



# **UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**MELHORIA DA MANUTENÇÃO MECÂNICA EM UMA SIDERURGICA BASEADA  
EM MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO  
POR**

**MARIA EDUARDA DUBOURCQ FONSECA LIMA**

**Orientador: Prof. Adiel Almeida**

**RECIFE, NOVEMBRO / 2009**



# **UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**MELHORIA DA MANUTENÇÃO MECÂNICA EM UMA SIDERURGICA  
BASEADA EM MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE.**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – como requisito parcial para obtenção de Grau em Engenharia de Produção.

**L732m**

**Lima, Maria Eduarda Dubourcq Fonseca.**

**Melhoria da manutenção mecânica em uma siderurgica baseada em manutenção centrada em confiabilidade / Maria Eduarda Dubourcq Fonseca Lima. - Recife: O Autor, 2009.  
v, 40 folhas, il : grafs., tabs.,figs.**

**TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Curso de Graduação em Engenharia de Produção, 2009.**

**Inclui bibliografia.**

**1. Engenharia de Produção. 2. Confiabilidade. 3. Manutenção Mecânica. 4. Siderurgia. I. Título.**

**UFPE**

**658.5**

**CDD (22. ed.)**

**BCTG/2009-236**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Adiel Almeida, pelas suas orientações.

À engenheira Chloé Leban, pela assistência.

Aos professores do curso de Engenharia de Produção, pelos conhecimentos e aprendizados proporcionados.

Aos meus colegas de sala, pelo companheirismo e presteza.

À minha família, pelo apoio e compreensão.

À Instituição, pelo ensino e disponibilidade do ambiente.

## RESUMO

Com a alta competitividade do mercado atual, as organizações precisam reduzir cada vez mais seus custos produtivos. Uma das formas de reduzir os gastos com a produção é através da redução de paradas de equipamentos que impactam bastante nas entregas finais dos produtos. A metodologia RCM (*Reliability Centered Maintenance*) visa à redução de custos através de planos de manutenção mais pertinentes e adequados a contextos específicos, identificando os potenciais de falha crítica de cada unidade reparável do equipamento. Assim, pode evitar a ocorrência da falha através de uma manutenção mais eficaz e aplicável a cada unidade, sendo, assim, mais rentável. Este trabalho demonstra e analisa a aplicação desta metodologia em um caso específico, verificando as vantagens e desvantagens deste método na implementação de melhorias para o contexto em questão.

Palavras chave: confiabilidade, manutenção, RCM.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	6
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
1.1 OBJETIVO .....	8
1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	8
1.3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	9
1.4 ORGANIZACAO DO TRABALHO .....	10
<b>CAPÍTULO 2 – BASE CONCEITUAL.....</b>	<b>11</b>
2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE RCM.....	11
2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE RCM.....	15
<b>CAPÍTULO 3 – DESCRIÇÃO DA EMPRESA.....</b>	<b>18</b>
3.1 O GRUPO.....	18
3.2 O MERCADO DE ATUAÇÃO .....	18
3.3 OS PRODUTOS .....	19
3.4 A UNIDADE FILIAL .....	20
3.5 A FÁBRICA DE FOS SUR MER.....	21
<b>CAPITULO 4 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA RCM.....</b>	<b>23</b>
4.1 ANÁLISE FUNCIONAL .....	24
4.2 ANÁLISE DO DISFUNCIONAMENTO E DE CRITICIDADES .....	25
4.3 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO .....	28
<b>CAPITULO 5 – ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
5.1 RESULTADOS DOS TRANSPORTADORES .....	31
5.2 RESULTADOS DOS EMPILHADORES .....	34
5.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS LEVANTADAS .....	37
<b>CAPITULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>38</b>
6.1 CONCLUSÕES .....	38
6.2 RECOMENDAÇÕES .....	38
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Localização da fábrica de Fos sur.....	22
Figura 4.1	Transportador .....	24
Figura 4.2	Empilhador .....	24
Figura 4.3	Análise Funcional Transportador .....	25
Figura 4.4	Análise Funcional Empilhador .....	25
Figura 4.5	Avaliação Disfuncional e de Criticidade do Transportador .....	27
Figura 4.6	Avaliação Disfuncional e de Criticidade do Empilhador .....	28
Figura 4.7	Formulário de Atividades de Manutenção dos Transportadores .....	29
Figura 4.8	Formulário de Atividades de Manutenção dos Empilhador .....	31
Figura 5.1	Resultados Percentuais Criticidade Transportadores .....	33
Figura 5.2	Resultados Percentuais Mudanças Transportadores.....	34
Figura 5.3	Resultados Percentuais Criticidade Empilhador .....	36
Figura 5.4	Resultados Percentuais Mudanças Empilhador .....	37

# **1 INTRODUÇÃO**

Um estudo de caso acerca do programa de melhoria da manutenção mecânica da preparação de cargas de uma siderúrgica, sediada em Fos-sur-Mer, França, será realizado e apresentado nesta pesquisa. Para tal melhoria, foi aplicada a metodologia RCM (Reliability Centered Maintenance), ou MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade), para aperfeiçoar a manutenção de algumas máquinas críticas do início do processo de produção de aço.

Para sobreviverem em um mercado cada vez mais competitivo, as empresas necessitam aumentar progressivamente seus desempenhos produtivos. Por esta razão, a empresa estudada se esforça continuamente para manter sua posição de líder mundial na produção de aço.

No caso da usina de Fos-sur-Mer, França, a estratégia é definida visando os objetivos 2010: produzir 5,3 milhões de toneladas de aço e atingir a capacidade de descarregar 12 milhões de toneladas de carvão e minério de ferro no ano. Para atingir esses objetivos, a empresa utiliza a metodologia de Melhoria Focada com o intuito de acelerar o progresso desta unidade onde projetos são lançados a cada ciclo de 4 meses.

Este estudo vai se focar no projeto de melhoria focada para acelerar o ritmo do progresso da confiabilidade mecânica na Preparação de Cargas, já que através de uma boa confiabilidade e manutenção das máquinas e equipamentos podem-se atingir as metas da empresa.

A confiabilidade mecânica é a garantia do sucesso das máquinas durante seu funcionamento e a manutenção do nível desejado de desempenho dos equipamentos mecânicos, para alcançarem o mínimo de quebras ou panes possível.

A engenharia da manutenção é, portanto, uma das estratégias da organização estudada para fazer a usina progredir, diminuindo os custos de produção e aumentando a capacidade de fabricação do aço. Uma vez que os equipamentos mecânicos degradam com o tempo, uma política de manutenção ótima é visada para equilibrar as doses de manutenção corretiva e preventiva, assim como as frequências das visitas de inspeção e substituição de peças para assegurar a confiabilidade das máquinas.

Para definir esse plano de manutenção ótimo das máquinas críticas do processo de descarregamento de minério de ferro e carvão, o método RCM (Reliability Centered Maintenance) foi utilizado. Esse método visa definir um programa de manutenção o mais pertinente possível, tendo em vista o contexto ligado às consequências dos defeitos dos

sistemas e dos equipamentos. Para atingir um plano de manutenção o mais pertinente possível, alguns critérios da manutenção são levados em consideração por este método:

- A natureza: preventiva ou corretiva. Esta escolha é realizada com base no modo de degradação do equipamento, assim como na velocidade dessa degradação.
- O conteúdo: o tipo de tarefa de manutenção de acordo com sua tecnologia, seu nível de intrusão e seus custos logísticos.
- A periodicidade: intervalo de intervenção preventiva que reduz a probabilidade de falha e, portanto, de reparação corretiva.

Esta pesquisa tem como objetivo principal a realização de uma análise crítica da aplicação do método RCM, avaliando seus pontos positivos e negativos e sua aplicabilidade.

A maior motivação desta pesquisa é que o autor participou do processo de aplicação da RCM na preparação de cargas da siderúrgica deste estudo de caso, na França, e tem grande interesse em analisar criticamente este processo afim de trazer melhorias futuras para o departamento de manutenção mecânica desta organização, diante das lições aprendidas e constatações levantadas a partir desta pesquisa.

## **1.1 Objetivo**

O objetivo geral desta pesquisa é, através da análise realizada, poder destacar os pontos fortes e fracos do processo em estudo, a fim de utilizar as lições aprendidas em projetos futuros e/ou implementar imediatamente as mudanças propostas pelo estudo e como resposta à análise crítica realizada.

Já os objetivos específicos são:

- Maior aprofundamento teórico acerca do tema mais abrangente (confiabilidade e manutenção mecânica), assim como do tema mais específico (método RCM);
- Análise crítica do método e suas vantagens e desvantagens;
- Análise crítica do processo de aplicação do método na usina de Fos-sur-Mer, França;
- Indicação das observações levantadas para serem utilizadas como lições aprendidas futuramente.

## **1.2 Justificativa e Relevância**

Diante do caso a ser estudado, é fundamental que a empresa atinja suas metas estabelecidas estrategicamente para o ano de 2010. Um desses objetivos estratégicos, o de

descarregar 12 milhões de toneladas de carvão e minério de ferro, só será viável diante de uma melhora da manutenção mecânica e confiabilidade das máquinas da preparação de cargas. Ao se aplicar o método RCM uma melhoria foi alcançada, no entanto, ela deve ser contínua e efetiva.

Para isso, esta pesquisa propõe uma análise crítica da aplicação do método afim de trazer melhorias ainda mais significativas para o departamento de engenharia de manutenção mecânica da organização. Assim, quando o método for ser aplicado em outras máquinas, seja do descarregamento, ou das outras duas áreas da preparação de cargas (aglomeração e materiais), ele poderá ser mais bem aplicado, sabendo-se das suas limitações e melhor explorado, sabendo-se das suas vantagens.

### **1.3 Metodologia da Pesquisa**

Esta pesquisa é caracterizada como aplicada quanto à finalidade, uma vez que ela será aplicada com um determinado objetivo prático, ou seja, ela não vai melhorar o conhecimento acerca do assunto tratado na literatura, mas contribuir com praticidade para o caso a que está destinada. Quanto à natureza, ela é caracterizada como qualitativa, já que sua finalidade é analisar criticamente a aplicação de um método, através de levantamento dos dados estabelecidos nessa aplicação. Já quanto ao objetivo ou tipologia, esta pesquisa pode ser classificada como exploratória, uma vez que tem como objetivo a exploração de um tema e problemática já estabelecidos.

As técnicas de pesquisa a serem utilizadas neste trabalho são a pesquisa bibliográfica e o estudo de caso. A pesquisa bibliográfica será usada, pois documentos de fontes secundárias em relação ao tema de estudo vão ser levantados, como publicações avulsas, artigos, livros, revistas, monografias, teses, etc. A finalidade desta técnica é colocar o pesquisador em contato direto com os principais documentos já escritos sobre o tema da pesquisa. É importante a utilização desta técnica neste estudo, para que os conceitos e problemáticas acerca do tema sejam mais bem definidos e explorados, além de serem comparadas as visões de diferentes autores. Esta técnica será aplicada em Recife, PE e ela será realmente aplicada em 2009, quando a monografia vai ser desenvolvida. A pesquisa bibliográfica terá um prazo de 1 mês para ser realizada e dar base ao trabalho a ser desenvolvido. O estudo de caso também será realizado como técnica de pesquisa, já que este trabalho é baseado no caso específico da melhoria da manutenção mecânica e confiabilidade das máquinas da preparação de cargas da siderúrgica de Fos-sur-Mer.

## **1.4 Organização do Trabalho**

Este trabalho está organizado em 6 capítulos. O primeiro é apenas introdutório, seguido da Base Conceitual. No capítulo 3 apresenta-se a empresa do estudo de caso, seguida pela aplicação da metodologia RCM no capítulo 4. Segue, então, uma análise dos resultados obtidos no capítulo 5 e finaliza-se esta pesquisa com uma conclusão.

## **2 BASE CONCEITUAL**

Neste capítulo, são contempladas as bases teóricas sobre as quais este estudo de caso foi desenvolvido, contendo a citação das referências bibliográficas que servem de apoio às teorias envolvidas.

### **2.1 Conceitos Basicos de RCM**

A RCM fornece um método estruturado que visa selecionar as atividades de manutenção para qualquer processo produtivo. Este método é composto de uma seqüência de passos bem definidos a serem seguidos para responder às questões formuladas pela RCM e, assim, garantir os resultados desejados.

A RCM aperfeiçoa as atividades de manutenção, através da análise das funções de um sistema qualquer e das possibilidades de falhas e efeitos dessas funções, lançando um plano de manutenção mais eficaz e atividades com periodicidades adequadas.

A análise das funções surgiu da evolução da manutenção que antes buscava preservar o equipamento, desativando-o, atuando em todos os itens e realizando tudo que era possível ser feito e, posteriormente, percebeu-se que seu objetivo era preservar as capacidades funcionais de equipamentos e sistemas em operação.

A RCM, portanto, propõe a preservação das funções dos equipamentos, com a segurança requerida; a restauração da confiabilidade e segurança projetada, após a deterioração; a melhoria da disponibilidade; a diminuição do custo do ciclo de vida; a atuação conforme os modos de falha; a realização apenas das atividades que realmente precisam ser feitas; a atuação em função dos efeitos e conseqüências das falhas; e a documentação das razões para escolhas das atividades. (SIQUEIRA, 2005).

Siqueira (2005) compara, através da tabela a seguir, a manutenção tradicional com a RCM quanto a algumas características:

<b>Característica</b>	<b>Manutenção Tradicional</b>	<b>RCM</b>
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	Deterioração do equipamento	Consequências das falhas
Normalização	Não	Sim
Priorização	Inexistente	Por função

Tabela 2.1 – Comparação Manutenção Tradicional x RCM (Fonte: Siqueira, 2005)

A implementação do método RCM segue algumas etapas. A nomenclatura e subdivisão dessas etapas variam de autor para autor na literatura, no entanto, pode-se resumilas e conjugá-las nos passos abaixo:

#### 1. Análise do funcionamento do sistema

Nesta etapa inicial, deve-se definir o sistema em questão e seu modo de funcionar. O sistema é subdividido em diversos grupos funcionais e essas funções é que devem ser mantidas. Segundo Cheng, é um processo de identificação da funcionalidade de itens significantes, ou seja, somente os itens cujos modos de falhas acarretam grandes efeitos econômicos, de segurança ou missão no sistema.

É importante que nesta análise os componentes do sistema sejam selecionados e definidos de maneira clara e sem ambigüidades nesta fase inicial do método, uma vez que os passos seguintes da análise terão base nesses itens. (RAUSAND, 1998).

#### 2. Análise do disfuncionamento e de criticidades

Nesta etapa da análise, observa-se como o sistema disfunciona, levando em consideração a gravidade deste disfuncionamento e a freqüência com que ele acontece. De acordo com Deshpand e Modak (2002), as falhas de equipamentos e componentes que causam cada falha funcional são identificadas. Esta é a fase de nível mais detalhado da decomposição funcional. Ela deve ser desempenhada com acuracidade e completamente, pois é a partir dessas características identificadas que as tarefas de manutenção serão determinadas. A matriz de falha funcional do equipamento é preparada para identificar esses componentes, que podem

ser responsáveis pelas falhas funcionais. Esta atividade requer um conhecimento razoável do sistema e as suas características operacionais.

### 3. Seleção das ações de manutenção

Nesta fase do método, uma seleção de tarefas de manutenção é realizada para contrar as criticidades. Estas serão combatidas através da definição de uma estratégia de manutenção em função da criticidade; de uma estimativa da evolução dos programas de manutenção preventiva em função dos elementos do retorno de experiência; e da identificação dos tipos de otimização segundo os elementos da análise do disfuncionamento.

Segundo Rausand (1998), a idéia principal é para cada modo de falha dominante decidir se a tarefa de MP é aplicável e efetiva, ou se será melhor deixar o item operar deliberadamente até a falha e realizar manutenção corretiva.

Os intervalos da manutenção preventiva também são definidos, de acordo com a velocidade de degradação de cada componente.

Ao final dessa fase, o plano de manutenção preventiva estará pronto para ser implementado.

Backlund e Akersten (2003) resumiram que na implementação da RCM, a metodologia:

- 1- preserva funções
- 2- identifica modos de falhas que podem derrubar funções
- 3- prioriza as necessidades das funções (através dos modos de falhas)
- 4- seleciona apenas as tarefas de manutenção preventiva aplicáveis e efetivas.

Já para Siqueira, a implementação segue uma seqüência estruturada de 7 passos:

#### 1. Seleção do Sistema e Coleta de Informações

Objetiva identificar e documentar o sistema ou processo que será submetido à análise.

#### 2. Análise de Modos de Falha e Efeitos

São identificadas e documentadas todas as funções e seus modos de falha, assim como os efeitos adversos por elas produzidos. Usando a metodologia FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), são documentados os seguintes aspectos da instalação: funções desempenhadas pelo sistema; falhas associadas a cada função; modos como as falhas se originam; efeitos provocados pelas falhas; e severidade de cada efeito.

### 3. Seleção de Funções Significantes

Utiliza um processo estruturado para analisar cada função identificada na etapa anterior, e determinar se uma falha tem efeito significativo, segundo os impactos nos aspectos pilares da RCM: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo. O estudo de severidade dos efeitos das falhas funciona de entrada para uma avaliação de riscos e conseqüências, dos quais se deriva uma priorização segundo o grau de significância. Apenas as funções significantes são submetidas às outras etapas da metodologia.

### 4. Seleção de Atividades Aplicáveis

Determinam-se as atividades de manutenção preventiva que sejam tecnicamente aplicáveis, para prevenir ou corrigir cada modo de falha, ou mesmo amenizar suas conseqüências. Como resultado, é determinado se uma manutenção preventiva é aplicável; se uma manutenção preventiva não é aplicável; ou se outra ação alternativa é sugerida.

### 5. Avaliação da Efetividade das Atividades

Determina-se se uma tarefa de manutenção preventiva é efetiva para reduzir, a um nível aceitável, as conseqüências previstas para uma falha. Como resultado, propõe-se se a manutenção preventiva é recomendada; se a manutenção preventiva é desnecessária; ou se outra ação alternativa é sugerida.

### 6. Seleção das Tarefas Aplicáveis e Efetivas

Utiliza-se um processo estruturado para determinar a melhor tarefa, com base nos resultados do processo, nos impactos operacionais, na segurança física e nos impactos ambientais.

### 7. Definição da Periodicidade das atividades

Estabelecem-se os métodos e critérios para definição da periodicidade ou freqüência de execução de cada atividade selecionada, assim como o planejamento e estruturação do processo de implantação da metodologia na organização.

A metodologia proposta por Siqueira (2005) segue os mesmos passos da seqüência proposta por outros autores, apenas destrinchando certas atividades compactadas e uma única etapa por outros.

A RCM procura obter as respostas certas, com a implementação dessas etapas, para um conjunto de questões, propostas em uma ordem seqüencial específica, aplicáveis ao sistema objeto da manutenção:

1. Quais as **funções** a preservar?
2. Quais as **falhas** funcionais?
3. Quais os **modos** de falhas?
4. Quais os **efeitos** das falhas?
5. Quais as **conseqüências** das falhas?
6. Quais as **tarefas** aplicáveis e efetivas?
7. Quais as **alternativas** restantes?
8. Quais as **freqüências** ideais das tarefas?

Respondidas corretamente essas questões, a RCM terá fornecido a melhor opção de atividades de manutenção para serem incorporadas por um determinado sistema, afim de obter uma boa confiabilidade e coerência.

## **2.2 Revisão Bibliográfica sobre RCM**

Os primeiros conceitos da RCM tiveram origem na indústria de aviação nos anos 60. Mas somente em 1978 o primeiro documento foi escrito criando a metodologia RCM. Esta metodologia se espalhou em diversos campos industriais, especialmente nos que necessitam de segurança e confiabilidade nos anos 80 e 90 e está sendo atualmente utilizada por diversos outros campos industriais (Carretero, 2003).

A metodologia RCM foi um grande desafio em diversas indústrias, pois ela muda o foco da manutenção preventiva de trazer o sistema de volta para um estado “perfeito” para manter o sistema em um estado de boa condição funcional (com alguns limites operacionais definidos). Essa visão proporciona um entendimento de como a estrutura funciona, o que ela pode ou não alcançar e suas causas e falhas (Carretero, 2003).

A metodologia RCM tem três grandes metas. A primeira é melhorar a segurança e confiabilidade do sistema através do foco nas funções mais importantes. RCM está relacionada com o que se deseja que o equipamento faça e não no que ele realmente faz. A segunda é prevenir ou mitigar as conseqüências das falhas e não prevenir as próprias falhas. As conseqüências de uma falha diferem de acordo com onde e como os itens são instalados e operados. A terceira meta é reduzir os custos de manutenção evitando ou removendo ações de manutenção que não são estritamente necessárias (Carretero, 2003).

A RCM tem diversas definições segundo diferentes autores:

Para Anderson e Lewis (1990) a RCM pode ser definida como uma abordagem sistemática para o funcionamento de sistemas, falhas desse funcionamento, causas e efeitos das falhas, e infraestruturas afetadas pelas falhas. Uma vez que as falhas são identificadas, as suas conseqüências podem ser levadas em consideração.

De acordo com o Instituto de Pesquisa de Potência Elétrica RCM é uma consideração sistemática de funções do sistema, os modos como as funções podem falhar, e a prioridade baseada na segurança e economia que identifica tarefas de manutenção preventiva aplicáveis e efetivas. O foco principal da RCM é a manutenção das funções do sistema e não da operação do equipamento.

Segundo Rausand (1998), RCM é uma técnica para desenvolver um programa de manutenção preventiva. Ela é baseada na hipótese de que a confiabilidade inerente do equipamento é uma função da qualidade do projeto e do seu desenvolvimento. Um programa de MP efetivo garantirá que a confiabilidade inerente seja realizada. A técnica não pode, no entanto, melhorar a confiabilidade do sistema. Isso apenas é possível através de redesign ou modificação.

A RCM é projetada para reduzir os custos de manutenção, balanceando os altos custos de manutenção corretiva contra os custos de manutenção preventiva

Para Rausand (1998), o objetivo principal da RCM é reduzir os custos de manutenção através do foco nas funções mais importantes do sistema, e evitando ou removendo as ações de manutenção que não são estritamente necessárias. Se um programa de manutenção já existe, o resultado de uma análise RCM será, muitas vezes, de eliminar tarefas ineficientes de MP e redefinir os intervalos entre as MPs.

Para Eisinger e Rakowsky (2001), a escolha da melhor estratégia de manutenção é um dos principais pontos da RCM. A tomada de decisão, no entanto, pode ser difícil devido à perguntas sem uma resposta específica. Por exemplo, responder se um componente é crítico ou não pode não ser possível com um “SIM” ou “NÃO”.

Outro problema na aplicação da RCM é que a qualidade do programa de RCM depende da experiência e habilidades do analista da RCM (Cheng, Jia, 2008).

Além disso, Rausand (1998) destacou que a aplicação da MP é muitas vezes mal interpretada. Diversas vezes pensa-se que quanto mais freqüente é a MP, maior será a confiabilidade do item. Muitas vezes, justamente o oposto acontece devido a falhas induzidas pela manutenção.

Para ele, a RCM foi desenvolvida para balancear custos e benefícios a fim de obter o programa de MP de maior custo-benefício. Para alcançar isso, o desempenho do sistema desejado deve ser especificado. A MP não irá prevenir todas as falhas, e as consequências potenciais de cada falha deve ser identificada e a natureza da falha deve ser clara. As tarefas de MP são escolhidas para encaminhar cada falha através do uso de um critério de aplicabilidade e efetividade. Para ser efetiva, uma tarefa deve proporcionar a redução esperada de perdas relacionadas aos danos pessoais, danos ambientais, perdas de produção e/ou danos materiais.

Rausand (1998) também destacou que é importante lembrar que desenvolver um programa de MP não substituirá um projeto mal desenvolvido, qualidade construída inadequada ou práticas inadequadas de manutenção.

Os benefícios trazidos pela RCM foram destacados por Deshpande e Modak (2001):

- Desenvolvimento de planos de manutenção de alta qualidade em menor tempo e mais barato
- A disponibilidade da história da manutenção de cada sistema pode correlacionar essa experiência com partes específicas e seus modos de falhas e criticidades.
- A segurança de que todas as partes da manutenção e seus modos de falha e criticidades só consideradas no desenvolvimento das necessidades da manutenção.
- O aumento da probabilidade de que o nível e o conteúdo da manutenção seja ótimo.
- A base para a rotina, troca de informação entre o departamento de engenharia e de administração mesmo em uma organização dispersa.

## **3 DESCRIÇÃO DA EMPRESA**

### **3.1 O Grupo Siderúrgico**

A empresa do estudo surgiu de uma mesma visão: a necessidade de se consolidar como líder mundial em produção de aço. Dois grupos seguiram um caminho paralelo no tempo: ambos tinham como meta a criação de um ambiente de operação mais estável, ambos haviam se consolidado na indústria siderúrgica, ambos sabiam que a escala, combinada à diversificação geográfica e da produção, eram um ingrediente vital para o sucesso da indústria do aço.

Os caminhos desses grupos se cruzaram em 25 de junho de 2006, seguido de uma compra deste último, nascendo um acordo histórico para criar a maior empresa de aço do mundo.

### **3.2 O Mercado de Atuação**

A organização em questão tem um papel muito importante na indústria siderúrgica global, como atuante principal. Com 310 000 funcionários (até o final de 2008, antes da crise econômica mundial) em mais de 60 países, esta empresa está presente industrialmente em 27 países da Europa, Ásia, África e América.

Seu dispositivo industrial lhe permite estar presente em todos os mercados-chaves de aço, tanto nas economias emergentes quanto nas economias desenvolvidas. A organização fixou o objetivo de desenvolver sua posição na China e na Índia, dois países onde os mercados estão crescendo bastante.

Sua capacidade de produção anual é de 130 milhões de toneladas (10% da produção mundial de aço). Além disso, ela é líder mundial em todos os grandes mercados:

- Automobilístico

O grupo é o primeiro fornecedor automobilístico na Europa, onde mais de um automóvel sobre três é fabricado com aço desta empresa e próximo de um sobre dez no mundo. Além disso, a siderúrgica em questão é o primeiro produtor de chapas galvanizadas no mundo e desenvolve inúmeras parcerias técnicas com clientes de peso.

- Construção

Este setor está em crescimento demandando mais de 15 milhões de toneladas de aço na Europa. A organização concentra suas atividades de construção em torno dos aços

carbonos planos (canos, tapumes, esquadilhas...) e inoxidáveis (carpintaria metálica, telhado, fachada).

- Eletrodomésticos e utensílios domésticos

Este setor requer produtos de alta qualidade (revestidos, pré laçados). Mais de um aparelho eletrodoméstico sobre três é fabricado com aço desta empresa.

- Embalagem

A siderurgica deste estudo é o líder europeu no setor de embalagem (mais de uma embalagem sobre quatro) apesar de ser um setor com diversos concorrentes de outros materiais (alumínio, vidro, plástico...)

O grupo também é conhecido por sua qualidade em diferentes campos de atuação:

- Tecnologias e Pesquisa e Desenvolvimento de ponta
- Depósitos de matérias primas consideráveis
- Redes de distribuição extensas
- Respeito às normas exigentes em relação a responsabilidade social

### **3.3 Os Produtos**

As atividades realizadas pelo grupo são desenvolvidas em quatro setores principais : ele é o primeiro produtor mundial nos aços carbonos planos e aços carbonos longos, um dos líderes mundiais na produção de aços inoxidáveis e esta entre os primeiros na Europa no setor de Distribuição – Transformação - Trading.

#### **Aços carbonos planos**

O grupo tem uma ampla gama de produtos planos finos: bobinas à quente, bobinas à frio, chapas revestidas, aços para embalagem.

O conjunto do processo de fabricação é coberto por cinco unidades operacionais. A função de comercialização se apóia sobre uma rede internacional de filiais de vendas locais.

O setor automobilístico foi o primeiro a consumir os aços carbonos planos, benefício de estruturas que garantem a proximidade com o cliente e organizam o seu acompanhamento estratégico.

## **Aços carbonos longos**

O setor comporta três grandes especialidades (produtos longos pesados, produtos longos leves e produtos de usina fio) através de sociedades presentes na Europa, América e Ásia.

## **Aços inoxidáveis**

O setor compreende a produção, transformação e distribuição de aços inoxidáveis planos e longos, de ligas de níquel e de placas especiais. A siderúrgica produz quase a totalidade da gama de produtos inoxidáveis e de ligas na Europa, Ásia e América.

Graças à diversidade de sua oferta e à sua rede de distribuição internacional, a organização pode aperfeiçoar sua posição sobre seus mercados prioritários: eletrodomésticos, automobilístico e construção.

Os aços inoxidáveis do grupo trazem soluções dedicadas à indústria alimentícia, equipamentos de coletividade, indústria química, nuclear e petrolífera.

## **Distribuição, transformação e trading**

A distribuição liga o mundo da produção siderúrgica e seus clientes. Ela lhes proporciona uma larga gama de soluções de aço através de seus centros de serviços e de suas lojas de negócios de aço. A atividade de trading completa o seu dispositivo de comercialização dos produtos. As plataformas de comércio dão uma dimensão nova aos seus negócios.

A transformação (perfis para construção, tubos soldados) introduz ao grupo mercados de forte valorização nos quais a qualidade do serviço é particularmente apreciada.

A empresa oferece a seus clientes uma densa malha dos principais mercados europeus e mundiais com uma relação próxima que alimenta sua inovação e estimula sua reatividade.

## **3.4 A Unidade Filial**

A filial do grupo emerge da indústria siderúrgica desde o século XVIII e é constituída de três unidades. Com mais de 22 000 pessoas e inúmeras filiais na Europa, ela produz essencialmente os aços carbonos planos.

Para conciliar o crescimento internacional e os clientes que exigem serviços sempre de maior nível, o grupo é estruturado em 23 unidades operacionais. Esta filial lidera o sul da Europa desta organização.

Na França, as fábricas de Fos-sur-Mer e de St-Chély são as duas unidades de produção. Na Itália, é a segunda empresa de siderurgia do país. Já na Espanha, o pólo industrial de Sagunto é orientado a 65% para o mercado automobilístico e 35% para eletrodomésticos e construção. Na Turquia, Borcelik, implantado sobre o mar de Marmara é o segundo grupo siderúrgico do país.

### 3.5 A Fábrica de Fos sur Mer

A fábrica de Fos sur Mer foi construída em 1971 pelo capital de duas organizações que ainda não estavam associadas. Ela iniciou sua produção em 1973 e se especializou nos produtos planos laminados a quente. Ela emprega atualmente mais de 3500 pessoas.

No início, contava com um efetivo de mais de 7 800 pessoas, sendo uma das maiores fábricas da região. Dispondo de um vasto terreno, foi previsto originalmente adicionar outras unidades produtivas tal como a laminação à frio para fazer desta unidade uma das maiores do mundo. No entanto, a crise do petróleo de 1974 foi tão grande que este projeto foi abandonado e uma reestruturação do todo foi necessária. Com a automatização em 1991-1992 da maior parte das instalações, ainda, o efetivo desta unidade foi diminuindo até os índices atuais, que também regrediram com a crise do final de 2008 e início de 2009.



**Fos-sur-Mer**



Figura 3.1: Localização da fábrica de Fos sur Mer (Fonte: UnidadeFos, 2006)

A estrutura da planta compreende:

- 1 600 hectares de terreno com acesso ao mar,
- Um porto de minério de 640 metros podendo acolher embarcações de 230 000 toneladas (um dos 5 no mundo),

- Uma rede rodoviária de 55 km,
- Uma rede ferroviária de 50 km,
- Um fácil acesso a todos os meios de comunicação (marítimo, ferroviário, rodoviário e aéreo),
- 4 unidades de fabricação concentradas sobre 600 hectares,
- Centrais de energia e de fluidos (eletricidade, oxigênio, azoto, água, ...).

A unidade de Fos compreende 3 departamentos principais :

1. O departamento **Fonte (Derretimento) e Energia** é responsável pelo recebimento do mineral, a preparação das cargas e do carbono ao coque assim como a elaboração da fonte nos altos fornos. Cada alto forno tem uma capacidade de 7000 toneladas de derretimento, de um teor de carbono próximo de 5%.

2. O departamento **Aciaria**, que recebe o derretimento por meio de « carros-charutos » (capacidade de aproximadamente 450 toneladas), transforma este derretimento em aço queimando o carbono dentro de imensos convertedores à oxigênio (BOF). O aço é posteriormente dirigido ao lingotamento contínuo onde é produzido a sua forma de lajes de 220mm de espessura e de largura e comprimento variáveis.

3. O departamento de **Comboio Filme** (Train à Bandes) que se encarrega da laminação das lajes a fim de formar as bobinas de aço de espessura de 1,2mm a 20mm.

Outros departamentos são ligados e se organizam entorno desses três pólos de produção. Eles são encarregados da expedição das bobinas até o cliente, da segurança, da gestão da produção, dos sistemas informático e comercial e da qualidade.

## **4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA RCM**

A aplicação da metodologia RCM no contexto das máquinas à jusante dos pórticos (empilhadores e transportadores) do descarregamento de minerais foi desenvolvido em 12 reuniões de duração integral, coordenadas por um consultor externo da empresa Assetsman e acompanhado por todas as pessoas integradas na manutenção desses equipamentos.



Figura 4.1: Transportador (Fonte: UnidadeFos, 2006)



Figura 4.2: Empilhador (Fonte: UnidadeFos, 2006)

A aplicação da RCM seguiu 3 etapas como o método previa:

#### 4.1 Análise Funcional

Realização de uma subdivisão das máquinas em funções para posteriormente saber a melhor maneira de manter cada função:

A divisão dos equipamentos em funções foi realizada pela equipe de aplicação da metodologia, a qual incluiu os mantenedores mais experientes da área, o autor e o consultor.

Para os transportadores, os agrupamentos funcionais foram os mostrados abaixo:

<b>Sistema :</b> Circuitos de transportadoras do pátio de matéria prima (dos pórticos aos empilhadores)		
<b>Missão :</b> Veicular o produto descarregado para a zona de estocagem		
Agrupamentos Funcionais		Funções
GF1	Grupo de comando	Fazer funcionar a raia
GF2	Raia transportadora	Transportar o produto
GF3	Estrutura	Suportar e guiar a raia transportadora
GF4	Guia de alimentação	Guiar o produto
GF5	Tensão da raia	Assegurar a tensão adequada da raia transportadora
GF6	Translação	Assegurar o posicionamento da raia transportadora
GF7	Lubrificação centralizada	Lubrificar o conjunto de cilindros
GF8	Regulação	Remontar as informações do fluxo
Configuração 2010 : 12 MT descarregados - 2 circuitos utilizados Funciona nos períodos de descarregamento dos navios Velocidade : 4 m/s Fluxo : depende do produto		

Figura 4.3: Análise Funcional Transportador (Fonte: Adaptado de RCM\_Transportadores, 2008)

Foi importante fixar o contexto alvo, como se pode ver embaixo da tabela, visto que as criticidades devem ser estabelecidas de acordo com este contexto.

Já para os empilhadores, a divisão das funções estão mostradas abaixo :

<b>Sistema :</b> Empilhadores		
<b>Missão :</b> Colocar o produto em montes (pilhas) para lhe estocar		
Agrupamentos Funcionais		Funções
GF1	Translação	Deslocar o empilhador sentido norte/sul
GF2	Orientação	Orientar a flecha para constituir os montes
GF3	Elevação	Elevar a flecha para constituir os montes
GF4	Transporte produto	Encaminhar o produto da transportadora na saída da ponta da flecha
GF5	Estrutura	Suportar o conjunto
GF6	Potência e comando	Fornecer energia

Figura 4.4: Análise Funcional Empilhador (Fonte: Adaptado de RCM\_Empilhadores, 2008)

## 4.2 Análise do Disfuncionamento e de Criticidades

Esta fase da metodologia tem como objetivo a identificação das unidades de manutenção e seus potenciais de falha, assim como determinar a criticidade das falhas. Cada grupo funcional, definido na etapa anterior de análise do funcionamento, é tratado individualmente.

Segue abaixo o resultado do primeiro grupo funcional no formato de avaliação disfuncional das criticidades:

A matriz de criticidade é a mesma para todos os grupos funcionais de um mesmo sistema. O grupo de aplicação da metodologia RCM definiu os critérios mais importantes para ambos os sistemas tratados: produção, qualidade, custo, atraso, segurança, ambiente e motivação. Esses critérios foram estabelecidos com base no resultado final que eles trariam para a empresa quando agregados. A matriz de criticidade foi, então, construída com base em 5 níveis de gravidade. A gravidade leva em consideração o impacto nos critérios especificados. Os 5 níveis de gravidade também foram definidos pela equipe de aplicação do método. Em conjunto, determinou-se o que se enquadraria em cada nível de gravidade, como será mostrado na matriz abaixo.

Como se pode perceber a criticidade ou não de um quadrante é determinada pela gravidade e feito da falha e a sua frequência de ocorrência. As gravidades vão aumentando do nível 1 ao 5, quando todas as frequências são consideradas críticas, uma vez que envolvem a segurança das pessoas, critério estabelecido como prioritário, e um prazo de chegada de um sobressalente superior a 1 ano (o que deixaria o sistema em espera por bastante tempo).

Já a análise do disfuncionamento é dividida por grupo funcional. A equipe de manutenção determinou todos os potenciais de falha de cada grupo funcional, apontando quais unidades reparáveis (U.M.) poderiam falhar e quais as principais causas da falha dessas unidades. Para cada uma das causas, apontou-se, em conjunto, a gravidade e a frequência de ocorrência, determinando-se, assim, a criticidade de cada uma delas. Segue abaixo a planilha de aplicação para melhor entendimento:

Sistema : Circuitos de transportadoras do patio de matéria prima (dos porticos aos stackers)						
Missão : Veicular o produto descarregado para a zona de estocagem						
Grp. Funcional :		GF1 - Grupo de comando				
Função do GF :		Fazer funcionar a raia transportadora				
Gravidade e efeito da falha		Matriz de Criticidade				
G5	Impacto segurança das pessoas, Chegada de sobressalente superior a 1 ano	C	C	C	C	C
G4	Tempos de parada dos circuitos superiores a 8 horas, Impacto segurança do material e estrutura, Chegada de sobressalente superior a 6 meses	AT	AT	C	C	C
G3	Tempos de parada dos circuitos entre 4 e 8 horas, Necessidade de meios de manutenção excepcionais, Chegada de sobressalente superior a 1 mês	NC	NC	AT	C	C
G2	Tempos de parada dos circuitos entre 1 a 4 horas, Rodar com sistema falho até a proxima parada, Chegada de sobressalente superior a 1 semana	NC	NC	NC	AT	C
G1	Tempos de parada dos circuitos inferior ou igual a 1 hora, Chegada de sobressalente superior a 1 dia	NC	NC	NC	NC	AT

Principais Unidades de Manutenção e Causas								
U. M.	CAUSAS	GRAVIDADE	FREQUÊNCIA					CRITICIDADE
			10 anos	5 anos	1 ano	Mês	Sem.	
Motor	Falha de isolamento	G4		X				NC
	Rolamento bloqueado	G4		X				NC
Freio	Plaqueta desgastada	G1			X			NC
	Freio aberto (ação voluntaria)	G5	X					C
	Falha platina do freio	G1			X			NC
Disco de freio	Disco empenado, desgastado	G5	X					C
Redutor	Bloqueio	G4	X					NC
	Vazamento	G2				X		C
Mancal	Desgaste	G4	X					C
	Vazamento de lubrificante	G2		X				NC
Cilindro de comando	Revestimento desgastado	G2		X				NC
	Ruptura do eixo	G4	X					NC
	Rolamento bloqueado	G4	X					NC
Inversor	Anel quebrado	G4	X					NC
	Falha inversor	G4		X				NC
Jogo de cunha	Emparelhamento incorreto	G4			X			C
	Ruptura do eixo	G4	X					NC
	Rolamento bloqueado	G4	X					NC
	Anel quebrado	G4	X					NC

Figura 4.5: Formulário de Avaliação Disfuncional e de Criticidade do Transportador (Fonte: Adaptado de RCM\_Transportadores, 2008)

Para o sistema dos empilhadores a matriz de criticidade é a mesma do sistema anterior, assim como para todos os seus grupos funcionais. Da mesma forma que para o sistema de transportadores, determinou-se, em grupo, se os critérios e gravidades seriam os mesmos e fez-se o levantamento dos potenciais de falha para este sistema, contando com os profissionais mais experientes deste sistema específico. Para cada unidade reparável, apontaram-se as causas mais prováveis de falha e, com base na sua frequência de ocorrência e sua gravidade caso ocorra, pôde-se classificá-las como críticas (C), não críticas (NC) ou

necessitam de certa atenção (AT). A análise do disfuncionamento é realizada individualmente, sendo mostrada abaixo a de apenas um grupo funcional, se podendo visualizar abaixo:

Sistema : Empilhadores								
Missão : Colocar o produto em montes (pilhas) para lhe estocar								
Grp. Funcional : GF1 - Translação								
Função do GF : Deslocar o empilhador sentido norte/sul								
Gravidade e efeito da falha		Matriz de Criticidade						
G5	Impacto segurança das pessoas, Chegada de sobressalente superior a 1 ano	C	C	C	C	C		
G4	Tempos de parada dos circuitos superiores a 8 horas, Impacto segurança do material e estrutura, Chegada de sobressalente superior a 6 meses	AT	AT	C	C	C		
G3	Tempos de parada dos circuitos entre 4 e 8 horas, Necessidade de meios de manutenção excepcionais, Chegada de sobressalente superior a 1 mês	NC	NC	AT	C	C		
G2	Tempos de parada dos circuitos entre 1 a 4 horas, Rodar com sistema falho até a próxima parada, Chegada de sobressalente superior a 1 semana	NC	NC	NC	AT	C		
G1	Tempos de parada dos circuitos inferior ou igual a 1 hora, Chegada de sobressalente superior a 1 dia	NC	NC	NC	NC	AT		
Principais Unidades de Manutenção e Causas								
U. M.	CAUSAS	GRAVIDADE	FREQÜÊNCIA					CRITICIDADE
			10 anos	5 anos	1 ano	Mês	Sem.	
<b>Grupo de comando</b>								
<b>Motor (1/grupo)</b>	Defeito de isolamento	G1		X				NC
	Rolamento bloqueado	G1		X				NC
	Incrustante	G1	X					NC
	Coletor Iniciando	G1		X				NC
<b>Disco de freio (1/grupo)</b>	Disco empenado, desgastado	G2	X					NC
<b>Plaqueta de freio</b>	Plaqueta desgastada	G1	X					NC
<b>Pérflex (1/grupo)</b>	Afrouxamento	G2	X					NC
	Quebra	G2	X					NC
	Esfarelamento bandagem	G1	X					NC
<b>Redutor (1/grupo)</b>	Atrito	G1		X				NC
	Bloqueio	G3	X					NC
	Vazamento	G1			X			NC
	Rolamento bloqueado	G3	X					NC
	Deterioração chave tangencial	G1		X				NC
<b>Braço de reação</b>	Afrouxamento da porca	G1	X					NC
	Quebra fixação	G1	X					NC
<b>Rolo motor (1/grupo)</b>	Rolamento bloqueado	G3	X					NC
	Pneu furado	G3	X					NC
	Quebra arvore	G3	X					NC
<b>Bomba de graxa parte fixa</b>	Acoplamento quebrado	G4	X					C
	Motor esquentado	G4	X					C
	Vazamento	G1	X					NC
	Indicador de nivel bloqueado	G1	X					NC
	Falha temporizador	G4		X				C
	Falha realinhamento sensor	G4	X					C
	Falha inversor	G4	X					C

Figura 4.6: Formulário de Avaliação Disfuncional e de Criticidade do Empilhador (Fonte: Adaptado de RCM\_Empilhadores, 2008)

### 4.3 Engenharia de Manutenção

A última etapa da aplicação da manutenção centrada em confiabilidade é a análise das atividades de manutenção existentes e o reajuste do plano de manutenção, para que esteja melhor e mais condizente.

O objetivo desta fase é determinar se as atividades de manutenção existentes são rentáveis, eficazes, aplicáveis e se respondem ou não às falhas assim como ajustar ou decidir as tarefas de manutenção.

Para esta etapa é necessário o uso de uma extração do plano de manutenção, contendo todas as atividades que costumavam ser realizadas pela equipe para cada um dos equipamentos analisados. Esta extração foi retirada do sistema de informação utilizada, o qual consta todas as inspeções e atividades de manutenção que devem ser realizadas, suas periodicidades e formas de aplicação.

Esta análise foi feita para cada um dos grupos funcionais, podendo-se observar abaixo a planilha das transportadoras, quanto à função de Grupo de Comando:

Tipo Atividade	Atividades Existentes	Causas	P	A	E	\$	φ	Atividades propostas	P	Delta
2	Medição de vibração e temperatura dos redutores e motores	Desgaste rolamento	1 mês	S	S	S	3	Medição de vibração e temperatura dos redutores e motores	1 mês	M
1	Lubrificação transportador	complementação lubrificante	3 meses	S	S	N	3	Lubrificação transportador	6 meses	D
1	Lubrificação motores elétricos	Desgaste rolamento	6 meses	S	S	S	3	Lubrificação motores elétricos	6 meses	M
5	Drenagem redutor de rotação	Desgaste, poluição interna	1 ano	S	S	N	3	Drenagem redutor de rotação	2 anos	D
4	Abertura mancal e controle dentes	Desgaste mancal (crítico), falha alinhamento	2 anos	S	?	N	3	Abertura mancal e controle dentes	3 ans	D
1	Controle de nível acoplador	Vazamento acoplador	6 meses	S	S	S	3	Controle de nível acoplador	6 meses	M
5	Drenagem acoplador	Desgaste acoplador	2 anos	S	S	S	3	Drenagem acoplador	2 anos	M
2/4	Inspeção visual elétrica	Disfuncionamento parte elétrica	8 meses	s	Deteção apenas	S	1	Inspeção visual elétrica	8 meses	M
4	Controle visual cabo de alimentação motor	Falha conexão, isolamento, estado do cabo	2 meses	s	s	s	3	Controle visual cabo de alimentação motor	2 meses	M
4	Contrôle estado geral motor	Desgaste motor	2 meses	s	Parcialmente	s	2/3	Contrôle estado geral motor	2 meses	M
3	Teste dinâmico	Segurança	1 ano	s	Deteção apenas	s	1	Teste dinâmico	1 ano	M
		Freio aberto (crítico)						Tratado pelo Grupo de Melhoria Focada: restabelecer condições padrões Campanha de verificação de freios Campanha de formação de postos de trabalho e novos técnicos		Estudo comp
		Quebra eixo do cilindro de comando (crítico)						Troca do tipo de redutor utilizado		Modif

Figura 4.7: Formulário de Atividades de Manutenção dos Transportadores (Fonte: Adaptado de RCM\_Transportadores, 2008)

Para cada atividade existente, é apontado o seu tipo, a causa a qual ela deseja evitar ou detectar e a sua periodicidade atualmente. O tipo de atividade foi classificado como:

- 1- Pequena manutenção;
- 2- Atividade condicional;
- 3- Atividade

de teste;

4- Atividade de visita interna;

5- Substituição sistemática.

Esses 5 níveis de atividades determinam o limite da manutenção, se nem o 5º tipo de atividade for suficiente, é necessário realizar um redesign ou estudos complementares. O custo da realização das atividades aumenta de 1 a 5.

Em seguida a equipe realizou uma análise da atividade existente. Esta análise consiste em verificar se a tarefa é:

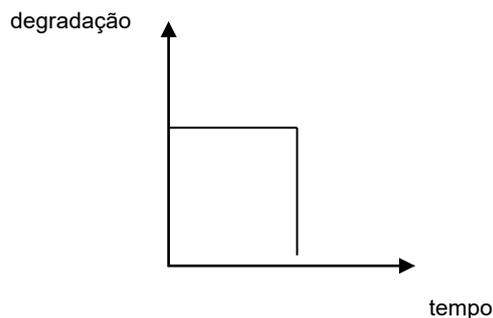
- Aplicável: A realização desta atividade é tecnicamente possível e pratica? Os locais de atuação da manutenção são acessíveis? Pode-se realmente verificar e analisar a maquina ou subconjunto? (Resposta binária);

- Eficaz: Esta atividade elimina as causas de falha ou parada de maquina? Reduz os riscos e domina a taxa de falha? (Resposta binária);

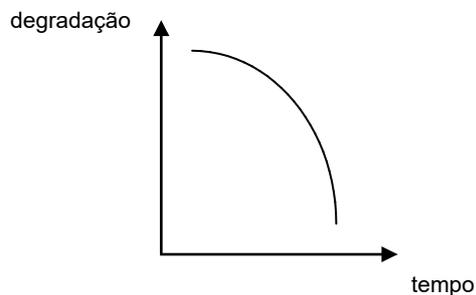
- Rentabilidade: O custo desta atividade é inferior aos custos de não produção e/ou do reparo corretivo? (Resposta binária);

- Velocidade de degradação: é a velocidade com a qual a maquina se deteriora no tempo. Podeter 3 valores de velocidade de degradação:

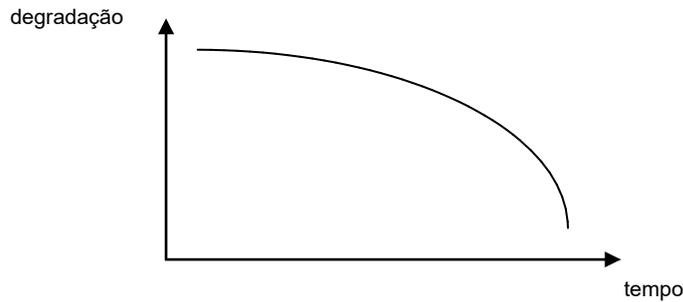
1 : quando a degradação acontece de forma repentina e aleatória:



2 : quando a degradação acontece em algumas semanas/meses :



3 : quando a degradação ocorre lentamente com o passar do tempo:



Após realizar esta análise para cada uma das atividades existentes, é proposto a atividade adequada para cada causa. Desta forma a antiga atividade pode ser: adicionada (A), suprimida (S), mantida (M), ter sua periodicidade distendida (D), ser aplicada com mais frequência (F), receber estudos complementares (EC) ou sofrerem modificação/ redesign (M/R). Isto foi feito para cada uma das atividades de cada um dos grupos funcionais e os resultados podem ser visualizados nas planilhas de aplicação.

O mesmo foi feito para o sistema dos empilhadores, podendo-se observar abaixo a etapa para o grupo funcional 1 (Translação):

Tipo Atividade de	Atividades Existentes	Causas	P	A	E	\$	¶	Atividades propostas	P	Delt
2	Inspeção visual das vias férreas	Ruptura trilho	1 sem.	S	S	N	3	Inspeção visual das vias férreas	3 meses	D
4	Controle de altimetria + controle de blocos (por Lamblin)	Ruptura, paralelismo trilhos	Sob demanda	S	S	S	3	Controle de altimetria + controle de blocos (por Lamblin)	Sob demanda	M
2	Inspeção visual translação (grupo de comando)	Vazamento redutor Usura plaqueta Usura Périflex	1 sem.	S	S	N	3	Inspeção visual translação (grupo de comando)	2 meses	D
1	Lubrificação dos motores	bloqueio rolamento	12 meses	S	S	S	3	Lubrificação dos motores	12 meses	M
1	Contrôle do nível de óleo dos redutores	Vazamento, redutor bloqueado	6 meses	S	Detecção apenas	S	3	Contrôle do nível de óleo dos redutores	6 meses	M
4	Retirar usura das bandagens de translação	Estilhaçamento bandagem	6 meses	S	S	N	3	Retirar usura das bandagens de translação	12 meses	D
1	Preenchimento das bombas de lubrificação	Consumo normal	Sob demanda	S	S		3	Preenchimento das bombas de lubrificação	Sob demanda	M
2	Controle funcional da linha de lubrificação marcha forçada	Ausência de lubrificação (crítico)	2 sem.	S	N		3	Controle funcional da linha de lubrificação marcha forçada	2 sem.	M
4	Controle geral do sistema de lubrificação	Ausência de lubrificação (crítico)	1 ano	S	S	S	3	Controle geral do sistema de lubrificação	1 ano	M
4	Controle pincel sobre motores translação	Usura pincel, estado conector	8 meses	S	S	S	3	Controle pincel sobre motores translação	8 meses	M
2	Inspeção em movimento translação stacker	Estado geral da máquina	8 meses	S	Detecção apenas	S	1	Inspeção em movimento translação stacker	8 meses	M

Figura 4.8: Formulário de Atividades de Manutenção dos Empilhadores (Fonte: Adaptado de RCM\_Empilhadores, 2008)

## **5 ANÁLISE DE RESULTADOS**

Verificando a realização de todas as etapas de aplicação da RCM, tem-se uma análise de como era feito a manutenção até certo momento e como deveria lhe fazer no futuro para obter um plano de manutenção mais pertinente, além de adaptado ao contexto de cada sistema.

Podem-se resumir os resultados da aplicação da metodologia para obter uma visão geral dos outputs e facilitar a análise para melhor verificar os pontos a serem melhorados.

### **5.1 Resultados dos Transportadores**

#### Etapa 1: Análise Funcional

O sistema de transportadores foi dividido em 7 funções gerais, as quais em conjunto garantem o funcionamento total do equipamento. Elas foram separadas com o intuito de melhorar a manutenção de cada função e não de partes específicas da máquina. Assegurando e mantendo a função, a confiabilidade do equipamento será mais alta e as perdas inerentes à sua falha serão amenizadas ou extinguidas.

Através da análise funcional, pode-se perceber facilmente o papel de cada grupo funcional e o que deveria ser mantido:

Para o grupo funcional 1, denominado grupo de comando, espera-se que ele faça funcionar a raia de transporte, através da rotação dos rolamentos; o grupo 2, raia transportadora, deve garantir o transporte do produto; o grupo funcional 3, sendo o grupo estrutural, tem como função suportar e guiar a raia de transporte; já o grupo 4, guia de alimentação, tem o papel de guiar o produto direcionando-o para a raia; o grupo 5, por sua vez, foi denominado tensão da raia transportadores e deve assegurar a tensão adequada à ela; para o grupo funcional 6, da função translação, o posicionamento da raia transportadora deve ser assegurado; e, por fim, o grupo 7, lubrificação centralizada, tem a função de manter os cilindros sempre lubrificados.

#### Etapa 2: Análise do Disfuncionamento e de Criticidades:

Como pode ser visualizado na tabela abaixo, neste sistema existe um percentual considerável de unidades reparáveis críticas, o que requer uma maior atenção para as atividades de manutenção que devem ser executadas a fim de evitar ocorrências de falha neste sistema. Além disso, esta atenção deve ser focada apenas em alguns grupos

funcionais (grupos 1,2,3,4 e especialmente 7), visto que os grupos 5 e 6 apenas possuem unidades reparáveis não críticas, devendo ser tratados com atenção muito menor:

	UM Críticas	UM Não Críticas	Total	% críticas
GF1	51	148	199	26%
GF2	5	10	15	33%
GF3	2	10	12	17%
GF4	2	7	9	22%
GF5	0	13	13	0%
GF6	0	13	13	0%
GF7	8	1	9	89%

Figura 5.1: Resultados Percentuais Criticidade Transportadores (Fonte: autor)

O grupo funcional 1, referente ao grupo de comando tem uma enorme quantidade de unidades reparáveis devido à multiplicação da análise que fizemos para apenas uma única transportadora para atingir as 21 transportadoras existentes no sistema de transporte do descarregamento de materiais, totalizando 199 unidades reparáveis das quais 51 são consideradas críticas, o que representa 26% delas. Entre as unidades críticas, podemos destacar o freio, que quando falha devido à ação voluntária de abertura dos freios remete a uma gravidade de grau 5, uma vez que arrisca enormemente a vida das pessoas; o disco de freios, que quando empenado ou desgastado também gera a mesma consequência; o redutor, pois vazamentos ocorrem mensalmente e aliado à uma gravidade de grau 2 é considerado crítico; o mancal, quando sofre desgaste (acontece raramente, mas gera uma gravidade de nível 4 pois apesar de ter sobressalente, o tempo de troca é superior a 8 horas, sendo também crítico; e o jogo de cunha, quando falha devido ao emparelhamento incorreto dos pares demora mais de 8 horas para se ter o defeito corrigido, acontecendo uma vez por ano, em média, e, portanto, também sendo considerado crítico.

O grupo funcional 2, raia transportadora, tem apenas 15 unidades reparáveis, no entanto, 5 delas são consideradas críticas, devendo receber maior atenção: uma falha de rasgo transversal da própria raia causado por corpos estranhos ou envelhecimento, pois ocorre, em média, a cada 5 anos e gera grande perda material e longo período de substituição; o cilindro tem dois tipos de falha crítica, por rompimento do eixo ou rolamento bloqueado ambos raros de acontecer, porém onerosos em relação à tempo e recursos financeiros para reparo ou substituição; duas falhas relacionadas à proteção da raia transportadora apesar de serem de gravidade nível 2, ocorrem permanentemente, sendo também críticas.

O grupo funcional 3, referente à estrutura, tem 2 unidades reparáveis críticas, das suas 10, totalizando 20%. Essas unidades críticas são queda e corrosão da estrutura, ambas com

probabilidade muito baixa de acontecer, porém de gravidade altíssima devido à segurança e grandes perdas de tempo e recursos.

Ja o grupo funcional 4, responsável por guiar o produto, tem 2 unidades das 7 criticas: usura do revestimento, ocorre a cada 5 anos e tem gravidade 4 e o componente anti derramamento que quando falho gera derramamento do produto e ocorre todo mês.

Por fim, o grupo 7, de lubrificação centralizada, deve receber maior atenção, pois das suas 9 unidades de manutenção, 8 são criticas pois todas elas podem gerar um bloqueio do cilindro: 4 são falhas referentes à bomba de lubrificação (queima do motor, defeito no temporizador, desregulagem no captor e defeito no inversor) e ocorrem a cada 10 anos, porém com gravidade 4 (geram perdas financeiras e de tempo consideráveis); 3 são referentes à canalização (vazamento, entupimento e defeito na montagem) e ocorrem anualmente e tem gravidade 4; e dosador que quando desregulado também tem gravidade 4 e ocorre a cada 5 anos.

### Etapa 3: Engenharia da Manutenção:

Para melhor tratar esses potenciais de falhas, diversas mudanças foram propostas nas atividades de manutenção de cada grupo funcional, formando um total de 36% de atividades com algum tipo de modificação:

	Adição	Mais Frequente	Distendidas	Supressão	Mantém	Modificação titulo	Estudos	% Mudanças
GF1			5		15		3	35%
GF2					7		3	30%
GF3	Incluso GF2							
GF4			1		1		2	75%
GF5	Incluso GF2							
GF6					3			0%
GF7		1			1			50%
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>27</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>36%</b>

Figura 5.2: Resultados Percentuais Mudanças Transportadores (Fonte: autor)

Das atividades de manutenção realizadas para este equipamento, 27 foram mantidas exatamente como eram realizadas, pois foram consideradas eficientes, aplicáveis e rentáveis e acertadas quando à periodicidade.

Uma atividade do grupo funcional de lubrificação teve sua periodicidade diminuída, ou seja, se tornou mais freqüente, uma vez que tratava de unidade manténavel bastante crítica, inclusive referente ao grupo que deve receber mais atenção: controle do funcionamento da linha de lubrificação passou de 6 meses para apenas 2 semanas de periodicidade de aplicação, esperando-se que a unidade deixe de ser critica pela diminuição da ocorrência de falhas.

6 atividades tiveram sua periodicidade distendida, 5 do grupo 1 e 1 do grupo 4, todas referentes a unidades não críticas, que foram consideradas ineficazes quanto à frequência de aplicação, pois todas as vezes que a inspeção era realizada, na grande maioria das vezes, encontrava-se o equipamento na mesma condição da inspeção passada: algumas passaram de 1 semana para 3 meses ou de 6 meses para 12 meses, gerando uma economia significativa da manutenção, sem afetar na confiabilidade do equipamento.

Ainda, 8 atividades receberam aconselhamento de estudo (complementar ou modificação/redesign), sendo 3 do grupo 1, 3 do grupo 2 e 2 do grupo 4, pois tinham criticidades que não seriam resolvidas com inspeções ou substituições mais frequentes, como: freio aberto (começou a ser tratado pelo grupo de melhoria focada, restabelecendo-se as condições básicas e lançando campanhas de verificação de freios e de formação de postos de trabalho e de novos técnicos); quebra do eixo do cilindro de comando e desalinhamento do jogo de cunha (estudo para possível troca do tipo de redutor utilizado ou do fornecedor do redutor); rasgo transversal da raia transportadora (implantação de um detector de metais sobre cada pórtico, restabelecimento do conjunto de cilindros que enchem em todo o setor para evitar sobretensões, tornar operacional e confiável o conjunto de sistemas de tensão por guincho ou modificação do sistema por um sistema de contrapesos a fim de evitar as intervenções humanas); usura do revestimento na flecha guia (tratar em grupo de melhoria focada para voltar ao estado padrão os funis de transferência de raia e restabelecimento do dispositivo antiderramamento); vazamento dos funis de transferência, ligados ao tipo de produto transportado (modificação prevista da geometria de alguns funis devido à mudança da trajetória do produto).

## **5.2 Resultados dos Empilhadores**

### Etapa 1: Análise Funcional

Para atender a missão do sistema, os grupos funcionais foram subdivididos: o grupo 1 é o de translação e deve garantir que o empilhador seja deslocado no sentido norte/sul com sucesso; o grupo funcional 2 é o de orientação e deve orientar a flecha para constituir os montes de armazenagem; o grupo 3 é o de elevação e complementa a função anterior pois deve elevar a flecha para constituir os montes; já o grupo funcional 4 tem como função transportar o produto e encaminhá-lo do transportador até a saída da ponta da flecha; o grupo 5, por sua vez, é referente à estrutura e deve suportar o conjunto; e, finalmente, o grupo funcional 6 é o de potência e comando e deve assegurar o fornecimento de energia.

## Etapa 2: Análise do Disfuncionamento e de Criticidades

Analisando a criticidade das unidades reparáveis dos empilhadores, pode-se perceber que um percentual mais baixo representa as unidades críticas e que os grupos funcionais são mais homogêneos quanto à criticidade, necessitando de atenção similar igualmente.

	UM Crítica	UM Não Crítica	Total	% crítica
GF1	5	40	45	11%
GF2	5	43	48	10%
GF3	1	38	39	3%
GF4	10	47	57	18%
GF5	1	8	9	11%
GF6	4	28	32	13%

Figura 5.3: Resultados Percentuais Criticidade Empilhadores (Fonte: autor)

Para cada grupo funcional algumas unidades reparáveis devem receber maior atenção e melhor tratamento a fim de diminuir a ocorrência para amenizar o risco que provocam:

As cinco unidades críticas do grupo 1 são referentes à bomba de lubrificação do sistema de translação e, igualmente à esta função do sistema de transportadores, pode gerar um bloqueio do cilindro, neste caso através dos defeitos de quebra do acoplamento, motor esquentado ou queimado, falha no temporizador, falha no realinhamento do sensor e falha no inversos, todos eles considerados de nível 4 devido ao longo tempo de reparo e perdas financeiras e ocorrem a cada 10 anos, com exceção da falha no temporizador que ocorre a cada 5 anos.

O grupo 2, de orientação da flecha tem 5 das suas 43 unidades de manutenção consideradas críticas e são todas também relacionadas à bomba de lubrificação, porém do sistema de orientação. As falhas, gravidades e frequências de ocorrência são exatamente as mesmas para o sistema de lubrificação da função translação.

O grupo 3, de elevação da flecha, tem apenas uma unidade crítica que é o radar. Apesar de o defeito ter gravidade nível 2, provocando entre 1 e 4 horas de parada do equipamento, ele vinha ocorrendo com frequência acentuada (semanalmente) pois estava em período de implementação.

Já o grupo funcional 4, responsável pelo transporte do produto dentro do próprio equipamento, é o que apresentou maior número absoluto (10) e relativo (18%) de unidades de manutenção críticas: rasgo transversal da raia de transporte que ocorre com frequência de 5 anos e tem gravidade 4; defeito na “ré” ou reinversão da raia por

desativação permanente, porém de gravidade 2; 2 modos de falha no transporte da raia horizontal (ruptura do eixo e rolamento bloqueado) referentes aos cilindros (de comando, de referência e conduzido) totalizando 6 unidades críticas, todas com gravidade 4 e probabilidade baixíssima de ocorrência; e mais 2 modos de falha referente à raia inclinada que leva o produto até a flecha (os mesmos defeitos do cilindros anteriores, com a mesma gravidade e frequência).

O grupo funcional 5, responsável pelo suporte do conjunto estrutural, tem uma unidade crítica que é a ligação flecha e contra-peso, esta ligação pode se romper gerando bastante risco à segurança humana, física e perdas financeiras para reparo (gravidade 5), porém a probabilidade de ocorrência é bastante baixa.

Por fim, o grupo funcional 6, de potência e comando, possui 4 unidades críticas: o cabo do retrator de controle pode ser rompido e isto ocorre a cada 5 anos e tem gravidade 4 (longo período de reparo, necessitando da parada do equipamento); e 3 defeitos associados ao cabo do retrator de potência (ruptura do cabo, ruptura do fio e queda), todos ocorrendo a cada 5 anos e de gravidade também 4.

### Etapa 3: Engenharia da Manutenção

Quanto às atividades de manutenção realizadas, muitas tiveram sua periodicidade distendida, uma vez que não estavam coerentes com a velocidade de degradação, podendo diminuir bastante os custos de manutenção deste sistema. No total, 33% das atividades sofreram algum tipo de modificação (45 foram mantidas).

	Adição	Mais Frequente	Distendidas	Supressão	Mantém	Modificação título	Estudos	% Mudanças
GF1			3		7			30%
GF2		1	7		8		1	53%
GF3			2	2	5			44%
GF4			2	1	11		1	27%
GF5					2			0%
GF6					12	1	1	14%
	0	1	14	3	45	1	3	33%

Figura 5.4: Resultados Percentuais Mudança Empilhadores (Fonte: autor)

Dentre as modificações, apenas 1 atividade de manutenção, pertencente ao grupo funcional 2 teve sua periodicidade diminuída, também referente ao controle de lubrificação que, assim como no caso do sistema de transportadores, passou de 6 meses a 2 semanas, mostrando um grande erro da equipe de manutenção, pois se trata de unidade crítica.

14 atividades tiveram sua periodicidade distendida, uma vez que não estavam coerentes com a criticidade da unidade ou eficácia da mesma.

3 atividades foram suprimidas uma vez que consideradas desnecessárias, não aplicáveis e não eficazes, não era valido empregar recursos para a sua realização.

Quanto aos estudos, 3 atividades devem ser encaminhadas para um grupo de analise mais profunda a fim de torná-las não críticas: defeito na medição da sonda capacitiva (a sonda capacitiva é solicitada, ou entra em funcionamento, quando a sonda radar apresenta falha, deve-se ajustar a altura adequada da sonda e retomar a interface dela com a sonda radar); rasgo transversal da raia de transporte (mesmo estudo do sistema de transportadores); cabo retrator (estudo para pesquisa do uso de cabo neoprene, utilizando novos fornecedores).

### **5.3 Vantagens e Desvantagens Levantadas**

Podem-se levantar alguns pontos positivos e outros de melhoria a partir da analise da aplicação do método RCM neste contexto:

#### **Vantagens:**

- Método de fácil entendimento e aplicação;
- Ganhos financeiros;
- Redução de perdas;
- Foco nas partes críticas do equipamento

#### **Desvantagens:**

- A RCM analisa as causas individuais de cada falha separadamente, ao invés do conjunto de causas que podem originar uma falha, ou seja, não considera a sobreposição de falhas;
- A RCM necessita de pessoas com bastante experiência como fonte de informação;
- Ausência de um sistema de informação confiável e com histórico antigo das ocorrências de falha como fonte de informação para o passo a passo do método, o que impossibilita a aplicação de análises estatísticas e modelos matemáticos, como uso de modelos de decisão multicritério, por exemplo.

## **6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **6.1 Conclusões**

A aplicação da metodologia no contexto da pesquisa trouxe, portanto, grandes ganhos financeiros para a organização, através da redução de paradas devido à manutenção inadequada proporcionando aumento de produtividade, além da redução de custos na aplicação das atividades de reparo e manutenção dos equipamentos.

Os resultados deste trabalho contribuem, portanto, para o alcance dos objetivos e metas para o ano de 2010 traçados pela organização, uma vez que melhorias na capacidade do descarregamento de matérias primas foram conseguidas.

Além disso, a avaliação crítica da aplicação do método possibilita melhorias em futuras implementações, sendo documentadas as lições aprendidas e as sugestões para trabalhos futuros.

### **6.2 Recomendações**

Por meio da experiência adquirida na aplicação desta pesquisa e dos resultados nela obtidos, pode ser proposto a implantação de um sistema de informação confiável para registrar todas as ocorrências de falha nos equipamentos em questão, assim como em outros. Desta maneira, poder-se-ia aplicar a mesma metodologia levando em consideração os dados numéricos em conjunto com a experiência dos profissionais e aplicar modelos que descrevessem o comportamento de cada unidade.

Além disso, o método pode ser aplicado em projetos futuros em outras máquinas importantes do descarregamento de materiais, como as garras (*grabs*) de descarregamento de navios a granel, para que todo o setor tenha seus planos de manutenção mais apropriados e com redução de custos totais.

## **BIBLIOGRAFIA**

Al-Mishari S.T, Suliman S. *Integrating Six-Sigma with other reliability improvement methods in equipment reliability and maintenance applications*. Qlty of Maintenance Eng 2008;14(1).

Anderson R, Lewis N. *Reliability centered maintenance: management and engineering methods*. The Netherlands: Elsevier; 1990.

Backlund F, Akersten P.A. *RCM introductions: process and requiriments management aspects*. J Qlty of Maintenance Eng 2003;9(3).

Ben-Daya M. *You may need RCM to enhance TPM implementation*. J Qlty of Maintenance Eng 2002;6(2).

Carretero J, Perez JM, Garcia-Carballeira F, et al. *Applying RCM in large scale systems: a case study with railway networks*. Reliab Eng Syst Safety 2003;3(82):257–73.

Cheng Z, Jia X, Gao P et al. *A framework for intelligent reliability centered maintenance analysis*. Reliab Eng Syst Safety 2008;(93): 784–792.

Crocker J, Kumart U.D. *Age-related maintenance versus reliability centred maintenance: a case study on aero-engines*. Reliab Eng Syst Safety 2000: (67):113-118.

Deshpande VS, Modak JP. *Application of RCM for safety considerations in a steel plant*. Reliab Eng Syst Safety 2002;3(78):325–34.

Deshpande VS, Modak JP. *Application of RCM to a medium scale industry*. Reliab Eng Syst Safety 2002;1(77):31–43.

Eisinger S, Rakowsky U.K. *Modeling of uncertainties in reliability centered maintenance: probabilistic approach*. Reliab Eng Syst Safety 2001;2(71):159–64.

Pintelon L, Nagarur N, Van Puyvelde F. Case study : RCM – Yes, no or maybe ? J Qlty of Maintenance Eng 1999;5(3).

Rausand M. *Reliability centered maintenance*. Reliab Eng Syst Safety 1998;2(60):121–32.

RCM\_Empilhadores, 2008. Arquivo Excel Equipe RCM.

RCM\_TRansportadores, 2008. Arquivo Excel Equipe RCM.

Siqueira, Iony Patriota de. *Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação*. Rio de Janerio: Qualitymark, 2005, 408p.

UnidadeFos, 2006. Relatório *de apresentação do Descarregamento de Materiais*. Relatório Interno da siderúrgica de Fos sur Mer.