

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

AINER KJAER PRETTI ZAMPROGNO

**ANÁLISE E DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DO STACKER
RECLAIMER UTILIZADO EM UM PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

AINER KJAER PRETTI ZAMPROGNO

**ANÁLISE E DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DO STACKER
RECLAIMER UTILIZADO EM UM PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO**

Monografia apresentada como requisito parcial para a 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

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE E DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DO STACKER RECLAIMER UTILIZADO EM UM PROCESSO DE SINTERIZAÇÃO

por

Ainer Kjaer Pretti Zamprogno

Esta monografia foi apresentada em 01 de Setembro de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno Ainer Kjaer Pretti Zamprogno 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. Marcelo Rodrigues, Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Wanderson Stael Paris, MSc.
Membro Titular da Banca - UTFPR

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

Dedico este trabalho a minha esposa Ana Lucia Pereira Aliprandi Zamprogno, que sempre me apoiou no meu desenvolvimento pessoal e profissional, sempre presente nos momentos difíceis. Aos meus filhos, Arthur, Augusto, Álvaro e Alberto, por me darem forças para enfrentar as dificuldades da vida e renovarem minhas energias sempre ao retornar para casa. E por fim, mas não menos importante, ao meu pai Ilton Zamprogno, que sempre foi uma fonte de inspiração para mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng, pela paciência comigo e com nossa turma nesta trajetória, foram muitos “hora do intervalo” que teve de aguentar.

Aos meus colegas de sala, em especial, Gustavo V., Fabiano S, Gabriel K., Sergio P., Leandro P. e Gustavo F.

Aos colegas de trabalho que me apoiaram com dados, ideias e informações, em especial, Maykon S.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

E por fim a todos os que contribuíram indiretamente para a realização desta pesquisa.

RESUMO

ZAMPROGNO, Ainer. **Determinação da disponibilidade e dos principais modos de falhas do *Stacker Reclaimer* – 3 da Sinterização**. 2019. 53 (Páginas). Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

A ArcelorMittal Tubarão é uma empresa siderúrgica, no segmento de aços planos, possui uma produção sequenciada, com três grandes áreas, Gusa, Aciaria e LTQ, as quais produzem Ferro gusa, Placa de aço e Bobina de Aço, respectivamente, logo todo o processo tem seu início na área do Gusa, que por sua vez, possui três divisões macro, são elas a Sinterização, a Coqueria e os Alto Fornos, que produzem Sínter, Coque e o Gusa respectivamente. A área da Sinterização tem duas principais funções, produzir Sínter e alimentar os Altos Fornos com matéria prima. Esse processo produtivo de aço é contínuo e interrupto, caso uma dessas áreas pare todo o processo produtivo pode vir a parar, dependendo do tempo de duração deste evento, sendo assim, o controle de paradas é algo estratégico dentro deste processo. Os maiores tempos de paradas normalmente são do tipo preventivo, para manter os equipamentos, e reestabelecer sua confiabilidade, de modo que operem por 24h até sua próxima campanha. Um dos maiores desafios da manutenção na Sinterização é alcançar a disponibilidade de seus ativos, mantendo o custo dentro do orçamento base, com os recursos humanos pré-determinados, sem acidentes e sem impactos ambientais de forma a garantir estabilidade da planta e conseqüentemente do processo. Buscando aumentar a confiabilidade da área da Sinterização foi selecionado um de seus equipamentos o *Stacker Reclaimer* - 3 (SR-3) para realizar uma análise de sua disponibilidade e identificação dos principais modos de falhas. Neste trabalho verificou-se que o modo de falha que teve a maior indisponibilidade foi o de Falha no motor do Truck de Translação, seria interessante realizar uma análise de falha (RCA) para se aprofundar na(s) causa(s) raiz(zes).

Palavras-chave: Confiabilidade. Sinterização. Análise RAM. Máquinas móveis. *Stacker Reclaimer*.

ABSTRACT

ZAMPROGNO, Ainer. **Determining Stacker Reclaimer Availability and Major Failure Modes – 3 of Sintering**. 2019. 53 (Pages). Monography (Reliability Engineering Specialization) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

ArcelorMittal Tubarão is a steel company, in the flat steel segment, has a sequenced production, with three large areas, Ironmaking, Steel works and Hot Strip Mill, which produce pig iron, steel plate and steel coil, respectively, then the whole process. It has its beginning in the Ironmaking area, which in turn has three macro divisions, Sintering, Coke Plant and Blast Furnaces, which produce Sinter, Coke and pig iron respectively. The Sintering area has two main functions, producing Sinter and feeding the Blast Furnaces with raw material. This steel production process is continuous and interrupted, if one of these areas stops, the entire production process may stop, depending on the duration of this event, so stop control is strategic within this process. The longest downtimes are usually preventative to maintain equipment and restore reliability so that they operate 24 hours until your next campaign. One of the biggest challenges of maintaining sintering is to achieve the availability of its assets, keeping the cost within the base budget, with predetermined human resources, without accidents and without environmental impacts in order to ensure plant stability and consequently the process. In order to increase the reliability of the Sintering area, one of its Stacker Reclaimer - 3 (SR-3) equipment was selected to perform an analysis of its availability and to identify the main failure modes.

In this work it was found that the mode of failure that had the greatest unavailability was the Engine Failure of the Translation Truck, it would be interesting to make a root failure analysis (RCA) to find the root cause(s).

Key words: Reliability. Sintering RAM analysis. Mobile machines. Stacker Reclaimer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1.	Ilustração de Sínter produto.....	15
Figura 1.2.	Ilustração de pilha de minério de ferro.....	16
Figura 1.3.	Ilustração de pelotas de minérios de ferro armazenada em pátio...	16
Figura 1.4.	Ilustração de Coke (combustível).....	17
Figura 1.5.	Ilustração de uma Máquina de Sínter	18
Figura 1.6.	<i>Stacker Reclaimer</i>	18
Figura 1.7.	Pátio de matérias primas.....	19
Figura 1.8.	Roda de caçamba do SR-3 limpa e após alguns minutos em operação, ilustrando a dificuldade de escoamento do material.....	20
Figura 1.9.	Calha do SR-3 limpa e após alguns minutos em operação, ilustrando a dificuldade de escoamento do material.....	20
Figura 2.1.	Vista do site da ArcelorMittal Tubarão	22
Figura 2.2.	Desenho 3D do <i>Stacker Reclaimer - 3</i>	23
Figura 3.1.	Representação de dados completos.....	27
Figura 3.2.	Representação de dados censurados à direita ou suspensos.....	27
Figura 3.3.	Representação de dados censurados por intervalos	28
Figura 3.4.	Representação de dados censurados à esquerda.....	28
Figura 3.5.	Ilustração gráfica do Método de Regressão Linear.....	32
Figura 3.6.	Ilustração gráfica do método da máxima verossimilhança.....	32
Figura 3.7.	Representação do intervalo de confiança unilateral inferior.....	33
Figura 3.8.	Representação do intervalo de confiança unilateral superior.....	34
Figura 3.9.	Representação do intervalo de confiança bilateral.....	34
Figura 3.10.	Representação do coeficiente de correlação da regressão linear...	35
Figura 3.11.	Curva da banheira.....	37
Figura 3.12.	Arranjo Simples.....	40
Figura 3.13.	Arranjo Paralelo	41
Figura 4.1.	Carregamento dos dados dos tempos entre falhas no Weibull++...	46
Figura 4.2.	Ilustração da função Assistente de Distribuição do Weibull++	46
Figura 4.3.	Dados já carregados e calculados no Weibull++	47
Figura 4.4.	Figura ampliada com resultado dos calculados no Weibull++.....	47
Figura 4.5.	Carregamento dos dados dos tempos de reparo no Weibull++	48
Figura 4.6.	Diagrama de blocos dos modos de falhas do SR-3	49
Figura 4.7.	Tela do BlockSim ampliada ilustrando a inserção de dados do Modo de falha 1 do SR-3	49
Figura 4.8.	Tela do BlockSim ilustrando detalhes da inserção de dados do Modo de falha 1 do SR-3.....	50
Figura 4.9.	Tela do BlockSim ilustrando a execução do SR-3	51
Figura 4.10.	Ilustração de simulação do sistema do SR-3	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações técnicas do SR-3	24
Tabela 2 – Relação entre o resultado da correção e o grau de correção	35
Tabela 3 – Levantamento dos principais modos de falhas da SR-3	45
Tabela 4 – Resultados da análise RAM do SR-3.....	52
Tabela 5 – Resultados da análise RAM dos principais bad actors do SR-3	53

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

SR	<i>Stacker Reclaimer</i>
MS	Máquina de Sínter
PM	Pátio de Minério
BR	<i>Blender Reclaimer</i>
BS	<i>Blender Stacker</i>
TTF	<i>Time to failure</i> (Tempo até a falha)
TFE	Tempo Entre Falhas
DtFx	Data e hora da falha atual
DtFx-1	Data e hora do último reparo
TR	Tempo de Reparo
Dr	Data e hora da restauração do sistema
DtF	Data e hora da falha
MMV	Método da Máxima Verossimilhança
MLE	<i>Maximum Likelihood Estimation</i>
DTCI	<i>Down time critical index</i>
RCA	<i>Root Cause Analyze</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

T – é a variável aleatória

λ – é o parâmetro que representa a taxa de falha da variável aleatória

γ – é parâmetro de localização pouco utilizado e representa o deslocamento da distribuição

β (Beta) – é o parâmetro de forma ou inclinação da curva

η (Eta) – é o parâmetro de escala ou vida característica

γ (Gama) – é o parâmetro de localização e também chamado de vida mínima.

$t' = \ln(t)$ e t – é a variável aleatória ou os tempos até a falha

μ' – é a média do logaritmo natural dos tempos até a falha

σ' – é o desvio padrão dos logaritmos naturais dos tempos até a falha.

μ – é a média dos tempos até a falha

σ – é o desvio padrão dos tempos até a falha.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2	OBJETIVO.....	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	14
1.2.2	Objetivos Específicos	15
1.3	JUSTIFICATIVA	15
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	21
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	CONTEXTO DO OBJETIVO DE PESQUISA.....	22
2.1	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA.....	22
2.2	APRESENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO EM ANÁLISE (SR-3)	23
2.3	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	25
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	26
3.1	PARÂMETROS DA CONFIABILIDADE.....	26
3.1.1	Tipos de Amostras.....	26
3.1.2	Tipos de Dados	27
3.1.3	Distribuição Estatística e seus Parâmetros	28
3.1.3.1	Exponencial.....	29
3.1.3.2	Weibull.....	29
3.1.3.3	Log-Normal.....	30
3.1.3.4	Normal.....	30
3.1.4	Métodos para estimativa dos parâmetros das distribuições estatísticas	31
3.1.4.1	Método Regressão Linear	31
3.1.4.2	Método da Máxima Verossimilhança.....	32
3.1.5	Precisão	33
3.1.5.1	Unilateral Inferior	33
3.1.5.2	Unilateral Superior.....	33
3.1.5.3	Bilateral	34
3.1.6	Comparação e a Seleção da Distribuição Estatística Final	35
3.2	DEFINIÇÃO DE CONFIABILIDADE	36
3.3	DEFINIÇÃO DA MANTENABILIDADE	37
3.3.1	Probabilidade de ser reparado em um curto período	37
3.3.2	Probabilidade de ser reparado com um prazo desconhecido e longo ...	38
3.3.3	Probabilidade de ser reparado com um prazo conhecido	38
3.4	DEFINIÇÃO DE DISPONIBILIDADE	38
3.4.1	Disponibilidade Instantânea.....	39
3.4.2	Disponibilidade Média	39
3.4.3	Disponibilidade Assintótica.....	39
3.4.4	Disponibilidade Operacional.....	39
3.4.5	Disponibilidade Inerente	39

3.4.6	Disponibilidade Realizada	39
3.5	DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE	40
3.6	ANÁLISE RAM (CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE)	42
3.7	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	42
4	DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO	44
4.1	CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE BLOCOS	49
4.2	ANÁLISE RAM	50
4.3	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	54
5	CONCLUSÃO	55
5.1	CONCLUSÃO DO ESTUDO.....	55
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	56
	REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

A sinterização possui como principal ativo a máquina de Sínter, que é responsável por produzir todo o Sínter consumido nos altos fornos, seguida das máquinas móveis, também conhecidas como *Stacker Reclaimers* (SR), que são responsáveis por receber todos os minérios, pelotas e demais insumos e realizar manuseio (empilhar e remover) para abastecer tanto a máquina de sínter quanto os altos fornos. Sem as máquinas móveis a produção é paralisada. Estes ativos operam em regime de 24h, com paradas operacionais para realizar troca de pilhas, mudança de função, mudança de matéria prima, e com paradas para manutenção preventivas ao longo do ano, para substituir itens de desgaste e manter equipamentos que estão em final de vida útil, monitorados por técnicas preditivas. Além dessas, temos também as paradas corretivas às quais são as mais onerosas e indesejadas no processo.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

O estudo teve como foco a disponibilidade da SR-3 da Sinterização, não serão levados em consideração outros ativos ou componentes que não afetam este ativo.

O estudo não levará em consideração as paradas operacionais para determinação da disponibilidade. Será considerado um reparo *as good as new*, ou seja, um reparo que fique tão bom quanto novo.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar os principais modos de falhas e determinar a disponibilidade de forma quantitativa da máquina móvel *Stacker Reclaimer* - 3 (SR-3) da Sinterização da ArcelorMittal Tubarão.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Construção de um diagrama de blocos para modelar os modos de falha dos SR-3
- Definição da disponibilidade da SR-3 através da análise RAM, com foco nos apontamentos de manutenção.
- Identificar os principais *bad actors* que estão impactando a disponibilidade da SR-3.

1.3 JUSTIFICATIVA

A maior parte do custo de uma bobina de aço, produto final da usina, vem do ferro gusa produzido nos alto fornos (AFs).

A produção de ferro gusa é afetada principalmente pela qualidade de suas matérias primas e de seus combustíveis.

As matérias primas mais utilizadas na produção de ferro gusa é o sinter, minério de ferro e pelotas, conforme ilustrados nas Figura 1.1, Figura 1.2 e Figura 1.3.

Figura 1.1. Ilustração de Sinter produto



Fonte: *Primetals Technologies*, (2019)

Figura 1.2. Ilustração de pilha de minério de ferro.



Fonte: InfoMoney, (2019)

Figura 1.3. Ilustração de pelotas de minérios de ferro armazenada em pátio



Fonte: Aspermont Ltd, (2019)

Pode se observar na Figura 1.3, um local muito semelhante ao que o objeto de estudo do trabalho (SR-3) trabalha.

O combustível mais utilizado na produção de ferro gusa é o Coke, que possui baixa umidade, boa resistência mecânica e permeabilidade de gases. Segue ilustração deste combustível na Figura 1.4.

Figura 1.4. Ilustração de Coke (combustível)



Fonte: Alibaba, (2019)

A qualidade da matéria prima está diretamente ligada ao funcionamento contínuo dos ativos da sinterização, pois este ativo é responsável por alimentar os AFs, sempre que a máquina de síter (MS) para preventivamente ou corretivamente, a área do pátio de minério (PM) da sinterização, através de suas *Stacker Reclaimers* 1, 2 e 3 são demandadas em abastecer os AFs com síter do pátio, que é um material estocado para situações planejadas e de emergência.

Para se ter maior entendimento tanto da dimensão, quanto do ambiente em que os equipamentos acima descritos trabalham, segue na Figura 1.5, uma ilustração de uma máquina de sinterização, e segue na Figura 1.6 a ilustração do SR-3 na época de sua inauguração.

Figura 1.5. Ilustração de uma Máquina de Sínter



Fonte: ArcelorMittal Brasil SA., (2019)

Figura 1.6. *Stacker Reclaimer*



Fonte: ArcelorMittal Brasil SA, (2007)

A qualidade do sinter armazenado nos pátios de matérias primas é menor que a do sinter produzida em tempo real, pois estes possuem menor umidade, maior controle granulométrico, maior resistência mecânica, maior redutibilidade, dentre outras variáveis de processo. A utilização do material estocado contribui para

aumentar o consumo de combustível (coke), pois o material mais úmido precisa de mais energia para ser processado.

O pátio de matérias primas da ArcelorMittal Tubarão é ilustrada na Figura 1.7, onde é possível entender melhor a degradação da matéria prima, pois fica exposta ao sol e chuva o tempo que necessitar ficar ali armazenada. Para se minimizar este impacto é realizado o procedimento de consumir o material armazenado sempre na ordem contrária de sua formação, ou seja, sempre empilhar em um sentido e vir consumindo no mesmo sentido, porém no início da pilha, no caso, o lado mais velho, para manter o estoque o mais jovem possível.

Figura 1.7. Pátio de matérias primas



Fonte: ArcelorMittal Brasil SA, (2018).

Com o passar dos anos o fornecimento de minério de ferro vem ficando cada vez mais restrito, visto que as reservas naturais estão diminuindo, restando à parcela mais fina e de maior viscosidade, o que causa dificuldade no manuseio, seguida por entupimentos e agarramentos de materiais em vários pontos, seguem 2 exemplos de dificuldade de escoamento de material no SR-3 representados nas Figura 1.8 e Figura 1.9.

Figura 1.8. Roda de caçamba do SR-3 limpa e após alguns minutos em operação, ilustrando a dificuldade de escoamento do material.



Fonte: O Autor, (2019)

Figura 1.9. Calha do SR-3 limpa e após alguns minutos em operação, ilustrando a dificuldade de escoamento do material.



Fonte: O Autor, (2019)

Como observado nas Figura 1.8 e Figura 1.9 o cenário de recebimento de insumos vem piorando, esses entupimentos e dificuldade de escoamento estão sendo cada dia mais frequentes, ou seja, é uma nova realizada para o negócio, logo o tempo de utilização operacional do equipamento cairá e com isso será exigido aumentar a disponibilidade do ativo como forma de compensação destas perdas.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Silva e Menezes (2005), do ponto de vista dos procedimentos técnicos e dos objetivos, este trabalho trata-se de um estudo de caso e através de uma pesquisa exploratória, utilizando amostras casuais simples e observações individuais, com uma abordagem quantitativa, de natureza aplicada, o que significa traduzir em números informações para maiores conhecimentos e alcance dos objetivos desta pesquisa, com base em coleta de dados reais de processo, que serão tratadas em softwares específicos conforme metodologias aplicadas à engenharia de confiabilidade.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 mostra a introdução do projeto, premissas e problema de pesquisa, objetivos do estudo quantitativo e justificativa, além da classificação e estruturação desta pesquisa.

No capítulo 2 será abordada uma explicação técnica sobre o equipamento em estudo.

O capítulo 3 será abordada a metodologia que será utilizada neste estudo de caso.

O capítulo 4 aplica a metodologia para execução das duas fases desta pesquisa com o suporte de softwares específicos para a engenharia de confiabilidade (Weibull++ e BlockSim).

O capítulo 5 é a conclusão final do estudo, demonstrando os resultados da análise RAM e a sinalização dos principais *bad actors*.

Ao final do estudo serão apresentadas algumas propostas de trabalhos futuros e as referências bibliográficas.

2 CONTEXTO DO OBJETIVO DE PESQUISA

2.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

ArcelorMittal S.A. é um conglomerado industrial multinacional de empresas de aço com sede em Luxemburgo. Formada em 2006, pelo empresário de origem indiana Lakshmi Mittal a partir da fusão da Mittal Steel Company e da Arcelor, tornando-se o maior grupo siderúrgico do mundo. ArcelorMittal é a maior produtora de aço do mundo, com uma produção anual de aço bruto de 93,6 milhões de toneladas a partir de 2012.

A ArcelorMittal é presente em mais de 60 países, tem capacidade de produzir 130 milhões de toneladas de aço por ano e emprega cerca de 280 mil profissionais nas fábricas ao redor do mundo.

A ArcelorMittal Tubarão é uma das plantas do grupo ArcelorMittal, se localiza em Serra-ES, é uma planta integrada como visto, possui capacidade de produção anual de 7.5 milhões de toneladas de aço, sendo 3,5 milhões de placas e 4,0 milhões de laminados planos, possui mercado de seus produtos bem diversificado, atendendo a vários segmentos como automotivo, industrial, petrolífero, naval, dentre outros. Segue uma vista da planta da ArcelorMittal Tubarão na Figura 2.1, para melhor entendimento da amplitude e suas divisões macro.

Figura 2.1. Vista do site da ArcelorMittal Tubarão



Fonte: ArcelorMittal Brasil SA., (2018)

Como visto na Figura 2.1, esta planta contém as principais áreas no processo de produção de aço (coqueria, sinterização, redução nos AFs, aciaria, lingotamento contínuo, condicionamento de placas, laminador de tiras a quente e despacho no terminal portuário).

2.2 APRESENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO EM ANÁLISE (SR-3)

A Sinterização possui duas grandes áreas, a Máquina de Sínter, produtora de todo sínter da planta e o Pátio de Matérias Primas, responsável por manusear e abastecer a Máquina de Sínter e os Auto Fornos. O Pátio de matérias primas da Sinterização possui 5 grandes equipamentos, são eles:

Blender Reclaimer (BR) – Máquina de recuperar

Blender Stacker (BS) – Máquina de empilhar

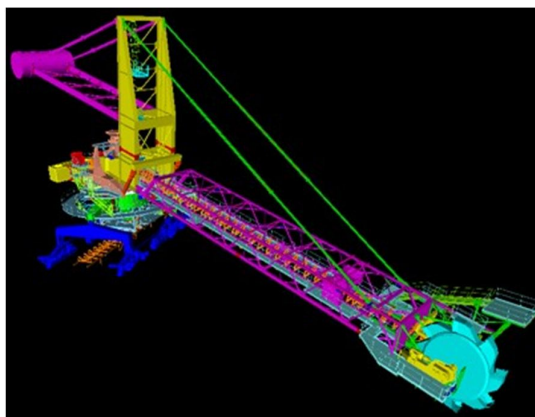
Stacker Reclaimer - 1 (SR-1) – Máquina de recuperar e empilhar - 1

Stacker Reclaimer - 2 (SR-2) – Máquina de recuperar e empilhar - 2

Stacker Reclaimer - 3 (SR-3) – Máquina de recuperar e empilhar - 3

O equipamento selecionado para estudo foi o *Stacker Reclaimer* – 3, ilustrado na Figura 2.2, por apresentar um horizonte operacional cada vez mais demandado, tendo em vista o cenário de mudanças no fornecimento de matéria prima (Minério e Pelotas) mencionado na Secção 1.3 e ilustrado nas Figura 1.8 e Figura 1.9.

Figura 2.2. Desenho 3D do *Stacker Reclaimer* - 3



Fonte: ArcelorMittal Brasil SA., (2018)

Na Tabela 1, será exposto as principais especificações técnicas do equipamento estudo, *Stacker Reclaimer 3*, para um maior entendimento de suas limitações.

Tabela 1 – Especificações técnicas do SR-3

PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES	
Material manuseado	Sínter Feed, calcário e etc
Capacidade de empilhamento (ton/hr)	AVE. 3600, MAX. 4300
Recuperação de velocidade (ton/hr)	AVE. 2500, MAX. 3000
Velocidade de translado (m/min)	30/7,5
Raio de giro (m)	40
Ângulo de giro (graus)	135° x 2
Velocidade de giro (graus/min)	0 ~ 40
Velocidade de elevação (m/min) (no centro da roda)	Aprox. 4
Velocidade da roda da caçamba (r.p.m.)	Aprox. 6
Largura da correia transportadora da lança (") x Velocidade (m/min)	54" x 200
Largura da correia de transporte principal (") x Velocidade	54" x 160
Bitola ferroviária (m)	8

Fonte: ArcelorMittal Brasil SA., (2019)

Dentre as funções dos SR's tem 2 que mais se destacam são elas: empilhar e remover.

2.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi feita uma explicação da empresa, na qual o estudo está sendo feito, foi apresentado às razões pelas quais está sendo escolhido o *Stacker Reclaimer* – 3.

Foi apresentado o segmento onde está sendo realizado o estudo, para ter sensibilidades às dificuldades e particularidades do ramo, no estudo pode-se observar que os equipamentos em geral são do segmento siderúrgico, trabalham em ambiente agressivo, sofrem com desgaste e abrasividade de materiais que são manuseados.

Foi observado que a planta da ArcelorMittal Tubarão é extensa, isso afeta diretamente no tempo de deslocamento de pessoas para realizar manutenções corretivas e afeta da estratégia de manutenção, por exemplo manter equipe de turno ou administrativa.

Visto também que se trata de uma usina integrada, logo as produções sejam de coke, sínter, gusa, aço líquido, placas ou bobinas são interligadas em série, ou seja, cada área produz e envia seu produto para área seguinte, a parada de uma delas por um longo período ocasiona na parada geral da planta, isto também é relevante na estratégia de manutenção, a criticidade baseada no estoque de cada área ou seja no tempo que ela tem até parar a próxima área, no tempo de reparo de cada ativo, bem como nas consequências de segurança e do meio ambiente.

De posse destas informações específicas da área e dos equipamento que a compõe, será feito no próximo capítulo, uma análise teoria dos conceitos de confiabilidade aplicada ao equipamento escolhido (SR-3),

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado um referencial teórico com os principais conceitos da engenharia de confiabilidade, necessárias para a realização deste trabalho.

3.1 PARÂMETROS DA CONFIABILIDADE

Segundo Pallerosi (2007) a metodologia para estimar os parâmetros da confiabilidade e manutenibilidade envolvem oito etapas, são elas:

- 1) Tipos de Amostras
- 2) Tipos de Dados
- 3) Distribuição Estatística
- 4) Distribuição de seus Parâmetros
- 5) Método para estimativa dos parâmetros
- 6) Precisão
- 7) Comparação
- 8) Seleção.

Será explicado, segundo Pallerosi (2007), cada uma dessas oito etapas na seqüência a seguir conforme.

3.1.1 Tipos de Amostras

Em relação às amostras a serem coletadas existem três tipos:

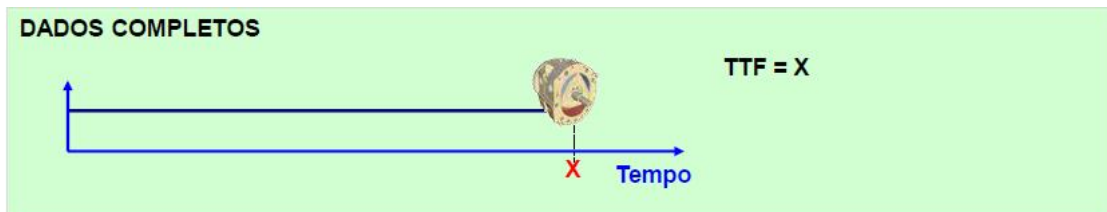
- a) Não agrupados, ou seja, dados individuais.
- b) Agrupados, ou seja, os tempos de falhas serão agrupados pelo tempo até a falha e a quantidade de ocorrência.
- c) Forma Livre, ou seja, dados admitidos.

3.1.2 Tipos de Dados

Durante as coletas de dados ou variáveis aleatórias contínuas serão utilizados dois tipos de dados: Dados Completos e Dados Censurados.

- I) **Dados completos:** é quando se tem o conhecimento do momento inicial (ligar) até o momento final de vida do componente (falha), ou seja, o tempo exato de início até sua falha (Tempo até a falha = X , ou $TTF = X$), conforme visto na Figura 3.1.

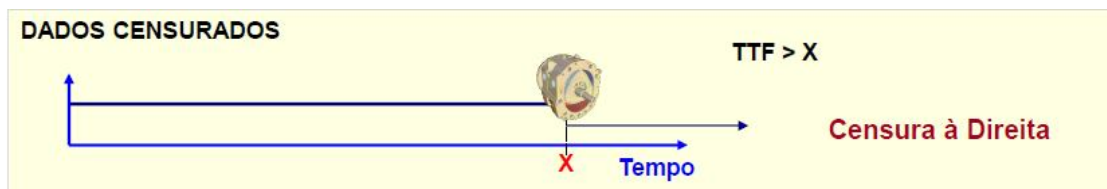
Figura 3.1. Representação de dados completos



Fonte: ReliaSoft Corporation, (2018)

- II) **Dados censurados à direita ou suspensos:** é quando se conhece o tempo inicial (ligar) até o tempo em que o componente é paralisado por opção do usuário, ou seja, o componente não chega a falhar, ele simplesmente é colocado fora de operação por algum motivo (Tempo até a falha é $> X$) conforme visto na Figura 3.2.

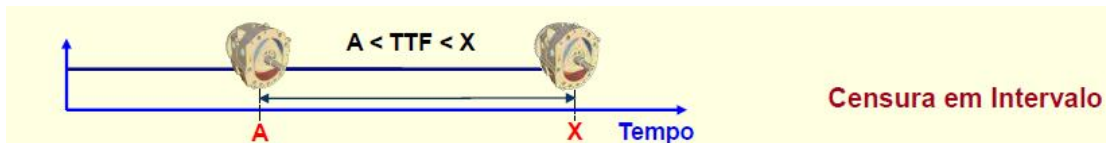
Figura 3.2. Representação de dados censurados à direita ou suspensos



Fonte: ReliaSoft Corporation, (2018)

- III) **Dados censurados por intervalos:** é quando se conhece o momento em que se coloca o componente em operação e o momento em que se interrompe sua operação, sendo comum entre duas últimas inspeções. ($A < \text{Tempo até a falha} < X$) conforme visto na Figura 3.3.

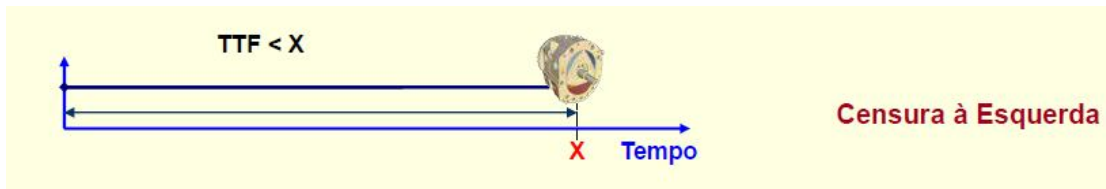
Figura 3.3. Representação de dados censurados por intervalos



Fonte: ReliaSoft Corporation, (2018)

- IV) **Dados censurados à esquerda:** é quando se conhece o momento final (falha), porém não se sabe exatamente quando o componente entrou em operação (Tempo até a falha $< X$) conforme visto na Figura 3.4.

Figura 3.4. Representação de dados censurados à esquerda



Fonte: ReliaSoft Corporation, (2018)

3.1.3 Distribuição Estatística e seus Parâmetros

Segundo Pallerosi (2007), existe uma grande diversidade dos comportamentos de falhas dos componentes durante o uso. Alguns com uma vida bem curta (fração de segundos) e outros com vida bem longa (muitos anos). Ocorrências acentuadas logo no início da utilização, outras após um processo de desgaste e também comportamentos de forma aleatória. Assim para definir a representação da confiabilidade de um determinado componente e com base nos

seus dados de falhas, será atribuída uma distribuição estatística que descreva tal comportamento, ou seja, a sua distribuição de vida dentro de um contexto operacional.

Segundo Pallerosi (2007), existem vários tipos de distribuições estatísticas disponíveis para definir matematicamente o comportamento das falhas dos componentes ao longo do tempo. Algumas mais específicas e às vezes limitadas, outras mais abrangentes, mas dentro deste contexto, existem quatro distribuições que são as mais utilizadas, são elas: - Exponencial, Weibull, Log-Normal e Normal.

3.1.3.1 Exponencial

Segundo Pallerosi (2007), sua aplicação típica é para equipamentos eletrônicos, ou seja, vários componentes em série, onde a taxa de falha é constante, conforme apresentado na Equação 1.

$$f(T) = \lambda e^{-\lambda(T-\gamma)} \quad (1)$$

- Onde T é a variável aleatória e o parâmetro λ representa a taxa de falha da variável aleatória.
- O parâmetro de localização γ é pouco utilizado e representa o deslocamento da distribuição.

3.1.3.2 Weibull

Segundo Pallerosi (2007), é a versátil e mais utilizada entre as distribuições nos estudos de confiabilidade devido ao seu parâmetro de forma (β). A sua taxa de falha pode ser crescente, decrescente e ou constante, conforme apresentado na Equação 2.

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2)$$

- Onde β (Beta) é o parâmetro de forma ou inclinação da curva
- Onde η (Eta) é o parâmetro de escala ou vida característica
- Onde γ (Gama) é o parâmetro de localização e também chamado de vida mínima.

3.1.3.3 Log-Normal

Segundo Pallerosi (2007), sua aplicação ocorre principalmente quando há uma significativa quantidade de falhas no início da vida e poucas falhas no fim de vida. A sua taxa de falha é inicialmente crescente e então decresce assintoticamente para zero, conforme apresentado na Equação 3.

$$f(t') = \frac{1}{t' \sigma' \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t' - \mu'}{\sigma'} \right)^2} \quad (3)$$

- Onde $t' = \ln(t)$ e t é a variável aleatória ou os tempos até a falha
- Onde μ' é a média do logaritmo natural dos tempos até a falha
- Onde σ' é o desvio padrão dos logaritmos naturais dos tempos até a falha.

3.1.3.4 Normal

Segundo Pallerosi (2007), sua aplicação ocorre principalmente quando há poucas falhas no início e no fim da vida e uma concentração de um valor médio. A sua taxa de falha é sempre crescente, conforme apresentado na Equação 4.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (4)$$

- Onde μ é a média dos tempos até a falha
- Onde σ é o desvio padrão dos tempos até a falha.

3.1.4 Métodos para estimativa dos parâmetros das distribuições estatísticas

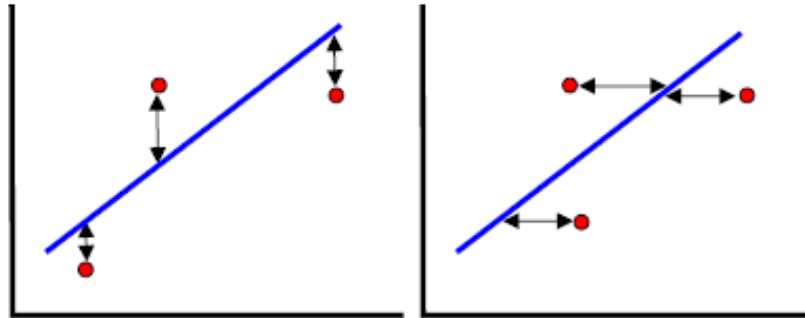
Segundo Pallerosi (2007), diante a um conjunto de dados é necessário estimar os parâmetros que irão caracterizar uma determinada distribuição. Existem vários métodos para estimar esses parâmetros das distribuições citadas na seção anterior, mas por questões de aplicabilidade e praticidade em estudos de confiabilidade, são utilizados dois métodos para a grande maioria dos casos, o método de regressão linear (RRX ou RRY) e o método da máxima verossimilhança - MMV, mais conhecido em inglês como *Maximum Likelihood Estimation* - MLE.

Não será explorada a fundamentação matemática devido à complexidade, sendo assim, os cálculos não serão realizados manualmente e sim por programas computacionais já conceituados.

3.1.4.1 Método Regressão Linear

Segundo Pallerosi (2007), o termo regressão linear e métodos dos mínimos quadrados são sinônimos e é a forma de estimação gráfica mais amplamente utilizada. Este método permite o alinhamento da reta sobre os pontos, tal que a soma das diferenças ao quadrado dos pontos à reta seja minimizada. Se a regressão for em Y, será escolhido o alinhamento que minimizar a soma dos quadrados dos desvios verticais entre os pontos e a reta (RRY); se a regressão for em X, será escolhido o alinhamento que minimizar a soma dos quadrados dos desvios horizontais (RRX). Usualmente utilizado para amostras pequenas e com dados completos, conforme ilustrado na Figura 3.5.

Figura 3.5. Ilustração gráfica do Método de Regressão Linear

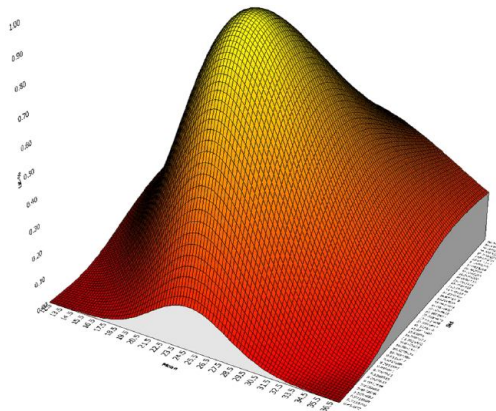


Fonte: ReliaSoft Corporation, 2018

3.1.4.2 Método da Máxima Verossimilhança

Segundo Pallerosi (2007), este método estatístico não gráfico visa estimar os parâmetros que maximizam a probabilidade de que o dado pertence a esta distribuição e ao conjunto de parâmetros, construindo uma função de verossimilhança como produto das densidades, assumindo independência. Usualmente utilizado para grandes amostras, com dados agrupados e misturados (Completos e Censurados), conforme ilustrado na Figura 3.6.

Figura 3.6. Ilustração gráfica do método da máxima verossimilhança



Fonte: ReliaSoft Corporation, 2018

3.1.5 Precisão

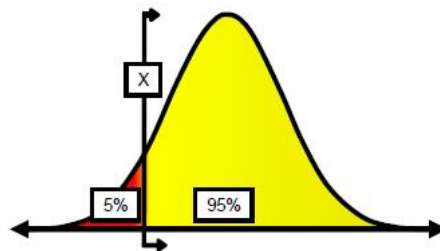
Segundo Pallerosi (2007), a precisão está relacionada com a dispersão dos dados coletados e assim sua representatividade para descrever uma população ou o comportamento característico do componente em estudo. Assim para descrever o quanto os resultados obtidos são confiáveis é necessário estabelecer um nível de confiança, que usualmente é utilizado entre 90 a 95% e um tipo de intervalo poderá ser representado, além da verificação do Coeficiente de Correlação.

No caso dos intervalos de Confiança, há três tipos de representação que serão vistos a seguir.

3.1.5.1 Unilateral Inferior

Segundo Pallerosi (2007), para um nível de confiança de 95%, significa que 95% do valor X é maior que a linha limite plotada na Figura 3.7:

Figura 3.7. Representação do intervalo de confiança unilateral inferior

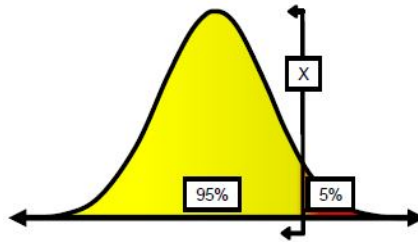


Fonte: ReliaSoft Corporation, 2018

3.1.5.2 Unilateral Superior

Segundo Pallerosi (2007), para um nível de confiança de 95%, significa que 95% do valor X é menor que a linha limite plotada na Figura 3.8:

Figura 3.8. Representação do intervalo de confiança unilateral superior

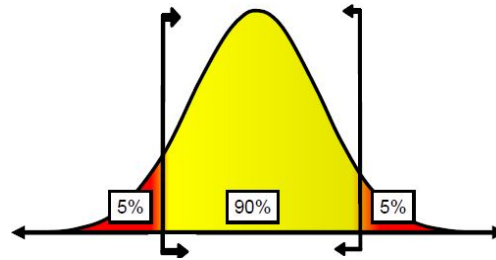


Fonte: ReliaSoft Corporation, 2018

3.1.5.3 Bilateral

Segundo Pallerosi (2007), para um nível de confiança de 90%, significa que 90% do valor X estará entre os dois limites das linhas limites plotadas na Figura 3.9:

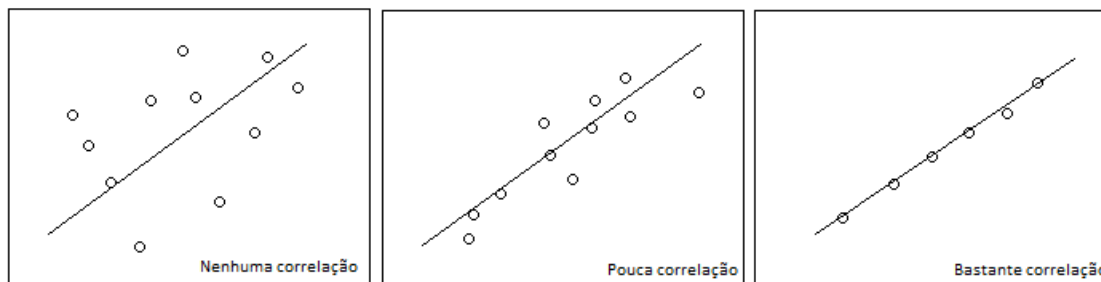
Figura 3.9. Representação do intervalo de confiança bilateral



Fonte: ReliaSoft Corporation, 2018

Segundo Pallerosi (2007), no caso da análise do coeficiente de correlação, temos novamente a dispersão dos dados em relação à representação da regressão linear. Devido à complexidade não será demonstrado matematicamente. Na visão gráfica a correlação pode ser visualizada com nenhuma, pouca ou muita correlação, conforme ilustrado na Figura 3.10:

Figura 3.10. Representação do coeficiente de correlação da regressão linear.



Fonte: Carlos Pallerosi (2007)

Já se visualizou os resultados da correlação de forma numérica, quanto mais próximo de 1 absoluto, melhor será a correlação dos dados com a regressão linear, conforme visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação entre o resultado da correção e o grau de correção

Resultado da Correlação	Grau de Correlação
$p \geq 0,98$	Excelente
$0,95 \leq p < 0,98$	Muito boa correlação
$0,90 \leq p < 0,95$	Boa correlação
$0,80 \leq p < 0,90$	Regular correlação
$0,70 \leq p < 0,80$	Fraca correlação
$p > 0,70$	Pouca ou nenhuma correlação

Fonte: Carlos Pallerosi (2007)

Desta forma, pode-se observar, que fazer a interpretação do coeficiente de correlação de forma numérica, fica mais precisa para análise dos dados.

3.1.6 Comparação e a Seleção da Distribuição Estatística Final

Segundo Pallerosi (2007), nesta fase final do processo de seleção da melhor distribuição que represente o comportamento da amostra de dados, é recomendado

que se faça uma comparação dos resultados obtidos com a opção 1 e com outros resultados de outras possíveis opções, visualizando a melhor aderência e análise crítica para a distribuição estatística que será adotada, analisando se há limitações e distorções ao tentar estimar alguns pontos característicos com base nos parâmetros definidos, tais como, a Vida Média e os extremos da distribuição.

3.2 DEFINIÇÃO DE CONFIABILIDADE

Segundo Pallerosi (2007) a confiabilidade de um componente ou sistema é expressa por uma determinada probabilidade do mesmo, em funcionar conforme requerido por um período de tempo específico e em condições operacionais e ambientais estabelecidas. O evento de falha ou perda funcional é o agente que interrompe essa dada confiabilidade.

Dentro do universo das teorias de análises de dados de vida, mostra-se que há três distintos períodos que ilustra os tipos e causas das falhas ou taxas de falhas.

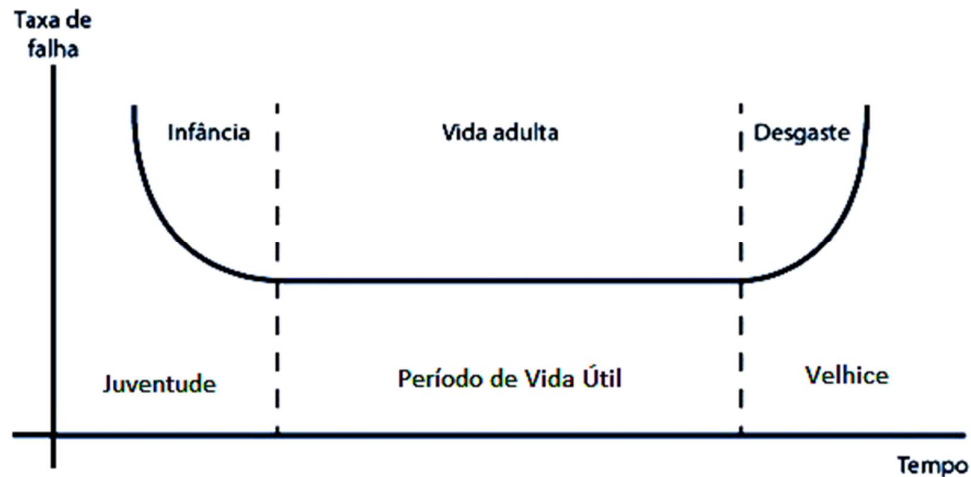
No primeiro período, as falhas que ocorrem na fase inicial de operação dos componentes são denominadas de juventude ou taxa de falha decrescente e é causada por erros de fabricação e ou erros de montagens.

No segundo período, corresponde a vida útil propriamente dita, com taxa de falha constante, ou seja, caracterizada por um significado e longo período de operação, sem nenhuma ou com poucas intervenções de manutenção.

Já no terceiro período ocorrem as falhas por velhice, ou seja, no final da vida do componente. A taxa de falha é crescente e bastante influenciada por um processo de degradação e fadiga.

A curva característica de variação da taxa de falha é conhecida como curva da banheira, conforme visto na Figura 3.11, que demonstra claramente os três períodos citados.

Figura 3.11.Curva da banheira



Fonte: Carlos Pallerosi (2007)

3.3 DEFINIÇÃO DA MANTENABILIDADE

Após a ocorrência de uma falha e paralisação das operações, vem a necessidade de restabelecer o processo. Assim a mantabilidade de um componente ou sistema segundo Pallerosi (2007) é expressa por uma determinada probabilidade do componente de ser mantido mediante os procedimentos e meios prescritos, em um período de tempo específico, em condições operacionais e ambientais estabelecidas e por uma equipe habilitada.

Em um processo de reparo pode-se verificar uma grande diversidade de cenários e isso pode demandar longos tempos de reparos com grande variabilidade para se completar um mesmo ciclo reparo, sendo assim, observa-se que existem três períodos característicos que serão vistos a seguir:

3.3.1 Probabilidade de ser reparado em um curto período

Segundo Pallerosi (2007), neste primeiro grupo são os que possuem uma probabilidade de ser reparado em um curto período, ou seja, por simples troca do componente ou fácil ajuste para restabelecer o bom funcionamento. Neste caso a estratégia da manutenção corretiva programada já propicia as ações de correção.

3.3.2 Probabilidade de ser reparado com um prazo desconhecido e longo

Segundo Pallerosi (2007), neste segundo cenário, há uma necessidade de identificação e localização da falha e, além disso, ainda poder demandar várias etapas para realização do reparo (desmontagem, trocas, ajustes, testes e outros), com isso pode haver grande variabilidade do tempo estimado para se concluir o reparo.

Neste caso a estratégia da manutenção visa a não ocorrência destes eventos corretivos não programados, com manutenção preditiva e preventiva para mitigar ao máximo essas ocorrências indesejadas.

3.3.3 Probabilidade de ser reparado com um prazo conhecido

Segundo Pallerosi (2007), neste terceiro caso nota-se um tempo estimado bem definido devido às lições aprendidas ao longo do tempo para realização dos reparos, ou seja, quando ocorre uma determinada falha já conhecida, há um procedimento previamente estabelecido e um dado tempo de reparo.

Neste caso a estratégia da manutenção visa a não ocorrência destes eventos corretivos através de manutenções preventivas.

3.4 DEFINIÇÃO DE DISPONIBILIDADE

Segundo Pallerosi (2007) a disponibilidade é expressa por uma determinada probabilidade de um componente ou sistema em funcionar para uma determinação missão estabelecida por um período de tempo específico, levando-se em conta a combinação dos aspectos da confiabilidade e manutenibilidade, em condições operacionais e ambientais estabelecidas e com custos de reparos viáveis economicamente. Há vários tipos de disponibilidade mensuráveis, são elas:

- Disponibilidade Instantânea, Disponibilidade Média, Disponibilidade Assintótica, Disponibilidade Operacional, Disponibilidade Inerente, Disponibilidade Realizada.

3.4.1 Disponibilidade Instantânea

Probabilidade de que um componente ou sistema seja operacional em qualquer duração aleatória, em determinadas condições e recursos. De forma simplificada seria o tempo total de bom funcionamento dividido pelo tempo total de funcionamento.

3.4.2 Disponibilidade Média

É a média da disponibilidade instantânea em um determinado intervalo.

3.4.3 Disponibilidade Assintótica

É a disponibilidade real do componente ou sistema durante um longo período de utilização.

3.4.4 Disponibilidade Operacional

É a disponibilidade de um componente ou sistema, levando em consideração a confiabilidade, a manutenibilidade e demais intervenções operacionais devidos atrasos logísticos e administrativos.

3.4.5 Disponibilidade Inerente

É a disponibilidade levando em consideração a confiabilidade e manutenibilidade, ou seja, sem os atrasos operacionais.

3.4.6 Disponibilidade Realizada

É a disponibilidade levada em consideração à confiabilidade e manutenibilidade, além de outras ações da estratégia da manutenção (Ações:

preventivas, corretivas e inspeções que param o sistema) e as demais intervenções operacionais.

3.5 DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE

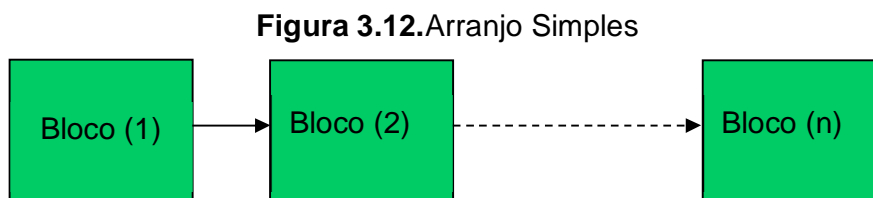
Um sistema pode ser composto por diversos subsistemas e componentes organizados fisicamente com o intuito de realizar uma função requerida. O RBD (*reliability block diagram*) ou diagrama de bloco de confiabilidade (DBC) que é utilizado para demonstrar como os componentes são arranjados para simular o funcionamento do sistema (Pallerosi, 2007). Os arranjos de confiabilidade podem ser classificados em série, paralelo, composto e complexo.

O arranjo de blocos é fundamental para se ter uma simulação mais compatível com a realidade. Segue exemplos de arranjos simples e em paralelo.

1) Arranjo Simples

A distribuição de arranjo simples pode ser verificada através da Equação 5 e visualizada através do diagrama de blocos na Figura 3.12:

$$R(t) = R_1(t) * R_2(t) * R_3(t) * \dots * R_n(t) \quad (5)$$



Fonte: Pallerosi (2007)

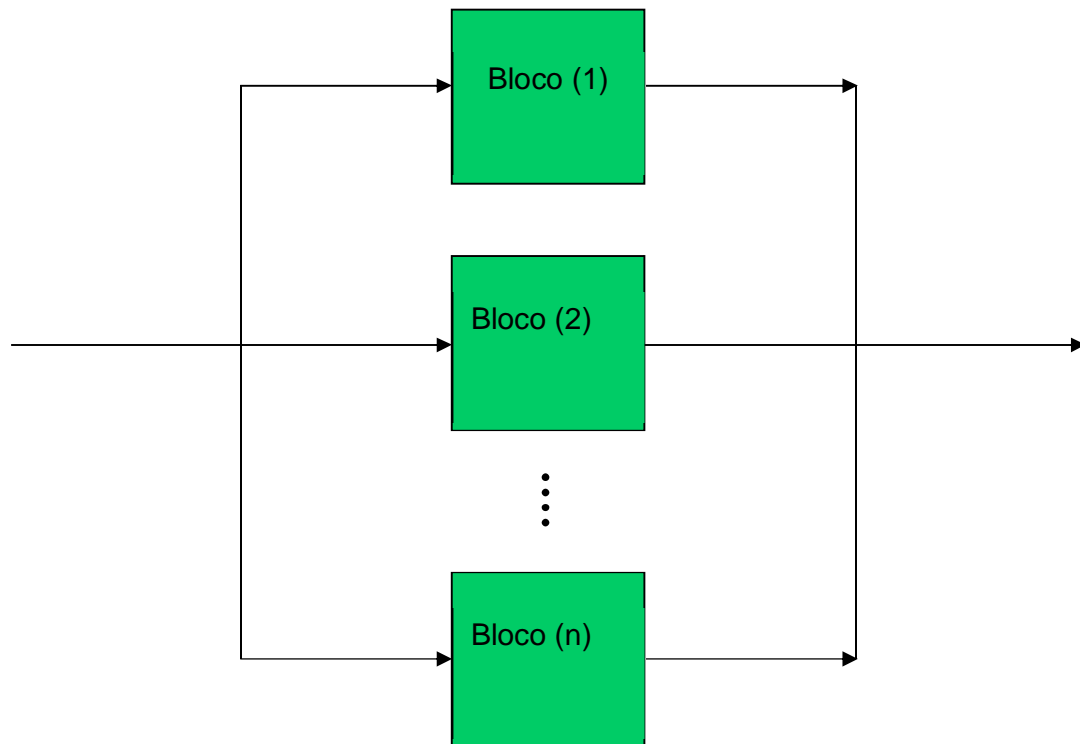
Na configuração do arranjo em série, a confiabilidade do sistema nunca é maior do que a menor confiabilidade individual de um bloco, pois num sistema em série, todos os componentes devem funcionar para que o sistema funcione.

2) Arranjo Paralelo

A distribuição de arranjo em paralelo pode ser verificada através da Equação 6 e visualizada através de diagrama de blocos na Figura 3.13:

$$R(t) = 1 - [(1 - R_1(t)) * (1 - R_2(t)) * (1 - R_3(t)) * \dots * (1 - R_n)] \quad (6)$$

Figura 3.13.Arranjo Paralelo



Fonte: Pallerosi (2007)

Na configuração do arranjo em paralelo, a confiabilidade do sistema sempre será maior que a maior confiabilidade individual de um bloco, pois nesta configuração, todos os componentes devem falhar para que o sistema falhe.

No caso dos sistemas mistos ou combinados, pode ser feito uma equivalência para chegar a um sistema em serie ou em paralelos, de forma equivalente. Normalmente se utiliza de softwares especializados para realizar estas análises.

3.6 ANÁLISE RAM (CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE)

É a fase onde são realizadas simulações, para um determinado tempo, de modo a visualizar a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade do sistema. É possível realizar a escolha da distribuição estatística mais adequada que melhor represente o modelo real, bem como, é possível checar parâmetros como custo de material, serviço, fatores de produção, dentre outros.

Com a análise RAM - *Reliability, Availability e Maintainability* ou no português, confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade, é possível verificar uma série de informações para a análise do sistema e favorecer as tomadas de decisão e estratégias de manutenção a serem adotadas.

Com os resultados da análise RAM é possível identificar a disponibilidade, produção, tempo das manutenções preventivas e corretivas, número de falhas do sistema e de cada bloco, custos do sistema e de cada bloco com as suas derivações (custo de material, serviços, equipes de manutenção, lucro cessante), ou seja, serve de insumo para tomada de decisões num determinado processo.

Portanto com base nos resultados estatísticos e com os gráficos gerados através da análise é possível direcionar os esforços na realização de melhorias específicas, as quais trarão maior desempenho ao ativo.

3.7 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi possível verificar a metodologia para estimar os parâmetros da confiabilidade e manutenibilidade, através das oito etapas, bem como os tipos de amostra, os tipos de dados e suas distribuições estatísticas e seus parâmetros, para que serve cada uma delas e como selecioná-las.

Foram explicadas as definições de confiabilidade, da manutenibilidade e da disponibilidade, as classificações de disponibilidade instantânea, disponibilidade média, disponibilidade assintótica, disponibilidade operacional, disponibilidade inerente e disponibilidade realizada.

Foi apresentada a função dos diagramas de blocos, seus tipos de arranjos, em série, em paralelo e misto, para como utilizar cada um deles e quais seus benefícios. Foi visto também a análise RAM, que é uma análise mais completa, que em termos gerais, serve para tomada de decisões de onde atuar de forma eficiente na implantação de melhorias no processo.

Essa fundamentação teórica será utilizada como ferramenta na análise de um caso real do *Stacker Reclaimer - 3* da sinterização.

4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

Para desenvolvimento do trabalho será seguido às etapas abaixo:

- Levantamento dos apontamentos de falha e na sequência agrupamento dos modos de falhas.
 - Foram levantados os dados de falhas do período de janeiro de 2017 até abril de 2019, considerando os apontamentos somente da manutenção.
- Definição das curvas de confiabilidade de manutenibilidade.
 - As curvas de confiabilidade e manutenibilidade foram estabelecidas conforme os 8 passos descritos no referencial teórico.
- Modelagem do RDB.
 - Durante a modelagem todos os blocos que representam a parada do sistema foram considerados em série.
- Atribuição das curvas de confiabilidade e manutenibilidade em cada bloco do RDB.
- Realizado a simulação da análise RAM.
 - Para um período de 8640 horas de operação da SR-3.

Para auxílio de todos os cálculos e simulações deste estudo de caso, será utilizado o sistema especializado Weibull++, versão 2018, para definição das distribuições de confiabilidade e manutenibilidade e o BlokSim, versão 2018, para as simulações das análises RAM e cálculo dos intervalos ótimos das manutenções preventivas.

Para iniciar o estudo, foi realizada uma reunião com os especialistas da área para mapear os principais modos de falhas de forma a agrupar as falhas. Após a reunião de *brainstorming*, os modos de falhas selecionados foram os apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 – Levantamento dos principais modos de falhas da SR-3

SISTEMA DE GIRO	ACIONAMENTO DO GIRO	FALHA NO ACIONAMENTO DO GIRO	ELÉTRICA	1
	ESTRUTURA DE GIRO	FALHA NA ESTRUTURA DE GIRO	MECÂNICA	2
SISTEMA DE TRANSLAÇÃO	TRUCK DE TRANSLAÇÃO	FALHA NO MOTOR TRUCK DE TRANSLAÇÃO	ELÉTRICA	3
		FALHA NA ESTRUTURA TRUCK DE TRANSLAÇÃO	MECÂNICA	4
SISTEMA DE ELEVAÇÃO	ACIONAMENTO DA ELEVAÇÃO	FALHA NO ACIONAMENTO DA ELEVAÇÃO	ELÉTRICA	8
TRANSPORTE DE MATERIAL	LANÇA	FALHA NO ACIONAMENTO DA LANÇA	ELÉTRICA	9
		FALHA NA CORREIA DA LANÇA	MECÂNICA	10
	CALHA / TRIPPER	FALHA NO ACIONAMENTO DA CALHA / TRIPPER	ELÉTRICA	13
		FALHA NA ESTRUTURA DA CALHA / TRIPPER	MECÂNICA	14
FALHA ESTRUTURAL	ESTRUTURA FÍSICA	FALHA NA ESTRUTURA FÍSICA	MECÂNICA	17

Fonte: O Autor, (2019)

O tempo entre falhas (TEF) é a quantidade de tempo, em horas, que o sistema opera entre uma falha e outra, conforme apresentado na Equação 7:

$$TEF = DtFx - DtFx-1 \quad (7)$$

Onde:

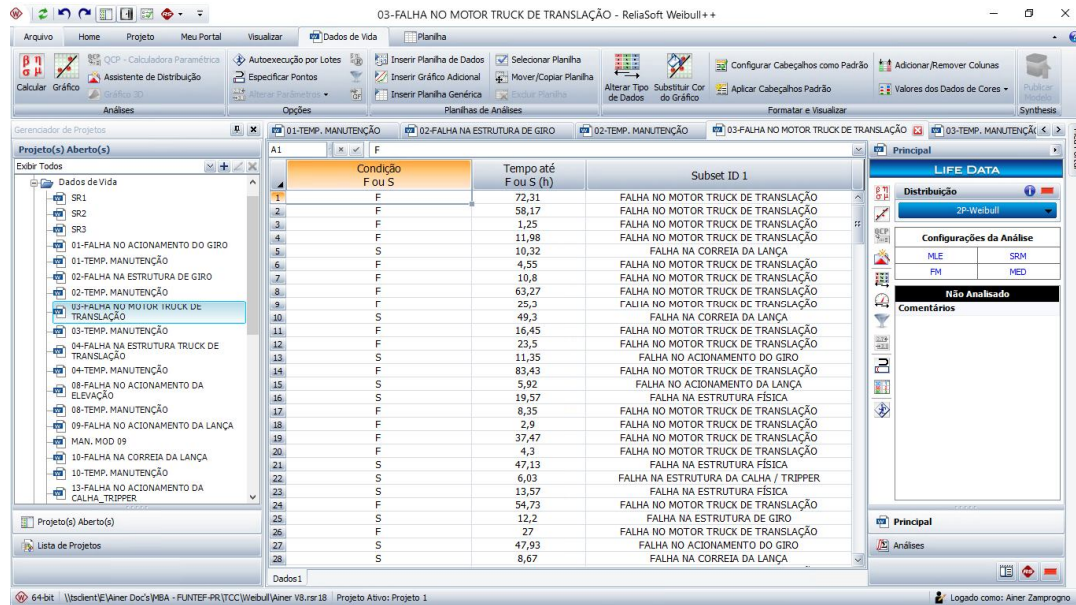
TEF = Tempo entre falhas

DtFx = Data e hora da falha atual

DtFx-1 = Data e hora do último reparo

Sendo assim, foram inseridos os dados de TEF de cada um dos dez modos de falha no programa Weibull++, conforme mostrado na Figura 4.1:

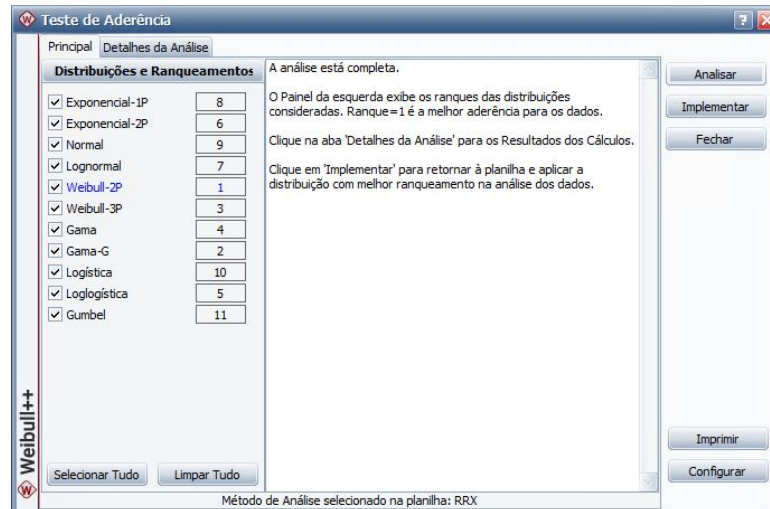
Figura 4.1. Carregamento dos dados dos tempos entre falhas no Weibull++



Fonte: O Autor, (2019)

Em seguida utilizado à função **assistente de distribuição** para determinação da distribuição estatística mais adequada aos dados imputados, conforme ilustrado na Figura 4.2.

Figura 4.2. Ilustração da função Assistente de Distribuição do Weibull++

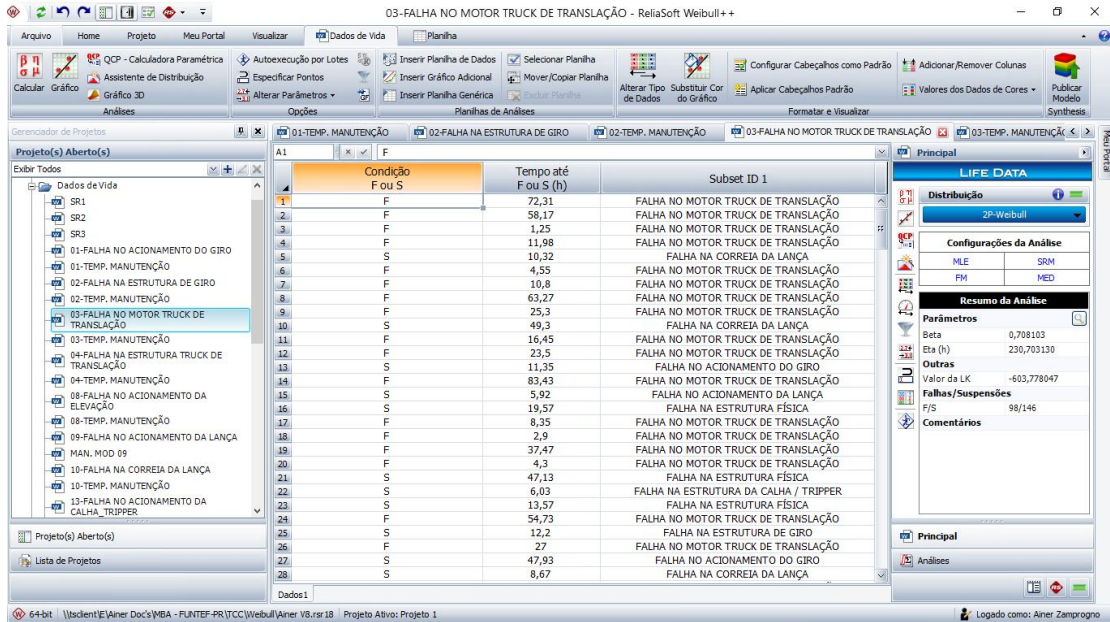


Fonte: O Autor, (2019)

A função Assistente de Distribuição apresentada na Figura 26 ajuda na escolha da função estatística que mais se adequa aos dados fornecidos.

Em seguida foi utilizado a função **calcular** para obter os resultados da simulação, ilustrado na Figura 4.3 e Figura 4.4. Esta etapa foi feita para os demais modos de falha.

Figura 4.3. Dados já carregados e calculados no Weibull++



Fonte: O Autor, (2019)

Figura 4.4. Figura ampliada com resultado dos calculados no Weibull++



Fonte: O Autor, (2019)

Na Figura 4.3 e Figura 4.4 foi ilustrado o resultado obtido para o modo de falha número 3, de Bete = 0,7081 e Eta = 230,70, ou seja crescendo. Este passo foi repetido para todos os 10 modos de falha.

O Tempo de Reparo (TR) é a quantidade de tempo para que o sistema seja restabelecido quando ocorrer uma falha, conforme apresentado na Equação 8.

$$TR = Dr - DtF \quad (8)$$

Onde:

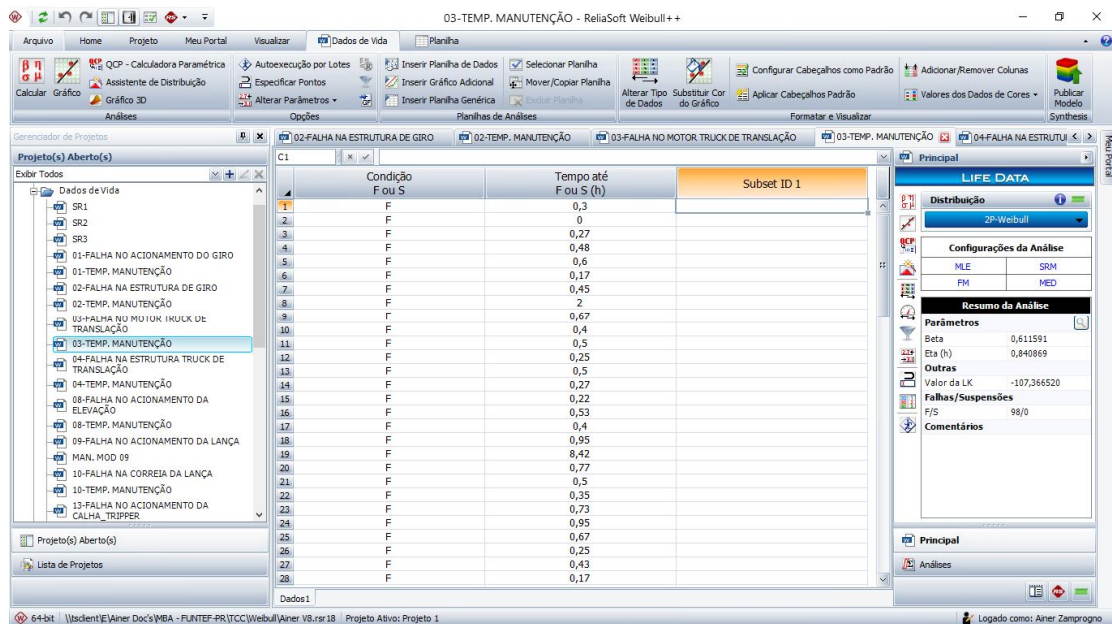
TR = Tempo de reparo

Dr = Data e hora da restauração do sistema

DtF = Data e hora da falha

Realizado os mesmos passos para inserir os dados de TR no programa Weibull++, realizada a escolha da distribuição estatística que melhor se aplica, e, por fim, realizado o cálculo de Beta e Eta, conforme exemplo na Figura 4.5.

Figura 4.5. Carregamento dos dados dos tempos de reparo no Weibull++



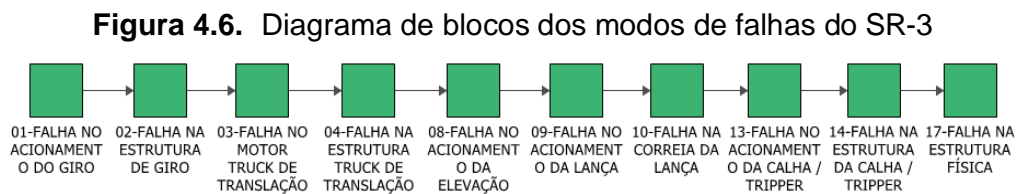
Fonte: O Autor, (2019)

Foi realizado este procedimento para todos os modos de falhas, inserindo os TEF e os TR de cada um deles.

4.1 CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE BLOCOS

Para a construção do diagrama de blocos de confiabilidade foram levados em consideração os aspectos conforme o referencial teórico do capítulo 3 e o auxílio dos especialistas de manutenção, responsáveis pelo equipamento.

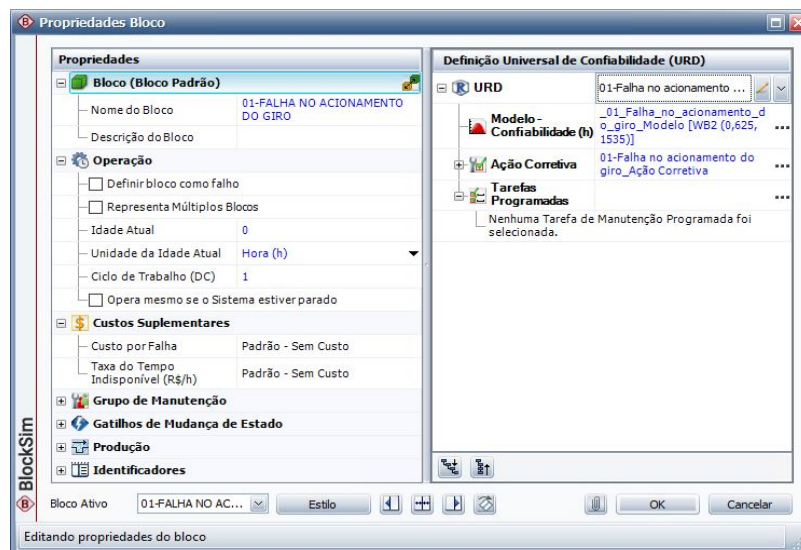
Na Figura 4.6, segue ilustração extraído do BlockSim, contendo a representação dos modos de falhas do SR-3.



Fonte: O Autor, (2019)

Foram inseridos os dados distribuição estatística, preenchido os valores de Deta e Eta já calculados no Weibull++, em cada um dos 10 blocos, que representam os 10 modos de falhas, conforme ilustrado na Figura 4.7:

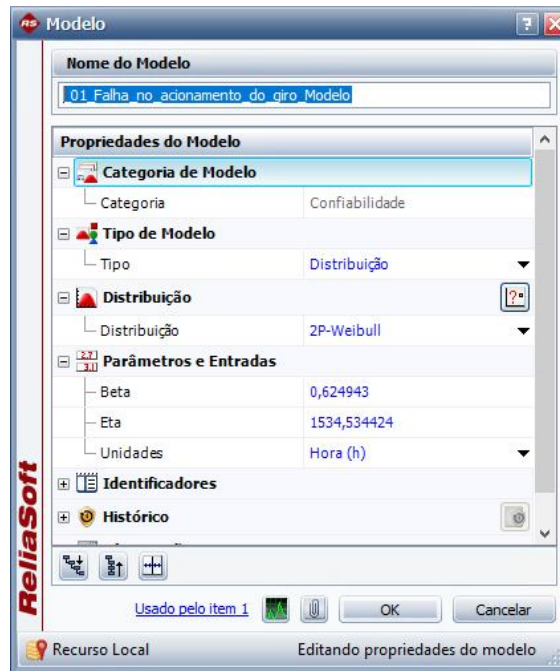
Figura 4.7. Tela do BlockSim ampliada ilustrando a inserção de dados do modo de falha 1 do SR-3



Fonte: O Autor, (2019)

Na Figura 4.8 é ilustrado a seleção da distribuição e a inserção dos valores previamente calculados para cada modo de falha de Beta e Eta, explicados na secção anterior

Figura 4.8. Tela do BlockSim ilustrando detalhes da inserção de dados do modo de falha 1 do SR-3



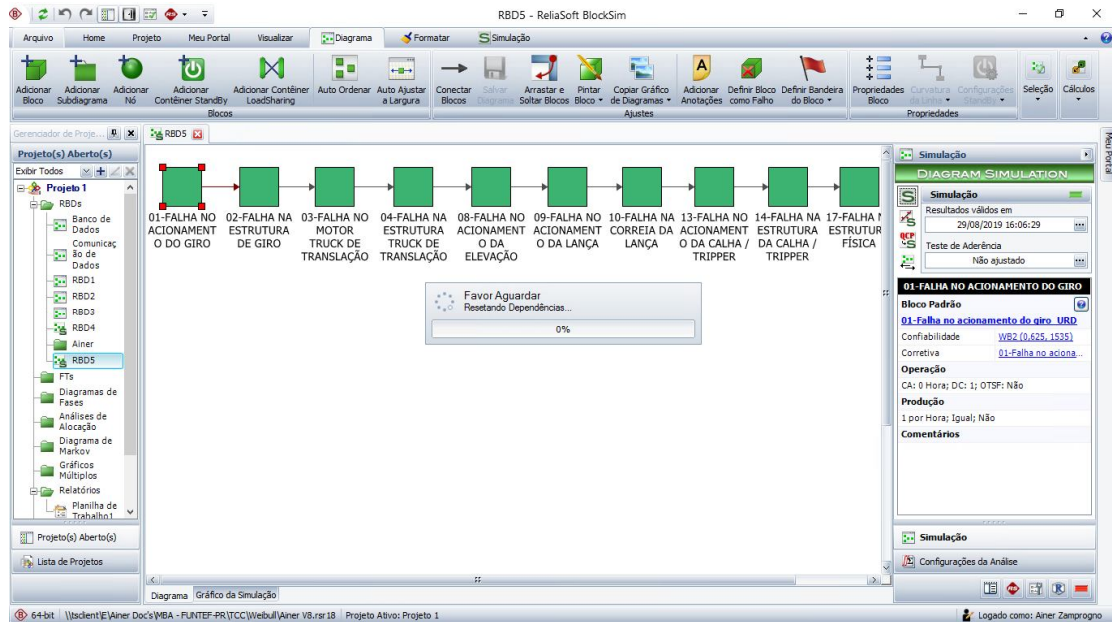
Fonte: O Autor, (2019)

Esta etapa do estudo é fundamental para ter um resultado real. Deve-se selecionar as variantes que mais se aproximam com a realidade do equipamento em estudo.

4.2 ANÁLISE RAM

Após a configuração do diagrama de blocos foi realizada uma simulação para visualização da disponibilidade do SR-3, com foco nos apontamentos da manutenção, conforme ilustrado na Figura 4.9.

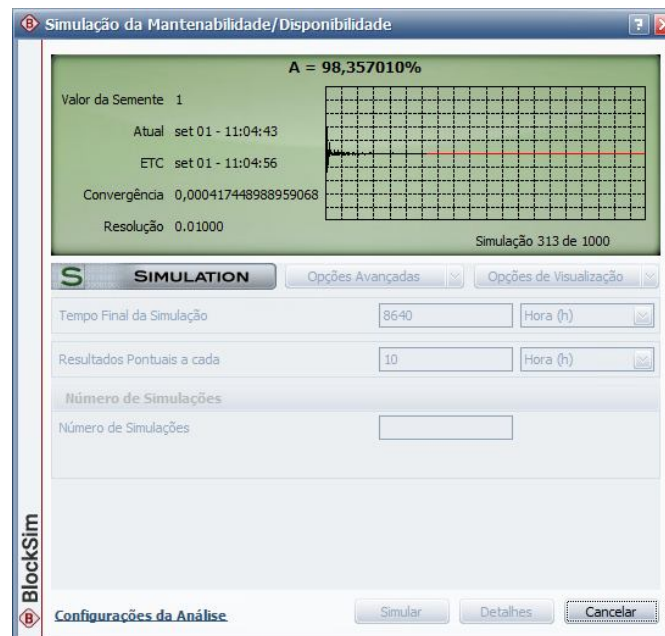
Figura 4.9. Tela do BlockSim ilustrando a execução do SR-3



Fonte: O Autor, (2019)

Após carregar os blocos com as informações de cada modo de falha, é então chegado o momento de realizar a simulação, foi selecionado um período de 12 meses, ou 8640 horas, conforme ilustrado na Figura 4.10.

Figura 4.10. Ilustração de simulação do sistema do SR-3



Fonte: O Autor, (2019)

O resultado desta simulação, a análise RAM do SR-3, dispostos na Visão Geral do Sistema, segue apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da análise RAM do SR-3

Visão Geral do Sistema	
Geral	
Disponibilidade Média (Todos Eventos):	0,983545
Desvio Padrão (Disponibilidade Média):	0,003384
Disponibilidade Média (sem MP, OC e Inspeção):	0,983545
Disponibilidade Pontual (Todos Eventos) em 8640 h:	0,988
Confiabilidade em 8640 h:	0
Tempo Disponível (h):	8497,827
Tempo Indisponível Total (h):	142,1729
Unidades	
Resumo das Métricas	
TMAPF (h):	58,87902
MTBF (Tempo Total) (h):	80,78541
MTBF (Tempo de Funcionamento) (h):	79,45607
MTBE (Tempo Total) (h):	80,78541
MTBE (Tempo de Funcionamento) (h):	79,45607
MTTM (h):	1,32934
MTTR (h):	1,32934

Fonte: O Autor, (2019)

Os resultados da análise RAM, visão por modo de falha do SR-3 segue apresentada na Tabela 5 –.

Tabela 5 – Resultados da análise RAM dos principais *bad actors* do SR-3

NOME DO BLOCO	RS FCI	RS DTCI	Dispon. Média (Todos os Eventos)	Eventos de Parada do Sistema	Tempo Indisponível do Bloco (h)
01-FALHA NO ACIONAMENTO DO GIRO	4,27%	1,91%	0,999685	4,562	2,719482
02-FALHA NA ESTRUTURA DE GIRO	2,23%	2,30%	0,999621	2,384	3,273357
03-FALHA NO MOTOR DE TRUCK DE TRANSLAÇÃO	27,58%	25,06%	0,995876	29,493	35,630041
04-FALHA NA ESTRUTURA TRUCK DE TRANSLAÇÃO	6,31%	5,50%	0,999095	6,746	7,81868
08-FALHA NO ACIONAMENTO DA ELEVAÇÃO	21,06%	14,04%	0,997689	22,529	19,966499
09-FALHA NO ACIONAMENTO DA LANÇA	3,88%	2,47%	0,999593	4,146	3,512972
10-FALHA NA CORREIA DA LANÇA	8,50%	21,94%	0,99639	9,089	31,193664
13-FALHA NO ACIONAMENTO DA CALHA / TRIPPER	7,99%	9,92%	0,998368	8,541	14,097125
14-FALHA NA ESTRUTURA DA CALHA / TRIPPER	4,43%	2,30%	0,999622	4,735	3,268994
17-FALHA NA ESTRUTURA FÍSICA	13,77%	14,55%	0,997605	14,725	20,692126

Fonte: O Autor, (2019)

RS FCI - Representa o percentual de falhas dos modos de falhas em relação ao sistema, durante 8640 horas, nota-se que o modo de falha que mais falhou na simulação com 27,58%, foi o: - falha no motor de truck de translação.

RS DTCI – (*Down time critical index*) tempo de reparo, neste quesito o mesmo modo de falha obteve o pior desempenho com 25,06%

Disp. Média (Todos os Eventos) - representa a disponibilidade individual de cada bloco, neste quesito também o mesmo modo de falha obteve o pior desempenho.

Evento de paradas – quantidade de falhas que ocorridas na simulação em 8640 horas, neste quesito também o mesmo modo de falha obteve o pior desempenho.

Tempo Indisponível do Bloco (h) – É o tempo total por modo de falhas que ficou indisponível na simulação do SR-3, neste último quesito, talvez o mais importante para este equipamento o mesmo modo (falha no motor de truck de translação) obteve o pior desempenho com 35,63h de indisponibilidade.

4.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Pode-se concluir que:

- A disponibilidade do SR-3 é de 98,35%
- Os 3 principais *bad actors* são:
 - Falha no motor do truck de translação
 - Falha na correia da lança
 - Falha na estrutura física
- O modo de falha mais crítico é o: - Falha no motor do truck de translação, ou seja, caso só seja possível investir em melhorias em apenas 1 modo de falha, este seria o mais indicado.
- O modo de falha: - Falha no acionamento de elevação não foi colocado em evidência como um dos *bad actors*, pois obteve baixo tempo de indisponibilidade, ou seja, ele falha muito, porém com baixa duração. No equipamento em estudo o maior prejuízo é o tempo de horas parados e não o número de falhas.

Além dos dados técnicos obtidos nesta secção, foi possível verificar a importância de se ter uma ferramenta moderna, como software Weibull++, pois sem ele não seria possível realizar todas estas simulações e cálculos em tempo hábil, além dos possíveis erros que seriam gerados ao transferir os dados de um local para o outro. Outro quesito importante é saber utilizar esta ferramenta inovadora (software Weibull++), pois se trata de um programa muito completo, com várias entradas, que devem ser corretamente preenchidas para obter um resultado mais próximo da realidade.

No capítulo seguinte será exposto a conclusão geral do trabalho, a importância deste estudo, onde mais pode ser aplicar este estudo e sugestões para trabalhos futuros.

5 CONCLUSÃO

5.1 CONCLUSÃO DO ESTUDO

Após a simulação foi observado que a disponibilidade calculada da SR-3 para um período de 12 meses foi de 98,35% sendo que o modo de falha que teve maior indisponibilidade foi o de falha no motor do truck de translação, com 35,6h de indisponibilidade e com aproximadamente 30 paradas no sistema, um valor alto para um equipamento que opera 24h por dia, sendo essa quantificação oriunda de uma análise quantitativa.

Observou-se também que outros 2 modos de falha foram representativos em seus tempos de indisponibilidade, são eles: falha na correia da lança e falha estrutura física, com indisponibilidades de 31,20h e 20,70h respectivamente.

Uma das maiores dificuldades foi o agrupamento dos eventos, pois cada operador lança a mesma falha escrita de formas diferente, por exemplo: falha na translação do truck, falha na translação, falha no truck de translação, dentre outros formatos, isto trouxe um desprendimento de energia muito grande na análise, para filtrar, classificar e agrupar cada evento com um mesmo texto, chamado de modo de falha 1, 2, 3 e assim por diante. Isto poderia ter sido evitado, se sistema utilizado desse ao operador apenas opções de seleção ao invés de texto aberto.

Este trabalho trouxe algumas conclusões muito úteis, como a visão dos modos de falhas que causam maior impacto no SR-3, nem como quantificar isto, produzindo insumos nas justificativas de solicitações de verbas para implementações de melhorias.

É fato que a tomada de decisão se torna muito mais fácil quando são calculados o número de falhas, o tempo acumulado e o que isto representa financeiramente para a empresa.

É interessante a realização uma análise RCA (*Root Cause Analyze*) ou análise de causa raiz neste modo de falha para desenvolver ações de bloqueio pontuais, porém eficientes, aumentando assim a disponibilidade do equipamento em estudo *Stacker Reclaimer - 3*.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Fazer uma análise de causa raiz para identificação das causas e assim propor algumas melhorias.

Utilizar dos dados de indisponibilidade de cada modo de falha e quantificar isto em valores financeiros perdidos por cada modo de falhas, linchando assim até quanto vale a pena desembolsar para implementar melhorias.

Realizar esta análise nos demais equipamentos SR-1 e 2, para verificar se os mesmos modos de falhas são os mais representativos, fazer comparações entre eles e propor ações amplas, que envolvam as 3 máquinas móveis, para diluir possíveis investimentos.

Ampliar a cultura de análise RAM para todos os principais ativos da usina, de modo a quantificar as indisponibilidades dos eventos e utilizar de fatos e dados nas defesas por investimentos junto ao *Board* da ArcelorMittal, com a certeza de retorno financeiro para a organização.

REFERÊNCIAS

PALLEROSI, Carlos Amadeu. **Confiabilidade, A Quarta Dimensão da Qualidade**. 1 ed.: Conceitos Básicos e Métodos de Cálculo. São Paulo: Editora Reliasoft Brasil, 2007, Volume 01.

PALLEROSI, Carlos Amadeu. **Confiabilidade, A Quarta Dimensão da Qualidade**. 1 ed.: Crescimento Monitorado da Confiabilidade. São Paulo: Editora Reliasoft Brasil, 2007, Volume 02.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4 ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2005.

BAZOVSKY, Igor. **Reliability Theory and Practice**. Nova York: Dover Publications, Inc., 2004.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001

Reliawiki.org. Basics of System Reliability Analysis. Disponível em: http://reliawiki.org/index.php/Main_Page. Acessado em: Jun 2019. SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4 ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2005.

WALPOLE, Ronald E; . . . [et al.]. **Probability & Statistics for Engineers & Scientists**. 9 ed. Boston: Pearson Education, Inc., 2012.