

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

ERNESTO FURTADO DE MELLO NETO

**ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DO LAMINADOR DE TIRAS A
QUENTE DA ARCELOR MITTAL TUBARÃO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

ERNESTO FURTADO DE MELLO NETO

**ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DO LAMINADOR DE TIRAS A
QUENTE DA ARCELOR MITTAL TUBARÃO**

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. Carlos Henrique Mariano

CURITIBA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE DA ARCELOR MITTAL TUBARÃO

por

ERNESTO FURTADO DE MELLO NETO

Esta monografia foi apresentada em 30 de outubro 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. Carlos Henrique Mariano Dr.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Membro Titular da Banca - UTFPR

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

Dedico este trabalho a DEUS por nortear minha vida.

Aos meus pais, irmãos, esposa e filho, pelo exemplo, incentivo, amor e carinho.

Aos amigos pela convivência, apoio e atenção nos momentos alegres e tristes.

RESUMO

NETO, Ernesto Furtado de Mello. **Análise da confiabilidade do laminador de tiras a quente da arcelor mittal tubarão**. 2017. 42 páginas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Devido ao alto grau de complexidade apresentado pelos sistemas e a busca pela excelência nos seus processos, torna-se necessário estabelecer estratégias de competitividade de forma a minimizar a ocorrência de falhas e melhorar a produtividade. Este trabalho consiste em um estudo de engenharia de confiabilidade quantitativo, onde foram estudados os fatores RAM (Reliability, Availability and Maintainability), através do método de simulação de Monte Carlo. Foram abordados os dados de confiabilidade e manutenibilidade, a nível de menor unidade substituível, nos principais itens que fazem parte do sistema Trem Acabador, do Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão.

Palavras-chave: Confiabilidade. Manutenibilidade. Disponibilidade. Monte Carlo.

ABSTRACT

NETO, Ernesto Furtado de Mello. **Análise da confiabilidade do laminador de tiras a quente da arcelor mittal tubarão**. 2017. 42 páginas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Because the high degree of complexity presented by the systems and the search for excellence in their processes, it becomes necessary to establish competitiveness strategies in order to minimize the occurrence of failures and to improve productivity. This study consists of a quantitative reliability engineering study where the reliability, Availability and Maintainability (RAM) factors were studied using the Monte Carlo simulation method. Reliability and maintainability data were analyzed at the level of the lowest replaceable unit in the main items that are part of the system of finishing mill from ArcelorMittal Tubarão

Palavras-chave: Reliability. Maintainability. Availability. Monte Carlo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vista aérea das unidades produtivas - ArcelorMittal Tubarão	17
Figura 2: Fluxograma de processo ArcelorMittal Tubarão	18
Figura 3: Vista aérea do Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão.....	19
Figura 4: Layout básico do LTQ da ArcelorMittal Tubarão	21
Figura 5: Sistema em Série	26
Figura 6: Sistema Paralelo	27
Figura 7: Comparação das funções básicas de confiabilidade e manutenibilidade. ..	28
Figura 8: Estratificação dos eventos por níveis de cadastro	33
Figura 9: : Detalhes dos dados LRU.	34
Figura 10: Dados inseridos no Weibull 7 ++	35
Figura 11: Curvas de confiabilidade e manutenibilidade	35
Figura 12: Arranjo dos blocos pai em série.	36
Figura 13: Diagrama FRED	36
Figura 14: Modelagem de cada bloco.	37
Figura 15: Quadro da importância da Confiabilidade Estática.....	38
Figura 16: Simulação de Monte Carlo.	39
Figura 17: Visão geral dos blocos de confiabilidade.	40

LISTA DE SIGLAS

AMT – ArcelorMittal Tubarão
BQ's – Bobinas a quente
FMEA - Failure mode and effects analysis
FRED (Failure Reporting, Evaluation and Display
LDA – Life data analysis
LRU (Lowest Replaceable Unit).
LTQ – Laminador de Tiras a Quente
MLE - Método da máxima verossimilhança
MTBF – Mean Time Between Failures
MTTF (Mean Time to Failure)
RAM – Reliability, availability, maintainability
RCM – Reliability centered maintenance
RDB – Reliability diagram block

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA DE PESQUISA.....	11
1.1.1 Aspectos Gerais	11
1.1.2 Aspectos Específicos	12
1.2 PREMISSAS E PROBLEMAS DE PESQUISAS	13
1.3 OBJETIVO GERAL.....	14
1.4 OBJETIVO ESPECÍFICO	14
1.5 JUSTIFICATIVAS E CONTRIBUIÇÕES	14
1.6 DELIMITAÇÃO DO TEMA	15
1.7 METODOLOGIA DA PESQUISA	15
1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.1 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	22
3.2 ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE.....	23
3.3 ANÁLISE DOS DADOS DE VIDA (LDA)	23
3.4 BASE DE DADOS PARA ESTUDOS DE CONFIABILIDADE	23
3.5 CARACTERÍSTICAS DOS DADOS DE VIDA	23
3.6 SISTEMAS REPARÁVEIS E NÃO REPARÁVEIS.....	24
3.7 TEORIAS DA CONFIABILIDADE, DISPONIBILIDADE E MANTENABILIDADE ..	25
3.8 CONFIABILIDADE DE SISTEMAS	26
3.8.1 Sistema Série	26
3.8.2 Sistema Paralelo	27
3.8.3 Sistema Série- Paralelo.....	27
3.9. TEORIA DA MANTENABILIDADE	27
3.10 TEORIA DA DISPONIBILIDADE.....	29
3.10.1 Classificações De Disponibilidade.....	29
3.10.1.1 Disponibilidade Instantânea ou Pontual – $A(t)$	29
3.10.1.2 Disponibilidade média – $A_m(t_2-t_1)$	29
3.10.1.3 Disponibilidade operacional – A_o	30
3.10.1.4 Disponibilidade intrínseca ou Inerente – A_i	30

3.11 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO	30
4 ESTUDO DA ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE QUANTITATIVA	32
4.1 FORMAÇÃO DA BASE DE DADOS.....	32
4.2 ANÁLISE DOS DADOS DE VIDA.....	35
4.3 DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE (RBD)	36
4.4 MODELAGEM DOS BLOCOS	36
4.5 ESTUDO ANALÍTICO	37
4.6 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO	39
5 CONCLUSÕES	40
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA DE PESQUISA

1.1.1 Aspectos Gerais

O mundo atual encontra-se inserido em um contexto onde o conhecimento técnico e a reavaliação de conceitos, são fundamentais para a sobrevivência industrial. Com um cenário de forte competitividade, é notória a busca pela maximização da produção, mantendo os mesmos equipamentos e recursos. A área de manutenção tem apresentado significativa mudança ao longo dos anos, e pode ser observado no número e na variedade das instalações produtivas, com projetos cada vez mais complexos, com exigências de conhecimento técnico em níveis cada vez maiores, o que demanda uma atualização constante dos profissionais da área de manutenção.

É preciso que a atividade de manutenção se integre de maneira eficaz ao processo produtivo, contribuindo para que a empresa caminhe rumo à excelência. A grande interseção do setor de manutenção com o de produção, influenciando diretamente a qualidade e produtividade, faz com que o mesmo desempenhe um papel estratégico fundamental na melhoria dos resultados operacionais e financeiros dos negócios da empresa (XENOS, 1998). Portanto, a manutenção deve se configurar como agente proativo dentro da organização. 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, tendo como balizadores a qualidade total dos processos produtivos (KARDEC & NASCIF, 2009).

O maior desafio para as pessoas que estão envolvidas com atividades de manutenção hoje, não é apenas saber das técnicas utilizadas, mas saber decidir quais delas realmente são ou não são importantes para determinado ativo. Se forem realizadas escolhas certas, é possível melhorar o desempenho do ativo e ao mesmo tempo reduzir o custo de manutenção, aumentando sua confiabilidade operacional. Por outro lado, se houverem más escolhas, novos problemas são criados, enquanto, que aqueles que já existentes tendem a piorar.

A mudança de cultura dentro de uma organização tem de ser realizada de forma gradativa e estruturada. Um dos principais fatores para o sucesso na implantação de um programa de confiabilidade é o envolvimento de todos os níveis da organização.

1.1.2 Aspectos Específicos

A terceira geração da manutenção menciona a importância em dominar os equipamentos e as tarefas de manutenção relacionadas ao mesmo. O objetivo está direcionado na execução das tarefas certas, na hora certa e no componente / item adequado.

A quarta geração apresenta um enfoque maior na eficiência dos processos, onde a eficiência é definida como virtude ou característica de (alguém ou algo) ser competente, produtivo, de conseguir melhor rendimento com o mínimo de erros ou dispêndios. A visão do acompanhamento do desempenho de vida dos equipamentos ao longo do tempo e a preocupação na antecipação da falha contribuíram para o surgimento e a utilização de ferramentas de confiabilidade quantitativa e qualitativas nos processos de manutenção.

A busca pela excelência da manutenção por meio da integração e coordenação das diversas funções e processos de negócio se dá através da criação de um sistema padronizado, onde a consolidação da base servirá de suporte para as evoluções a níveis de excelência dos processos de manutenção.

A engenharia da confiabilidade fornece as ferramentas teóricas e práticas que permitem projetar, especificar, testar e demonstrar a probabilidade e a capacidade segunda a qual componentes, equipamentos, produtos e sistemas desempenharão suas funções por períodos determinados de tempo, em ambientes e condições específicas e sem apresentar falhas.

A proposta deste trabalho é o estudo do comportamento das falhas dos equipamentos do Laminador de Tiras a Quentes (LTQ) da Arcelor Mittal Tubarão, através da abordagem e aplicação correta das ferramentas e metodologias da engenharia da confiabilidade, a fim de torna-los referência em seu desempenho.

1.2 PREMISSAS E PROBLEMAS DE PESQUISAS

Cada metodologia de engenharia de confiabilidade possui requisitos e necessidades específicas para sua utilização. A utilização dos conceitos requer atenção especial durante as tratativas, a fim de alcançar os resultados desejados.

Durante os estudos de engenharia quantitativa, a ciência base do estudo são os conceitos de estatísticas aplicadas. Para isso foi utilizado uma base de dados oriundas do sistema de manutenção, de operação e também advindos dos dados baseados em entrevistas de confiabilidade. Para a obtenção da confiabilidade a partir dos dados históricos, estes por sua vez, foram analisados e estruturados, de maneira que os resultados obtidos fossem confiáveis para serem usadas em simulações e levantamento de curvas de vida.

Foram considerados os históricos de tempos até a falha e dos tempos de manutenção, como entrada para obtenção dos indicadores de confiabilidade e manutenibilidade. Os tempos relacionados às manutenções preventivas e os tempos improdutivos, foram contemplados como suspensões, no intuito de buscar as melhores estimativas dos resultados da disponibilidade dos sistemas estudados.

Para todas as análises estatísticas, foram considerados os intervalos de confiança bilateral, onde o intervalo apresenta uma estimativa do range de valores, os quais provavelmente podem conter um parâmetro desconhecido da população, o intervalo estimado é calculado a partir da amostra de dados.

Devido à presença de suspensões e algumas situações de base de dados com pequenas amostras, foi adotado para as análises dos parâmetros a estimativa pelo método computacional conhecida como o método da máxima verossimilhança (MLE).

Para a escolha da melhor distribuição de vida que adere aos dados, foi utilizada a ferramenta de assistente de distribuição do software Weibull ++.

Os softwares utilizados durante o estudo foram o *Weibull ++*, *BlockSim* e o RGA, da Reliasoft. Para os estudos qualitativos como FMEA e RCM, foram utilizadas planilhas internas, elaboradas em conformidade com os conceitos e normas conhecidas.

1.3 OBJETIVO GERAL

Demonstrar as mudanças na estratégia da manutenção, através da utilização das técnicas dos estudos de engenharia de confiabilidade qualitativas e quantitativas.

1.4 OBJETIVO ESPECÍFICO

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

Construir base de dados de eventos de falhas em equipamentos e sistemas quando necessárias;

Realizar estudos de análise de dados de vida (LDA), no nível de menor unidade substituível, tanto para a confiabilidade quanto para a manutenibilidade;

Realizar simulações de Monte Carlo para sistemas reparáveis (RDA).

Adequar à estratégia de manutenção dos ativos a partir dos estudos apropriados de engenharia de confiabilidade.

1.5 JUSTIFICATIVAS E CONTRIBUIÇÕES

O acompanhamento da gestão dos equipamentos é realizado através de indicadores globais de manutenção e gestão de ativos. O indicador de confiabilidade é calculado pela razão entre a quantidade de horas improdutivo pelo tempo total disponível para operação. A busca pela melhoria e estabilidade do indicador de confiabilidade ao nível de *Benchmarks* internos, tornou prioridade para o atingimento dessa meta. O comportamento sistêmico de certos modos de falhas e as características de falhas pontuais com elevado tempo de reparo, somente seria corrigido através de estudos mais complexos, onde a mesclagem de técnicas e metodologias de confiabilidade sejam aplicadas.

Ocorrências pontuais que afetam a qualidade e a imagem da empresa, também foram consideradas como prioritárias para a eliminação e mitigação de alguns modos de falhas.

A necessidade em adequar e otimizar as equipes e o estoque de sobressalentes críticos, com foco na preservação da função do equipamento através da substituição por condição, foi o diferencial para a escolha de estudos e técnicas qualitativas de confiabilidade.

O novo modelo de manutenção definido pelo grupo ArcelorMittal a nível mundial, contribuiu para os avanços de novos estudos tendo como base a antecipação e prevenção de falha, ratificando assim a necessidade de trabalhos proativos.

1.6 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O estudo realizado e as proposições apresentadas nesse trabalho estão delimitados, em termos contextuais pelos aspectos normativos e conceituais. O conhecimento técnico proveniente da experiência é relacionado com informações técnicas de fornecedores e fabricantes.

1.7 METODOLOGIA DA PESQUISA

Silva e Menezes (2005) classificam uma pesquisa de quatro maneiras: quanto aos procedimentos adotados, quanto à natureza, quanto à forma de abordagem e quanto aos objetivos.

O primeiro passo foi a busca por um referencial teórico envolvendo a manutenção e seu histórico desde a primeira geração até sua evolução nos dias atuais.

O segundo passo foi realizar uma análise de sua aplicação em equipamentos e sistemas complexos na área de siderurgia.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em 3 etapas, conforme a seguir;

➤ Pesquisa bibliográfica através do levantamento de material disponível nas fontes de pesquisa com o objetivo de sumarizar e aprofundar os conceitos

relevantes ao tema de pesquisa. Levantamento dos materiais de apoio e técnicas disponíveis na literatura para a utilização de softwares estatísticos.

➤ Desenvolvimentos de análises de confiabilidade quantitativas, onde a qualidade da resposta do estudo é suportada pela qualidade dos dados históricos.

➤ Confeção do documento final contemplando os resultados alcançados, tendo como base uma cultura pró ativa de manutenção, suportada por métodos matemáticos e conhecimento humano.

2 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O grupo ArcelorMittal, presente em mais de 60 países, com unidades comerciais e empresariais, é o maior fornecedor mundial de aço bruto. Dentro da América Latina, a ArcelorMittal Brasil, produtora de aços longos e planos, apresenta capacidade produtiva anual de 13 milhões de toneladas de aço e opera 27 unidades.

O processo produtivo de aços planos inicia-se na unidade ArcelorMittal Tubarão, usina integrada localizada na região da Grande Vitória – Espírito Santo, abrangendo uma área de 13,5 milhões de metros quadrados e com capacidade produtiva anual de 7,5 milhões de toneladas de aço líquido, sendo que 4 milhões podem ser transformados em bobinas através da laminação a quente e o restante em placas de aço. Ilustra-se com a figura 1 a vista aérea das unidades produtivas

Figura 1: Vista aérea das unidades produtivas - ArcelorMittal Tubarão



Fonte: Catálogo de produtos laminados – Edição 2015 – ArcelorMittal Aços Planos América Latina – Brasil.

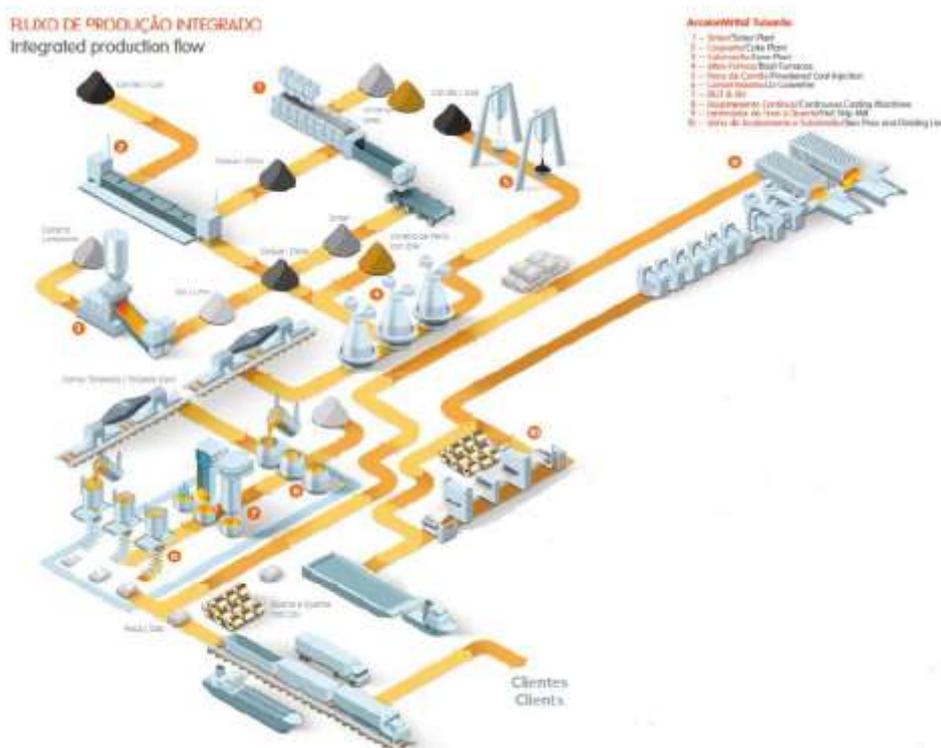
De maneira sucinta o fluxo produtivo da AMT, começa, conforme a figura 2, com a produção das matérias primas de coque, sinter e cal, através dos processos da Coqueria, Sinterização e Calcinação. A Coqueria a partir da destilação da mistura

de carvões minerais promove a transformação destes em coque. A Sinterização, com a aglomeração a quente de materiais finos, produz o sinter. A calcinação através da decomposição térmica transforma o calcário em cal virgem.

Estas matérias primas e outras adições como pelota e minério de ferro, passam por reações químicas e de redução que ocorrem nos Altos Fornos produzindo assim o ferro gusa, principal matéria prima do aço. Na Aciaria ocorre a transformação do ferro gusa, transportado pelos carros torpedos, em aço líquido, com a adição de alguns elementos de liga. A transformação se dá a partir do sopro de oxigênio que oxida os elementos contidos no ferro gusa e aumenta a temperatura do metal. Este aço líquido passará por beneficiamentos nos refinamentos primários e secundários e será resfriado de maneira controlada nas máquinas de Lingotamento Contínuo, formando assim as placas de aço.

Estas placas serão inspecionadas e tratadas na área de condicionamento de placas e assim enviadas para os clientes, ou serão destinadas para o LTQ. A laminação de tiras a quente (LTQ) transformará as placas em bobinas, que podem ou não passar pelas linhas de acabamento de bobinas antes de irem para os clientes.

Figura 2: Fluxograma de processo ArcelorMittal Tubarão



A área de laminação de tiras a quente é responsável pelo recebimento, reaquecimento e transformação da placa em bobinas. Seu start up ocorreu em agosto de 2002, possuindo a tecnologia mais avançada existente. Na figura 3 temos uma visão geral do galpão do LTQ da ArcelorMittal Tubarão.

Figura 3: Vista aérea do Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão



Fonte: Álbum interno de fotografias. ArcelorMittal Tubarão 2015

O processo de laminação de tiras a quente inicia-se com recebimento e preparação das placas no pátio de estocagem do LTQ. As placas são produzidas nas máquinas de lingotamento contínuo, ou recebidas de fonte externa, com as características necessárias à sua transformação em bobina a quente (BQ). O pátio é composto por galpões com pontes rolantes, equipadas com tenazes para manuseio de placas e operadas em modo totalmente automático. As placas são estocadas em pilhas, organizadas na sequência de laminação, antes de serem carregadas no forno de reaquecimento.

O forno recebe placas frias ou ainda quentes a uma temperatura em torno de 800°C, devido ao calor remanescente do processo de lingotamento contínuo, e as reaquece até a temperatura ideal de laminação, que se situa entre 1200°C e

1280°C. O tempo de permanência no forno e a temperatura de reaquecimento dependem do tipo de aço e das características metalúrgicas e mecânicas que se pretende conferir ao produto final. O processo de aquecimento é contínuo, e a movimentação das placas se dá através de vigas móveis no interior do forno. O combustível empregado é gás misto ou gás natural, cuja combustão é controlada automaticamente, com acompanhamento da emissão de fumos, para evitar impacto ambiental.

Antes de ser iniciada a laminação da placa, é necessário remover o óxido de ferro formado na sua superfície durante o aquecimento (carepa primária), através de jatos de água de alta pressão, denominado descarepadores. Estes dispositivos estão instalados ao longo da linha de laminação, em três posições, e removem também a carepa secundária, formada pela exposição da placa de aço, a elevada temperatura ao ar. Se não for removida, a carepa incrusta na superfície durante os passes de laminação que se seguem, gerando defeito grave no produto final.

A laminação de tiras a quente é composta pelas fases de desbaste e de acabamento. Na fase de desbaste, a placa reaquecida é submetida à passes de laminação, em uma cadeira reversível com laminador de bordas, sendo transformada em esboço, estágio intermediário do processo. A espessura do esboço varia entre 20 e 40 mm, dependendo da espessura final da tira. Durante esta fase, largura, forma e perfil transversal do esboço são controlados para assegurar a qualidade final da tira.

Ao sair da cadeira de desbaste o esboço é bobinado no Coilbox. A seguir o esboço tem a extremidade cortada na tesoura de pontas para facilitar a entrada nas cadeiras contínuas do trem acabador. A sua transformação em tira se dá através da laminação simultânea nas seis cadeiras, denominada "laminação em tandem". A tira é obtida com alta qualidade, graças às avançadas tecnologias adotadas para controle de espessura, largura, planicidade, perfil transversal e temperaturas de processo, com faixas mínimas de tolerância. Todos os ajustes do trem acabador são realizados automaticamente por computador, com acompanhamento do operador somente para intervenções de emergência.

Ao sair do trem acabador, a tira é conduzida em alta velocidade por mesa de rolos, onde estão instalados chuveiros de resfriamento (laminar flow), que controlam a sua temperatura de bobinamento. O conjunto formado pela temperatura de

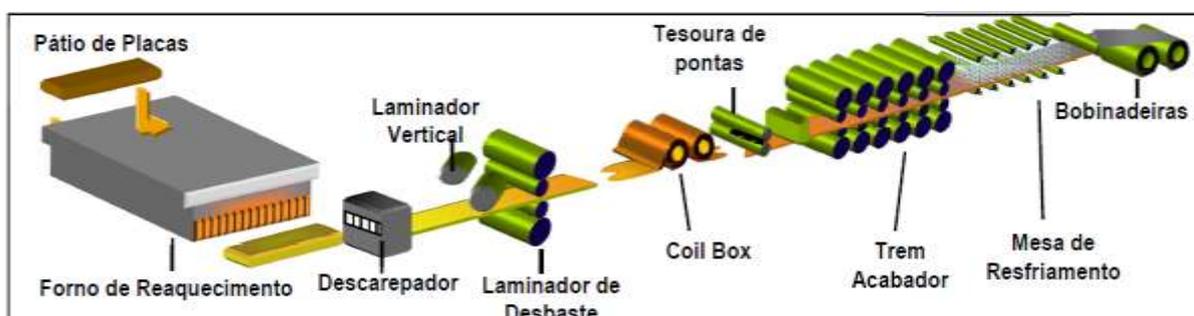
acabamento e temperatura de bobinamento, denominado “par térmico”, é definido pelas propriedades metalúrgicas e mecânicas objetivadas na tira.

As Bobinadeiras, situadas no fim da linha de laminação, processam o bobinamento da tira em sua forma final. Tecnologias modernas são usadas para que se tenha boa qualidade de bobinamento, eliminando possibilidades de perdas durante o manuseio da BQ (bobina a quente), e garantindo sua boa aparência até a entrega final ao cliente.

Após processo na linha de laminação, as bobinas a quente (BQ's), são resfriadas ao ar até a temperatura ambiente para posterior processamento nas linhas de acabamento, ou para despacho direto ao cliente.

O layout básico do LTQ, com a disposição física de seus principais equipamentos, pode ser visto na figura 4.

Figura 4: Layout básico do LTQ da ArcelorMittal Tubarão



Fonte: Álbum interno de fotografias. ArcelorMittal Tubarão 2015

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

Nos últimos anos houve uma grande evolução da manutenção e seu gerenciamento devido ao aumento do número e da complexidade das instalações e equipamentos, além do ganho de novas técnicas e novos enfoques das responsabilidades da manutenção. Uma crescente conscientização do quanto uma falha pode trazer riscos a segurança pessoal ou danos ao meio ambiente, a relação entre a qualidade do produto e a manutenção, a pressão para atingir alta disponibilidade das instalações e redução de custos, são fatores que compõem as novas expectativas alocadas sobre as equipes responsáveis pela manutenção dos ativos.

➤ Podemos dividir a história da manutenção, de forma geral, em três períodos distintos (MOUBRAY, 1997):

➤ Primeira Geração – Anterior a 2.a Guerra Mundial, denominado como manutenção da primeira geração onde a disponibilidade dos equipamentos e a preocupação pela prevenção das falhas não era prioridade. Os equipamentos eram superdimensionados, os projetos eram simples e o seu reparo de fácil execução sendo, portanto, mais confiáveis. A limpeza e a lubrificação eram suficientes, não havendo necessidade de fazê-los de forma sistemática.

➤ Segunda Geração – Denominado manutenção da 2.a geração, iniciou-se na década de 1950, onde o pós-guerra gerou crescente demanda por produtos impulsionando a mecanização das indústrias, com máquinas numerosas e complexas. Planos de manutenção preventiva eram elaborados e passou a existir a preocupação com os tempos de parada dos equipamentos produtivos. O conceito de manutenção preventiva surge, então, aparecendo também a consideração de que as falhas nos equipamentos podiam e deviam ser previstas. Os custos de manutenção elevaram-se sendo necessário maior controle.

➤ Terceira Geração – Iniciado em meados da década de 1970, foi denominado manutenção da 3.a geração. Neste período buscou-se novas maneiras de maximizar a vida útil dos equipamentos produtivos, passando a existir a preocupação com alta disponibilidade e confiabilidade, sem proporcionar nenhum

dano ao ambiente, ter maior segurança, maior qualidade do produto e custos sob controle.

3.2 ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

É a parte da engenharia que estuda o comportamento de vida dos componentes / sistemas, através de modelagem de inferência estatística. É uma metodologia científica aplicada para conhecer / determinar o comportamento de vida de produtos, equipamentos e sistemas de forma a assegurar que estes executem sua função, sem falha, por um período de tempo e uma condição de uso específica.

Dentre seus principais benefícios, a aplicação da Engenharia da Confiabilidade proporciona visualizar a expectativa de vida do equipamento, checar os custos de manutenção, determinar o intervalo ótimo de parada, dimensionar o estoque de reposição e prever quantidade de falhas.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS DE VIDA (LDA)

A Análise de Dados de Vida utiliza de teorias estatísticas para construir modelos probabilísticos, a partir de dados de falha, que são utilizados para realizar previsões precisas.

3.4 BASE DE DADOS PARA ESTUDOS DE CONFIABILIDADE

De acordo com Marcorin & Abackerli (2002), a escolha das fontes de informação que serão utilizadas para realizar estudos de confiabilidade depende de diversos fatores: objetivo do estudo, tipo de produto em análise, estágio do produto em seu ciclo de vida, tempo disponível para testes e recursos disponíveis para o estudo. Para cada situação existem uma ou mais possíveis fontes de dados.

3.5 CARACTERÍSTICAS DOS DADOS DE VIDA

Na análise de dados de vida é desejável a utilização da maior quantidade de dados disponível, mas muitas vezes estes dados são incompletos ou incertos. De

forma geral, os dados de vida podem ser classificados em: completos (toda informação é disponível) ou censurados (falta parte da informação) (RELIASOFT, 2004).

Quando os tempos até a falha de todas as unidades testadas são conhecidos, tem-se um conjunto de dados completos. Se os dados de tempo até a falha disponíveis são limitados a um tempo máximo, há censura do tipo I. Se os dados de tempo até a falha são limitados a um número máximo de falhas, há censura do tipo II (RAI & SINGH, 2003).

A censura é dita à direita se o tempo da falha não é conhecido, mas é sabido que o equipamento sobreviveu até um tempo determinado sem apresentar falha. Quando se sabe que um equipamento já havia falhado em um determinado instante de tempo, mas o tempo exato da falha não é conhecido, tem-se uma censura à esquerda. Na censura por intervalo, um conjunto de equipamentos em teste é monitorado a intervalos regulares e, quando uma falha é encontrada, sabe-se que a mesma ocorreu dentro do intervalo, mas não seu momento exato. Se em um mesmo experimento de análise de vida existe mais de um ponto de censura, esta é dita censura múltipla (ESCOBAR & MEEKER, 1999).

Um caso típico de censura múltipla ocorre na análise de múltiplos grupos de produtos com entrada em operação escalonada. Neste tipo de análise, a idade dos produtos, as probabilidades de falha e o número de unidades em risco de falha variam de grupo para grupo, dificultando a análise (ESCOBAR & MEEKER, 1999). Um exemplo deste caso é a análise de confiabilidade a partir das informações de vendas e falhas registradas em intervalos fixos (KARIM, YAMAMOTO & SUZUKI, 2001).

A análise de dados de vida pode ser realizada tanto para dados completos quanto para dados censurados, utilizando as técnicas adequadas para cada caso.

3.6 SISTEMAS REPARÁVEIS E NÃO REPARÁVEIS

Sistemas reparáveis são aqueles que após a ocorrência de uma falha podem ser colocados em condições satisfatórias de operação por alguma ação, incluindo substituição de peças ou ajustes. Na análise deste tipo de sistema são usualmente calculados a taxa de ocorrência de falha e o tempo médio entre falhas.

A análise de sistemas reparáveis é aplicada por usuários de sistemas complexos, visando o planejamento da manutenção destes sistemas (NIST/SEMATECH, 2004).

Sistemas não reparáveis não podem ser novamente colocados em operação após a ocorrência de uma falha, sendo excluídos da população. Na análise deste tipo de sistema são usualmente calculados o tempo médio até a falha – *Mean Time to Failure* (MTTF) e a probabilidade de falha em diferentes tempos de uso. Muitas vezes sistemas reparáveis são analisados como não reparáveis, considerando-se apenas a primeira falha de cada sistema. A análise de sistemas não reparáveis é tipicamente aplicada pelo fabricante do produto ou sistema, visando controle e melhoria da confiabilidade, bem como dimensionamento de prazos e custos de garantia (NIST/SEMATECH, 2004).

A diferença básica entre as técnicas de análise para produtos reparáveis e não reparáveis está no cálculo da população de produtos em risco de falha. No caso de produtos não reparáveis, unidades que falham são excluídas da população em risco para falhas posteriores. Em produtos reparáveis, as unidades que falham não são excluídas da população em risco para falhas posteriores, mas o estado do produto reparado precisa ser considerado no estudo.

3.7 A ANÁLISE DA CONFIABILIDADE, DISPONIBILIDADE E MANTENABILIDADE

O estudo de incertezas e fenômenos aleatórios cresce juntamente com a necessidade de otimização do desempenho dos sistemas. Na engenharia de confiabilidade esse estudo se destina a ocorrências de falhas, por exemplo. Tais fenômenos apresentam certa regularidade estatística que procede a partir do agrupamento e processamento de dados probabilísticos. (Kátia Lucchesi, 2000)

A análise da Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade (*Reliability, Availability and Maintainability - RAM*) é baseada nesse processamento de dados probabilísticos, utilizando-se variáveis aleatórias discretas e contínuas (Departamento de Defesa dos EUA, 1998). As variáveis aleatórias discretas apresentam apenas um valor dentro de um conjunto discreto de valores enquanto as contínuas apresentam um número infinito de valores. (Kátia Lucchesi, 2000)

Um exemplo de variável aleatória discreta é o número de falhas de um equipamento em um determinado período de tempo. Um exemplo de variável aleatória contínua é o tempo para que determinado equipamento falhe (Departamento de Defesa dos EUA, 1998). O presente trabalho estará focado então no uso da análise RAM.

3.8 CONFIABILIDADE DE SISTEMAS

Determinar a confiabilidade de um sistema ou linhas de produção como, por exemplo, as linhas de acabamento de bobinas, objeto de estudo deste trabalho, pode ser uma tarefa muito onerosa, cara e às vezes impraticável. Por conta disso, muitas das vezes recomenda-se realizar as análises de confiabilidade em subsistemas e componentes, e com o auxílio das teorias de confiabilidade de sistemas, pode-se a partir das análises de vida dos componentes extrair as informações do sistema de acordo com sua configuração. (Departamento de Defesa dos EUA, 1998)

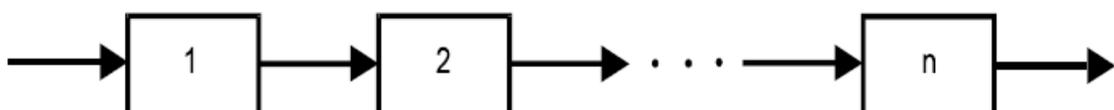
As configurações de sistemas são representadas por diagramas de blocos de confiabilidade, conhecidos como RBDs (*Reliability Block Diagrams*).

3.8.1 Sistema Série

Os componentes são considerados em série quando a falha de qualquer um deles provocar a falha de todo o sistema, ficando completamente inoperante. A confiabilidade do sistema é dada por (1):

$$R_s = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n \quad (1)$$

Figura 5: Sistema em Série

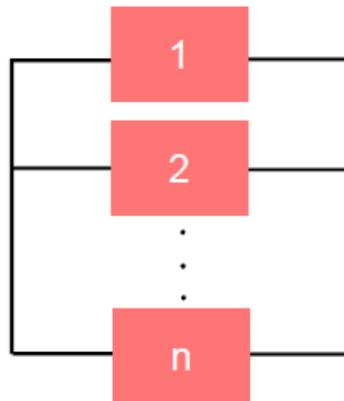


3.8.2 Sistema Paralelo

Os componentes trabalham paralelamente, mas juntos compõem o resultado final do sistema. Um sistema com itens conectados em paralelo (redundância), onde todos os itens necessitam falhar para que o sistema falhe. A confiabilidade do sistema é dada por (2):

$$R_s = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n)] \quad (2)$$

Figura 6: Sistema Paralelo



3.8.3 Sistema Série- Paralelo

São considerados os sistemas complexos com combinações de arranjos série e paralelo. A confiabilidade do sistema é determinada a partir da associação das confiabilidades dos seus subsistemas.

3.9. TEORIA DA MANTENABILIDADE

Em confiabilidade, um ativo excelente seria aquele que consegue permanecer um determinado período de tempo sem apresentar falhas, ou seja, Confiabilidade $R(t) = 1$. Já se falando em manutenibilidade, o objetivo é reparar o equipamento o mais rápido possível. Combinando-se alta confiabilidade com alta manutenibilidade o resultado é um ativo com alta disponibilidade. (Departamento de Defesa dos EUA, 1998)

Mantenabilidade, portanto, é uma medida de facilidade e rapidez em que se consegue reparar um equipamento ao seu estado original após sua falha.

De maneira análoga a teoria da confiabilidade, a manutenibilidade também é estudada a partir de parâmetros probabilísticos, variáveis aleatórias contínuas e discretas, e distribuições estatísticas. Um exemplo de variável aleatória discreta de manutenibilidade é o número de intervenções em um equipamento enquanto uma variável aleatória contínua seria o tempo para completar o reparo desse equipamento.

Uma boa maneira de se estudar a manutenibilidade é comparando-a com a confiabilidade. As funções são concebidas de maneira idêntica, basta substituímos os termos 't' (tempo para falha), λ (taxa de falha) e $F(t)$ (probabilidade de falha) por 't' (tempo para reparo), μ (taxa de reparo) e $M(t)$ (probabilidade de reparo) respectivamente. A figura 3.9.1 representa essa comparação.

Figura 7: Comparação das funções básicas de confiabilidade e manutenibilidade.

RELIABILITY	MAINTAINABILITY
<u>Time to Failure</u> (pdf) $f(t)$	<u>Time to Repair</u> (pdf) $g(t)$
<u>Reliability</u> $R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$	<u>Maintainability</u> $M(t) = \int_0^t g(t) dt$
<u>Failure Rate</u> $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$	<u>Repair Rate</u> $\mu(t) = \frac{g(t)}{1 - M(t)}$
<u>Mean-Time-to-Failure</u> $MTTF = \int_{-\infty}^{\infty} t f(t) dt$ $= \int_0^{\infty} R(t) dt$	<u>Mean Time to Repair</u> $MTTR = \int_{-\infty}^{\infty} t g(t) dt$

3.10 TEORIA DA DISPONIBILIDADE

O conceito de disponibilidade foi desenvolvido para componentes e sistemas reparáveis. É definido como a probabilidade de que um sistema esteja disponível, ou seja, que permita operação satisfatória em um determinado tempo (t). Em outras palavras disponibilidade é a combinação de parâmetros de confiabilidade e manutenibilidade. (Departamento de Defesa dos EUA, 1998)

3.10.1 Classificações De Disponibilidade, de acordo com Departamento de Defesa dos EUA, 1998.

3.10.1.1 Disponibilidade Instantânea ou Pontual – A(t)

Probabilidade de que um sistema esteja disponível para operação para um determinado tempo (t).(3)

$$A(t) = R(t) + \int_0^u R(t-u) * m(u) du \quad (3)$$

3.10.1.2 Disponibilidade média – Am(t2-t1)

É a proporção de tempo em um intervalo de t1 a t2 em que o sistema está disponível, dado por (4):

$$Am(t2 - t1) = \frac{1}{t2 - t1} \int_{t1}^{t2} A(t) dt \quad (4)$$

3.10.1.3 Disponibilidade operacional – A_o

A disponibilidade operacional é a disponibilidade que leva em consideração todas as paradas (corretivas, planejadas, logísticas, administrativas), é a verdadeira disponibilidade sentida pelo cliente. Dada por (5):

$$A_o = \frac{\textit{tempo disponível}}{\textit{tempo total de operação}} \quad (5)$$

3.10.1.4 Disponibilidade intrínseca ou Inerente – A_i

A disponibilidade inerente não leva em consideração parada administrativas, de logística e paradas de manutenção preventiva, ou seja, considera somente paradas de manutenção corretiva (6).

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (6)$$

3.11 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

A simulação de Monte Carlo é conhecida como qualquer método de uma classe de métodos estatísticos que se baseiam em amostragens aleatórias massivas para obter resultados numéricos, isto é, através de sucessivas simulações calcula-se probabilidades para solucionar problemas.

Segundo Benbow e Broome, 2009, na simulação Monte Carlo, cálculos repetidos do desempenho do sistema são feitos usando valores selecionados aleatoriamente com base nas distribuições de probabilidade que descrevem cada elemento do modelo. O grande número de valores de desempenho do sistema gerado pode ser usado para desenvolver uma distribuição de probabilidade do desempenho do sistema. A simulação Monte Carlo não envolve matemática complexa. Entretanto,

requer um uso extensivo do tempo do computador como cada evento possível do modelo deve ser repetidamente amostrado sobre o tempo de missão desejado.

Para este trabalho as simulações de Monte Carlo serão realizadas através do módulo *BlockSim* do software Synthesis da ReliaSoft.

4 ESTUDO DA ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE QUANTITATIVA

O estudo de engenharia de confiabilidade quantitativa foi realizado nos equipamentos que compõem o sistema Trem Acabador.

O trem acabador é a unidade de produção da linha de tiras a quente que transforma o esboço em tira com espessura que variam de 16 a 1 mm com padrões de qualidade exigidos pelo cliente

É constituído de seis cadeiras quádruplo, com quatro cilindros em cada uma, sendo dois cilindros de trabalho e dois cilindros de encosto, com comprimento aproximado de 30 metros e altura aproximada de 07 metros, situa-se após a terceira descarepação e as mesas de saída de refrigeração.

Tem a finalidade de reduzir progressivamente a espessura do esboço recebido do laminador desbastador com uma variação de espessura entre 1,0 mm a 16 mm, fornecendo a este esboço uma boa qualidade de acabamento

Os principais equipamentos do Trem Acabador são:

- Tesoura de Pontas
- Descarepação Secundária
- Sistema de Troca de Cilindro de Trabalho
- Cadeira de Laminação F1 a F6
- Medidor Multifunção

4.1 FORMAÇÃO DA BASE DE DADOS

Em um estudo de confiabilidade quantitativa, a qualidade da resposta depende da qualidade dos dados. Devido a isso, a coleta e tratamento dos dados constitui uma das principais etapas do estudo. Para assegurar uma melhor assertividade, foi utilizado as informações de registros tanto do sistema da operação, como o da manutenção.

Com o sistema da operação, foi possível coletar dados de tempo até a falha e tempo de reparo dos equipamentos das linhas, e o sistema informatizado de gestão da manutenção foi coletado informações referentes as manutenções preventivas,

preditivas e corretivas de cada equipamento, podendo assim identificar suas suspensões e os dados completos de falha.

Os dados das falhas foram classificados até seu último nível da unidade mínima substituível. O segundo nível é o local de instalação, o terceiro representa o equipamento, o quarto nível é o subsistema e o quinto nível é o item funcional, também chamado como *Lowest Replaceable Unit (LRU)*.

Segue abaixo modelo da figura com os dados das classificações por níveis. Os dados das falhas foram classificados até seu último nível da unidade mínima substituível.

Figura 8: Estratificação dos eventos por níveis de cadastro

2º NÍVEL	3º NÍVEL	4º NÍVEL	5º NÍVEL
TREM ACABADOR	TESOURA DE PONTAS	MEDIDAÇÃO DE LARGURA DO ESBOÇO NA SAÍDA DO DESECARÇÃO	PROCESSADOR PRINCIPAL - CPU 308E / 16
TREM ACABADOR	CADERA F1	ESTRUTURA CADERA	TRAVA SUPERIOR/INFERIOR SAÍDA LO CILINDRO TRAB
TREM ACABADOR	UNIDADE DE DESCAREPAÇÃO SECUNÁRIA	DESCAREPAÇÃO ENTRADA	MANGUEIRAS DO CHUVEIRO SUP. ENTRADA
TREM ACABADOR	CADERA F2	RETRAÇÃO DA MESA	CILINDRO HIDRÁULICO MESA RETRATIL
TREM ACABADOR	MEDIDOR MULTIFUNÇÃO DO LTO	PAINEL DE CONTROLE PRINCIPAL (HFMMFG01)	RACK VME
TREM ACABADOR	SISTEMA DE DESCAREPAÇÃO SECUNÁRIA	DESCAREPAÇÃO ENTRADA	SENSORES INDUTIVOS
TREM ACABADOR	CADERA F1	ESTRUTURA CADERA	CILINDRO TRABALHO SUPERIOR
TREM ACABADOR	CADERA F3	COMPONENTES ELÉTRICOS	SENSORES DE RETRAÇÃO / APROXIMAÇÃO DA MESA
TREM ACABADOR	SISTEMA DE DESCAREPAÇÃO SECUNÁRIA	DESCAREPAÇÃO SAÍDA	PROTEÇÃO DO CHUVEIRO INFERIOR
TREM ACABADOR	CADERA F2	COMPONENTES ELÉTRICOS	SENSORES DAS TRAVAS DOS CILINDROS
TREM ACABADOR	UNIDADE DE DESCAREPAÇÃO SECUNÁRIA	DESCAREPAÇÃO ENTRADA	CHUVEIRO SUPERIOR
TREM ACABADOR	SIST. LUBRIFICAÇÃO DO MÓRGOIL F1 A F6 - (LO-03) (VP)	DISTRIBUIÇÃO	MANGUEIRAS F-6
TREM ACABADOR	CADERA F6	ESTRUTURA CADERA	TRAVA SUPERIOR/INFERIOR SAÍDA LO CIL TRAB
TREM ACABADOR	CADERA F6	POSICIONADOR EIXOS TRANSMISSÃO	CONJUNTO DE POSICIONAMENTO INFERIOR DE ENTR
TREM ACABADOR	CADERA F6	POSICIONADOR EIXOS TRANSMISSÃO	CONJUNTO DE POSICIONAMENTO INFERIOR DE ENTR
TREM ACABADOR	TESOURA DE PONTAS	CONTROLE POSIÇÃO GUIA LATERAL C6 OS	TRANSMISSOR DE POSIÇÃO (TEMPSONIC III) MB150
TREM ACABADOR	SIST. LUBRIFICAÇÃO DO MÓRGOIL F1 A F6 - (LO-03) (VP)	MED. TEMP. OLEO SAÍDA INF. F6 LADO OS - L3 - VP4-TIA	TRANSMISSOR TEMP. OLEO SAÍDA SUP. F6 LADO OS
TREM ACABADOR	SISTEMA DE DESCAREPAÇÃO SECUNÁRIA	DESCAREPAÇÃO ENTRADA	VALVULAS DA DESCAREPAÇÃO
TREM ACABADOR	SIST. HIDRÁULICO PRINCIPAL F1 A F6 - (HY5) (US)	DISTRIB. HID. TRAVAS ROLOS TRABALHO F6	VALVULAS TRAVAS ROLOS TRABALHO F6
TREM ACABADOR	SIST. HIDRÁULICO PRINCIPAL F1 A F6 - (HY5) (US)	DISTRIB. HID. TRAVAS ROLOS TRABALHO F5	VALVULAS
TREM ACABADOR	CADERA F1	CONTROLE ROLL GAP LUBRIFICATION F1	BICOS INFERIORES
TREM ACABADOR	CADERA F3	GUARDA LO	ESTRUTURA GUARDA LO
TREM ACABADOR	SIST. HIDRÁULICO AUXILIAR F1 A F6 - (HY4) (UT)	MEDIDAÇÃO DE TEMPERATURA OLEO TANQUE - HY4 - UT4	SENSOR CONTROLE TEMP. OLEO TANQUE HY4 - UT4
TREM ACABADOR	SISTEMA DE DESCAREPAÇÃO SECUNÁRIA	REGULAGEM ALTURA DOS CHUVEIROS ENTRADA	CILINDRO HIDRÁULICO LO
TREM ACABADOR	CADERA F1	COMPONENTES ELÉTRICOS	SENSORES DE RETRAÇÃO/APROXIMAÇÃO MESA
TREM ACABADOR	SISTEMA DE TROCA DE CILINDRO DE TRABALHO F1 A F6	TRANSLAÇÃO DO CARRO	DRIVE DO MOTOR DA TRANSLAÇÃO DO CARRO TROC
TREM ACABADOR	CADERA F3	AVENTAL MÓVEL SUPERIOR	ESTRUTURA
TREM ACABADOR	SIST. LUBRIFICAÇÃO DO MÓRGOIL F1 A F6 - (LO-03) (VP)	DISTRIBUIÇÃO	MANGUEIRAS F-5
TREM ACABADOR	GUIA DE SAÍDA DA CADERA F3	AVENTAL MÓVEL SUPERIOR	RASPADOR DE CELERON SUPERIOR DA GUIA DE SAÍ
TREM ACABADOR	CADERA F5	COMPONENTES ELÉTRICOS	SENSORES DAS TRAVAS DOS CILINDROS
TREM ACABADOR	CADERA F5	COMPONENTES ELÉTRICOS	SENSORES DAS TRAVAS DOS CILINDROS

Fonte: O autor utilização da base de dados de sistema de manutenção.

Os dados foram classificados para cada LRU, com as informações da data de ocorrência, a duração e o tipo de classificação (falha ou suspensão). Segue abaixo modelo dos dados.

Figura 9: Detalhes dos dados LRU.

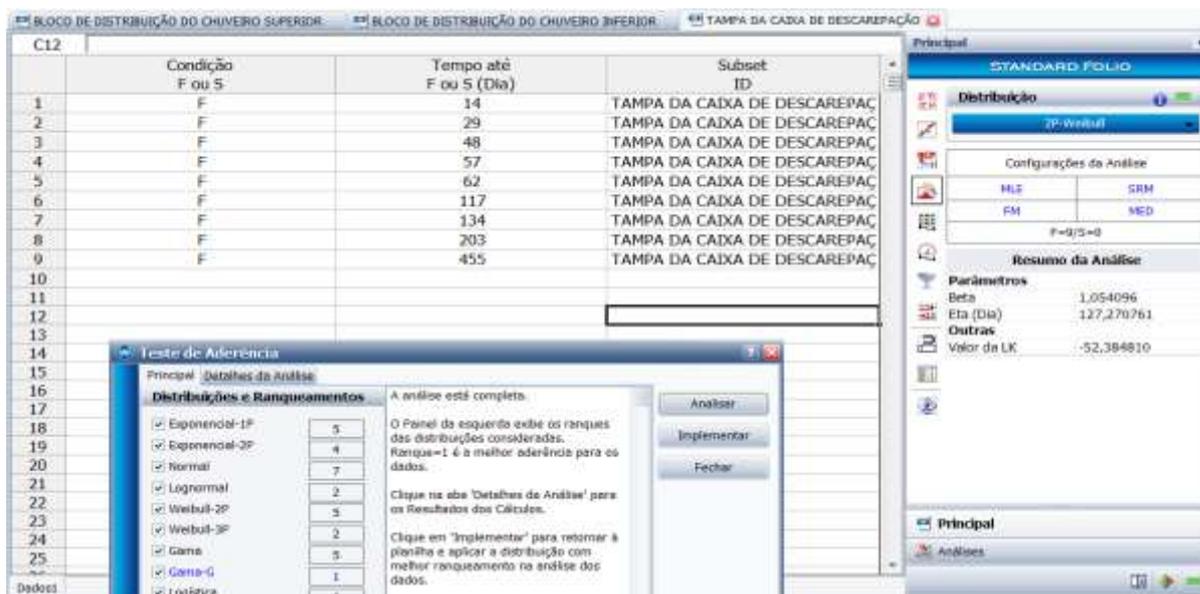
DATA	DURAÇÃO	LRU	MTBF	
27/12/2016	48	PAINEL DE CONTROLE PRINCIPAL HFMMFG01		
31/12/2016	232	PAINEL DE CONTROLE PRINCIPAL (HFMMFG01)	4	F
15/03/2017	80	PAINEL DE CONTROLE PRINCIPAL (HFMMFG01)	74	F
03/06/2017	2	PAINEL DE CONTROLE PRINCIPAL (HFMMFG01)	80	F
01/08/2017			59	S
DATA	DURAÇÃO	LRU	MTBF	
04/09/2014	90	CAÇAMBA DE APARAS N°3		
20/10/2014	60	CAÇAMBA DE APARAS N°3	46	F
02/06/2015	90	CAÇAMBA DE APARAS N°3	225	F
30/08/2016	SUSP	CAÇAMBA DE APARAS N°3	455	S
03/01/2017	60	CAÇAMBA DE APARAS N°3	126	F
26/01/2017	50	CAÇAMBA DE APARAS N°3	23	F
06/06/2017	120	CAÇAMBA DE APARAS N°3	131	S
DATA	DURAÇÃO	LRU	MTBF	
09/07/2014	SUSP	TAMPA DA CAIXA DE DESCAREPAÇÃO		
28/01/2015	90	TAMPA DA CAIXA DE DESCAREPAÇÃO	203	F
25/05/2015	120	TAMPA DA CAIXA DE DESCAREPAÇÃO	117	F
23/06/2015	60	TAMPA DA CAIXA DE DESCAREPAÇÃO	29	F
24/08/2015	40	TAMPA DA CAIXA DE DESCAREPAÇÃO	62	F
21/11/2016	89	TAMPA DA CAIXA DE DESCAREPAÇÃO	455	F
17/01/2017	30	TAMPA DA CAIXA DE DESCAREPAÇÃO	57	F
31/05/2017	60	TAMPA DA CAIXA DE DESCAREPAÇÃO	134	F
14/06/2017	60	TAMPA DA CAIXA DE DESCAREPAÇÃO	14	F
01/08/2017			48	S

Fonte: O autor utilização da base de dados de sistema de manutenção.

4.2 ANÁLISE DOS DADOS DE VIDA

Os dados de cada LRU depois de tratados foram inseridos no software Weibull 7++ da Reliasoft, no qual foi possível através das análises de dados de vida modelar quais as melhores distribuições de confiabilidade e manutenibilidade.

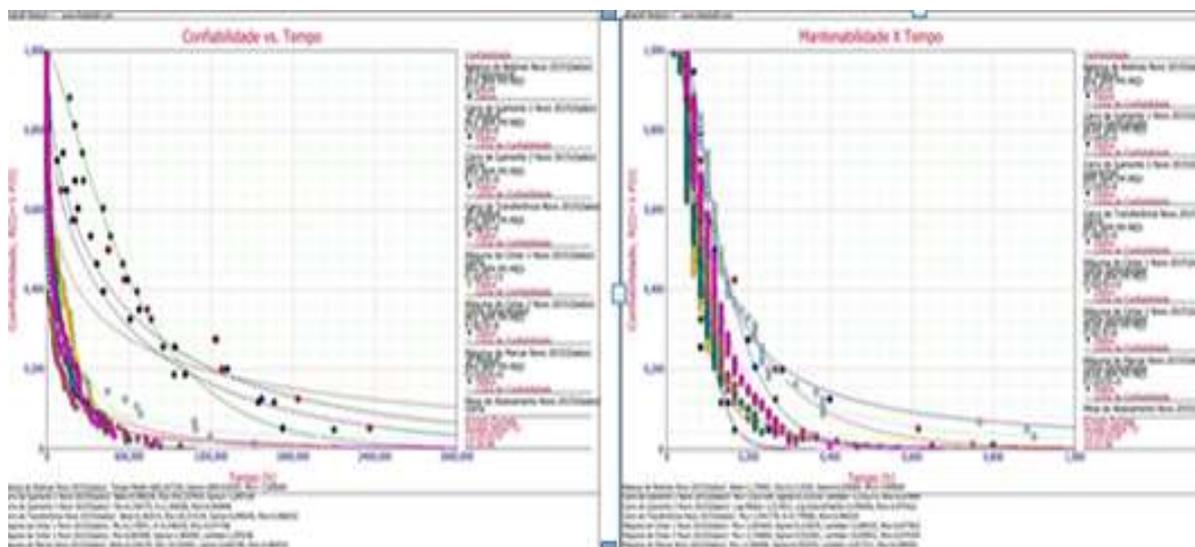
Figura 10: Dados inseridos no Weibull 7 ++



Fonte: o autor utilização do software Weibull ++, versão 11 – 2017

O teste de aderência ratificou as melhores distribuições de vida, e a partir delas foi possível encontrar e avaliar seus respectivos parâmetros. Segue abaixo as distribuições de confiabilidade e manutenibilidade de cada LRU.

Figura 11: Curvas de confiabilidade e manutenibilidade



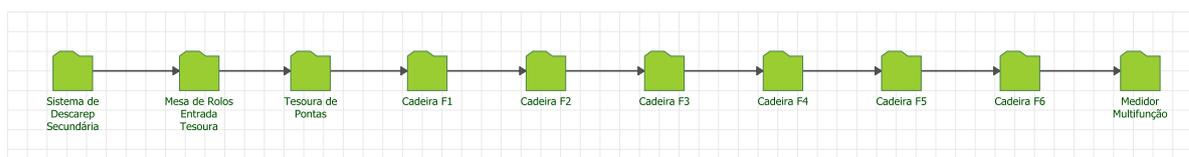
Fonte: o autor utilização do software Weibull ++, versão 11 – 2017

Para um melhor aproveitamento e utilização dos parâmetros das distribuições de vida, foi realizada a publicação dentro do aplicativo Synthesis para ser aproveitado no *BlockSim*.

4.3 DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE (RBD)

A partir do layout físico da área do Trem Acabador, foi criado o diagrama de blocos de confiabilidade. Cada nível equipamento foi agrupado em série, onde cada um possui subdiagrama com o arranjo de todos os LRU's. Segue abaixo a representação dos blocos pai.

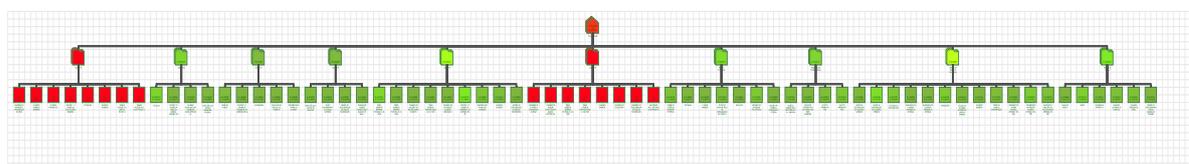
Figura 12: Arranjo dos blocos pai em série.



Fonte: O autor utilização do software BlockSim versão 11 – 2017

O digrama FRED (Failure Reporting, Evaluation and Display) apresenta o arranjo completo com todos os níveis.

Figura 13: Diagrama FRED



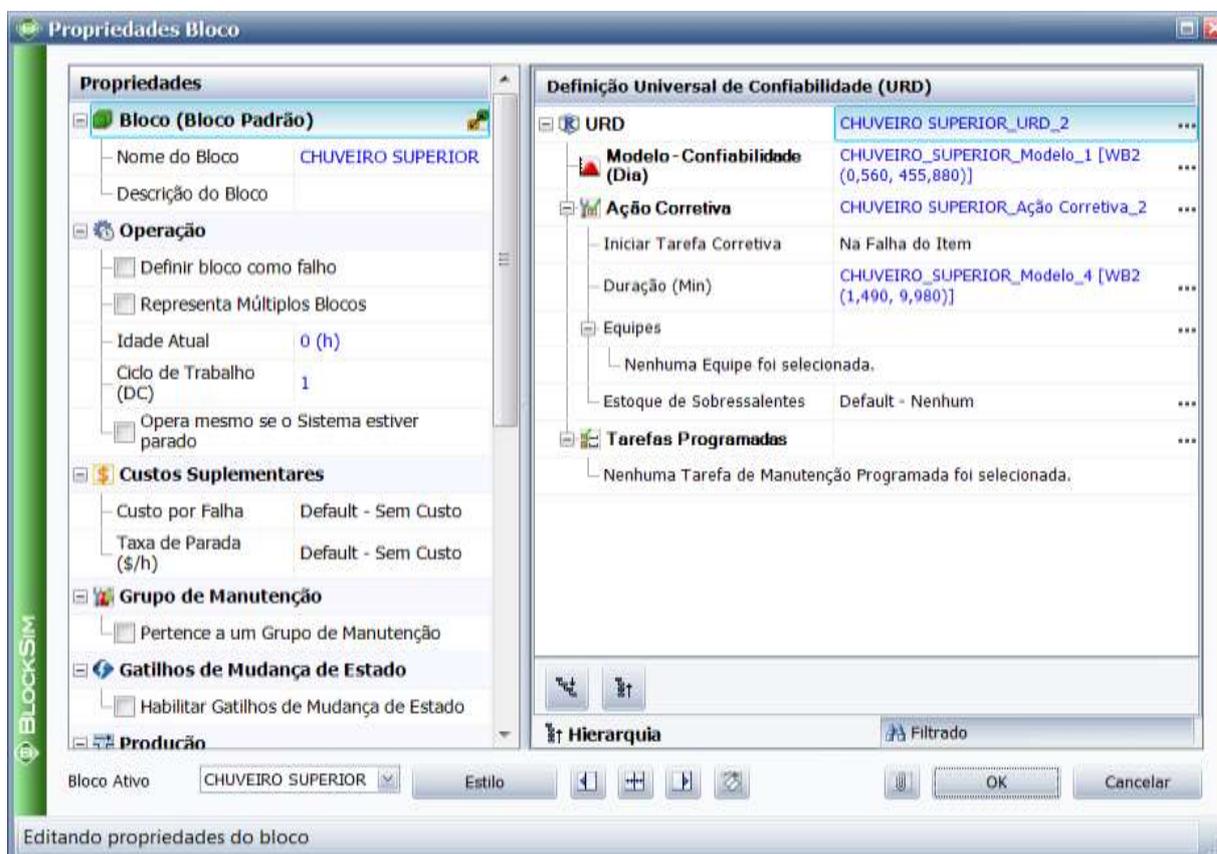
Fonte: O autor utilização do software BlockSim versão 11 – 2017

4.4 MODELAGEM DOS BLOCOS

Cada bloco foi modelado com a melhor configuração de distribuição, tanto para o tempo até falhas, quanto para a distribuição do tempo de reparo (confiabilidade e manutenibilidade). As particularidades como planos de manutenção, de inspeção, e

descrição de equipes, também foram contemplados. Não foi considerado os dados de operação e custo de produção e sobressalentes. Segue abaixo modelo da modelagem de um bloco.

Figura 14: Modelagem de cada bloco.



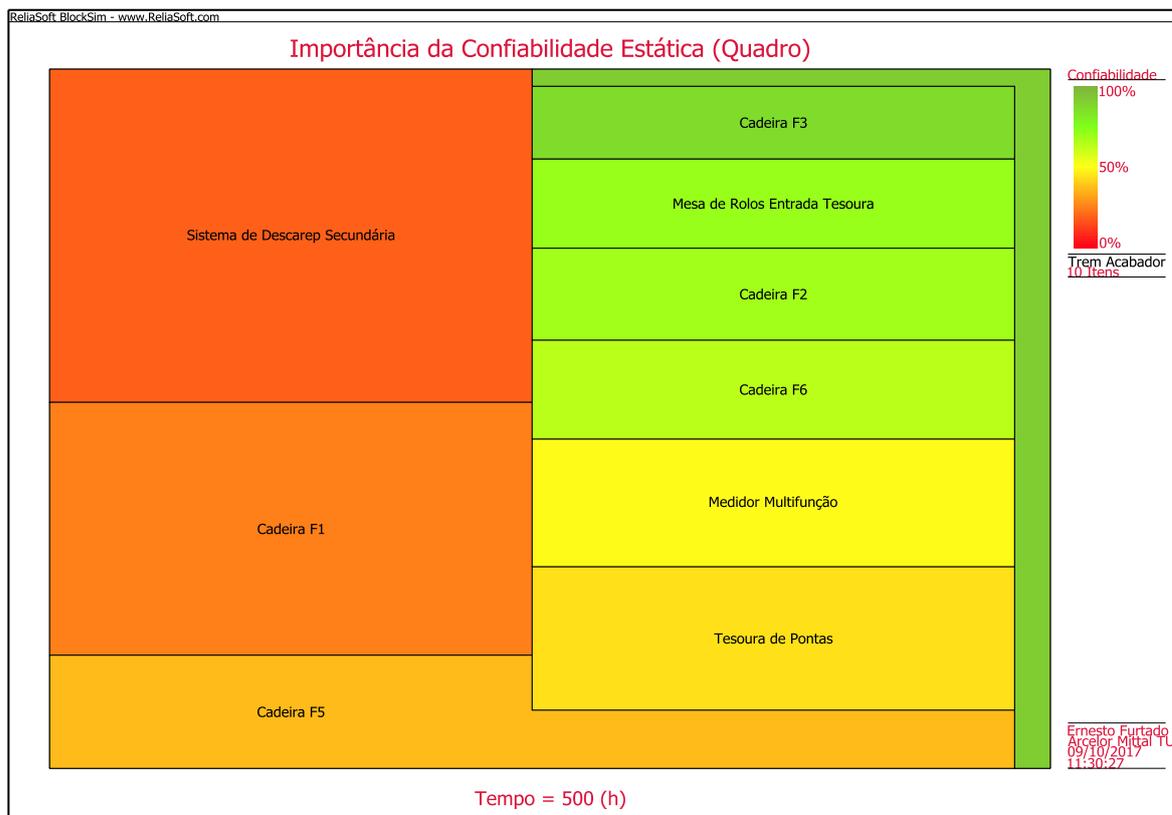
Fonte: O autor utilização do software BlockSim versão 11 – 2017

4.5 ESTUDO ANALÍTICO

Para um primeiro momento, foi realizada análise analítica para identificar a confiabilidade geral no sistema. Nessa análise, a mantenedibilidade não é considerada. Nesse estudo, podem-se determinar os equipamentos mais críticos para a confiabilidade e realizar alocações de confiabilidade modificando o arranjo.

Essa análise se torna viável quando se trata de mudança de projeto e arranjo físico. Para o estudo em questão, será considerado os “Bad Actors” para realização de demais estudos qualitativos de confiabilidade. Segue abaixo gráfico com os equipamentos classificados pela sua importância na confiabilidade do sistema.

Figura 15: Quadro da importância da Confiabilidade Estática.

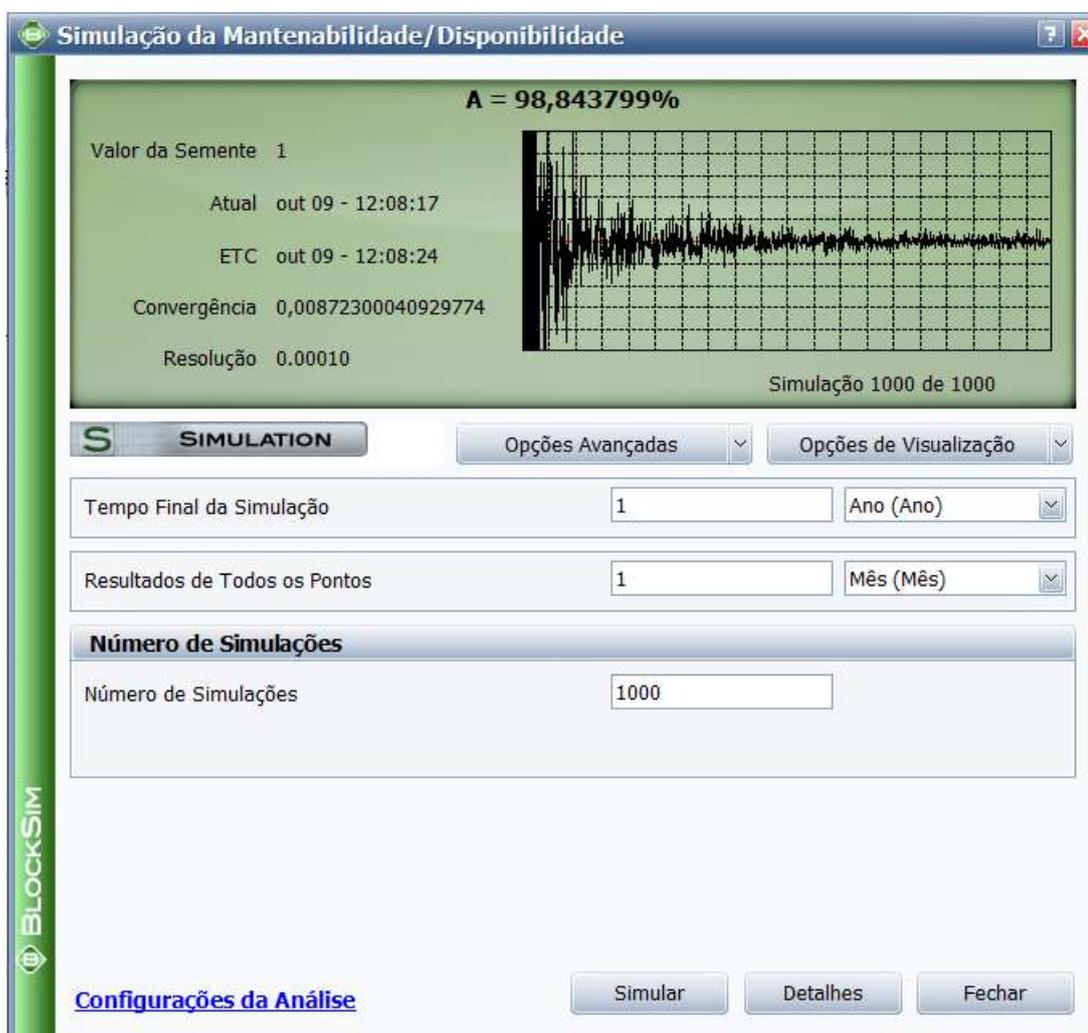


Fonte: O autor utilização do software BlockSim versão 11 – 2017

4.6 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

A análise RAM (Reliability, Availability Maintainability) foi realizada no software *BlockSim*, através do método de Monte Carlo. Foi projetado um tempo de simulação para um ano. A análise da disponibilidade torna-se mais eficiente durante esta análise, pois englobam as informações inseridas de confiabilidade, manutenibilidade e paradas por manutenção programada.

Figura 16: Simulação de Monte Carlo.



Fonte: O autor utilização do software BlockSim versão 11 – 2017

5 CONCLUSÕES

O resultado deste trabalho fornece uma variedade de informações de cada item, onde se torna possível tomar ações individuais com cada comportamento diferente.

Para um ano de simulação, a disponibilidade média do sistema foi de 98% e a quantidade de falhas esperadas foi de 125 ao ano.

Através dos resultados da simulação, pode-se observar o cenário futuro projetado quanto aos comportamentos de cada item funcional. A tabela abaixo apresenta informações importantes para tomadas decisórias, principalmente quanto ao ciclo orçamentário, onde é possível fazer previsões de estoques de sobressalentes e tempo de improdutividade, bem como quais equipamentos apresentarão os piores desempenhos.

Figura 17: Visão geral dos blocos de confiabilidade.

Resumo Individual de Blocos											
Nome do Bloco (Diagrama)	RS FCI	RS DECI	RS DTOI	Disp. Média (Todos Eventos)	Disp. Média (sem MP, DC e RP)	# Esperado Falhas	Eventos de Parada do Sistema	Tempo Indisponível do Bloco (Dia)	Tempo Disponível do Bloco (Dia)	Quantidade de MCs	Tempo Indisponível da MC (Dia)
SENSORES DE RETRAÇÃO E APROXIMAÇÃO DA MESA (Cadeira F)	0,59%	0,59%	0,09%	0,999989	0,999989	3,791	3,791	0,020206	824,979794	3,791	0,020206
CLINDRO TRABALHO SUPERIOR (Cadeira F)	2,83%	2,83%	1,45%	0,999825	0,999825	18,104	18,104	0,316778	824,683222	18,104	0,316778
CLINDRO PNEUMÁTICO (Cadeira F)	0,63%	0,63%	1,02%	0,999877	0,999877	4	4	0,225061	824,774939	4	0,225061
FR2SXIS FISENSOR DA SAÍDA DE SAÍDA INSERIDA (Cadeira F)	1,85%	1,85%	1,02%	0,999869	0,999869	7,593	7,593	0,257952	824,742448	7,593	0,257952
ESTRUTURA (Cadeira F)	1,97%	1,97%	0,75%	0,999868	0,999868	7,461	7,461	0,168077	824,831923	7,461	0,168077
CHUVEIRO SUPERIOR (Cadeira F)	0,54%	0,54%	0,10%	0,999868	0,999868	3,461	3,461	0,027407	824,978593	3,461	0,027407
TRANS POSICAO CVC BWRXS PHSOTM (Cadeira F)	2,20%	2,20%	1,85%	0,999866	0,999866	14,072	14,072	0,255749	824,744251	14,072	0,255749
TRANS POSICAO HSC DS XS PEBOTQ (Cadeira F)	0,53%	0,53%	0,16%	0,999866	0,999866	3,404	3,404	0,039574	824,984326	3,404	0,039574
VALVULAS (Cadeira F)	2,18%	2,18%	0,35%	0,999867	0,999867	14,013	14,013	0,077818	824,922182	14,013	0,077818
S27 F2 SENSOR DA TRAVA DO BRINDE INFERIOR DE (Cadeira F)	0,99%	0,99%	0,16%	0,999868	0,999868	6,336	6,336	0,036164	824,963836	6,336	0,036164
MOTROR HIDRAULICO DO TRANQUETE SAÍDA INFERIOR LA (Cadeira F)	1,97%	1,97%	4,46%	0,999462	0,999462	7,483	7,483	0,582467	824,417533	7,483	0,582467
SERVO VALVULA TOP BUR BALANCO PSIVHSZ (Cadeira F)	0,60%	0,60%	0,16%	0,999863	0,999863	3,862	3,862	0,030349	824,969651	3,862	0,030349
S28 F3 SENSOR DA TRANQUETE WR SUPERIOR DE SA (Cadeira F)	2,88%	2,88%	0,70%	0,999866	0,999866	18,425	18,425	0,153885	824,946115	18,425	0,153885
BASES DE FIXAÇÃO (Cadeira F)	2,66%	2,66%	1,30%	0,999843	0,999843	16,996	16,996	0,286347	824,719653	16,996	0,286347
MANGUEIRAS (Cadeira F)	1,57%	1,57%	1,58%	0,999809	0,999809	10	10	0,348304	824,651696	10	0,348304
TRAVA SUP INF SAÍDA LOCIL TRABALHO (Cadeira F)	0,73%	0,73%	0,74%	0,999811	0,999811	4,675	4,675	0,162016	824,837984	4,675	0,162016
SENSORES DAS TRAVAS DO CLINDRO (Cadeira F)	0,54%	0,54%	0,24%	0,999872	0,999872	3,466	3,466	0,091921	824,948079	3,466	0,091921
SERVO VALVULA GROUPDS PEFHSAZ (Cadeira F)	0,99%	0,99%	0,70%	0,999896	0,999896	6,307	6,307	0,16332	824,83668	6,307	0,16332
BLOCO BALANÇAMENTO LOCIL SAÍDA SUPERIOR (Cadeira F)	1,49%	1,49%	0,65%	0,999882	0,999882	9,549	9,549	0,146203	824,853297	9,549	0,146203
SENSOR DO POSICIONADOR DO EIXO DE TRANSMISSÃO (Cadeira F)	0,90%	0,90%	0,05%	0,999828	0,999828	5,779	5,779	0,034631	824,965369	5,779	0,034631
OUTOR POSICAO STEPED THRUST BLOCKS TOP ROLL P (Cadeira F)	0,62%	0,62%	0,65%	0,999896	0,999896	3,983	3,983	0,090062	824,893638	3,983	0,090062
TRAVA SUPERIOR INFERIOR ENTRADA LOCIL TRAB (Cadeira F)	1,73%	1,73%	0,75%	0,999895	0,999895	11,075	11,075	0,066883	824,916317	11,075	0,066883
TRAVA SUPERIOR INFERIOR SAÍDA LOCIL TRAB (Cadeira F)	0,47%	0,47%	0,45%	0,999846	0,999846	3	3	0,088775	824,901225	3	0,088775
MOTROR POSICAO TOP BUR BALANCO PHSOTM (Cadeira F)	0,99%	0,99%	3,10%	0,999825	0,999825	58,067	58,067	0,694885	824,37675	58,067	0,694885
TRANSUTOR DE POSICAO CLINDRO HIDRAULICO (Cadeira F)	0,71%	0,71%	1,55%	0,999813	0,999813	4,523	4,523	0,141303	824,858697	4,523	0,141303
S27 F3 SENSOR DA TRANQUETE WR SUPERIOR DE EN (Cadeira F)	0,56%	0,56%	0,05%	0,999894	0,999894	3,555	3,555	0,071124	824,988876	3,555	0,071124
SENSORES DAS TRAVAS DOS CLINDROS (Cadeira F)	1,85%	1,85%	1,61%	0,999805	0,999805	7,572	7,572	0,399536	824,844464	7,572	0,399536
CHUVEIRO SUPERIOR (Cadeira F)	0,67%	0,67%	0,47%	0,999844	0,999844	5,585	5,585	0,102323	824,887072	5,585	0,102323
SENSOR DO POSICIONADOR DO EIXO DE TRANSMISSÃO (Cadeira F)	0,75%	0,75%	0,67%	0,999899	0,999899	4,768	4,768	0,147319	824,852681	4,768	0,147319
SENSORES DE RETRAÇÃO APROXIMAÇÃO DA MESA (Cadeira F)	0,34%	0,34%	0,10%	0,999886	0,999886	2,193	2,193	0,024702	824,975298	2,193	0,024702
OUTOR POSICAO STEPED THRUST BLOCKS BOT TOM ROL (Cadeira F)	1,73%	1,73%	1,33%	0,999864	0,999864	11,058	11,058	0,249338	824,750662	11,058	0,249338
TRAVA SUPERIOR INFERIOR ENTRADA LOCIL TRAB (Cadeira F)	1,18%	1,18%	1,18%	0,999891	0,999891	5,701	5,701	0,198791	824,916709	5,701	0,198791

Fonte: O autor utilização do software BlockSim versão 11 – 2017

Com a interpretação dos dados acima, torna-se mais assertivo a tomada de medidas preventivas eficazes no tratamento para melhorar confiabilidade, manutenibilidade, redução de estoques de sobressalentes, alteração nos intervalos ótimos de manutenção, e apoio na otimização de recursos para orçamentos.

Trabalhos futuros poderão explorar os resultados da simulação, acrescentando as informações de produção, a fim de se obter previsões quanto à capacidade de produção da planta, através de simulações de cenários futuros de alocação de confiabilidade.

O estudo de otimização de sobressalentes e de intervalos de manutenção, podem ser complementados a partir dos dados de falhas estimados na simulação de Monte Carlo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCELORMITTAL TUBARÃO. Álbum interno de fotografias. Vitória, 2017.
- ARCELORMITTAL TUBARÃO. Desenhos Técnicos das Linhas de Acabamento. Vitória, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 37 p, 1994.
- CATÁLOGO DE PRODUTOS LAMINADOS – Edição 2015 – ArcelorMittal Aços Planos América Latina – Brasil, 2015.
- CMMS - Sistema informatizado de gestão de manutenção da ArcelorMittal Tubarão – SISMANA, 2017.
- CONFIABILIDADE E MATENABILIDADE – terminologia. Rio de Janeiro, 1994.
- DISPONIBILIDADE. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- Fogliatto, F.S.; Ribeiro, J.L.D.; (2009), “Confiabilidade e manutenção industrial,” Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- KARDEC, A.; NASCIF J. Manutenção: função estratégica. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.
- Kátia Lucchesi Cavalca – Apostila Confiabilidade de sistemas – Departamento de Projeto Mecânico – FEM – UNICAMP – 2000;
- LAFRAIA, João Ricardo B. Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade, Rio de Janeiro, 2013.
- Manuais de operação e manutenção do laminador de tiras linhas de Acabamento da ArcelorMittal Tubarão
- MOUBRAY, J., Reliability-centered maintenance. 2 ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.
- Qualytek, Cálculo matemático, Rio de Janeiro, 2001.
- RELIASOFT CORPORATION a, Weibull++ 7.0 Software Package, Tucson, AZ,2007.
- RELIASOFT CORPORATION b, BlockSim 7 Software Package, Tucson, AZ, 2007.
- ReliaSoft. Apostila treinamento RS 401 – Análise de dados de vida. 2012;
- RELIASOFT. APOSTILA TREINAMENTO RS 522 – CONFIABILIDADE DE SISTEMAS AVANÇADOS. 2012;
- SEIXAS, Eduardo. Confiabilidade aplicada na Manutenção, Rio de Janeiro, 2011.

XENOS, Harilaus G.P. Gerenciando a manutenção produtiva. Belo Horizonte: EDG, 1998.