

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

**DÊNISON TONOLI DE MATOS**

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE  
NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA  
USINA SIDERURGICA DE GRANDE PORTE**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA  
2017**

**DÊNISON TONOLI DE MATOS**

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE  
NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA  
USINA SIDERURGICA DE GRANDE PORTE**

Monografia apresentada como requisito parcial  
à obtenção do título de Especialista em  
Engenharia da Confiabilidade, do  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

**CURITIBA**

**2017**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Curitiba  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica  
Especialização em Engenharia da Confiabilidade



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA USINA SIDERURGICA DE GRANDE PORTE**

por

**DÊNISON TONOLI DE MATOS**

Esta monografia foi apresentada em 10 de novembro de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
Professor Orientador - UTFPR

---

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

---

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

## DEDICATÓRIA

Para meus pais, Valter e Marcia, pela educação, cuidado, exemplos e contraexemplos de vida que servem como base na minha trajetória.

Aos meus filhos, Julia, Manuela e Daniel, minha fonte de inspiração.

Para Ana Carolina, minha querida esposa, pela força, compreensão e paciência nesta caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela saúde e pelo cuidado que tem dispensado sobre a minha vida para que eu pudesse chegar até aqui.

À minha família pelo encorajamento e apoio fundamentais para o encerramento deste ciclo.

“Existem dois tipos de riscos: Aqueles que não podemos nos dar ao luxo de correr e aqueles que não podemos nos dar ao luxo de não correr.”

(Peter Drucker).

## RESUMO

Matos, Dênisson. **APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA USINA SIDERURGICA DE GRANDE PORTE.** Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A visão estratégica da manutenção e gestão de ativos envolve o conhecimento integrado da empresa, de cada setor e de cada equipamento, decidindo onde, quando e por que aplicar os recursos necessários e de maneira correta, assim como gerenciar os riscos com responsabilidade para manter a competitividade do negócio. Este trabalho buscou evidenciar a aplicação da metodologia da manutenção centrada em confiabilidade para revisão dos planos de manutenção para garantir o desempenho desejado dos ativos e alcançar os objetivos organizacionais de forma estruturada, de maneira tal, que a gestão da manutenção seja realizada de forma eficaz e alinhada aos modelos e diretrizes da manutenção e gestão de ativos de uma indústria siderúrgica de grande porte.

Buscou-se ainda identificar os principais pontos de atenção e apontar os de necessidade de melhoria para alcance dos resultados a curto e médio prazo.

**Palavras-chave:** Manutenção Centrada em confiabilidade. Manutenção e Gestão de Ativos. Planos de Manutenção.

## ABSTRACT

Matos, Dênisson. **APPLICATION OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE IN THE SYSTEM OF DISTRIBUTION OF ELECTRICITY OF A LARGE INDUSTRY OF THE STEEL**. Monography (Specialization in Reliability Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2017.

The strategic vision of asset maintenance and management involves the integrated knowledge of the company, of each sector and each equipment, deciding where, when and why to apply the necessary resources and in a correct way, as well as to manage the risks with responsibility to maintain the competitiveness of the business. This work sought to highlight the application of reliability-based maintenance methodology to review the maintenance plans and ensure the desired performance of the assets to achieve the organizational objectives in a structured way, so that maintenance management is carried out effectively and aligned with the models and guidelines for maintenance and asset management of a large steel industry. It sought to identify the main points of attention and to point out the ones with improvement necessity to reach the results in the short and medium term.

Keywords: Reliability Centered Maintenance. Maintenance and Asset Management. Maintenance Planning.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: Fluxo de produção siderúrgico .....	21
Figura 2.2: Sistema de distribuição elétrica do Pátio de Minérios .....	22
Figura 2.3: Sistema de distribuição elétrica da Sinterização .....	23
Figura 3.1: Diagrama de Blocos Funcional simplificado .....	28
Figura 3.2: Modelo para o formulário FMEA.....	36
Figura 3.3: Diagrama de revisão de planos.....	39
Figura 4.1: Planilha de gerenciamento - RCM.....	42
Figura 4.2: DBF - Pátio de Minérios .....	43
Figura 4.3: Diagrama do sistema informatizado de manutenção da AMT .....	50
Figura 4.4: Cadastro da sala elétrica 01 .....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1: Percentual de equipamentos por criticidade - Sinterização .....	61
Gráfico 5.2: Percentual de equipamentos por criticidade - Pátio de Minérios .....	61
Gráfico 5.3: Percentual de equipamentos por prioridade de risco .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Fator de correção para faixa de criticidade.....	31
Tabela 3.2: Índices de gravidade .....	37
Tabela 3.3: Índices de ocorrência .....	37
Tabela 3.4: Índices de detecção.....	38
Tabela 5.1: Extrato da revisão de planos .....	64

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Critério de criticidade para equipamentos .....	30
Quadro 3.2: Classificação final de criticidade.....	32
Quadro 4.1: Análise de criticidade das salas elétricas .....	49

## **LISTA DE SIGLAS E UNIDADES**

### **LISTA DE SIGLAS**

CCM	Centro de Controle de Motores
CMMS	Computerized Maintenance Management System
APQP	Advanced Product Quality Planning and Control Plan
DBF	Diagrama de Bloco Funcional
FMEA	Failure Modes Effects Analysis
MTBF	Mean Time Between Failures
RCA	Root Cause Analysis
RCM	Reliability Centered Maintenance

### **LISTA DE UNIDADES**

kVCA	Quilo Volts de Corrente Alternada
VCA	Volts de Corrente Alternada

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	15
1.2	OBJETIVOS .....	16
1.2.1	Objetivo Geral.....	16
1.2.2	Objetivo Específico.....	16
1.3	JUSTIFICATIVA .....	16
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2</b>	<b>O RCM NO SISTEMA ELÉTRICO SIDERÚRGICO .....</b>	<b>20</b>
2.1	SOBRE A USINA E SEU SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.....	20
2.2	O CONCEITO DE CONFIABILIDADE .....	23
2.3	PENSAMENTO SISTÊMICO E VISÃO GERENCIAL.....	24
2.4	MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE .....	25
2.5	APLICABILIDADE DO RCM.....	25
2.6	SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPITULO .....	26
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>27</b>
3.1	VISÃO DO RCM .....	27
3.2	VISÃO GERENCIAL E GESTÃO DE ATIVOS.....	27
3.3	DEFINIÇÃO DA CRITICIDADE .....	29
3.4	CMMS É A REVISÃO DE CADASTROS.....	32
3.5	REVISÃO DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO .....	33
3.5.1	FMEA – Análise dos Modos de Falha e Seus Efeitos .....	35
3.5.2	Comparação Entre Planos Existentes .....	39
3.6	POLÍTICA DE SOBRESSALENTES.....	40
3.7	REVISÃO DE CARTILHAS DE IMPEDIMENTO .....	40
3.8	SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	40
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>42</b>
4.1	GERENCIAMENTO DAS ATIVIDADES .....	42
4.2	VISÃO GERAL DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA DO PÁTIO DE MATÉRIAS-PRIMAS .....	43
4.3	CRITICIDADE DAS SALAS ELÉTRICAS.....	44
4.3.1	Influência na Produção.....	44
4.3.2	Influência na Qualidade do Produto .....	45
4.3.3	Influência no Meio Ambiente .....	45
4.3.4	Influência na Segurança Pessoal .....	46
4.3.5	Existência de Stand-By .....	46
4.3.6	Ocorrência de Falhas .....	47
4.3.7	Recuperação da Produção Após Reparo .....	47
4.3.8	Influência no Custo da Produção.....	48

4.3.9	Fator de Correção .....	48
4.4	SISMANA .....	50
4.5	REVISÃO DE CADASTRO.....	51
4.6	FMEA – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA.....	52
4.6.1	FMEA – Planejamento.....	53
4.6.2	FMEA – Análise de Falhas em Potencial .....	53
4.6.3	FMEA – Avaliação do Risco .....	55
4.6.4	FMEA – Melhoria dos Riscos Avaliados.....	57
4.7	COMPARAÇÃO COM OS PLANOS ANTERIORES .....	57
4.8	POLÍTICA DE SOBRESSALENTES.....	58
4.9	SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	59
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>60</b>
5.1	SÍNTESE, ANÁLISE DE RESULTADOS E OBSERVAÇÕES .....	60
5.1.1	Avaliação da Revisão dos Cadastros e da Classificação de Criticidade	60
5.1.2	Avaliação dos Resultados do FMEA .....	62
5.1.3	Resultado da Comparação dos Planos .....	64
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>
	<b>ANEXO A – DECISÕES DO RCM – DIAGRAMA DE MOUBRAY .....</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXO B – DIRETRIZES MÍNIMAS DE MANUTENÇÃO <i>VERSUS</i> DEFINIÇÃO DE CRITICIDADE.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Todo equipamento ao ser projetado, recebe “atributos” necessários para que a sua função seja exercida da maneira desejada. Ao adquirir tal equipamento, o cliente espera não só que ele cumpra sua função adequadamente mas cumpra-a com eficiência, ou seja, que dentro de certas condições e por um intervalo de tempo, a função esperada desse equipamento seja exercida sem interferências ou surpresas.

A ideia de realizar manutenção surge a partir da necessidade de manter um equipamento em operação dentro das condições esperadas, entretanto, o conceito do direcionamento das atividades de manutenção em direção à confiabilidade teve seu início apenas no começo dos anos 1930, quando as indústrias ainda não eram muito mecanizadas e a produtividade não era um fator de grande importância. Nesse momento, devido ao ainda baixo desenvolvimento tecnológico, os maquinários eram relativamente simples e robustos, em geral, superdimensionados, fazendo que com a confiabilidade fosse alta e os reparos simples, dispensando manutenções mais elaboradas além das de limpeza e lubrificação.

Com o advento da Segunda Guerra Mundial e no pós-guerra, a demanda por produtos industriais cresceu, exigindo das empresas o aumento da produtividade e conseqüentemente a busca pela mecanização dos processos. A partir dos anos 1950, a industrialização chegou a um patamar em que as companhias se tornavam cada vez mais dependentes dos maquinários, que por sua vez, com o avanço da engenharia, eram ainda mais complexos e numerosos. Essa dependência e o crescimento da produção fez com que as falhas passassem a ser percebidas, uma vez que o crescente uso dos equipamentos acabava por sobrecarregá-los e a complexidade dos mesmos fazia com que o tempo de manutenção fosse grande o suficiente a ponto de impactar a produtividade, surgindo assim a necessidade de evitar que interrupções não programadas ocorressem, dando início ao conceito de manutenção preventiva.

Em meados dos anos 1970, com a crescente onda de globalização, a necessidade de as empresas inovarem a fim de manterem-se competitivas no mercado fez com que surgissem modelos produtivos com estoques cada vez mais reduzidos e apenas suficientes para manter a produção surgindo assim a ideia de gestão de ativos como uma das vertentes do aumento da produtividade e a redução

dos custos. A grande questão dessa nova filosofia aliada à crescente automatização dos processos é que as consequências de qualquer interrupção causada por falha de maquinário poderiam ser catastróficas para a empresa, surgindo assim o conceito de manutenção baseada em confiabilidade.

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A evolução da economia mundial, a globalização, a expansão tecnológica e o desaparecimento das fronteiras fortalecem a concorrência entre as organizações e disputa pela participação no mercado. Os desafios impostos pelos diferentes segmentos vêm exigindo dos produtores a capacidade de se reinventarem para que o negócio subsista às severas oscilações da economia mundial.

Neste cenário, é preciso que a atividade de manutenção seja integrada de maneira eficaz ao processo produtivo, contribuindo para que a empresa tenha a capacidade de produzir seus produtos com a qualidade e pontualidade requerida pelos clientes. O setor de manutenção influencia diretamente na qualidade e produtividade e, por esse motivo, tem um papel estratégico e fundamental na melhoria dos resultados operacionais e financeiros dos negócios de uma empresa. Para isso, a gestão da empresa deve ser sustentada por uma visão de futuro e os processos gerenciais devem focar na satisfação plena dos clientes, através da qualidade intrínseca de seus produtos e serviços.

De acordo com KARDEC & NASCIF (2009):

A atividade de manutenção precisa deixar de ser apenas eficiente para se tornar eficaz; ou seja, não basta, apenas, reparar o equipamento ou instalação tão rápido quanto possível, mas, principalmente, é preciso manter a função do equipamento disponível para a operação, evitar a falha do equipamento e reduzir os riscos de uma parada de produção não planejada.

A manutenção, vista como função estratégica, responde diretamente pela disponibilidade e confiabilidade dos ativos físicos e qualidade dos produtos finais, sustentando os resultados da empresa. Para tal, ainda de acordo com KARDEC & NASCIF (2009):

É necessário planejar a manutenção, de maneira a administrar corretamente as mais diversas variáveis envolvidas em sua gestão: desde o planejamento de compras de materiais, dimensionamento de estoques críticos até a interferência na produção, com planos de paradas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Aplicar a metodologia utilizada e os resultados obtidos a partir da implantação dos modelos de Manutenção Centrada em Confiabilidade no sistema de distribuição elétrica de uma usina siderúrgica de grande porte.

### 1.2.2 Objetivo Específico

Este trabalho deverá também atender os seguintes objetivos específicos, para cumprimento de seu objetivo geral:

- Apresentar o modelo de gestão da manutenção da ArcelorMittal;
- Apresentar a metodologia aplicada no processo de revisão de planos de manutenção;
- Mostrar os resultados esperados com aplicação da metodologia.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A necessidade de adequarem-se às circunstâncias impostas pelo mercado mundial a fim de manterem-se competitivas, faz com que plantas industriais inseridas no contexto mundial de exportação de produtos, como usinas siderúrgicas de grande porte, por exemplo, que hoje disputam mercado com empresas de países como a China, responsável por 49,6% da produção de aço mundial, onde o custo de produção é considerado baixo, necessitem rever seus processos para tornar o produto final mais atrativo e com menor custo de produção. Uma das possibilidades usadas para tornar o processo o mais eficiente possível, além de um bom gerenciamento de ativos, é a adoção de metodologias de manutenção que aumentem a confiabilidade do sistema, impulsionando a produção, reduzindo o tempo de parada e zerando os índices de paradas não programadas.

Nesse contexto, insere-se a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade ou do inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM), sigla esta que será utilizada em todo o texto, sendo base para o desenvolvimento desse trabalho. Os conceitos foram aplicados a partir de uma nova visão da empresa em ter uma planta altamente confiável, e para tanto foram feitas classificações de criticidade de equipamentos, atualização e adequação de cadastros, revisão dos planos de manutenção voltados para a otimização das atividades, revisão dos critérios de segurança dos equipamentos e treinamento das equipes.

#### 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Um estudo de caso como o RCM possui metodologia de desenvolvimento pouco distinta da utilizada em dissertações de pesquisa. Como já apresentado nas justificativas, o RCM tem sido muito utilizado pelas empresas como novo modelo de gestão de ativos e por isso foi adotado também na Arcelor Mittal Tubarão.

O processo de levantamento de dados, de maneira geral, confunde-se com o próprio procedimento de implantação dos novos métodos. A primeira atitude a ser tomada para tal adoção, é a visualização do sistema de maneira gerencial; como auxílio à essa necessidade, desenvolve-se Diagramas de Blocos Funcionais relacionando as áreas e equipamentos da usina interligando-os de acordo com sua dependência. Esse diagrama deve possibilitar a divisão das áreas operacionais em sistemas a serem trabalhados nas etapas posteriores.

A análise da importância de cada equipamento ou componente para o sistema, aliado a oito condições dentre as quais segurança pessoal, impacto ambiental, influência na produção, na qualidade e no custo, farão com que seja atribuída uma nota a cada equipamento de maneira a nortear o desenvolvimento das atividades priorizando itens mais críticos.

Todos os equipamentos, alguns por estarem desativados ou por terem partes de seus componentes alterados ou também desativados, precisaram ter seus cadastros revisados para serem incluídos no *Computerized Maintenance Management System* (CMMS). Cada cadastro antigo foi encaminhado ao inspetor responsável pelo equipamento para que suas observações fossem ouvidas e o novo cadastro a ser incluído no sistema estivesse o mais fidedigno possível.

O passo seguinte à revisão dos cadastros consiste na revisão dos planos de serviço, manutenção e inspeção. Para equipamentos classificados como “AA” ou “A”, desenvolve-se uma planilha *Failure Modes Effects Analysis* (FMEA) onde serão analisadas as funções de cada equipamento, seus modos de falha e causas. Além disso, uma classificação de prioridade de risco dos componentes é realizada, classificando os equipamentos quanto à detectibilidade de uma falha, o número de ocorrências e a severidade para o sistema.

Baseado no FMEA elaborado em conjunto com Especialistas e inspetores, revisão, inclusão ou exclusão de planos são definidas. Para todos os equipamentos, independentemente da criticidade, os novos planos são comparados com os antigos a fim de verificar-se alguma divergência entre os novos planos e os antigos que ainda não tenha sido percebida e que possa comprometer as atividades.

Por fim, após a realização de todas as revisões propostas e a inclusão dos planos no CMMS, conforme será apresentado no Capítulo 3, os planos são implementados e as novas condições devem ser observadas e, caso necessário, novos estudos devem ser feitos até que se tenha uma situação estável e com os planos otimizados e adequados.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

As atividades de manutenção de uma empresa têm como objetivo a estabilidade operacional da planta buscando sustentabilidade ambiental e segurança pessoal e financeira. O foco na confiabilidade é atingido por meio da atuação de equipes capacitadas com atividades voltadas à prevenção. A estrutura metodológica aplicada nesse novo conceito de manutenção é embasada por quatro pilares: inspeção dos equipamentos, planejamento, programação e controle, manutenção por conjunto e execução das ações.

Essa dissertação foi dividida em um total de cinco capítulos, sendo o Capítulo 1 uma introdução para apresentação do escopo do projeto, os objetivos traçados a serem alcançados e os métodos utilizados para isso. O capítulo 2 apresenta a aplicabilidade do trabalho desenvolvido na resolução do problema apresentado. Conceitos importantes por basearem o desenvolvimento aqui realizado são apresentados nesse capítulo.

O Capítulo 3 contém a base teórica que norteia toda a dissertação bem como a aplicação da metodologia em campo. Nesse capítulo, conceitos, aplicações e métodos apresentados por autores consagrados no assunto são tratados de maneira a tornar claro os pilares teóricos nos quais o desenvolvimento dos trabalhos realizados está assentado.

O Capítulo 4, aqui chamado de “desenvolvimento”, apresenta a aplicação dos conceitos adotados no Capítulo 3. Nesse capítulo, os procedimentos utilizados em cada fase do problema, são aplicados de maneira detalhada e os resultados obtidos são apresentados. Por fim, no Capítulo 5 é realizada uma síntese da concretização desse trabalho. Busca-se, nessa parte do texto, agrupar as informações obtidas ao longo do Capítulo 4 a fim de exibir os resultados de forma mais coesa e comparativa, possibilitando a análise das situações encontradas e soluções adotadas bem como apresentar propostas de trabalhos futuros a serem desenvolvidos na mesma área de aplicação dessa dissertação.

## **2 O RCM NO SISTEMA ELÉTRICO SIDERÚRGICO**

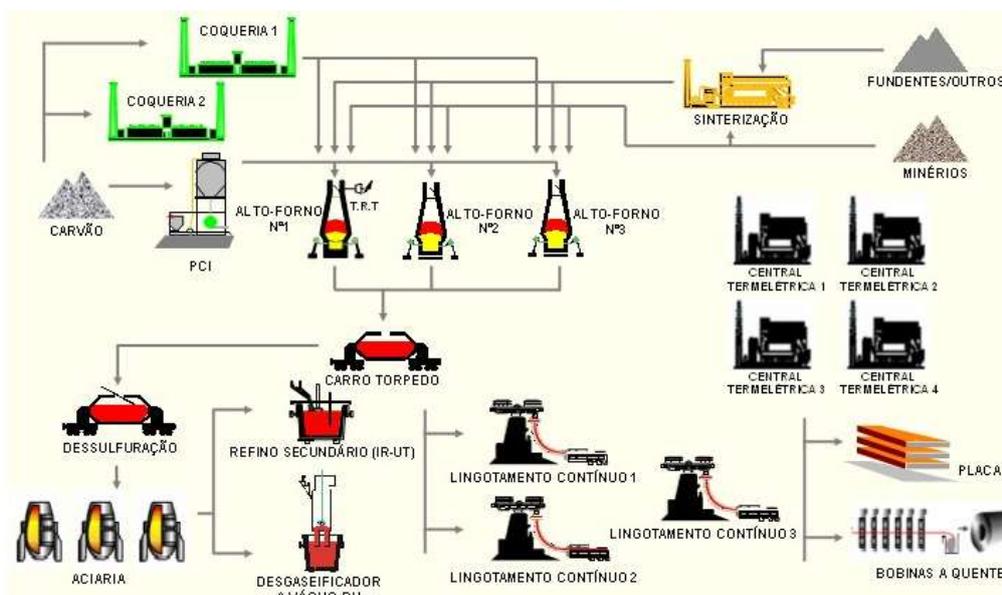
Nesse capítulo, serão apresentados fundamentos que embasaram o desenvolvimento desse trabalho bem como quais os objetivos, aplicações, vantagens e desafios encontrados na implementação dos métodos no sistema elétrico de distribuição de uma usina siderúrgica de grande porte.

### **2.1 SOBRE A USINA E SEU SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO**

O estudo de caso discutido nessa dissertação foi realizado em uma grande usina siderúrgica na cidade de Serra, no Espírito Santo. A empresa possui hoje 34 anos de operação sendo a 3ª maior produtora brasileira de aços planos laminados. Com capacidade de produção de 7,5 milhões de toneladas ao ano, a companhia faz parte do maior grupo produtor de aço do mundo.

A planta é uma usina integrada de produção de aço, tendo seu processo produtivo dividido basicamente em cinco partes: recebimento, onde a matéria-prima é recebida via correia transportadora de empresas externas, via produção interna, como o caso do coque ou ainda por meio rodoviário e ferroviário. O passo seguinte preparação e estocagem de matérias-primas consiste na mistura e empilhamento das pilhas a serem consumidas ao longo do processo já adotando a composição desejada para a produção de um determinado tipo de sínter. Inicia-se, enfim, o processo de fabricação do sínter a ser enviado junto ao coque e outros componentes para os altos-fornos, onde será produzido o gusa, que encaminhado via carros torpedos para a aciaria, é tratado para a produção do aço líquido, posteriormente transformado em placas e destas em bobinas a quente e, por fim, embarque dos produtos acabados em sistema multimodal. A Figura 2.1 apresenta uma visão geral do fluxo de produção da usina siderúrgica ArcelorMittal Tubarão.

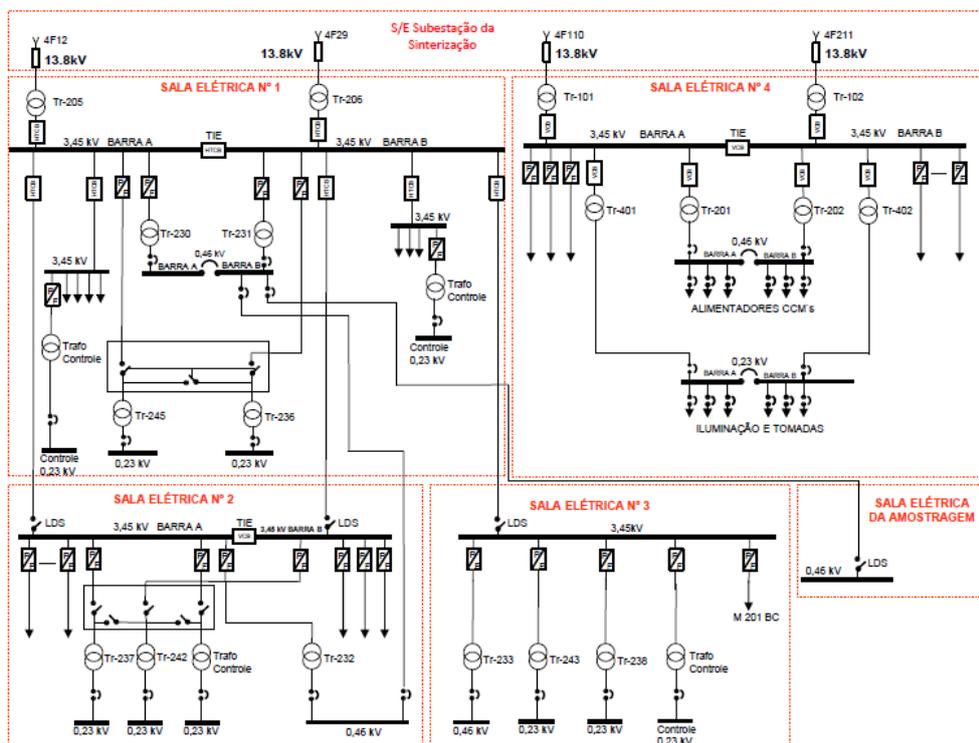
Figura 2.1: Fluxo de produção siderúrgico



Fonte: Site Arcelor Mittal Tubarão – Usina – Fluxo de produção (2017).

Nesse projeto, em especial, será tratada a aplicação da metodologia RCM no sistema de distribuição de energia elétrica de dois setores da usina: Pátio de Matérias-Primas e Sinterização. O primeiro está subdividido em quatro salas elétricas, além da sala elétrica da amostragem, operando em níveis de tensão abaixo de 13,3 kV além dos circuitos de controle, e alimentando e controlando maquinários como empilhadeiras, recuperadoras entre outros equipamentos. O diagrama do sistema elétrico do Pátio de Minérios é apresentado na Figura 2.2.

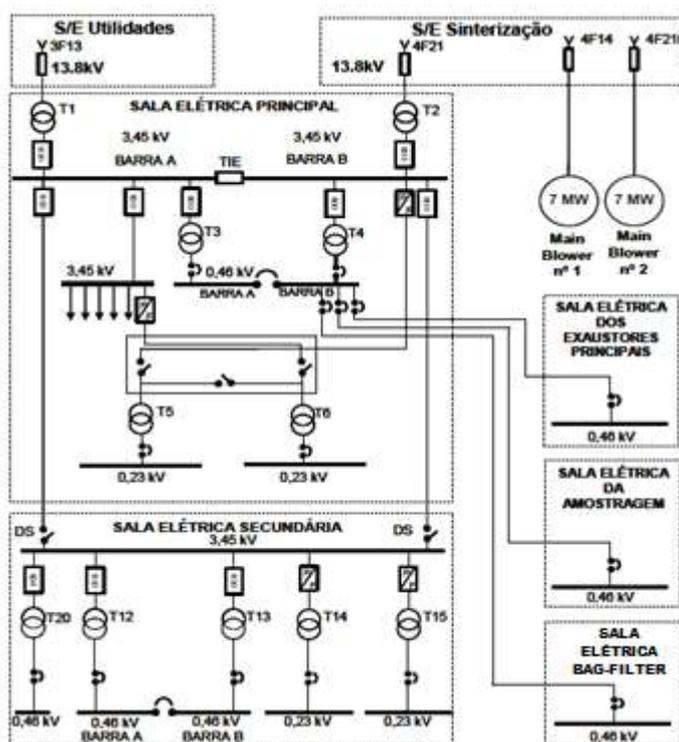
Figura 2.2: Sistema de distribuição elétrica do Pátio de Minérios



Fonte: Padrão empresarial - Configuração do Sistema Elétrico do Pátio de Minérios. - Arcelor Mittal Tubarão (2017).

Além do sistema elétrico do Pátio de Minérios, também é responsabilidade da gerência da área em análise o sistema elétrico da Sinterização, subdividido em duas salas elétricas, também em níveis de tensão inferiores a 13,3 kV e com circuitos de controle. Essas salas são responsáveis pela alimentação e controle de balanças, silos e peneiras da moagem de coque, máquina de sinter, resfriador, precipitadores eletroestáticos, entre outros equipamentos. Além disso, essas salas também alimentam salas elétricas auxiliares, como as de amostragem, exaustores e “Bag-Filter”. O diagrama do sistema elétrico da Sinterização é apresentado na Figura 2.3.

Figura 2.3: Sistema de distribuição elétrica da Sinterização



Fonte: Padrão empresarial - Configuração do Sistema Elétrico da Sinterização. - Arcelor Mittal Tubarão (2017).

Para a Sinterização em especial, foi possível vivenciar e analisar diferentes maneiras de aplicação da metodologia RCM. As plantas que já estavam em operação quando do início da implementação dos métodos passaram por revisão de planos de manutenção e serviços, cadastro e critérios de segurança. Além disso, também foi possível realizar a análise da aplicação do método em uma nova planta vinculada à Sinterização, o chamado “Bag-Filter”, instalado para reduzir os níveis de emissão de particulado inerentes do processo de produção do sínter, projeto concebido já sob à luz da nova metodologia.

## 2.2 O CONCEITO DE CONFIABILIDADE

O conceito de confiabilidade está diretamente atrelado à ideia de probabilidade. De maneira geral, a confiabilidade é dada pela probabilidade de um dado equipamento operar conforme projetado e planejado, sob certas condições, atendendo aos desejos do usuário. Em outras palavras, a confiabilidade está atrelada a aspectos quantitativos, mas acima de tudo qualitativos, já que o grau de

confiança em um equipamento está intimamente ligado à sua disponibilidade e operação conforme desejado quando solicitado.

De acordo com a British Standard (BS 4778), confiabilidade é a capacidade de um determinado equipamento operar satisfatoriamente, sob certas condições, por um período de tempo determinado. O manual APQP é ainda mais incisivo na definição e não classifica a confiabilidade apenas como a capacidade de operação, mas como a “probabilidade de que um item continuará a funcionar de acordo com os níveis de expectativa do usuário a um ponto mensurável, sob um ambiente específico e nas condições clínicas determinadas”.

Independentemente da definição utilizada, para todas o elemento tempo é fator significativo, já que representa a medida em relação à qual um sistema será avaliado. Tal intervalo de tempo, em geral, está relacionado à definição de tempo entre falhas, o MTBF, que basicamente apresentará o período de funcionamento de um equipamento dentro das condições pré-estabelecidas, sem a ocorrência de falhas. O MTBF aliado ao FMEA forma um conjunto de ferramentas poderosas para que sejam traçadas as revisões dos planos de manutenção à luz do RCM.

### 2.3 PENSAMENTO SISTÊMICO E VISÃO GERENCIAL

As atividades propostas pela metodologia RCM visam o aumento da eficiência da planta de maneira global, e para que sejam definidas as ações prioritárias para alocação de recursos na hora e local correto, é necessário que haja uma visão sistêmica do processo como um todo.

Para o pensamento sistêmico, a estrutura organizacional de uma empresa não é apenas o seu organograma ou o modelo de fluxo de trabalho; pensar sistematicamente vai muito além disso, sendo indispensável visualizar o padrão de inter-relações entre componentes chaves do sistema.

Analisando-se um sistema de distribuição elétrico integrado, a visão sistemática do processo passa a ser imprescindível, haja vista a intensa interconexão entre equipamentos e áreas da usina. O impedimento de um equipamento, a operação de outro, situações de “by-pass” e redundância são comuns nesses sistemas e devem estar bem visíveis para que as ações necessárias sejam adotadas de acordo com as necessidades.

## 2.4 MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE

Ao ser projetado, todo equipamento é concebido tendo como base uma função a ser desenvolvida e uma confiabilidade inerente do projeto, de maneira tal que, em geral, o que se espera de um dispositivo, é o que ele pode fornecer. De acordo com Carlos Alberto Scapin, no livro “Análise Sistêmica de Falhas”, a confiabilidade de um equipamento, por ser inerente do projeto, não pode ser aumentada com os processos de manutenção, de forma que, se um equipamento estiver operando dentro das condições para as quais foi especificado, atividades de manutenção não serão capazes de aumentar a confiabilidade do item desde que o mesmo tenha sido projetado e fabricado corretamente. Assim, para essas situações, são desenvolvidos planos de manutenção que assegurem a operabilidade do equipamento e a continuidade do desempenho pré-concebido.

Por outro lado, caso haja subdimensionamento ou a operação do equipamento não seja realizada de maneira adequada, não existe atividade de manutenção capaz de exceder a capacidade projetada originalmente.

## 2.5 APLICABILIDADE DO RCM

É sabido que a adoção do RCM como metodologia de manutenção visa a maximização da eficácia de um ativo, minimizando o número e o efeito das falhas e reduzindo perdas. Do ponto de vista da gestão de ativos, o RCM é uma gestão de riscos. Dessa maneira, a visão de manutenção adotada nesse trabalho utiliza-se da junção da gestão de ativos e de riscos a fim de permitir uma visão mais clara dos prejuízos a serem evitados e dos benefícios a serem alcançados num ponto de vista mais gerencial.

O RCM na geração em que se encontra, é usado para garantir que os equipamentos atenderão às necessidades de seus usuários, obtendo uma resposta rápida, sustentável e substancial melhoria na disponibilidade e confiabilidade da planta, além de aprimorar a qualidade do produto bem como os aspectos ambientais e de segurança.

A metodologia parte da premissa de que as falhas podem ocorrer a qualquer momento e devem, se possível, ser monitoradas assumindo a impossibilidade de eliminá-las totalmente. A visão proposta é a de eliminar ações desnecessárias que,

além de custos, inserem novos modos de falhas, antes inexistentes, frutos de intervenções realizadas periodicamente. Assim, a frase de John Moubray resume o ideal proposto pelo RCM: Não basta executar certo as ações de manutenção, (ser eficiente) é preciso executar certo as ações certas (ser eficaz).

Em outras palavras, o que Moubray denota em relação às atividades de manutenção é que a execução correta dos serviços contribui apenas para a eficiência do processo, entretanto, a manutenção correta realizada de maneira adequada, leva o processo à eficácia.

## 2.6 SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPITULO

Nesse capítulo foram apresentados alguns conceitos que nortearam o desenvolvimento da metodologia RCM na usina em questão. Além disso, buscou-se apresentar a aplicabilidade dos métodos aqui estudados na usina siderúrgica onde o projeto foi implantado e é objeto de estudo dessa dissertação.

Conceitos importantes como o de confiabilidade foram apresentados de modo a tornar clara a necessidade existente de alcançá-la. A ideia proposta irá margear todo o conteúdo desse trabalho, haja vista que esse é o objetivo de maior valor para o RCM.

Além disso, apresentou-se também a importância da visão gerencial para a gestão de ativos e de riscos. Ao longo do trabalho será possível perceber que essa visão é extremamente necessária para que a contribuição de cada item, equipamento e processo seja visualizada na usina como um todo de modo a tornar as decisões tomadas melhor sustentadas.

No capítulo seguinte, será possível observar como todos os conceitos aqui apresentados foram incorporados no desenvolvimento teórico da metodologia. Todos eles, de certa maneira, estão presentes, ainda que indiretamente, em cada etapa da aplicação dos métodos conforme poderá ser visto a seguir.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

O capítulo a seguir apresenta o embasamento teórico que foi utilizado na concepção e implantação da metodologia RCM no sistema elétrico da usina siderúrgica analisada. São apresentadas as bibliografias que nortearam o desenvolvimento dos trabalhos propiciando a solidez técnica necessária ao desenvolvimento bem estruturado das atividades.

#### 3.1 VISÃO DO RCM

De acordo com o Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos elaborado pelo grupo Arcelor Mittal em 2013,

Manutenção Centrada na Confiabilidade é um processo usado para determinar o que precisa ser feito para assegurar que qualquer item físico continue a cumprir as funções desejadas no seu contexto operacional atual.

A introdução desse conceito faz com que o enfoque das atividades de manutenção não seja mais o equipamento, e sim a função que esse exerce, assim, ainda de acordo com o Plano Diretor, “os serviços não seriam mais executados sobre cada componente, mas sim considerando a importância do componente ou unidade na função do sistema”. Essa ideia possibilita adequar o conceito de falha como a cessação da função requerida de um item ou incapacidade de satisfazer o desempenho esperado.

#### 3.2 VISÃO GERENCIAL E GESTÃO DE ATIVOS

De acordo com MORTELARI, SIQUEIRA & PIZZATI (2014),

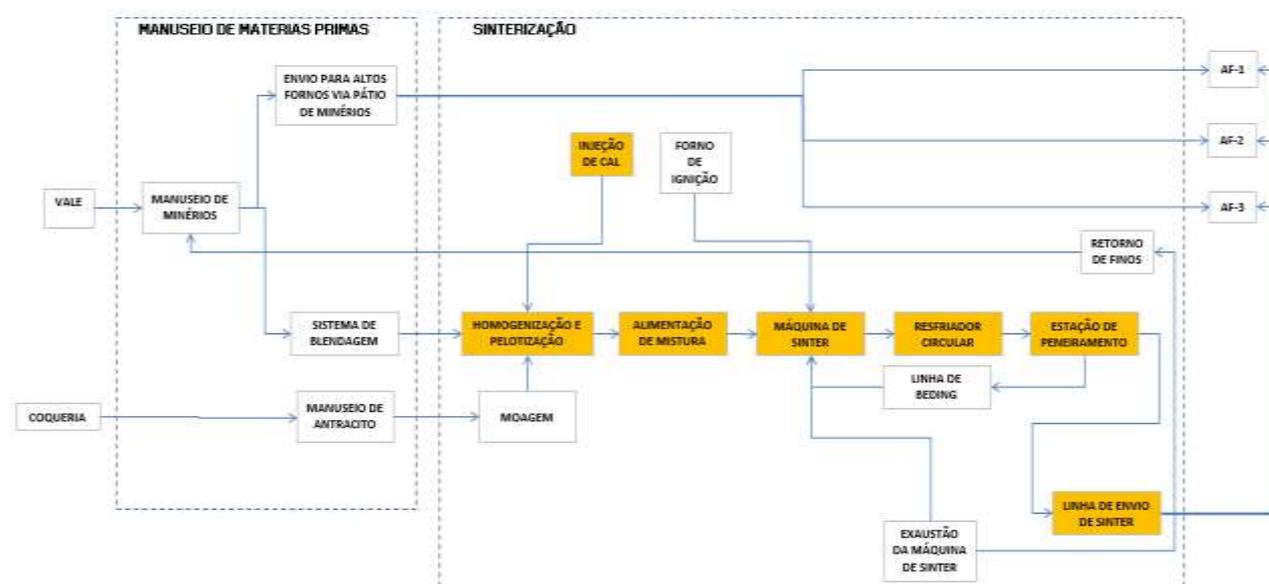
A nova organização da gestão de ativos não se trata de uma nova estruturação na empresa, mas sim do entendimento da necessidade da sinergia dos outros envolvidos nos processos (...). Passa pelo reconhecimento da importância do ativo na cadeia de valor.

Em outras palavras, a nova gestão de ativos, necessária para uma efetiva implementação da metodologia RCM, exige a união dos envolvidos nos processos e a visualização da planta como um todo; é importante, portanto, enxergar as interações, contribuições e relações de dependência existentes entre os equipamentos da planta. Nesse sentido, o Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos elaborado pelo grupo Arcelor Mittal em 2013 sugere que,

Uma vez definida a unidade (sistema, área ou equipamento), é boa prática a realização de um diagrama de blocos funcional para entendimento do processo e suas interações.

A Figura 3.1 apresenta um DBF simplificado do fluxo de produção do Pátio de Minérios e da Sinterização. Observa-se nela a entrada de matérias primas via coqueria e Vale no sistema de Manuseio e estocagem de Matérias-Primas. Nessa área, os componentes da pilha a ser consumida durante o processo de produção são misturados e enviados para os fornos quando necessário, estocados, ou enviados para a sinterização, onde será feita a homogeneização e pelotização para finalmente alimentar a máquina de sinter, responsável pela produção do Sinter. Devido às altas temperaturas e sua característica física, ao sair da máquina o sinter é britado e resfriado, para então ser peneirado e, as pelotas que atenderem às dimensões pré-especificadas são, por fim, enviadas aos fornos para a produção do gusa.

Figura 3.1: Diagrama de Blocos Funcional simplificado



Fonte: o autor (2017).

Assim, baseado no conceito supracitado, surge a idealização do DBF, apresentando os fluxos dos processos existentes, bem como os equipamentos agrupados por área, função geral e criticidade.

### 3.3 DEFINIÇÃO DA CRITICIDADE

De acordo com MORTELARI, SIQUEIRA & PIZZATI (2014),

A necessidade da gestão de riscos vem corroborar que devemos assumir o entendimento segundo o qual as falhas ocorrerão e que as melhores práticas da manutenção não podem zerá-las, e ainda, que a partir do conhecimento das suas consequências, podemos aceitar a sua ocorrência, permitindo a alguns equipamentos a situação “*run to failure*”, se esta for a melhor decisão econômica.

A ideia proposta pelos autores acima indicados sugere que os equipamentos sejam qualificados de maneira que se possa aceitar que equipamentos vão falhar e, nesse caso, as consequências da falha serão admissíveis. Nessa condição, faz-se importante classificar os equipamentos de acordo com alguns fatores apresentados no Quadro 3.1. Essa classificação é chamada de criticidade e, de acordo com o Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos do grupo Arcelor Mittal, deve ser definida em função do cenário de produção mais atual e serem revisadas sempre que esse cenário for modificado ou caso as condições de trabalho do equipamento sejam alteradas.

Quadro 3.1: Critério de criticidade para equipamentos

Item	Fator de falha	Peso	Critério	Nota
1	Influência na produção	10	Não para a produção da área operacional.	0
			Para a produção da área operacional, porém, sem afetar a produção da unidade operacional.	3
			Para a produção da área operacional, afetando o plano de produção da unidade operacional.	5
2	Influência na qualidade do produto	10	Não influi na qualidade do produto da área operacional.	0
			Influi na qualidade do produto da área operacional.	3
			Influi na qualidade do produto da unidade operacional.	5
3	Influência no meio ambiente	10	Não influi no meio ambiente.	0
			A falha provoca impacto médio no meio ambiente, sujeito a penalidades legais.	3
			A falha provoca impacto grave no meio ambiente, com penalidade legal e/ou perda de imagem.	5
4	Influência na segurança pessoal	10	Não influi na segurança pessoal.	0
			Existe risco de acidente pessoal, em caso de falha.	3
			Existe alto potencial de acidente pessoal, em caso de falha.	5
5	Existência de stand by	8	Possui stand by ou não necessita (não afeta a produção).	0
			Afeta a produção da área operacional e não possui stand by.	3
			Afeta a produção da unidade operacional e não possui stand by.	5
6	Ocorrência de falhas	10	Alta confiabilidade, normalmente não há ocorrência de falhas. $R(30 \text{ dias}) \geq 95\%$ .	0
			Média confiabilidade, há ocorrência de falhas de falhas esporádicas e/ou aleatórias. $75\% \leq R(30 \text{ dias}) < 95\%$ .	3
			Baixa confiabilidade, ocorrência frequente de falhas. $R(30 \text{ dias}) < 75\%$ .	5
7	Recuperação da produção após reparo	8	Imediata.	0
			Recuperação rápida das condições normais de produção, após reparo (< 8 horas).	3
			Recuperação demorada das condições normais de produção, após reparo (> 8 horas).	5
8	Influência no custo da produção	8	Não afeta o custo de produção da unidade operacional.	0
			Afeta o custo de produção da unidade operacional.	5

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos - Arcelor Mittal Tubarão (2013).

A faixa de criticidade é definida pela Equação 3.1:

Equação 3.1: Faixa de criticidade

$$Faixa\ de\ criticidade = \sum [(Peso \times Nota) \times Fator\ de\ correção]$$

Na qual o fator de correção é função da indispensabilidade do item no atendimento do plano de produção atual da planta e é dado pela Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Fator de correção para faixa de criticidade

Índice de trabalho planejado (%)	Fator de correção
80 a 100	1.0
60 a 79	0.8
40 a 59	0.6
20 a 39	0.4
0 a 19	0.2

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos - Arcelor Mittal Tubarão (2013).

A partir da faixa de criticidade obtida da Equação 3.1, os equipamentos são classificados por um índice de criticidade que indicará o nível de comprometimento do processo que uma possível falha no item trará. Dessa maneira, o **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a maneira pela qual os itens são classificados.

Quadro 3.2: Classificação final de criticidade

Faixa de criticidade	Índice de criticidade	Tipo
≥ 196	AA	Para a usina
	A	Alta
≥ 132 < 196	B	Média
< 132	C	Baixa

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos - Arcelor Mittal Tubarão (2013).

É importante observar que, de acordo com o Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos da Arcelor Mittal, caso um equipamento apresente criticidade “A”, uma última análise deve ser feita: “se o equipamento ficar parado (até 8 horas), a produção fim da unidade operacional é interrompida, e/ou afeta o plano de vendas da unidade operacional?”. Caso a resposta a essa indagação seja sim, a criticidade do equipamento passa a ser “AA”, indicando assim que uma falha do mesmo afeta o produto final da usina.

### 3.4 CMMS E A REVISÃO DE CADASTROS

Os CMMS são softwares desenvolvidos para manter uma base de dados a respeito das atividades de manutenção realizadas em uma empresa. Essas informações são usadas como experiência para manutenções futuras bem como base para tomadas de decisões. De acordo com MORTELARI, SIQUEIRA & PIZZATI (2014):

A informação de melhor qualidade, sem dúvida alguma, está na cabeça daqueles que lidam com as falhas no cotidiano, que terão respostas precisas, se perguntas precisas também forem a eles formuladas. O conhecimento acumulado por essas pessoas é, portanto, um fator predominante para a confiabilidade operacional.

A ideia colocada pelos autores indica bem a necessidade de haver uma espécie de “catálogo” ou um banco de dados onde a experiência adquirida possa ser registrada, compartilhada e armazenada, sendo os softwares boas ferramentas para esse fim não constituindo em si, entretanto, a solução definitiva para as falhas ou suas consequências.

Para o caso da usina na qual essa dissertação está baseada, o CMMS utilizado é o SISMANA, que dentre seus módulos, possui o de cadastro de equipamentos e suas partes que está dividido em 5 (cinco) níveis, sendo o último (nível 5) a menor unidade para a qual é possível cadastrar planos de inspeção, manutenção e serviços.

De acordo com o Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos da Arcelor Mittal Tubarão, os níveis são os seguintes:

- Nível 1 – Unidade Operacional;
- Nível 2 – Área Operacional;
- Nível 3 – Equipamento;
- Nível 4 – Subfunção;
- Nível 5 – Item funcional.

Para que os equipamentos da planta fossem subdivididos de maneira a adequarem-se aos cinco níveis propostos e principalmente para que possíveis alterações realizadas em campo, como desativação de sensores ou partes dos equipamentos e melhorias, fossem incluídas no CMMS, fez-se necessária a revisão dos cadastros dos itens.

### 3.5 REVISÃO DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO

Com o desenvolvimento da confiabilidade e principalmente do RCM pela aviação americana (processo no qual o RCM teve origem), ficou evidente que a quantidade de manutenção não resolve o problema da falha e sequer suas consequências, ao contrário, conclui-se que o excesso de manutenção é prejudicial ao processo devido à inserção de falhas antes não existentes.

De acordo com Moubray, a maioria das falhas avisam que estão ocorrendo ou prestes a ocorrer, e é nessa ideia que o RCM se baseia para pregar que é melhor monitorar sintomas de falha em andamento e repará-las antes da falha funcional ocorrer efetivamente do que intervir periodicamente para evita-las.

De acordo com Mortelari, Siqueira e Pizzati, o RCM está baseado em alguns preceitos, dentre os quais:

- As consequências das falhas determinam a prioridade do esforço da manutenção. Consequências de segurança, operacionais com perdas econômicas indiretas, não operacionais com custos diretos de reparo e ocultas desenvolvendo uma possível falha múltipla devem ter uma atenção especial;
- Manutenção programada é requerida para qualquer item cuja falha ou perda de função tenha consequências de segurança ou sempre que a falha funcional não seja evidente para a equipe de operação;
- São incluídas apenas atividades que satisfazem o critério de aplicabilidade e efetividade, ou seja, tarefas realizadas a partir de determinada característica de um item e das consequências da não prevenção das falhas.

Dessa maneira, ainda de acordo com os autores, as atividades são desenvolvidas em quatro linhas principais:

- Inspeção sob condição de um item para descobrir e corrigir qualquer falha potencial;
- Restauração de um item em, ou antes, de algum limite de idade especificado;
- Descarte de um item (ou de uma de suas partes) em, ou antes, de algum limite de idade especificado;
- Inspeções de busca de falha do item de uma função oculta para descobrir e corrigir falhas funcionais que tem ocorrido com frequência, mas que não foram evidenciadas para a operação.

O anexo A apresenta uma espécie de fluxograma indicando de maneira gráfica o procedimento a ser seguido para a tomada de decisões no RCM quanto ao tipo de manutenção adotada entre corretiva, preventiva, preditivo, plano de teste, reprojeto, combinação de tarefas ou nenhuma.

### 3.5.1 FMEA – Análise dos Modos de Falha e Seus Efeitos

O FMEA é uma ferramenta que busca o aumento da confiabilidade de um equipamento ou processo a partir da previsão e antecipação das falhas. A metodologia busca evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de melhoria, evitar que ocorram falhas nos equipamentos ou no processo.

De acordo com a tabela apresentada no anexo B dessa dissertação, o desenvolvimento da análise de RCM via FMEA na Arcelor Mittal Tubarão (desenvolvedora da tabela em questão) será realizada para os equipamentos considerados críticos, ou seja, os de criticidade “AA” e “A”. Para os outros equipamentos, serão revisados os planos de inspeção, manutenção e serviços conforme o apresentado na introdução do Tópico 3.5, entretanto sem a busca pelos modos de falha proposta pelo FMEA.

A elaboração do documento é dividida em quatro partes conforme descrito a seguir:

- Planejamento: essa fase visa a preparação para que seja dado início aos trabalhos. O responsável pela aplicação da metodologia deve descrever os objetivos e a abrangência da análise indicando quais produtos ou processos serão analisados, formar o grupo de trabalho que deve ser pequeno e multidisciplinar e planejar as reuniões com antecedência para que não haja atrasos no desenvolvimento das atividades;
- Análise de Falhas em Potencial: essa é considerada uma das mais importantes etapas do procedimento onde a equipe formada deverá preencher o formulário do FMEA apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Deve ser especificada a função do equipamento ou processo que está sendo analisado, definindo os tipos de falhas potenciais para cada função, os modos de falha e suas possíveis causas;

Figura 3.2: Modelo para o formulário FMEA

ITEM	NOME DO COMPONENTE/ PROCESSO	FUNÇÃO DO COMPONENTE/ PROCESSO	FALHAS POSSÍVEIS			ATUAL				AÇÃO CORRETIVA		RESULTADO					
			MODO	EFEITO(S)	CAUSA(S)	CONTROLES ATUAIS	ÍNDICES				RECOMEN- DAÇÕES	TOMADA	ÍNDICES REVISITOS				RESPON- SÁVEL
							O	G	D	R			O	G	D	R	
1	* Carga do eixo traseiro	* Suportar o conjunto do eixo	* Freture	* Perda do freio	* Espessura inadequada	* Nenhum	3	10	10	300	* Realizar testes de durabilidade na carga	* Alteração do projeto	1	10	10	100	St. Souza
				* Perda de controle do veículo	* Material inadequado	* Nenhum	1	10	10	100	* Verificar especificação do material	* Verificado e aprovado	1	10	1	10	Rodrigues
			* Perda de ajuste na posição central	* Travamento do eixo traseiro	* Acúmulo das tolerâncias	* Especif. 2502	6	10	10	600	* Reavaliar espessura mínima da parede	* Alteração do diâmetro externo do tubo	1	10	4	40	Santos / Felhães
			* Ruptura do flange do cubo de roda	* Perda de controle do veículo	* Acúmulo de tensões; reio inadequado	* Nenhum	2	10	10	200	* Reavaliar reio de curvatura * Teste de resistência	* Alterado reio de curvatura * Teste implementado	1	10	1	10	Brandão
			* Quebra da parede do mancal central	* Travamento do eixo traseiro	* Interf. mancal/ rolamento inadequado	* Proc. Calc. NR 1483/9h	3	10	2	60	* Revisão do cálculo	* Cálculos de interf. revisitos	2	10	2	40	Antonio

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos - Arcelor Mittal Tubarão (2013).

- Avaliação dos riscos: nessa fase, são definidos os índices de severidade relacionados à Gravidade (G), Ocorrência (O) e Detecção (D), que ao serem aplicados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, irão gerar o coeficiente de prioridade de risco (R). Os índices de gravidade, ocorrência e detecção são apresentados nas **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Equação 3.2: Coeficiente de prioridade de risco

$$R = G \times O \times D$$

Tabela 3.2: Índices de gravidade

Severidade das consequências	Ranking
Marginal: A falha não teria efeito real no sistema. O cliente provavelmente nem notaria a falha.	1
Baixa: A falha causa apenas pequenos transtornos ao cliente. O cliente notará provavelmente leves variações no desempenho do sistema.	2
	3
Moderada: A falha ocasiona razoável insatisfação no cliente. O cliente ficará desconfortável e irritado com a falha. O cliente notará razoável deterioração no desempenho do sistema.	4
	5
	6
Alta: Alto grau de insatisfação do cliente. O sistema se torna inoperável. A falha não envolve riscos à segurança operacional ou o descumprimento de requisitos legais.	7
	8
Muito Alta: A falha envolve riscos à operação segura do sistema e/ou descumprimento de requisitos legais.	9
	10

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos - Arcelor Mittal Tubarão (2013) – Adaptada.

Os índices de gravidade dizem respeito à severidade das ocorrências, ou seja, caso a falha efetivamente ocorra, qual é o impacto dela para o produto e para o cliente. O *ranking* é feito avaliando-se o grau de severidade da falha em marginal, baixo, moderado, alto ou muito alto.

Tabela 3.3: Índices de ocorrência

Probabilidade de falha	Ranking	Taxa de falhas
Remota: A falha é improvável.	1	< 1 em 100 000
Baixa: Relativamente poucas falhas.	2	1 em 40 000
	3	1 em 20 000
Moderada: Falhas ocasionais	4	1 em 1 000
	5	1 em 400
	6	1 em 80
Alta: Falhas repetitivas.	7	1 em 40
	8	1 em 20
Muito Alta: Falhas quase que inevitáveis	9	1 em 80
	10	1 em 2

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos - Arcelor Mittal Tubarão (2013) – Adaptada.

Os índices de ocorrência dizem respeito à probabilidade de uma falha ocorrer, ou seja, classifica as falhas quanto sua repetitividade, inevitabilidade e probabilidade. O *ranking* é feito avaliando-se as possibilidades de ocorrência de falhas e classificando-as em remota, baixa, moderada, alta e muito alta.

Tabela 3.4: Índices de detecção

Probabilidade de detecção	Ranking
Muito Alta: A falha será certamente detectada durante o processo de projeto / fabricação / montagem / operação.	1
	2
Alta: Boa chance de determinar a falha.	3
	4
Moderada: 50% de chance de determinar a falha.	5
	6
Baixa: Não é provável que a falha seja detectável.	7
	8
Muito Baixa: A falha é muito provavelmente detectável.	9
Absolutamente indetectável: A falha não será detectável, com certeza.	10

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos - Arcelor Mittal Tubarão (2013) – Adaptada.

Os índices de detecção dizem respeito à probabilidade de detecção de uma possível falha, ou seja, classifica as falhas quanto as chances de que a mesma seja determinada em diferentes fases do processo. O *ranking* é feito avaliando-se as condições e que a falha pode ser determinada e a probabilidade de detecção classificando-as em muito alta, alta, moderada, baixa, muito baixa e absolutamente indetectável.

- Melhoria dos riscos avaliados: chega-se agora na última fase da elaboração da planilha FMEA onde o grupo fará sugestões, utilizando seu conhecimento e criatividade, de medidas que possam diminuir os riscos. Essas medidas serão propostas de criação, exclusão, alteração ou de manter os planos de manutenção, inspeção e serviços de forma a prevenir as falhas ou suas causas ou ainda dificultar sua ocorrência, limitar seus efeitos ou aumentar a

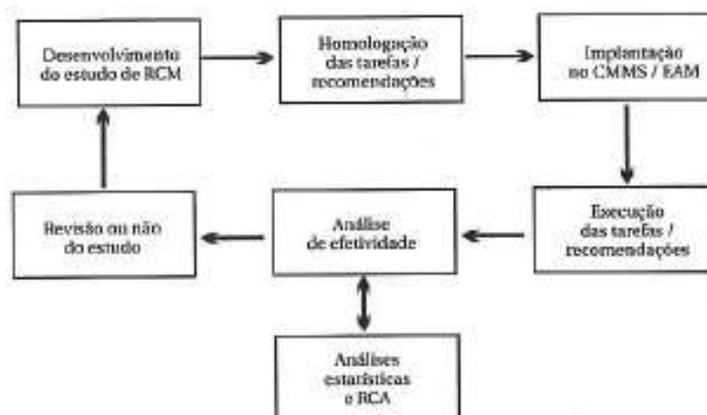
probabilidade de detecção priorizando àqueles cujos coeficientes de prioridade de risco forem mais elevados.

### 3.5.2 Comparação Entre Planos Existentes

Para que um novo plano elaborado seja de fato implementado em plantas que já possuem planos de manutenção previamente estabelecidos e já em execução, é necessária a comparação entre o plano já existente com o proposto pelo RCM.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta um roteiro para que a efetividade desse novo plano seja avaliada e que revisões sejam realizadas caso necessário. Observa-se que uma das principais ideias propostas pela metodologia RCM é a de estar em constante análise. A identificação é feita pois na figura identifica-se que os procedimentos estão num ciclo constante ou, quando efetivados, em análise permanente, de forma a sempre ser possível, se necessário, retornar para o ciclo de desenvolvimento.

Figura 3.3: Diagrama de revisão de planos



Fonte: Mortelari, 2014.

Como pode ser observado na Figura 3.3, a implementação efetiva dos planos desenvolvidos na metodologia RCM deve seguir um conjunto de atividades após os estudos. Assim, os planos devem ser homologados, ser inseridos no CMMS, as tarefas devem ser executadas, terem sua efetividade analisada e então definir-se, baseado nas análises, se os estudos deverão ou não ser revisados.

### 3.6 POLÍTICA DE SOBRESSALENTES

Também faz parte da revisão dos procedimentos de manutenção a análise da política de sobressalentes que, em geral, mudará de empresa para empresa pois, segundo o Plano Diretor de Manutenção e Gestão de ativos da Arcelor Mittal Tubarão, “a criticidade de sobressalentes não está diretamente relacionada apenas à criticidade do equipamento”. Outros fatores devem ser levados em conta além da criticidade do equipamento ao qual o sobressalente será destinado, como o custo do mesmo, o tempo de suprimento, a quantidade disponível no estoque e a qualidade de armazenamento, haja vista que, ao ser requisitado para uso, o sobressalente deve estar em condições de ser alocado.

### 3.7 REVISÃO DE CARTILHAS DE IMPEDIMENTO

A cartilha de impedimento é um instrumento de extrema importância para que seja garantida a segurança das pessoas e do processo durante as atividades de manutenção. Uma cartilha de impedimento nada mais é do que a apresentação em forma de lista de quais cubículos, chaves e outros elementos de potência devem ser impedidos, ou seja, devem ter sua alimentação elétrica desligada e possuir bloqueio físico que impeça seu religamento, de maneira que uma dada função de um equipamento seja desligada garantindo assim a segurança durante os trabalhos de manutenção.

A revisão desse documento deve ser realizada de maneira criteriosa, buscando identificar possíveis divergências entre o documento gerado, os desenhos e a condição em campo, e caso um desses apresente algo destoante, as medidas cabíveis devem ser tomadas para a revisão dos documentos de maneira geral.

### 3.8 SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Todo trabalho, assim como toda análise realizada, para que sejam considerados válidos, devem possuir um bom embasamento teórico. Nesse capítulo foram apresentadas teorias, ideias e sugestões indicadas por autores renomados na área de manutenção a respeito dos procedimentos a serem adotados para a implantação do RCM.

Cada passo e etapa do desenvolvimento do trabalho realizado na Usina em questão foi apresentado de maneira a definir os procedimentos que serão executados e discutidos ao longo dessa dissertação.

Inicialmente foram apresentadas as visões que basearam os procedimentos adotados e em seguida foi apresentado cada procedimento, como a criação do DBF, a definição de criticidade, a revisão de cadastros, elaboração e revisão de planos, a confecção da planilha FMEA, a política de sobressalentes e, por fim, a revisão das cartilhas de impedimentos. Todas essas ideias serão usadas como base para a implementação dos conceitos.

O capítulo seguinte iniciará com a apresentação dos resultados encontrados a partir da aplicação de todos os procedimentos apresentados nesse capítulo. Será apresentado quais critérios foram adotados e um estudo de caso específico para uma das Salas Elétricas será desenvolvido para que a aplicação dos algoritmos teóricos possa ser efetivamente analisada na prática.

## 4 DESENVOLVIMENTO

No capítulo a seguir serão apresentados os resultados obtidos bem como os procedimentos utilizados na revisão dos planos de manutenção do sistema de distribuição de energia elétrica de acordo com a metodologia RCM.

### 4.1 GERENCIAMENTO DAS ATIVIDADES

As atividades propostas pelo RCM envolvem um planejamento adequado para que todas as tarefas sejam cumpridas nos prazos estabelecidos. Além disso, para os casos em que uma grande quantidade de equipamentos passará pela revisão dos planos, faz-se necessário um acompanhamento ainda mais próximo para que as rotinas de trabalho sejam executadas de maneira correta, consciente e progressiva. A Figura 4.1 apresenta a planilha de gerenciamento adotada pela Arcelor Mittal Tubarão.

Figura 4.1: Planilha de gerenciamento - RCM

Sistema	Local	Máquina	Criticos	Status	Avanço	DBF	Cadastros	Elaboração de planos	Sobrevivência	Instruções SEMAN	Revisão	Treinamento	ID
Linha de Sinter Produto	4.8	Refrator de Sinter	A	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.16	Alimentador vibratório do Refrator	A	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.17	Transportador de Correl 3 101	A	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.18	Transportador de Correl 3 102	A	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.20	Transportador de Correl 3 103	A	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.28	Transportador de Correl 3 104	A	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.29	Transportador de Correl 3 105	A	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.30	Transportador de Correl 3 106	A	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.31	Transportador de Correl 3 107	A	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.32	Transportador de Correl 3 108	A	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.33	Transportador de Correl 3 109	A	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.34	Transportador de Correl 3 110	A	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.31	Panela Secundária n°1	B	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.32	Panela Terciária n°1	B	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.38	Panela Secundária n°2	B	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.38	Panela Terciária n°2	B	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.44	Estação de Peneiramento	B	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.10	Ventilador do Refrator n°1	B	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.11	Ventilador do Refrator n°2	B	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.12	Ventilador do Refrator n°3	B	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.13	Ventilador do Refrator n°4	B	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.14	Ventilador do Refrator n°5	B	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.5	Força Rotante Brator Privado 23PR02	B	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	
Linha de Sinter Produto	4.8	Força Rotante Brator Privado 23PR04	B	✓	100%	DE	DE	OK	OK	OK	OK	OK	

Fonte: Documentação técnica do RCM na empresa – Controle - Sinterização - Arcelor Mittal Tubarão (2017).

Nesse documento é possível observar que os equipamentos são divididos de acordo com o sistema ao qual pertencem. Além disso, são apresentados o código do local do equipamento no CMMS bem como a criticidade adotada, o acompanhamento do avanço dos trabalhos e o status das atividades de elaboração do DBF, revisão do cadastro, elaboração e revisão dos planos, situação dos

sobressalentes, inclusão no CMMS (no caso da Arcelor Mittal, o SISMANA) das revisões, revisão das cartilhas de impedimento e por fim, treinamento das equipes.

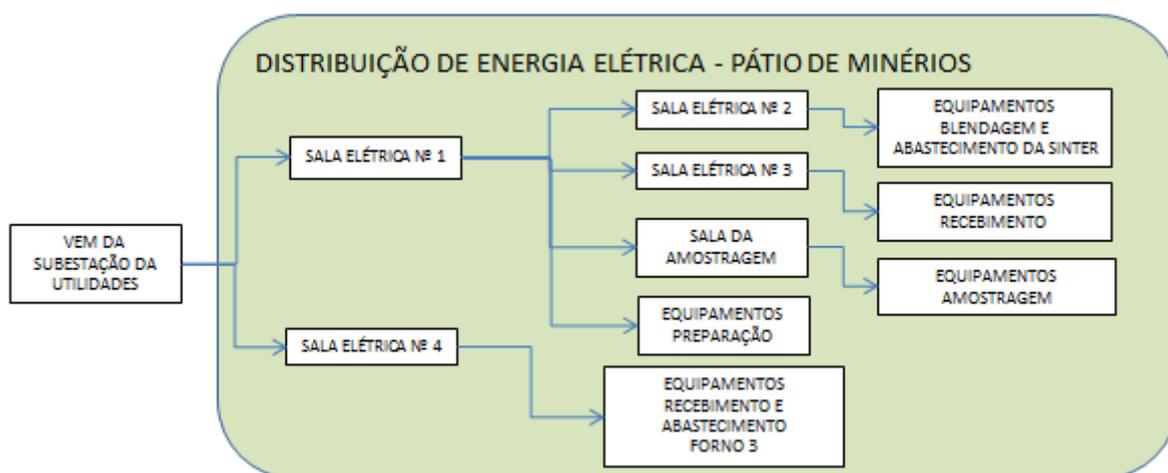
## 4.2 VISÃO GERAL DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA DO PÁTIO DE MATÉRIAS-PRIMAS

No capítulo anterior foi relatada a importância de haver uma visão gerencial dos processos desenvolvidos na usina, entretanto, ao falar-se de sistemas de distribuição elétrica, essa visão tende a ser um pouco mais complicada devido ao fato de uma sala elétrica alimentar diversos equipamentos em campo. No caso do sistema elétrico do Pátio de Minérios, por exemplo, o conjunto de salas alimentam todas as cargas eletromecânicas da área incluindo equipamentos das áreas de recebimento, estocagem, preparação, recuperação, blendagem e amostragem de materiais.

Para esses casos, um Diagrama de Blocos Funcional pode ficar confuso devido à grande quantidade de informação, por essa razão, o DBF realizado apresenta a conexão entre as salas e é complementado pelos diagramas e desenhos das respectivas salas.

Nesse momento, por uma questão que será melhor explicada no tópico sobre criticidade, o desenvolvimento aqui apresentado irá ater-se à Sala Elétrica Número 01 do Pátio de Matérias-Primas. O DBF do Pátio é apresentado na Figura 4.2.

Figura 4.2: DBF - Pátio de Minérios



Fonte: o autor (2017).

A Sala Elétrica Número 01 do Pátio de Minérios é responsável pelo recebimento de energia elétrica no nível de 13,8 kVCA, distribuição nos níveis de 3,45 kVCA e 460 VCA para a Sala Elétrica Número 02, no nível 3,45 kVCA para a Sala Elétrica Número 03 e no nível 460 VCA para a Sala Elétrica da Amostragem, bem como alimentação dos equipamentos principais da área de preparação de matérias primas.

### 4.3 CRITICIDADE DAS SALAS ELÉTRICAS

A definição da criticidade dos equipamentos e sistemas, como já observado no capítulo 3, é de extrema importância para o desenvolvimento da metodologia proposta pelo RCM pois é a partir desses critérios que os planos serão elaborados e priorizados. Nesta seção serão apresentados os índices adotados para cada critério conforme o Quadro 3.1, abrangendo as seis salas elétricas analisadas (quatro do Pátio e duas da sinterização) e por fim será explicitado o porquê da escolha da Sala Elétrica Número 01 para a continuidade da análise.

#### 4.3.1 Influência na Produção

Nesse item é analisada a consequência de uma falha no equipamento ou item em questão para o processo produtivo da empresa; por essa razão, o peso da nota atribuída para esse critério é máximo.

O critério é dividido em três possibilidades: a falha do item não para a produção da área, para a produção da área, mas não para a produção da unidade ou, por fim, para a produção da unidade. As salas elétricas da Sinterização, nesse contexto, encaixam-se no critério de nota 3, haja vista que a parada completa de uma dessas salas pararia o processo de Sinterização, entretanto, o processo produtivo dos alto-fornos, apesar de reduzido, poderia continuar devido à possibilidade de usar os estoques de sinter nos silos e no Pátio de Matérias-Primas.

Com relação às salas elétricas do Pátio de Matérias-Primas, a nota adotada foi 5, ou seja, a parada de uma das salas afeta a produção final, já que, caso o sistema elétrico do Pátio não funcione, o envio de matéria-prima para os fornos não ocorrerá, afetando assim a produção de aço e conseqüentemente do produto final.

#### 4.3.2 Influência na Qualidade do Produto

A qualidade do produto está diretamente ligada à imagem da empresa perante seus compradores, e por essa razão, o critério também possui peso máximo na análise de criticidade dos equipamentos.

Esse critério é dividido também em três possibilidades: a falha do item não influi na qualidade do produto da área operacional, influi na qualidade do produto da área operacional, ou, por fim, influi na qualidade do produto da unidade operacional. Nessa situação, as salas da sinterização adequam-se à segunda possibilidade recebendo nota 3, pois uma falha nas salas afeta a qualidade do sinter produto, mas não afeta a qualidade das placas e bobinas de aço pois o sinter utilizado no processo seria aquele existente no estoque.

As salas elétricas do pátio, a exceção da Sala Elétrica Número 03, receberam a nota mais baixa para esse critério pois sua parada influencia o processo mas não afeta a qualidade do produto, ou seja, caso as salas elétricas do Pátio apresentem falha, o processo produtivo será paralisado, mas a qualidade do produto não será afetada. Para a Sala 03, a paralisação influenciaria na qualidade do produto da área, mas não na qualidade do produto final, e por essa razão recebeu nota 3 para esse critério.

#### 4.3.3 Influência no Meio Ambiente

A relação da empresa com o meio ambiente está intimamente ligada à imagem da empresa perante à sociedade além de estar relacionada a possíveis penalidades legais, e por essa razão, mais uma vez, o peso do critério adotado foi o peso máximo.

O critério ambiental é dividido também em três possibilidades: a falha do item não influi no meio ambiente, provoca impacto médio ao meio ambiente sujeito a penalidades legais, ou provoca impacto grave ao meio ambiente com penalidade legal e/ou perda de imagem. Nessas condições, as salas da sinterização provocam impacto médio, já que, caso haja parada das salas, é possível que ocorra um aumento na emissão de particulado podendo, a depender da média diária de emissão, acarretar em penalidades legais, assim, as salas encaixam-se na segunda opção e receberam nota 3. Com relação às salas elétricas do Pátio de Matérias-

Primas, como uma falha nas salas 01, 02 e 04 não impacta o meio ambiente diretamente, foi atribuída nota 0 nesse critério, entretanto, a Sala Elétrica Número 03, por ser responsável pelo recebimento das Matérias-Primas, em caso de falha causa impacto mediano ao meio ambiente podendo ser passível de penalidade legal.

#### 4.3.4 Influência na Segurança Pessoal

Segurança pessoal é um item de extrema importância para a empresa. Diferentemente da ideia proposta pelo RCM de que falhas acontecem, a política das empresas, em geral, é de que acidentes não devem acontecer. Por essa razão, esse critério, novamente, possui peso máximo na análise de criticidade dos equipamentos e sistemas.

O critério de segurança é dividido também em três possibilidades: a falha do equipamento não influencia na segurança pessoal, influencia e existe risco de acidente ou existe alto potencial de acidente pessoal. Para esse critério, devido ao grande contingente de funcionários atuando em campo, em caso de falha nas salas elétricas da Sinterização bem como nas do Pátio, existe alto potencial de acidentes pessoais, recebendo, por essa razão, nota 5.

Já para as salas elétricas do Pátio de Minérios, apenas a Sala Elétrica 3, por tratar-se da sala de alimentação de equipamentos, na sua maioria, automatizados, em caso de falha existe o risco de acidente, mas não é de alto potencial, recebendo assim nota 3. As demais salas elétricas do Pátio receberam nota 5 para esse critério.

#### 4.3.5 Existência de Stand-By

Alguns equipamentos na usina, devido à sua grande necessidade para o processo produtivo, possuem equipamentos que operam em stand-by, ou seja, em caso de falha dos equipamentos principais em uso, esses outros podem assumir suas funções. A necessidade de equipamentos em stand-by está diretamente ligada ao critério de influência na produção, e por, em condições normais de operação da planta, não afetar diretamente a produção, o peso dado a esse critério é 8.

O critério de existência de stand-by é dividido também em três possibilidades: o equipamento possui stand-by ou não necessita possuir por não afetar a produção, afeta a produção da área operacional e não possui stand-by, ou, por fim, afeta a produção da unidade operacional e não possui stand-by. Para esse critério, como as salas elétricas da sinterização possuem stand-by para boa parte dos equipamentos e possuem o sistema de UPS como alternativa de alimentação para os equipamentos, foi atribuída a elas a nota mais baixa.

Já para as salas elétricas do Pátio de Minérios, por não possuírem equipamentos da sala em stand-by e por afetarem diretamente a produção do produto final da usina, foi atribuída nota 5 para todas as salas.

#### 4.3.6 Ocorrência de Falhas

O critério de ocorrência de falhas está intimamente ligado à confiabilidade do equipamento ou do sistema, e por essa razão, como busca-se alcançar um sistema confiável, o peso máximo é dado a esse critério. Essa confiabilidade, nesse caso, é medida a partir da disponibilidade do item, ou seja, num intervalo de 30 dias, o percentual de tempo em que o equipamento ou sistema operou dentro da normalidade.

O critério de ocorrência de falhas é dividido também em três cenários: o equipamento possui alta confiabilidade operando satisfatoriamente em 95% ou mais durante 30 dias, média confiabilidade com falhas esporádicas operando por mais que 75% do tempo e menos que 95% durante 30 dias, ou, por fim, baixa confiabilidade com falhas frequentes e operação normal em menos de 75% do tempo por 30 dias. Para esse critério, como tanto as salas elétricas da Sinterização quanto as do Pátio de Minérios apresentam um alto índice de confiabilidade com raras ocorrências de falhas, a nota atribuída a todas as salas foi 0 para esse critério.

#### 4.3.7 Recuperação da Produção Após Reparo

A análise da recuperação da produção após reparo é um importante parâmetro a ser estabelecido quando da análise da criticidade de um item. A importância desse critério reside no fato de que, caso haja uma falha, os itens que apresentaram problemas e afetam a produção devem receber atenção especial,

assim como se, após o reparo do item, o tempo de retorno da produção aos patamares desejados for longo. Para esse critério, o peso dado no cálculo da criticidade é 8.

Novamente, o critério é dividido em três diferentes cenários: em caso de falha, após o reparo do equipamento ou sistema, a produção é recuperada imediatamente, a recuperação das condições normais de produção é rápida (menor que 8 horas), ou, por fim, a recuperação é lenta, levando mais de 8 horas.

Para as salas elétricas da Sinterização, em caso de falha, o tempo médio de retorno à produção normal é de cerca de duas horas, e por essa razão, a nota atribuída a elas nesse critério foi 3.

Já para as salas do Pátio, o tempo de retorno à produção normal é levado pois todas estão, diretamente ou indiretamente, ligadas ao abastecimento dos fornos, que possuem um tempo de retorno à produção normal superior a 8 horas, fazendo assim com que a nota 5 seja atribuída à essas salas para esse critério.

#### 4.3.8 Influência no Custo da Produção

O último critério a ser analisado é a influência que a falha desse equipamento ou sistema tem no custo da produção. Como relatado no Capítulo 1, custo é um fato importante para a empresa e por isso é levado em conta na análise da criticidade. Para esse caso, o peso atribuído a esse critério é 8.

Diferentemente dos outros critérios, esse é dividido em duas condições: em caso de falha, não há interferência no custo de produção da unidade operacional ou há interferência.

Nesse caso, todas as salas elétricas, tanto as da Sinterização quanto as do Pátio de Matérias-Primas influenciam no custo da produção, já que as do Pátio afetam o recebimento, preparo e envio das matérias-primas e as da Sinterização afetam a produção de sinter, ingrediente que torna o custo de produção do aço menor. Pelas razões aqui descritas, a nota atribuída às salas para esse critério é 5.

#### 4.3.9 Fator de Correção

Como apresentado no Tópico 3.3, o fator de correção está relacionado à necessidade do equipamento para atender o plano de produção atual da empresa.

Nesse caso, como as salas elétricas do Pátio e da Sinterização são necessárias à produção, à exceção da Sala Elétrica Número 03 do Pátio cujo fator de correção foi 0,8, todas as outras salas tiveram fator de correção igual a 1 por serem responsáveis pelo abastecimento dos sistemas.

Após a análise dos critérios supracitados, obteve-se criticidade “A” para todas as salas elétricas, entretanto, como apresentado no Tópico 3.3, para equipamentos com criticidade “A” uma última pergunta deve ser feita: “se o equipamento ficar parado por até 8 horas, a produção fim da unidade é interrompida, e/ou afeta o plano de vendas da unidade operacional?”. Assim, como apresentado no DBF na Figura 4.2, a Sala Elétrica Número 01, como é alimentadora de outras duas salas e responsável pelo recebimento, preparação e boa parte do envio de matérias-primas, em caso de falha, a produção final de placas ou bobinas é interrompida, fazendo com que a criticidade dessa sala seja elevada para “AA”. A Quadro 4.1 apresenta um resumo dos critérios utilizados e notas atribuídas.

Quadro 4.1: Análise de criticidade das salas elétricas

Item	Influência na produção	Influência na qualidade do produto	Influência no meio ambiente	Influência na segurança pessoal	Existência de stand by	Ocorrência de falhas	Recuperação da produção após reparo	Influência no custo da produção	Fator de correção	A produção final é interrompida?	Pontuação total	Criticidade
Sala Principal da Sinter	3	3	3	5	0	0	3	5	1	N	204	A
Sala Secundária da Sinter	3	3	3	5	0	0	3	5	1	N	204	A
Sala 01 do Pátio	5	0	0	5	5	0	5	5	1	S	220	AA
Sala 02 do Pátio	5	0	0	5	5	0	5	5	1	N	220	A
Sala 03 do Pátio	5	3	3	3	5	3	5	5	0.8	N	232	A
Sala 04 do Pátio	5	0	0	5	5	0	5	5	1	N	220	A

Fonte: o autor (2017).

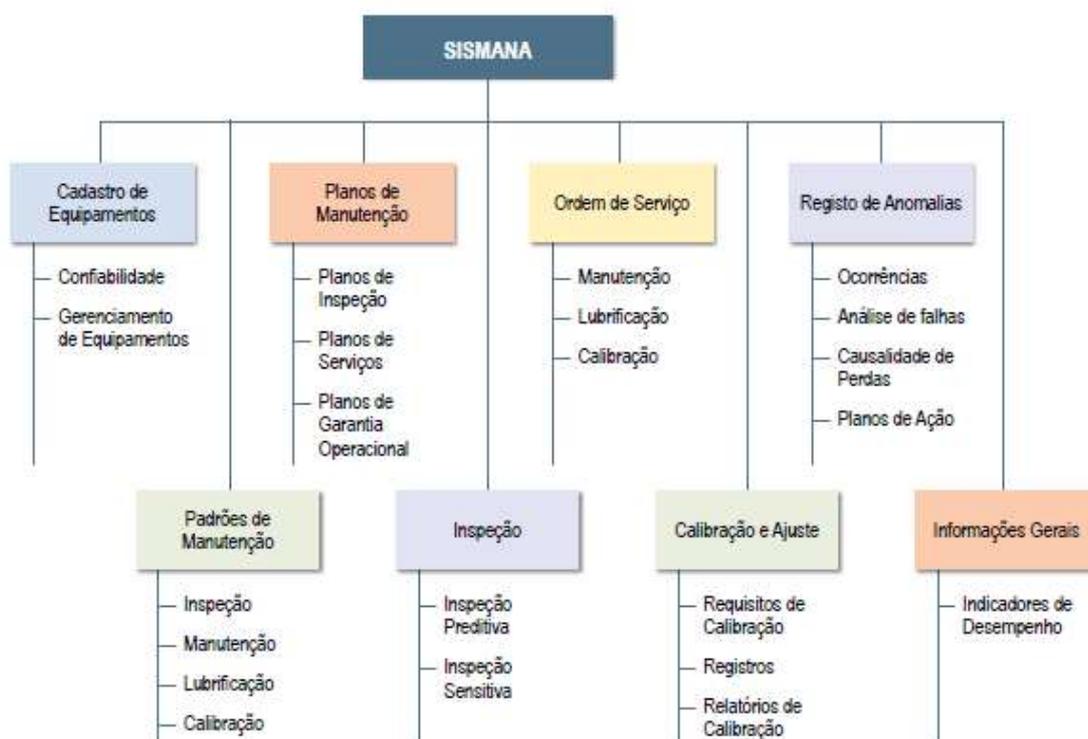
Assim, conforme apresentado no início dessa seção, a análise da aplicação do RCM nos tópicos seguintes será realizada para a Sala Elétrica Número 01 do Pátio de Minérios. Essa sala foi escolhida por ser a única, dentre às salas do

sistema de distribuição elétrica do Pátio e da Sinterização, a apresentar a criticidade mais elevada.

#### 4.4 SISMANA

Como apresentado no Tópico 3.4, os CMMS são softwares cujo objetivo é ajudar as empresas no gerenciamento das atividades de manutenção. Na usina siderúrgica onde o trabalho foi realizado, o software usado chama-se SISMANA. Esse programa é dividido em diversos módulos, como o de cadastro de equipamentos, planos de manutenção, ordem de serviço, registro de anomalias, padrões de manutenção, inspeção, calibração e ajuste e informações gerais. A Figura 4.3 apresenta a estrutura do SISMANA na Arcelor Mittal Tubarão.

Figura 4.3: Diagrama do sistema informatizado de manutenção da AMT



Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos - Arcelor Mittal Tubarão (2013).

Para a análise tratada nessa dissertação, apenas o módulo de cadastro de equipamentos será apresentado em maiores detalhes. Aos outros, atendo-se ao escopo desse projeto, é suficiente saber que os planos, após serem revisados, são inseridos no módulo de planos de manutenção, que as anomalias são registradas no módulo de anomalias e usadas para traçar modos de falha, causas e para

determinar o índice de disponibilidades dos equipamentos e que o “passo-a-passo” das atividades de inspeção e manutenção são descritos por padrões empresariais alocados no módulo de padrões de manutenção.

#### 4.5 REVISÃO DE CADASTRO

O módulo de cadastro no SISMANA é aquele no qual é realizado o cadastro dos equipamentos e suas partes. Ao realizar o cadastro, o sistema gera um código para cada um dos itens, padronizados com a sua localização e tal número será utilizado em todas as outras funções do software. O módulo tem dois objetivos principais: definir a estrutura de codificação dos equipamentos e registrar dados técnicos dos mesmos, como a cartilha de impedimento.

Como abordado anteriormente, a estrutura de cadastro é dividida em cinco níveis indo de uma abordagem macro (nível 1) até o item específico. O cadastro da Sala Elétrica Número 01 do Pátio de Minérios é apresentado na Figura 4.4.

Figura 4.4: Cadastro da sala elétrica 01

Código	Localização	Ativo
46.05.001.001	RECEBIMENTO/DISTRIB ENERGIA 13.8KV / 3.3KV (211 / 212 / 213)	Sim
46.05.001.002	ABANDONAMENTO DE TENSÃO 13.8/3.3KV/440/220	Sim
46.05.001.003	PAINEL DE SECCIONADORAS 3.49KV - 211.7A / 213.7A	Sim
46.05.001.004	ALIMENTAÇÃO DE MÁQUINAS 3.3KV - CCM 220	Sim
46.05.001.005	ALIMENTAÇÃO DE MÁQUINAS 3.3KV - CCM 221	Sim
46.05.001.006	DISTRIBUIÇÃO DE TENSÃO 440V - 251	Sim
46.05.001.007	ALIMENTAÇÃO DE MÁQUINAS 440V - CCM 311	Sim
46.05.001.008	ALIMENTAÇÃO DE MÁQUINAS 440V - CCM 312	Sim
46.05.001.009	ALIMENTAÇÃO DE MÁQUINAS 440V - CCM 313	Sim
46.05.001.010	ALIMENTAÇÃO DE MÁQUINAS 440V - CCM 341	Sim
46.05.001.011	ALIMENTAÇÃO DE MÁQUINAS 440V - CCM 342	Sim
46.05.001.012	ALIMENTAÇÃO DE MÁQUINAS 440V - CCM 301	Sim
46.05.001.013	ALIMENTAÇÃO DE MÁQUINAS 440V - PAINEL DOS INVERSORES ALIM. VIBRA	Sim
46.05.001.014	ALIMENTAÇÃO DE MÁQUINAS 440V - PAINEL DOS INVERSORES PENEIRAS E	Sim
46.05.001.015	ALIMENTAÇÃO DE MÁQUINAS 440V - CCM 350 (PISO 2)	Sim
46.05.001.016	DISTRIBUIÇÃO DE TENSÃO 220V - TOMADAS E REFRIGERAÇÃO - 261	Sim
46.05.001.017	DISTRIBUIÇÃO DE TENSÃO 220V - ILUMINAÇÃO - 271	Sim
46.05.001.018	DISTRIBUIÇÃO ININTERRUPTA DE ENERGIA CA	Sim
46.05.001.019	DISTRIBUIÇÃO ININTERRUPTA DE ENERGIA CC	Sim
46.05.001.020	PAINÉIS DE RELES - PR 3	Sim
46.05.001.021	PAINÉIS DE INTERLIGAÇÃO - TB 5	Sim
46.05.001.022	PROTEÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO	Sim
46.05.001.023	PAINÉIS DE ILUMINAÇÃO - LP	Sim
46.05.001.024	PAINÉIS DE TOMADAS - RP	Sim
46.05.001.025	CLIMATIZAÇÃO	Sim
46.05.001.026	ESTRUTURAL	Sim
46.05.001.027	CABOS ELÉTRICOS 13.8KV / 3.3KV	Sim

Fonte: Módulo de cadastro - SISMANA – Arcelor Mittal Tubarão (2017).

É possível, ainda na Figura 4.4, observar a hierarquia com a qual o cadastro foi disposto. No nível 1 encontra-se a unidade operacional, nesse caso, o Pátio de

Minérios, aqui codificado pelo número 46. No nível 2 encontra-se a área operacional, que para esse caso, será Distribuição de Energia Elétrica, codificada pelo número 05. Posteriormente, no nível 3, encontra-se o equipamento em análise, nesse caso, a Sala Elétrica Número 1, sob o código 001. No nível 4 encontra-se a subfunção, que nesse caso, está dividida entre recebimento e abaixamento de tensão, painel de seccionadoras, alimentação dos CCMs de 2,2 kVCA, distribuição de tensão no nível de 440 VCA, alimentação dos CCMs de 440 VCA, alimentação de painéis de inversores, distribuição de tensão no nível de 220 VCA, distribuição e energia ininterrupta CA e CC, painéis de relés, painéis de interligação, proteção do sistema elétrico, painéis de iluminação e tomadas, climatização, estrutural e cabos elétricos.

Dentro de cada uma das subfunções, encontram-se, no nível 5, os itens que trabalham para que cada subfunção seja cumprida satisfatoriamente. É importante observar que o código de um determinado item é formado pela concatenação dos códigos dos níveis superiores e a posição do item atual.

#### 4.6 FMEA – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA

Como apresentado no Tópico 3.5.1, o FMEA é uma ferramenta de grande importância para antecipar possíveis falhas e causas bem como nortear a elaboração e revisão dos planos de serviço, manutenção e inspeção para evitá-las. A metodologia adotada na Arcelor Mittal Tubarão, sugere que a análise dos modos de falha seja feita apenas para equipamentos de criticidade “A” e “AA”, o que é justificável pelo fato de a elaboração das planilhas FMEA demandarem tempo e serem relativamente complexas e dispensáveis para equipamentos de menor criticidade que não trazem consequências tão severas à planta ou fazem parte da metodologia “run to failure”.

Por tratar-se de uma sala elétrica alimentadora de vários equipamentos, a planilha FMEA desenvolvida nesse caso exigiu muito trabalho e o resultado obtido foi consideravelmente extenso. Por essa razão, nessa dissertação serão apresentados os principais tópicos desenvolvidos, a metodologia adotada e as técnicas de manutenção e inspeção sugeridas. Conforme apresentado no capítulo anterior, a concepção do FMEA é dividida em quatro partes principais que serão descritas e detalhadas a seguir.

#### 4.6.1 FMEA – Planejamento

A elaboração da planilha FMEA foi realizada na área de tecnologia da usina, responsável pelos procedimentos de gerenciamento das atividades de RCM. Foram agendadas reuniões semanais para a elaboração com a presença de um engenheiro eletricitista de confiabilidade lotado na área da sala elétrica, o inspetor responsável pela sala e o responsável pelo andamento das atividades de RCM na Sinterização e Pátio de Minérios.

Basicamente, os objetivos das reuniões eram, primeiramente, definir os componentes a serem analisados na sala, definir a função de cada um deles e a respectiva falha funcional, traçar os modos de falha que ocasionariam as falhas funcionais e suas possíveis causas além de determinar a severidade do item e realizar as sugestões necessárias como conclusão.

#### 4.6.2 FMEA – Análise de Falhas em Potencial

Essa etapa é considerada umas das mais importantes do FMEA pois uma boa definição de função, e antecipação das falhas e seus modos fará que com planos de manutenção e inspeção precisos sejam elaborados para aumentar a confiabilidade de um equipamento.

O primeiro passo a ser realizado é a identificação dos componentes que integram o equipamento em questão e suas respectivas funções. Para esse caso, o equipamento é a sala elétrica, e seus componentes e funções são: dois grupos de painéis de alta tensão, sendo a função do primeiro receber e distribuir tensão no nível 3.45 kVCA e a do segundo receber e distribuir tensão no mesmo nível para a alimentação das cargas, quatro transformadores, todos a óleo, com a função de abaixar a tensão de 13.2 kVCA para 3.45 kVCA, de 3.3 kVCA para 0.46 kVCA e dois para abaixar a tensão de 3.3 kVCA para 0.23 kVCA, um painel de distribuição para distribuir tensão no nível de 0.46 kVCA, cinco CCMs que garantem a alimentação das cargas de 0.46 kVCA, painel de distribuição de iluminação para distribuir tensão às luminárias no nível de 0.23 kVCA, painel de ar condicionado e manutenção para distribuir tensão no mesmo nível do de iluminação, retificador de tensão para baterias, responsável por transformar tensão de 440 VCA para 110 VCC e distribuí-la nesse nível, nobreak 220 VCA para transformar tensão de 230 VCA para 115 VCA

estabilizada e garantir a alimentação em caso de falta de energia, relés de proteção para garantir a proteção dos sistemas de alimentação e, por fim, os sistemas de SPDA para proteger contra descargas atmosféricas, SDAI para proteger contra incêndios, drenagem para proteger contra inundações, alimentação de controle para garantir a alimentação de controle em campo e nos CCMs e refrigeração para manter a temperatura da sala entre 24 e 27 ° C.

Em geral, adotou-se como falha funcional o não cumprimento da plena função do componente. Em outras palavras, a falha funcional é a negativa da função, de maneira que, caso um equipamento não cumpra sua função conforme estabelecido, por exemplo, um transformador não transformar o nível de tensão ou transformar para níveis diferentes do estabelecido, esse equipamento é considerado em falha funcional.

O passo seguinte, também de grande importância, é a definição dos modos de falha. Modos de falha dizem respeito a quais fatores podem ocasionar a falha funcional do equipamento. Nesse momento, a experiência, o histórico, o conhecimento do inspetor da área e a análise dos desenhos e diagramas faz-se necessária para identificar todas as possibilidades de ocorrência que acarretariam na falha funcional. O modo de falha busca relacionar de quais modos ou maneiras um dado equipamento pode não operar ou operar fora dos critérios desejados. Ainda adotando como exemplo um dos transformadores, um conjunto de modos de falha que poderiam acarretar na não transformação da tensão seria *trip* por alta pressão de gás, relé de gás atuado, baixo nível de óleo atuado indevidamente, termostato atuado, *trip* por alta temperatura, relé de gás inoperante, sensor de nível baixo de óleo inoperante, transformador (trafo) em curto, barramento de saída em curto ou com fuga para a massa, mau contato na régua de bornes, termostato inoperante conexões com mau contato, circuito de controle ou comutador do *tap* em curto-circuito. Já para a situação em que o trafo exemplo esteja realizando a transformação da tensão, mas para níveis diferentes dos desejados, possíveis modos de falhas seriam um curto entre espiras ou baixo rendimento, alimentação primária diferente dos níveis nominais ou ainda *tap* desregulado.

O terceiro e último passo da análise de falhas em potencial consiste no principal parâmetro a ser utilizado na elaboração dos planos de manutenção e inspeção bem como na busca por falhas ocultas, ou seja, aquelas que não se apresentam para a operação durante o trabalho normal, mas que, em geral, pode

ser evitada com atividades de inspeção e manutenção, essa atividade trata das causas geradoras dos modos de falha.

Como indicado na seção 3.5.1, na planilha FMEA realiza-se uma análise de prioridade de risco para que maiores esforços sejam colocados nessas atividades. Durante a própria elaboração da planilha esse conceito é colocado em prática, pois os tratamentos das causas dos modos de falhas assim como as propostas de melhoria são analisadas e discutidas para os equipamentos que apresentarem uma alta prioridade de risco. Nessa situação, por motivos que serão apresentados no Tópico 4.6.3, apenas quatro modos de falhas no exemplo do transformador necessitam da análise de causas. São eles: relé de gás, sensor de nível de óleo baixo ou termostato inoperantes, com provável causa de falha interna no relé ou circuito aberto e conexões de interligação do trafo com mau contato provavelmente causado por manutenção inadequada ou vibração.

#### 4.6.3 FMEA – Avaliação do Risco

A avaliação do risco, como apresentado no Capítulo 3 é necessária e importante para que sejam definidas as prioridades do desenvolvimento dos trabalhos do RCM e que recursos não sejam colocados em análises desnecessárias ou dispensáveis. Nesse sentido, o equipamento é avaliado quanto à gravidade, ocorrência e detecção de um modo de falha.

Para o exemplo que está sendo trabalhado, no critério de severidade, que analisa a gravidade das consequências em caso de falha, foi atribuída nota 8 a todos os modos de falha à exceção do relé de gás inoperante, do curto do trafo e entre barras ou fuga para a massa, para os quais foi atribuída nota 10. A nota 8 atribuída nesse caso indica que o sistema irá tornar-se inoperável, o que de fato ocorre quando os modos de falhas relatados ocorrem, entretanto, não há risco à segurança pessoal, operacional ou descumprimento de aspectos legais. Por outro lado, para os quatro modos de falha com nota 10, há risco para a segurança, haja vista que o relé de gás inoperante, por exemplo, pode não identificar um potencial risco de explosão, os curtos podem ocasionar na perda dos equipamentos e a fuga para a massa traz riscos de eletrocutamento.

A ocorrência está diretamente relacionada à experiência e conhecimento da equipe elaboradora do FMEA com o equipamento que está sendo analisado. Nesse

critério, analisa-se a probabilidade de ocorrência da falha, baseada na confiabilidade do componente, nas condições de operação e no histórico do item. Nessa situação, o exemplo que vem sendo analisado, apresenta baixo histórico de falhas de maneira que, a cada 40 mil falhas na usina, 1 ocorre nesses componentes. Devido à complexidade de analisar essa proporção, uma equivalência temporal é feita, na qual o não registro de ocorrências nos últimos dois anos indicam uma baixa probabilidade de ocorrência. Assim, para esses componentes no exemplo do trafo na Sala Elétrica Número 01 do Pátio, foi atribuída nota 2 para o critério de ocorrência.

O último item a ser levado em conta no cálculo da prioridade de risco é a probabilidade de detecção. Esse critério analisa as chances de determinação de falha podendo ser correlacionado com a detecção de falha pela operação, pela equipe de manutenção própria ou com a necessidade de contratação de equipe externa ou envio do componente para análise.

No exemplo trabalhado do transformador, modos de falha como *trip* por alta pressão de gás, baixo nível de óleo, *trip* por alta temperatura, trafo ou barramento em curto-circuito, fuga para a massa, circuito de controle em curto, alimentação primária abaixo dos níveis nominais ou *tap* do trafo desregulado são relativamente fáceis de serem determinados pela equipe própria de manutenção e por essa razão receberam nota 3. Modos de falha não tão comuns como relé de gás atuado, baixo nível de óleo atuado indevidamente, termostato atuado, mau contato na régua de bornes, comutador do *tap* ou espiras em curto-circuito ou baixo rendimento receberam nota 4. As possibilidades de o sensor de nível de óleo estar inoperante bem como a de haver mau contato nas interligações do transformador possuem baixa detectabilidade e para elas foram atribuídas nota 8 e 9 para o transformador com termostato inoperante.

Nessa condição, apenas os modos de falha de relé de gás, sensor de baixo nível de óleo e termostato inoperantes bem como o mau contato nas conexões do transformador apresentaram prioridade de risco superior a 125 e, por essa razão, merecem atenção especial.

#### 4.6.4 FMEA – Melhoria dos Riscos Avaliados

Chega-se à última fase da planilha FMEA onde, baseado nas funções, falhas funcionais, modos de falhas e causas serão traçadas as conclusões e recomendações para os planos de manutenção, inspeção, serviços e até ações pontuais. Essa atividade é a efetiva aplicação dos resultados alcançados com a análise proposta pelo RCM e pelo FMEA.

Para o exemplo que foi apresentado, constatou-se a necessidade de elaborar um plano de teste para os equipamentos de proteção a fim de evitar os modos de falha dos relés. Já para a questão do mau contato nas conexões do trafo, decidiu-se inserir em um plano de inspeção, a verificação das conexões durante as paradas programadas de manutenção da sala elétrica.

#### 4.7 COMPARAÇÃO COM OS PLANOS ANTERIORES

A elaboração da planilha FMEA deve ser finalizada com a comparação das novas propostas com os planos já existentes. No sistema SISMANA da Arcelor Mittal Tubarão, é possível gerenciar todos os planos de manutenção e inspeção ativos para um item.

As inspeções são divididas em preditivas e sensitivas, sendo essa segunda subdividida em duas vertentes: sensitiva e sensitiva instrumentada. A inspeção preditiva pode ser realizada em rotina ou em parada na qual é feita a coleta dos dados que são lançados no módulo de inspeção preditiva para acompanhamento com a geração de gráficos e relatórios. Nesse modelo de inspeção, são definidos no sistema os valores normais e os limites críticos e de alerta. A inspeção sensitiva é realizada de modo visual e cabe ao inspetor dar o respectivo retorno no módulo de inspeção sensitiva informando caso tenha detectado alguma anormalidade. Por fim, a inspeção sensitiva instrumentada é realizada com auxílio de instrumentos como termômetros e medidores de vibração e, além dos retornos de anormalidades observadas, cabe ao inspetor disponibilizar os dados das medições em software próprio para os dados coletados.

Com a finalização da planilha FMEA, passa-se para a comparação com os planos já existentes verificando a necessidade de incluir novos planos e manter, alterar ou excluir antigos. Nessa situação, é importante analisar criticamente se o

índice de prioridade de risco foi considerado baixo justamente devido a existência de um plano que faça com que a ocorrência de falhas para um dado componente seja baixa. Nesse caso, é importante manter o plano de inspeção. É possível, nesse momento, alterar os planos entre inspeções sensitivas e preditivas, alterar a frequência de realização, alterar a realização de inspeções e serviços em rotina ou em parada, alterar o método de medição (visual, com instrumentos específicos), incluir, excluir ou alterar os pontos de medição e análise e inserir comentários. Busca-se ainda que todos os serviços e inspeções sejam realizados conforme padrão empresarial.

Após essa análise comparativa, para a Sala Elétrica Número 01 do Pátio de Minérios, havia 29 planos de serviços elétricos, dos quais 3 foram mantidos sem alteração, 6 foram mantidos com alteração e 20 foram excluídos. Com relação aos planos de inspeção preditiva elétrica, havia 43 planos dos quais 7 foram excluídos e 36 foram mantidos com alteração. Por fim, com relação aos planos de inspeção sensitiva, havia 100 planos dos quais todos foram mantidos com alguma alteração.

#### 4.8 POLÍTICA DE SOBRESSALENTES

A análise da necessidade de possuir sobressalentes para alguns equipamentos pode ser realizada quando da elaboração da planilha FMEA. Deve ser incluído como sobressalente itens já existentes em estoque ou que devem ser adquiridos tanto para substituição direto quanto para funcionamento em stand-by ou redundante.

Nessa situação, para a Sala Elétrica 01 do Pátio, tem-se os seguintes sobressalentes: motor elétrico para compressor da refrigeração da sala e para evaporador de ar já que deve-se garantir a temperatura adequada para que haja a garantia de operação dos equipamentos dentro da faixa de temperatura adequada, fonte de alimentação dos Programadores Lógicos Controláveis (PLC's), importante para que seja mantido operando os circuitos de controle, banco de tiristores do retificador de tensão de baterias, necessário para manter o sistema operando em caso de falta de energia, disjuntor de entrada dos Centro de Controle de Motores (CCMs) para garantir a alimentação dos motores, relés de proteção, relés de gás e sensor de nível de óleo e termostato dos transformadores para operar em

redundância e fusíveis de força e controle que devem ser substituídos em caso de atuação.

#### 4.9 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Nesse capítulo foi apresentada a metodologia e análise usada na aplicação do RCM no sistema de distribuição de energia elétrica de uma grande usina siderúrgica. A apresentação foi feita para as áreas de Sinterização e Pátio de Matérias-Primas usando como exemplo uma das salas elétricas que apresentou criticidade mais elevada. O capítulo apresenta a implementação dos métodos tendo como base o referencial teórico discutido no Capítulo 3.

O conteúdo apresentado nesse capítulo é a essência do desenvolvimento dessa dissertação. Foi possível verificar ao longo dele as premissas utilizadas e como as mesmas foram aplicadas a cada situação e suas peculiaridades, passando-se pela análise de criticidade, revisão de cadastro e elaboração e revisão de planos.

Foi ainda apresentado, já no final do capítulo, os resultados obtidos com a aplicação do FMEA na revisão dos planos dessa sala elétrica. São esses resultados que mostram a importância da aplicação do método e as razões pelas quais as empresas buscam cada vez mais revisar e otimizar seus planos de manutenção a fim de tornar as atividades mais eficazes.

No capítulo seguinte será realizada uma síntese de tudo que foi abordado até aqui onde serão apresentadas as principais conclusões, dificuldades e necessidades de aprimoramento que ainda restaram. Será apresentada ainda uma análise dos resultados obtidos com o desenvolvimento da metodologia na empresa relacionando aquilo que foi discutido e observado em teoria no Capítulo 3 e de fato obtido com a aplicação dos métodos no Capítulo 4.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo será apresentada uma síntese de todo o desenvolvimento realizado ao longo do trabalho e as conclusões obtidas através dele. Muitas das conclusões foram já relatadas no Capítulo 4, onde o próprio desenvolvimento permitiu que algumas considerações fossem já observadas e que serão nesse capítulo relatadas.

### 5.1 SÍNTESE, ANÁLISE DE RESULTADOS E OBSERVAÇÕES

A implementação da metodologia proposta pelo RCM é uma atividade que demanda tempo por tratar-se de um trabalho minucioso e que deve ser realizado criteriosamente a fim de que os resultados esperados sejam de fato obtidos. Nesse sentido, apresenta-se aqui alguns dos resultados obtidos e observados ao longo do desenvolvimento desse trabalho.

Em geral, para uma usina da magnitude da Arcelor Mittal Tubarão, aproximadamente três anos foram necessários para finalizar os trabalhos relacionados a readequação dos planos de todos os equipamentos. Todo esse tempo de desenvolvimento e a necessidade de que sejam elaborados materiais consistentes, que tenham como base o histórico dos equipamentos bem como a experiência dos inspetores mostra a necessidade do empenho de toda a equipe para que as atividades sejam realizadas e produzam resultados com qualidade.

#### 5.1.1 Avaliação da Revisão dos Cadastros e da Classificação de Criticidade

A implantação da metodologia proposta pelo RCM tem apresentados resultados importantes. Na área da Sinterização e Pátio de Minérios

especificamente, foram contabilizados 552 itens dentre os quais elétricos, mecânicos e estruturais a terem os cadastros e planos revisados.

Com relação aos cadastros dos equipamentos, foi observado que alguns estavam desativados por motivos diversos e outros, ainda em operação, haviam sido alterados com a inclusão de sensores em alguns, a exclusão em outros, alteração de tecnologia entre outras situações. Por essa razão e para que todos os equipamentos estivessem classificados conforme a divisões em níveis proposta no módulo de cadastro do SISMANA, todos os cadastros antigos dos equipamentos foram entregues aos inspetores responsáveis para que uma verificação em campo dos componentes de cada equipamento.

Após a realização da análise de criticidade dos itens relacionados acima, os equipamentos foram classificados para que a análise pudesse ser feita priorizando-se os equipamentos com criticidade mais elevada. O percentual de equipamentos por criticidade na área é apresentado nos Gráfico 5.1 e Gráfico 5.2.

Gráfico 5.1: Percentual de equipamentos por criticidade - Sinterização

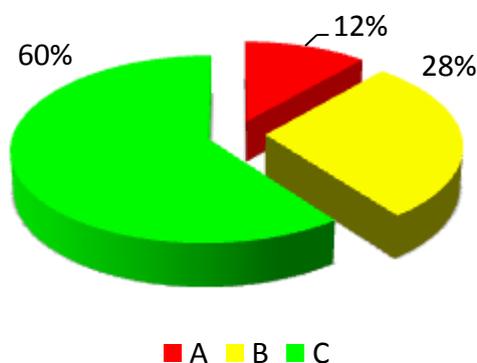
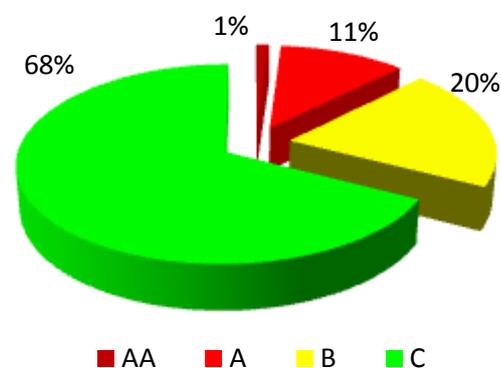


Gráfico 5.2: Percentual de equipamentos por criticidade - Pátio de Minérios



Fonte: Documentação técnica do RCM na empresa – Criticidade da Sinter e Pátio - Arcelor Mittal Tubarão (2017).

A interpretação dos gráficos acima pode explicar algumas considerações feitas. Primeiramente é importante observar o grande percentual de equipamentos de criticidade “C”. A filosofia proposta pelo RCM indica que esses equipamentos podem ser do tipo “*run to failure*” ou ter sua manutenção baseada em recomendações do fabricante. É sabido que, numa usina de grande porte, as atividades de manutenção correspondem a um percentual considerável da aplicação

dos seus ativos, e a conclusão apresentada pela análise da criticidade indica que boa parte disso poderia ser otimizada já que cerca de 60% dos equipamentos são de baixa criticidade.

Outro ponto interessante a ser observado é a importância da visão gerencial proposta pelo DBF. Os gráficos de criticidade apresentados nos Gráfico 5.1 e Gráfico 5.2 indicam que a criticidade dos equipamentos é diretamente influenciada pelo conhecimento dos processos. No caso da usina siderúrgica em questão, a planta da Sinterização produz o sinter, componente usado nos altos-fornos para a produção do aço. Uma certa quantidade do sinter produzido é estocada em silos e no Pátio de Matérias-Primas para abastecer os fornos em caso de paradas da máquina de sinter. Por essa razão, observa-se que não há equipamento classificado como “AA” na Sinterização, já que a parada da planta não afeta diretamente a produção de aço e conseqüentemente de placas e bobinas. Por outro lado, os equipamentos do Pátio são responsáveis pelo recebimento de Matérias-Primas, estocagem, preparação e envio aos fornos. Assim, uma falha nos equipamentos de envio faria com que os fornos deixassem de ser abastecidos afetando assim a produção final. Por essa razão, o Pátio de Minérios apresenta equipamentos de classificação “AA”, são eles a Sala Elétrica Número 01, o sistema de proteção digital e a sala de controle operacional do Pátio.

#### 5.1.2 Avaliação dos Resultados do FMEA

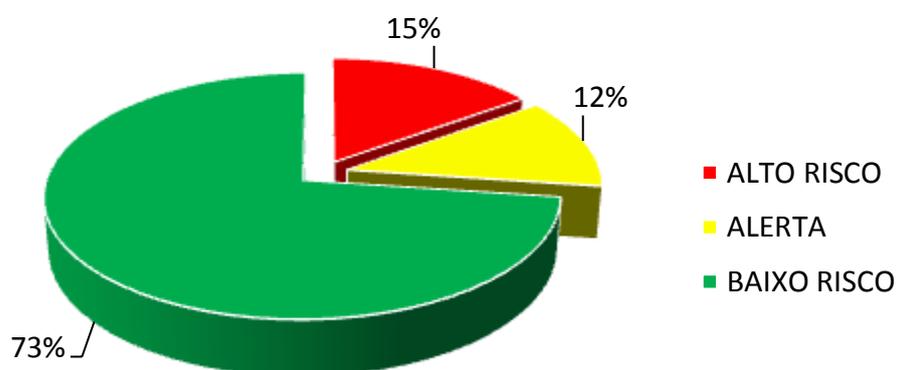
Voltando à análise dos resultados para o estudo de caso realizado na Sala Elétrica Número 01 do Pátio de Minérios, foram levantados no desenvolvimento da planilha FMEA, 232 modos de falhas para os 17 componentes contidos nessa sala elétrica. Isso indica uma média de 13 modos de falhas por equipamento, um indicador que o trabalho foi desenvolvido com boa riqueza de detalhes e análise das diferentes possibilidades.

Com relação aos critérios para o cálculo do índice de potencial de risco, é possível traçar um perfil das atividades de manutenção e das dificuldades encontradas pelos funcionários analisando as médias das notas atribuídas para cada item. Assim, com relação à severidade das conseqüências em caso de falha de algum componente, a média das notas atribuídas foi 7, um indicativo de que, de

maneira geral, as falhas mais frequentes nos componentes da Sala 01 tornam o sistema inoperável, mas não afetam a segurança operacional nem descumprem requisitos legais.

Já analisando o critério de ocorrência, a média das notas atribuídas foi 2. Esse é um importante indicativo para as equipes de manutenção pois indica um baixo índice de ocorrências com equipamentos dessa sala, o que eleva a confiabilidade da mesma e que exige análise para verificar se e quais atividades de manutenção realizadas no local têm viabilizado o baixo índice de falhas. Com relação ao índice de detecção, a média observada para os itens foi 3, indicando que, em geral, os possíveis modos de falha são de fácil detecção por parte das equipes de manutenção. O Gráfico 5.3 apresenta o percentual comparativo das prioridades de risco obtidas.

Gráfico 5.3: Percentual de equipamentos por prioridade de risco



Fonte: o autor (2017).

Dessa maneira, foram contabilizados um total de 35 itens que tiveram prioridade de risco superior a 125 pontos, ou seja, que indicam a mais alta prioridade e por isso especial atenção deve ser dada a eles. 28 itens tiveram prioridade de risco acima de 80 pontos e abaixo de 124. Esses itens são considerados de prioridade média e devem ser mantidos sob vigilância pois são potenciais fontes de problemas. E por fim, 169 itens obtiveram pontuação inferior à 80 pontos indicando

assim que são itens com baixa ocorrência de falhas, fácil detecção e pouco impacto nos processos da usina.

### 5.1.3 Resultado da Comparação dos Planos

O FMEA é uma ferramenta que busca nortear a revisão dos planos de manutenção a fim de dar especial atenção a itens prioritários e eliminar ou pelo menos reduzir atividades em excesso colaborando assim com um melhor gerenciamento de ativos. Nesse contexto, observou-se que os planos já existentes para a sala elétrica já eram suficientes para manter a confiabilidade do sistema, sendo necessário apenas otimizá-los com a adição de alguns pontos de inspeção, inclusão de procedimentos em planos de inspeção já existentes, alteração de padrões empresarias para adequação às novas necessidades e até mesmo treinar as equipes para atividades específicas. A Tabela 5.1 apresenta um “extrato” comparativo entre a situação dos planos de manutenção e serviços existentes antes da adoção da filosofia do RCM e após a conclusão dos trabalhos.

Tabela 5.1: Extrato da revisão de planos

	<b>Planos existentes</b>	<b>Planos Atuais</b>	<b>Alterados</b>	<b>Excluídos</b>
<b>Serviços</b>	29	9	6	20
<b>Inspeção preditiva</b>	43	36	36	7
<b>Inspeção sensitiva</b>	100	100	100	0
<b>Totais</b>	172	145	142	27
<b>Percentual</b>	-	-	83%	16%

Fonte: o autor (2017).

Analisando o conteúdo da tabela, é possível inferir com convicção que o RCM trouxe bons resultados para a empresa. Além de um maior conhecimento do processo como um todo, a aplicação dos métodos propostos possibilitou uma redução de 16% nos planos existentes apenas para essa sala elétrica, o que indica que recursos que estavam sendo aplicados nesses planos provavelmente eram obsoletos e poderão ser aplicados em outros locais. Além disso, a adequação de

83% dos planos é um indicativo da importância da realização desse trabalho para a revisão dos procedimentos que viam sendo adotados de maneira a tornar o processo e as atividades mais eficientes e eficazes. Em suma, a metodologia RCM, como apresentada desde o começo dessa dissertação, visa não só o aumento da confiabilidade de equipamentos, mas é uma metodologia amplamente voltada para a gestão de ativos com retorno significativo em redução de custos e aumento de eficiência.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A metodologia RCM encontra-se em sua quarta de geração de desenvolvimento e mostra-se ser bastante eficaz para o modelo industrial de hoje em dia, entretanto, as atividades de manutenção, de maneira geral, ainda costumam ficar em segundo plano nas empresas e devem ser motivo de amplo estudo. Sugere-se a seguir alguns tópicos a serem trabalhados em oportunidades futuras:

- A importância das inspeções preditivas e sensitivas para a indústria: coleta e análise de dados de inspeções na prevenção de falhas;
- Resultados financeiro correlacionados à gestão de ativos proposta pela matriz RCM;
- Impacto da adoção do critério “run to failure” para equipamentos de criticidades “B” e “C”: análise financeira e operacional;
- Métodos para redução dos índices de prioridade de risco e seu impacto para as empresas;
- Estudo de caso: análise de modos de falha, suas causas e as melhores práticas de manutenção para evita-las.

## REFERÊNCIAS

ARCELOR, Mittal. **Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos**. FCSA: Aços Planos América do Sul. ArcelorMittal Tubarão – Departamento de Manutenção Central e Infraestrutura: Gerência de Tecnologia de Manutenção. Serra, 2013.

MORTELARI, Denis; SIQUEIRA, Kleber; PIZZATI, Nei. **O RCM na Quarta Geração da Manutenção: A MODERNA GESTÃO DE ATIVOS**. 2. ed. RG Editores. São Paulo, 2014.

SCAPIN, Carlos Alberto. **Análise Sistêmica de Falhas**. Editora de Desenvolvimento Gerencial. Belo Horizonte, 1999.

TUBARÃO, ArcelorMittal. **PT-MAN-SINT-02-0006 – Configuração do Sistema Elétrico do Pátio de Minérios**. Padrão empresarial: Pátio de Minérios. Revisão 04. Serra, 2017.

TUBARÃO, ArcelorMittal. **PT-MAN-SINT-02-0003 – Configuração do Sistema Elétrico da Sinterização**. Padrão empresarial: Sinterização. Revisão 04. Serra, 2006.

TUBARÃO, ArcelorMittal. **Documentação Técnica desenvolvida durante a implementação do RCM na AMT**. Planilha FMEA – Sala Elétrica 01. Criticidade da Sinter e Pátio, Atividades – Planos da Sala Elétrica 01, Controle – Sinterização. Documentação virtual. Serra, 2017.

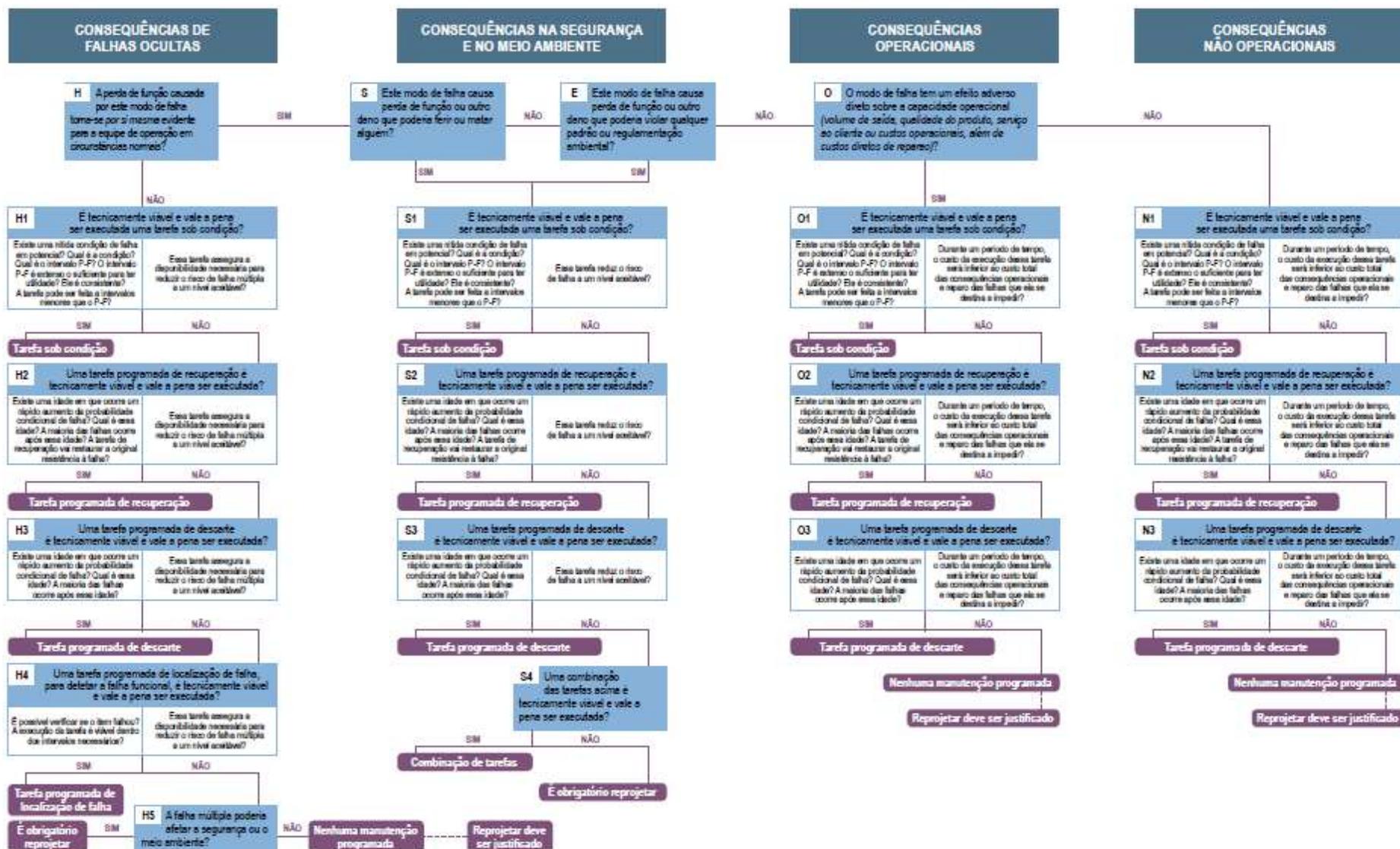
TUBARÃO, ArcelorMittal. **Módulo de Cadastro - SISMANA**. CMMS utilizado pela AMT – Cadastro da Sala Elétrica 01 – Item 46.05.001. Software de Gerenciamento de manutenção. Serra, 2017.

TUBARÃO, ArcelorMittal. **Quem Somos**. Perfil da empresa – Quem somos. Disponível em <[tubarão.arcelomittal.com/quem-somos/arcelor-mittal-tubarao/perfil-empresa/index.asp](http://tubarão.arcelomittal.com/quem-somos/arcelor-mittal-tubarao/perfil-empresa/index.asp)>. Acesso em 20 de agosto 2017.

TUBARÃO, ArcelorMittal. **Manutenção na Usina**. Usina – Manutenção. Disponível em <[tubarão.arcelomittal.com/quem-somos/usina/manutencao/index.asp](http://tubarão.arcelomittal.com/quem-somos/usina/manutencao/index.asp)>. Acesso em 20 de agosto 2017.

TUBARÃO, ArcelorMittal. **Fluxo de Produção**. Usina – Fluxo de Produção. Disponível em <[tubarão.arcelomittal.com/quem-somos/usina/fluxo-producao/index.asp](http://tubarão.arcelomittal.com/quem-somos/usina/fluxo-producao/index.asp)>. Acesso em 20 de agosto 2017.

**ANEXO A – DECISÕES DO RCM – DIAGRAMA DE MOUBRAY**



Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos - Arcelor Mittal Tubarão (2013).

**ANEXO B – DIRETRIZES MÍNIMAS DE MANUTENÇÃO *VERSUS* DEFINIÇÃO DE  
CRITICIDADE**

CLASSE DE CRITICIDADE	TÉCNICA PARA ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO	MONITORAMENTO MÍNIMO RECOMENDADO	GESTÃO DE FALHAS	POLÍTICA DE SOBRESSALENTES	PLANO DE CONTINGÊNCIA	INSPEÇÃO DO EQUIPAMENTO
AA	RCM. A elaboração do plano deverá ser executada pelos especialistas de manutenção + área de confiabilidade/ unidade técnica + área de tecnologia de manutenção.	Monitoramento <i>on-line</i> , sempre que possível.	Análise de falhas completa com relatório de engenharia para todas as falhas. Plano de ação deverá ser acompanhado gerencialmente e implantado pela área de manutenção.	Tipo – Y00 (Estratégico). Alguns sobressalentes podem não ser vitais para o equipamento, podendo ser classificados como Y01, Y02 ou Y03 após justificativa.	Mandatário	Deverá ser designado o(s) melhor(es) inspetor(es), mesmo que os equipamentos estejam em áreas distintas.
A	RCM ou FMEA. A elaboração do plano deverá ser executada pelos especialistas de manutenção + área de confiabilidade/ unidade técnica.	Monitoramento <i>off-line</i> , com técnicas preditivas aplicáveis.	Análise de falhas completa. Relatório de engenharia deverá ser emitido para: - Ocorrência de acidente pessoal ou ambiental relevante, ou; - Tempo de parada > 4 horas, ou; - Prejuízo financeiro (gastos com manutenção + lucro cessante) > R\$480.000,00.  Para outros casos deverá ser realizado através do REAM (b) no SISMANA ou RR(b) no MAXIMO.	Tipo – Y00 (Estratégico) ou Tipo – Y01 (Paralisa a Produção). Alguns sobressalentes podem ser classificados como Y02 e Y03 desde que justificados.	Desejável	Área com grande número de equipamentos "A" prioritariamente designar inspetor "Sênior".
B	Recomendações do fabricante (manual) e/ou experiências pessoais. A elaboração do plano deverá ser executada pelos inspetores de manutenção e supervisores.	Sensitiva pelo inspetor	Através do REAM no SISMANA ou RR no MAXIMO. Cada área de manutenção deverá definir o gatilho para análise de falhas.	Tipo – Y02 (Afeta a produção) ou Tipo – Y03 (Não afeta/Possui alternativa). Outra classificação deverá ser justificada.	Desnecessário	Área com grande número de equipamentos "B" prioritariamente designar inspetor "Pleno".
C	<i>Run to failure</i> (Operar até a falha) ou recomendações do fabricante, quando aplicável. A elaboração do plano, quando aplicável, deverá ser executada pelos inspetores de manutenção.	Sensitiva pelo operador, com acionamento da manutenção quando necessário.	Simples registro. Não requer análise de falha. Caso específico de necessidade de análise de falhas poderá ser justificado pela área de manutenção.	Tipo – Y03 (Não afeta/Possui alternativa) ou Sobressalente cadastrado, porém com estoque zerado. Outra classificação deverá ser justificada.	Desnecessário	Área com grande número de equipamentos "C" prioritariamente designar inspetor "Junior".

(a) Planos de manutenção são os planos de inspeção e os planos de serviços.

(b) REAM é o módulo de análise de falha do SISMANA, equivalente ao RR do MAXIMO.

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos - Arcelor Mittal Tubarão (2013).