maior parte dos custos operacionais.

Segundo Machado *et al.* (1996) uma política de manutenção ideal para o tipo de equipamento utilizado, em conjunto com um sistema eficaz de armazenamento do maquinário traz grandes benefícios, tais como o aumento da eficiência e da disponibilidade com a diminuição de paradas para intervenções corretivas da manutenção.

2.6.1 Definição da Colhedora de Cana

O equipamento de colheita utilizado na exploração canavieira, no Sistema Tratorizado Agrícola (STA), é denominado como colhedora autopropelida de cana de açúcar, mas pode ser encontrado nomes comumente utilizados como: colheitadeira de cana, colheitadeira de cana automotriz, colheitadeira de cana picada, ou apenas colhedora de cana (TOMIMORI, 1991).

Segundo Neves (2003), a função de uma colhedora de cana pode ser definida, resumidamente em: fazer o corte na base da cana (rente ao solo), eliminar a ponteira, limpar os colmos através da gravidade e ventilação, que são picados em rebolos de cerca de 400 mm e despejados em uma unidade de transporte. Desta maneira, o uso de carregadeiras torna-se desnecessário, deixando assim a matéria prima mais limpa para a produção, porém exige que um veículo com uma carreta acompanhe a operação de colheita lado a lado da colhedora. Entretanto essa matéria prima colhida não pode ser armazenada, pois ela entra em estado de deterioração em pouco tempo.

A grande maioria das colhedoras de cana de açúcar que operam no país é das marcas *John Deere* (incluindo a antiga Cameco) e Case (CNH - *New Holland*). Independente da marca, todas operam no campo seguindo o mesmo princípio, são composta pelos mesmos componentes e sistemas de processamento da cana (NEVES, 2003).

A Figura 08 traz a imagem de uma colhedora de cana de açúcar, seguido de uma breve explicação de seus componentes principais inerentes à sua operação.

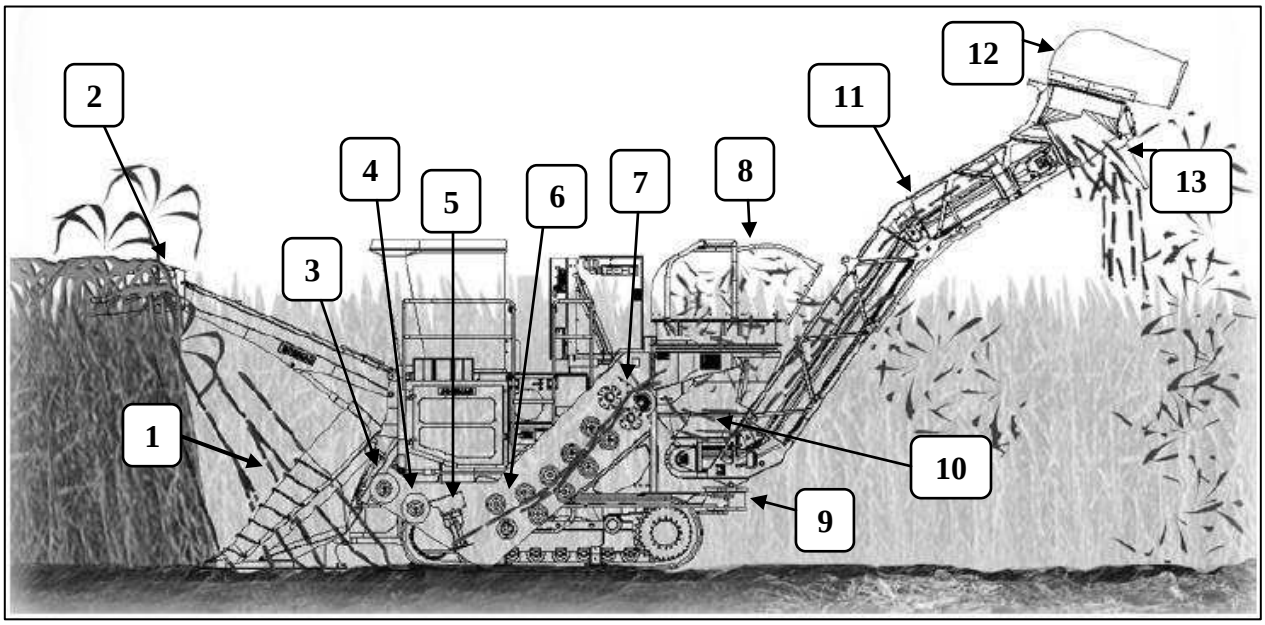

Figura 8 – Colhedora de cana de açúcar
(Fonte: Manual do Operador Colhedora de Cana John Deere 3520, 2011).

1. Divisor de Linha – Separa as fileiras de canas acamadas ou entrelaçadas.
2. Cortador de Pontas – Utilizado para cortar as ponteiras das cana agrupadas pelos discos coletores, um de cada lado do cortador de pontas.
3. Rolo Tombador – Pressiona a cana para frente de forma que ela deite em um ângulo ideal para a alimentação da colhedora.
4. Rolo Levantador – Direciona a cana para cima e para dentro da máquina de encontro aos rolos alimentadores.
5. Cortador de Base – Corta a cana na parte inferior do caule sem danificar a soqueira.
6. Rolos Alimentadores – Transportam a cana por dentro da colhedora até os picadores.
7. Picadores – Cortam a cana em toletes de tamanhos que variam conforme sua regulagem (usualmente variam de 300 a 400 mm), lançando-os no cesto do elevador.
8. Extrator Primário – Dotado de um potente ventilador, sua função é extrair a sujeira que acompanha a cana durante o processo da colheita (palha, folha e outras impurezas vegetais ou até minerais) e expelir de volta ao

solo. Essa sujeira é direcionada pelo bojo giratório localizado na parte superior do extrator primário.

9. Mesa de Giro do Elevador – Possibilita o giro do elevador dentro de uma amplitude de até 85° para ambos os lados, facilitando assim a descarga da matéria prima no veículo de carga (transbordo).
10. Cesto do Elevador – Recebe a cana picada do picador para alimentar o elevador.
11. Elevador – Transporta a cana através de um tipo de esteira por toda a sua extensão a fim de carregar o transbordo, seja na parte traseira, direita ou esquerda da colhedora.
12. Extrator Secundário – Localizado no topo do elevador retira a sujeira remanescente na cana, através de um ventilador, e a direciona para fora do transbordo e da colhedora seguindo o mesmo princípio do primário.
13. Flap – Direciona a descarga dos toletes de cana.

Tomimori (1991) exalta que além de todos os componentes identificados anteriormente, a colhedora ainda conta com uma unidade motora que, juntamente com o resto da máquina, é suportada por um chassi. Também possui uma cabine, motor de combustão interna a diesel e sistema de transmissão hidrostática de esteira do tipo *Heavy Duty* com sapatas adaptadas para a área agrícola ou com pneus de alta flutuação para seu deslocamento. Praticamente todos os componentes ilustrados na figura e outros órgãos móveis da máquina são acionados através de motores hidráulicos, porém o motor da máquina que faz o acionamento das bombas hidráulicas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Diante da escassez de trabalhos sobre o tema, o presente projeto busca verificar a eficiência de uma sistemática de manutenção centrada na confiabilidade dos equipamentos, aplicada às colhedoras de uma usina processadora de cana de açúcar.

Caracteriza-se como um estudo de caso, devido à necessidade de compreender o tema e o contexto de forma profunda, pois, conforme explica Gil (2002) a utilização do estudo de caso permite a descrição de um fenômeno dentro do seu real contexto.

A pesquisa desenvolvida é de natureza quantitativa e tem caráter exploratório, a fim de se obter maior familiaridade com o tema, haja vista a necessidade da aplicação dos conhecimentos obtidos na investigação de uma situação real de análise.

Ademais, realizou-se uma revisão bibliográfica acerca dos assuntos relacionados à manutenção centrada na confiabilidade e ao contexto do objeto de estudo.

Visando atender ao objetivo geral proposto, far-se-á uma análise comparativa dos resultados obtidos nos anos de 2011 a 2012, quando ainda não havia a manutenção planejada, e dos anos de 2013 a 2014, após a implantação do modelo. A fonte de dados utilizada será o setor de controle agrícola da usina.

3.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A análise do sistema de manutenção apresentado neste estudo será realizada em uma usina processadora de cana de açúcar, fabricante de etanol e cogeração de energia elétrica situada na região da Grande Dourados (sul do Estado de Mato Grosso do Sul), mais precisamente no setor da manutenção agrícola, conhecido como Centro de Manutenção Automotiva (CMA).

Durante o período do estudo serão coletados dados para criação de indicadores de custo e disponibilidade, com o intuito de avaliar a eficiência dessa sistemática de manutenção centrada na confiabilidade aplicada às colhedoras de cana de açúcar, realizando um comparativo entre os anos antes e depois de sua implantação.

O CMA é responsável por realizar todas as intervenções de manutenção e inspeção em equipamentos automotores utilizados nos mais diferentes processos agrícolas da usina (plantio, colheita, tratos culturais, preparo de solo, etc.), seja ela no campo ou na oficina. Seu quadro de funcionários é composto por aproximadamente por 127 funcionários próprios e 22 funcionários terceirizados que são divididos por função e área de atuação. Sendo assim o quadro de funcionários do CMA segue a hierarquia do organograma representado na Figura 09:

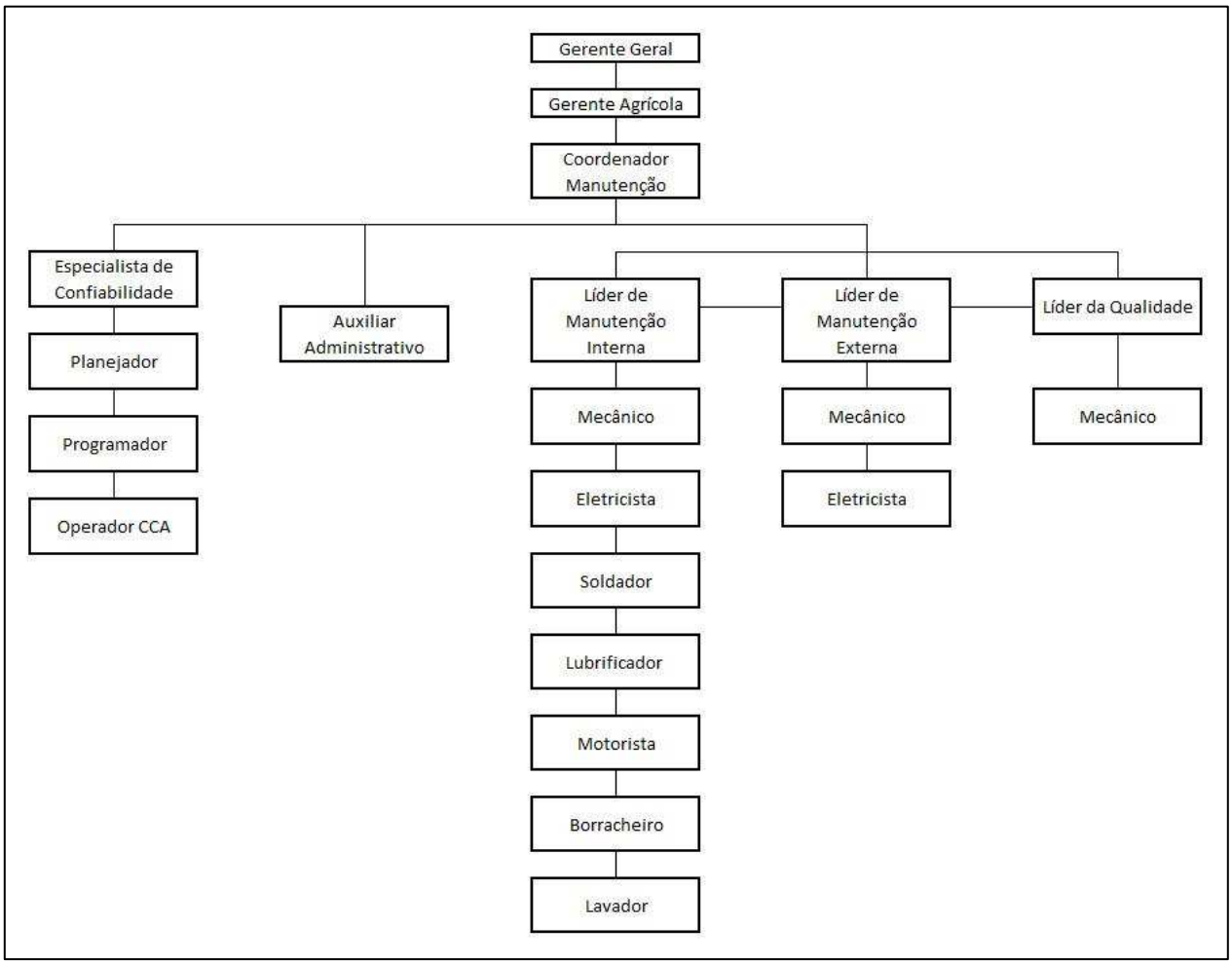

Figura 9 – Organograma CMA
(Fonte: Autor)

Segue também na Figura 10 abaixo o layout da estrutura física do CMA, apenas para conhecimento dos recursos disponíveis:

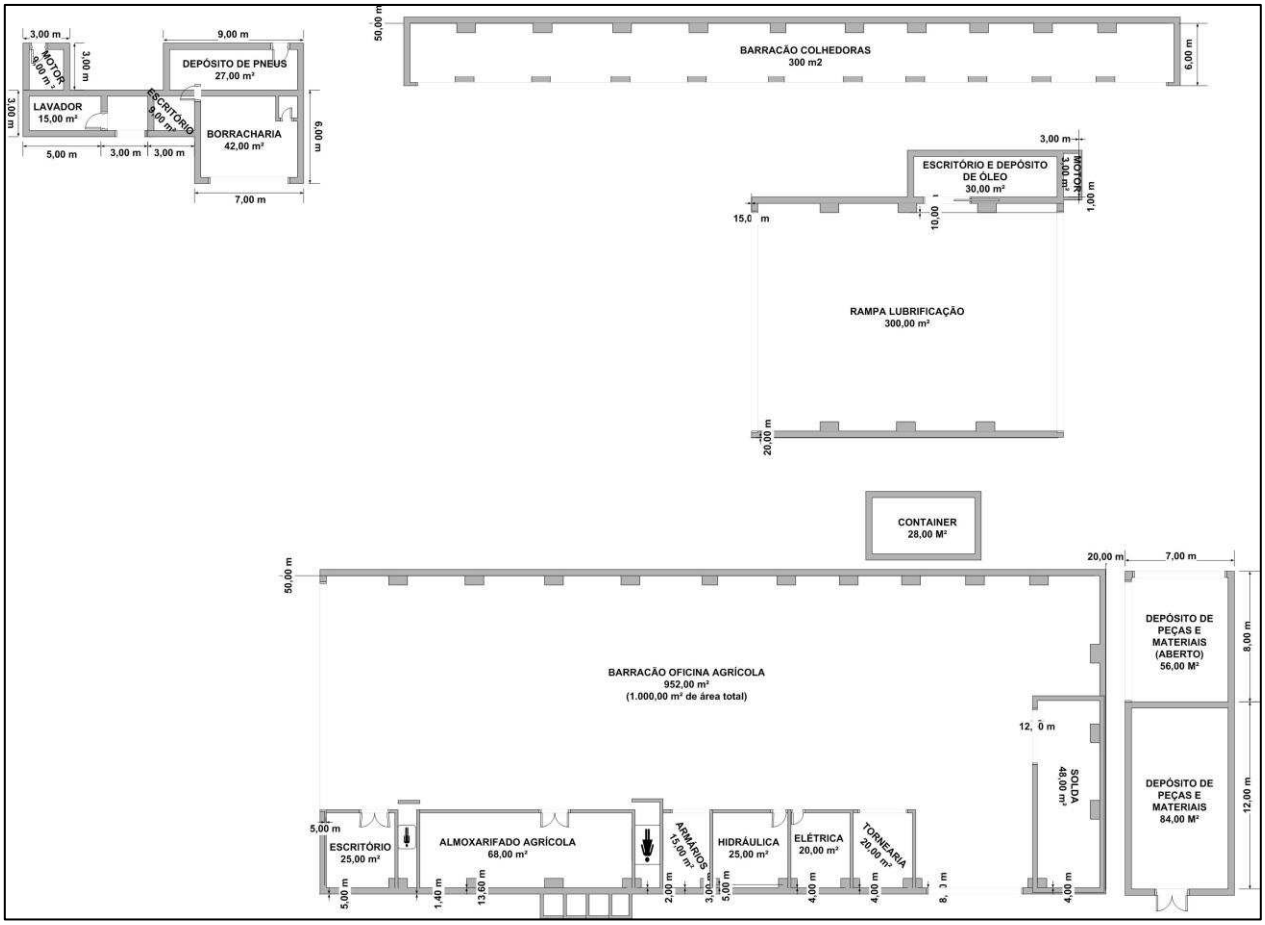

Figura 1 - Layout CMA
(Fonte: Autor)

3.2 DESCRIÇÃO DA SISTEMÁTICA APLICADA.

A sistemática utilizada anteriormente pela equipe de manutenção era a tradicional, a qual funcionava de uma maneira simples: os manutentores entravam em ação quando ocorria a quebra de equipamentos e agiam para recolocá-lo em operação o mais rápido possível. Cada equipe ou

funcionário tinha sua eficiência analisada e medida pelo tempo que levava para devolver as funções operacionais de cada máquina.

O sistema atual vai de encontro ao tradicional. Neste a eficiência da equipe é medida através da disponibilidade do equipamento, ou seja, quem conseguir manter os equipamentos produzindo durante mais tempo ou gerar um numero menor de paradas para manutenção é mais eficiente, e não o que conserta mais rápido.

O fato de o método de manutenção ser o mesmo para todo o maquinário pode causar a falsa impressão que a eficiência das equipes é a mesma, porém não é. Neste caso o resultado final de cada uma pode ser completamente diferente, isto ocorre devido a um simples fator conhecido como “otimização de parada de máquina”.

Um técnico em mecânica com foco na manutenção centrada na confiabilidade atua no equipamento aproveitando suas paradas rotineiras ou programadas, seja ela durante o horário de refeição do operador, lubrificação de seus componentes, manutenção planejada, etc. Durante este curto período ele faz pequenos ajustes e apertos, verifica pressão das bombas, calibragem das válvulas e pneus, níveis de lubrificantes, entre outros reparos e checagens rápidas e fundamentais para manter a integridade operacional do equipamento. Assim se obtém ganho de produção e prolongamento da vida útil do maquinário.

O sistema da MCC utiliza-se da combinação dos mais variados tipos de manutenção, ou seja, dentro dele é possível encontrar técnicas de manutenção preventiva, preditiva, etc.. Cada uma delas foi estudada anteriormente, mas vale aqui reapresentá-las de forma resumida e de acordo com os procedimentos da Usina em análise para melhor compreensão.

- Preventiva – Utilização de inspeções periódicas em conjunto com planos de manutenção baseados nas horas trabalhadas das máquinas e planos de lubrificação, que incluem troca de óleos em geral e lubrificação periódica de seus componentes.
- Preditiva – Monitoramento da condição do equipamento através da análise de vibração de componentes vitais para a operação e de alto valor agregado (são analisados 10 pontos de vibração por colhedora) e análise dos lubrificantes (06 pontos de coleta de lubrificantes). Estas análises são executadas por uma empresa terceirizada que gera um relatório de diagnóstico de cada componente analisado.
- Análise de Falhas – Utilização de métodos de análise de falhas ou de causa raiz para identificar o motivo de quebras emergenciais e evitar sua recorrência. Os

métodos mais utilizados são: MASP (Método de Análise e Solução de Problemas) e Apollo (método de quatro passos para facilitar a investigação de um incidente, sendo: definir problema, analisar as relações de causa e efeito, identificar soluções e implantar as melhores soluções).

Para que seja possível relacionar todas estas técnicas com certa harmonia é necessário que seja seguido um fluxo para que os processos possam fluir de forma eficaz e ágil. Pensando nisso foi estruturado um roteiro para que as informações essenciais cheguem ao seu destino corretamente com o mínimo de desvios possíveis, que segue demonstrada na figura 08:

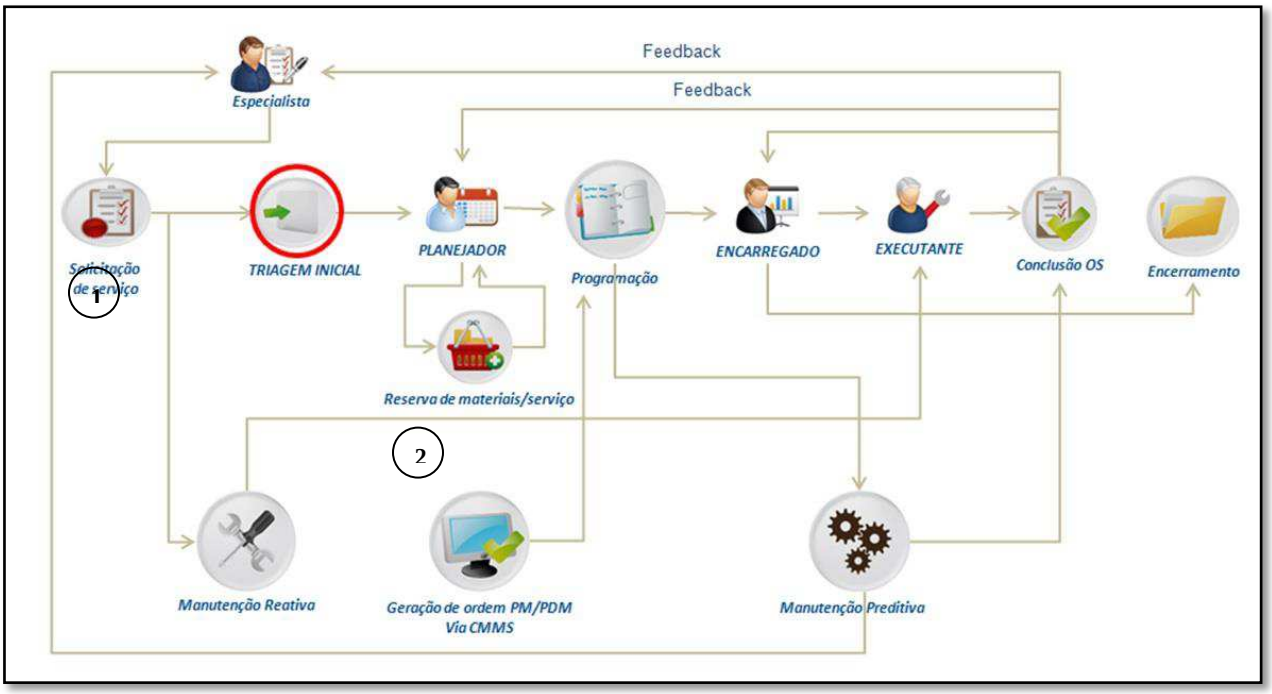

Figura 2 - Fluxo de Manutenção Centrada na Confiabilidade
(Fonte: Autor)

O fluxo possui dois pontos de partida, ou seja:

1. Pode ser iniciado com a abertura de uma solicitação de serviço que passará por um processo de triagem que definirá se a Ordem de Serviço (OS) será direcionada ao setor de planejamento, caso o equipamento não esteja parado, ou se ela irá direto para as mãos do líder de manutenção para ser executada emergencialmente (geralmente ocorre quando há eminência de falha ou quando ela já ocorreu e o equipamento encontra-se parado).

2. Ou pode ser iniciada através da abertura das OSs de inspeções preventiva (PM), de lubrificação, calibragem e/ou preditiva (PDM). As referidas OSs são abertas automaticamente, conforme horímetro da máquina, pelo sistema de gestão de manutenção utilizado pela empresa no setor de planejamento, mais precisamente pelo programador que organiza o material (previamente separado e organizado pelo planejador) e define em conjunto com o líder, que irá delegar e acompanhar a execução, qual a melhor data para a realização do serviço, lembrando sempre que o principal objetivo da programação é otimizar as paradas de máquina para manutenção, ou seja, é fazer o máximo de trabalhos parando as máquinas o mínimo possível.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Buscando medir a eficiência da sistemática de manutenção em colhedoras de cana-de-açúcar analisado neste projeto, serão utilizados dados referentes a dois indicadores: disponibilidade e custo. Todos os dados relacionados a custo foram multiplicados por um fator de correção com o intuito de manter a integridade e sigilo total da empresa utilizada neste estudo. Os resultados apresentados a seguir foram obtidos no período de 2011 a 2014, são eles:

MÊS / ANO	2011	2012	2013	2014	Variação (2012-2011)	Variação (2013-2012)	Variação (2014-2013)
ABRIL	78%	79%	82%	83%	1%	3%	1%
MAIO	82%	84%	84%	86%	1%	1%	2%
JUNHO	80%	78%	79%	83%	-1%	0%	5%
JULHO	74%	74%	76%	80%	0%	3%	3%
AGOSTO	76%	80%	80%	83%	4%	0%	4%
SETEMBRO	77%	76%	74%	79%	-1%	-2%	5%
OUTUBRO	78%	79%	76%	81%	1%	-3%	5%
NOVEMBRO	83%	85%	86%	87%	3%	1%	1%
DEZEMBRO	74%	71%	73%	78%	-4%	2%	5%
TOTAL	**78%**	**78%**	**79%**	**82%**	**0%**	**1%**	**3%**

Tabela 1 - Disponibilidade média mensal das colhedoras de cana de açúcar nos anos de 2011 a 2014
(Fonte: Autor)

A disponibilidade média dos equipamentos teve um leve aumento durante o primeiro ano de implantação (2013) da manutenção centrada na confiabilidade, obtendo um ganho ainda mais expressivo no ano seguinte (2014), conforme demonstrado no campo “Variação” da Tabela 2.

Ano	Tipo	№ de máquinas	Custo unitário / máquina	Orçado – Real	Desvio (%)
2011	Real	16	R$ 1,276,058.60	- R$ 115.049,81	-10%
	Orçado		R$ 1,161,008.79		
2012	Real	16	R$ 856,991.12	- R$ 134.861,07	-19%
	Orçado		R$ 722,130.05		
2013	Real	19	R$ 763,641.21	R$ 17.937,74	2%
	Orçado		R$ 781,578.95		
2014	Real	16	R$ 730,844.88	R$ 116.045,10	14%
	Orçado		R$ 846,889.98		

Tabela 2 – Custo médio de manutenção das colhedoras de cana de açúcar no período de 2011 a 2014 - Safra e entressafra.
(Fonte: Autor)

Analisando a Tabela 2 é possível identificar que nos anos anteriores à implantação deste sistema de manutenção, o gasto do CMA para manter as colhedoras em operação foi maior do que o orçado. O planejamento dos gastos a partir de 2012 foi orçado com uma boa redução em relação a 2011 devido à renovação do maquinário, mesmo assim houve um estouro no mesmo. Porém após a implantação o custo pôde ser controlado de forma mais assertiva, finalizando os anos que seguiram (2013 e 2014) com o saldo positivo no orçamento.

Ano	Tipo	№ de máquinas	Custo unitário / máquina	Orçado – Real	Desvio (%)
2011 / 2012	Real	16	R$ 114,513.75	- R$ 38.440,66	-51%
	Orçado		R$ 76,073.09		
2012 / 2013	Real	16	R$ 89,321.00	R$ 61.980,69	41%
	Orçado		R$ 151,301.69		
2013 / 2014	Real	19	R$ 81,287.05	R$ 10.438,44	11%
	Orçado		R$ 91,725.49		

Tabela 3 – Custo médio de manutenção durante a revisão de entressafra das colhedoras de cana de açúcar (2011 a 2014)
(Fonte: Autor)

Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstram que os gastos com a revisão de entressafra teve uma queda significante e contínua após a utilização deste sistema de manutenção, diminuindo o gasto real e o orçado, ou seja, permitiu que a empresa conseguisse um ganho econômico desde a formação do orçamento ao uso consciente e planejado do mesmo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante os anos de 2011 a 2014 foram coletadas informações relacionadas à disponibilidade e ao custo de manutenção das colhedoras de cana de açúcar de uma usina produtora de etanol. O período analisado pode ser dividido em duas partes, sendo:

- 2011 e 2012 – Período onde era aplicado um modelo de manutenção tradicional, focado essencialmente nas corretivas emergenciais;
- 2013 e 2014 – Período de início da implantação da sistemática de manutenção centrada na confiabilidade, com foco maior nos conceitos da engenharia de manutenção, preventiva, preditiva, análise de falha, etc..

Com o intuito de medir a eficiência da sistemática de manutenção centrada na confiabilidade, segue abaixo um comparativo dos indicadores, entre os anos analisados, a fim de evidenciar se houve alguma evolução ou não dos resultados.

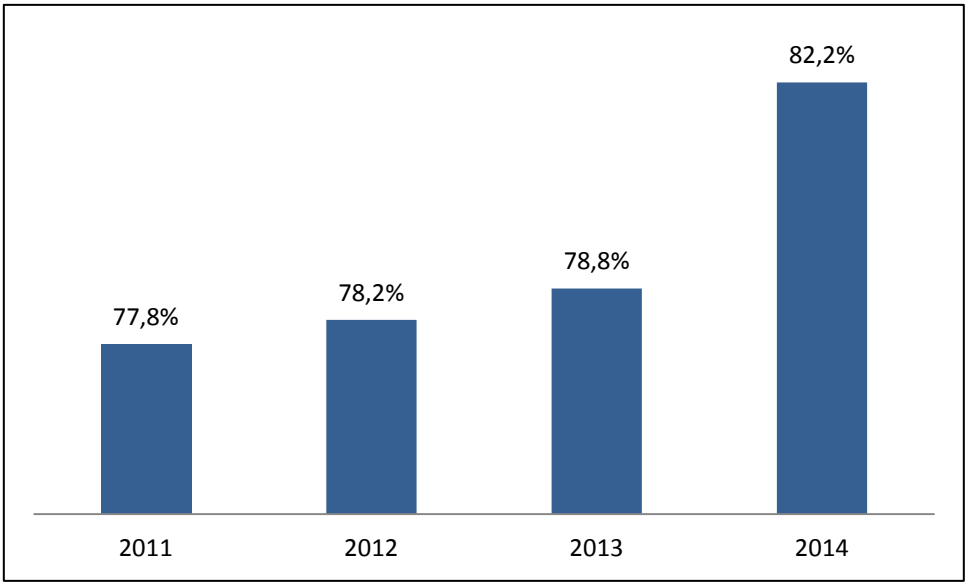

Figura 10 – Disponibilidade média anual das colhedoras de cana de açúcar no período de 2011 a 2014
(Fonte: Autor)

Na Figura 10, indicador de disponibilidade média, é possível identificar uma evolução crescente nos resultados porém um pouco lenta, sendo que de 2012 para 2014 ela cresceu apenas 3%.

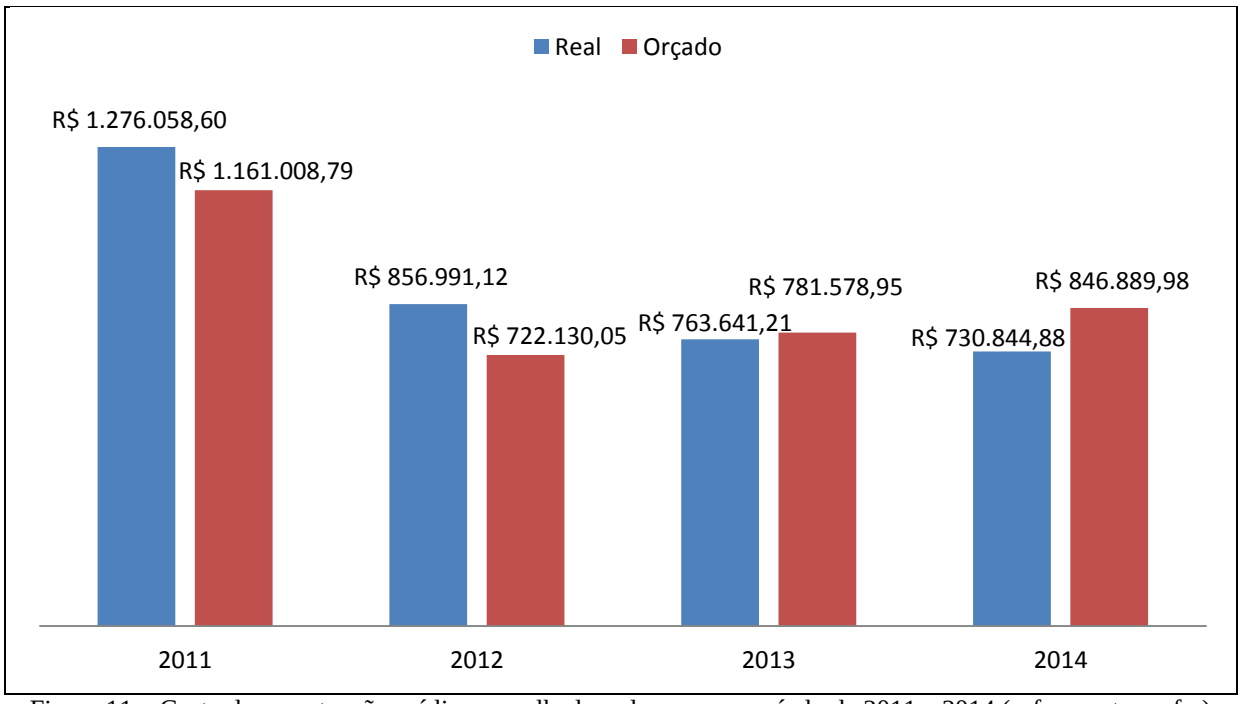

Figura 11 – Custo de manutenção médio por colhedora de cana no período de 2011 a 2014 (safra e entressafra) (Fonte: Autor)

A Figura 11 nos permite observar que nos anos anteriores à implantação do sistema de manutenção aqui estudado, o gasto médio com manutenção por colhedora era muito alto, ultrapassando em mais de R$100.000,00 o orçamento. Já nos anos que deu início a utilização da confiabilidade nas máquinas, a redução dos custos foi evidente, sendo que em 2013 a conta da manutenção fechou o ano com R$ 17.937,74 de saldo positivo e em 2014 com R$ 116.045,10, representando uma economia total de R$ 126.146,24 ou 15% comparando o último com o ano anterior a implantação (2012).

A sistemática de manutenção centrada na confiabilidade aplicada às colhedoras de cana de açúcar provou ser mais eficiente em relação ao sistema tradicional, onde a manutenção é basicamente corretiva emergencial. Os resultados apresentaram uma evolução, de certa forma um pouco lenta, porém crescente, isso ocorre principalmente devido a baixa aceitação e credibilidade por parte da equipe, o que tende a diminuir com o passar dos anos e conforme os resultados positivos forem aparecendo de forma mais evidente.

Na usina onde foi realizado o estudo em questão, antes da implantação do projeto de manutenção centrada na confiabilidade das colhedoras de cana de açúcar a manutenção realizada nas mesmas era por volta de 95% corretiva emergencial e após quase três anos desde o inicio do projeto já se observa uma queda de 25% totalizando uma média de 70% de manutenção corretiva

não planejada e 30% de planejada, sendo a meta a ser atingida em longo prazo 70% de corretivas planejadas.

REFERÊNCIAS

ALVARES, O.E.; OLIVEIRA, E.C.B. *Indicadores de desempenho na manutenção: um estudo de caso no departamento de manutenção da transmissão de uma empresa de energia elétrica.* ln: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 16, 2006, p.7

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5462: confiabilidade e mantenabilidade***.** : [S.1.: s.n.], 1994. 37p.

AFNOR *"Maintenance industrielle" recueil de normes françaises* 1988, NF X 60-010 *Juin* 1984

BACKLUND, F. *Managing the Introduction of Reliability Centered Maintenance, RCM – RCM as a method of working within hydropower organizations.* 2003. 317 f. Thesys (Doctoral) – Department of Business Administration and Social Sciences – Division of Quality and Environmental Management, Lulea University of Technology. Lulea, 2003.

BARRINGER, H. Paul. *An Overview of Reliability Engineering Principles*, Houston TX, 1996.

BRANCO FILHO, Gil. *A organização, o planejamento e o controle da manutenção*. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2008.

CASTELLA, Marco César. *Análise crítica da área de manutenção em uma empresa brasileira de geração de energia elétrica*. 2001. 152 f. Dissertação (mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

GARZA, L**.** *A Case Study of the Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) in the Acquisition of the Advanced Amphibious Assault Vehicle (AAAV).* 2002. 85 f. Thesys (Master) – Naval Postgraduate School, United States Navy. California, 2002.

GERAGHETY, T. *Obtendo efetividade do custo de Manutenção através da integração das técnicas de monitoramento de condição, RCM e TPM*. 2000.

GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002

HIGGINS, Lindley R.; MOBLEY, R. Keith, eds. - *Maintenance engineering handbook*. 6ª ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2002.

JOHN DEERE. *Manual do Operador Colhedora de Cana John Deere 3520*. L8 ed. Edição Sul-americana.216 p.

JOSÉ V. SALVI, MARCOS A. MATOS, MARCOS MILAN. *AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DISPOSITIVO DE CORTE DE BASE DE COLHEDORA DE CANA-DE-AÇÚCAR*. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.27, n.1, p.201-209, jan./abr. 2007.

KARDEC, Alan; XAVIER, Júlio Aquino Nascif. *Manutenção: função estratégica*. 3.ed. RIO DE JANEIRO: Qualitymark: Petrobras, 2009. 384p.

MACHADO, A. L. T.; REIS, Â. V. dos; MORAES, M. L. B. de; ALONÇO, A. dos S. *Máquinas para preparo do solo, semeadura e adubação*. Pelotas: Universitária UFPel, 1996. 228p.

MARCORIN, LIMA. *ANÁLISE DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO E DE NÃO MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS PRODUTIVOS. Revista Ciência &Tecnologia***,** Piracicaba, v.11, n.3, jul/dez. 2003. Disponível em: <http://www.unimep.br/phpg/editora/revistas pdf/rct22.pdf> Acesso em: 09 Ago. 2013.

MIRSHAWKA, V. & OLMEDO, N.C. *Manutenção – combate aos custos na não-eficácia – a vez do Brasil*. São Paulo: Editora McGraw-Hill Ltda., 1993

MONCHY, François. *A Função Manutenção: Formação para a Gerência da Manutenção Industrial*. 422 pgs , Editora Durban / Ebras, São Paulo, 1989.

MOUBRAY, J. *Reliability-centered maintenance:* 2. Ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

MURTY, A.S.R. & NAIKAN, V.N.A. *Availability and maintenance cost optimization of a production plant*. International Journal of Quality & Reliability Management, Cambridge, 12 (2): 28-35, 1995.

NEPOMUCENO, Lauro Xavier. *Técnicas de manutenção preditiva*. SÃO PAULO: Edgard Blucher, 1989.

NEVES, J.L.M.; *Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução*, Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas/SP; 2003;

OLIVEIRA, L. F. S.; DINIZ, F. L. B. *Apostila do curso de manutenção centrada em confiabilidade.* Foz do Iguaçu: DNV Principia, abr. 2001.

PINTO, Alan K., XAVIER, Júlio A. N. *Manutenção Função Estratégica*, Rio de Janeiro, Qualitymark Ed., 2001.

PRADHAN, S.; *New Maintenance Methods: Are They for You?*; Process Plant Reliability Conference, Amsterdam, 1996.

PRADHAN, S.; (Tradução: Rafael Tram); *Estratégias de Manutenção para Uma Maior Disponibilidade*; Hydrocarbon Processing; Janeiro, 1994.

PRODUTIVIDADE, Censo Varietal e da. *Centro de tecnologia Canavieira. CTC, 2011.*

SIEVULI, W. *Manutenção em tear Sulzer Ruti*. 2001. Disponível em <www.lasid.funrei.br/planosdemanutencao/tearsulser-ruti/funrei.htm>.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. *Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação*. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muskat. *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. 3. ed. rev. e atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino.

SMITH , A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. *RCM: gateway to world class maintenance*. 2. ed. Burlington: Elsevier Butterworth–Heinemann, v. 1, 2004.

SOUZA, Valdir Cardoso. *Organização e Gerência da Manutenção – Planejamento, Programação e Controle da Manutenção*. 3ª Ed, revisada. São Paulo: All Print, 2009.

TOMIMORI, S.M.A.W.; GADANHA JÚNIOR, C.D.; MOLIN, J.P.; COELHO, J.L.D; YAHN, C.H.; *Máquinas e implementos Agrícolas do Brasil.* IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – São Paulo, 1991. 468p;

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. PCM, *Planejamento e controle da manutenção.* Rio de Janeiro: Qualitymark.Ed. 2002.