

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

REINALDO DE ARRUDA SILVA

**ANALISE DO CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE DOS
SEGMENTOS DE UMA MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

REINALDO DE ARRUDA SILVA

**ANALISE DO CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE DOS
SEGMENTOS DE UMA MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO**

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

ANALISE DO CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE DOS SEGMENTOS DE UMA MAQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO

por

REINALDO DE ARRUDA SILVA

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

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

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

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

Dedico este trabalho a primeira turma de Engenheiros de Confiabilidade de Vitória ES, por serem os inovadores em uma nova abordagem para projetar, planejar e executar a manutenção no ambiente industrial.

AGRADECIMENTOS

Tenho muitos a quem agradecer por este momento, e com certeza cometerei o erro do esquecimento. Então já peço desculpas por aqueles que talvez não apareçam nessas linhas, más que estarão para sempre escritos na minha história de vida.

Agradeço primeiramente a Deus, senhor de tudo e de todos por me permitir, mesmo após os 45 anos, a oportunidade de voltar a ser aluno e ainda aprender.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano, pela paciência e disponibilidade em compartilhar seu conhecimento.

Aos meus colegas de sala, batalhadores incansáveis, que foram exemplo de superação e entusiasmo.

A ArcelorMittal Tubarão por acreditar e valorizar a experiência profissional, sem, contudo, esquecer a necessidade da capacitação nas novas tecnologias e conceitos

A todos os professores do curso, que mesmo após uma longa e cansativa jornada nos fins de semana, se dedicaram e deram o seu melhor para difundir seu conhecimento, sempre com bom humor e dedicação.

Aos colegas de trabalho que me apoiaram durante todo o curso bem como na obtenção dos dados e informações sem as quais este trabalho não seria possível.

A minha família, meu porto seguro, meus incentivadores e apoiadores, que muitas vezes me ampararam quando estava prestes a cair. Sem eles tudo seria muito mais difícil.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho de forma direta ou indireta, meus sinceros agradecimentos.

Não basta executar certo as tarefas de manutenção,
é preciso executar certo as tarefas certas.
(MOUBRAY, John 1990)

RESUMO

ARRUDA, Reinaldo de, Silva. **Análise do Crescimento da Confiabilidade dos Segmentos de uma Máquina de Lingotamento Contínuo.** 2017. 81 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Em uma siderúrgica a tomada de decisão para otimização dos resultados de manutenção estão quase sempre baseadas na experiência de profissionais e suportadas por metodologias e ferramentas de gestão de falhas como Pareto, associado às técnicas clássicas da manutenção, corretiva, preventiva e preditiva. Os conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM), ou Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA), começam a ser aplicados para gerar os planos de trabalho, prever alocação de recursos a fim de prevenir ou mitigarem os efeitos de uma falha indesejada, e preservar os ativos da empresa. Uma das formas de melhorar os resultados em máquinas de lingotamento contínuo é o aumento da campanha dos segmentos baseando-se nos valores obtidos em anos anteriores. Porém, o valor atribuído é sempre com base em experiência, e os riscos do insucesso só serão identificados após a ocorrência das falhas, o que pode comprometer as estratégias do setor de manutenção. Este trabalho propõe uma avaliação mais quantitativa, tomando como base o banco de dados existentes no Pareto de falhas dos segmentos de uma máquina para especificação de alguma medida de confiabilidade de cada grupo de segmentos, a fim de verificar se as ações em curso estão dando resultado em aumento de confiabilidade da máquina. As ferramentas para análise de confiabilidade serão da Plataforma Synthesis da RealiaSoft, como Weibull++, RGA e BlockSim por trabalharem com distribuição de probabilidade contínua, e serem usados em estudos de tempo de vida de equipamentos e estimativa de falhas, com uso de várias distribuições de probabilidade. Os resultados mostram que o crescimento da confiabilidade não ocorreu em todos os grupos de segmentos da forma como se esperava, confirmando que a análise pode ser de importância singular no direcionamento de ações para obtenção de resultados de manutenção.

Palavras-chave: Lingotamento Contínuo. Manutenção. Crescimento da Confiabilidade.

ABSTRACT

ARRUDA, Reinaldo de, Silva. Reliability Growth Analysis of the Segments for a Continuous Casting Machine. 2017. 81 sheets. Monography (Reliability Engineering Specialization) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2017.

In a steelmaking plant, the decision making for maintenance results optimization are almost always based on the experience of professionals and supported by methodologies and tools, such as Pareto, associated with the classic maintenance techniques: corrective, preventive and predictive.

The concepts of Reliability Centered Maintenance (RCM) or Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) are applied to generate work plans and predict the allocation of resources, in order to prevent or mitigate the effects of an unwanted failure and to preserve the company's assets.

One of the ways to improve the results on continuous casting machines is to increase the segment's campaign based on the values obtained on previous years. However, the reference value is always based on experience, and the risks of failure will only be identified after the occurrence of the flaws, which may compromise the maintenance sector's strategies.

This work proposes a more quantitative evaluation, based on the existing database on the Pareto analysis of failures of a machine's segments, in order to set a measure for the reliability of each group of segments and verify if the actions in course are resulting in an improved reliability of the machine.

Reliability analysis tools such as Weibull ++, RGA and BlockSim from RealiaSoft's Synthesis Platform are going to be used due to their well-functioning with continuous probability distributions and applications on equipment life-time and failure estimation studies, using various probability distributions. The results show that reliability growth did not occur in all groups of segments as expected and confirming the importance of reliability analysis growth to define and targeting of actions to obtain maintenance results.

Key-words: Continuous Casting, Maintenance, Reliability Growth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Evolução temporal da manutenção	20
Figura 2.2 -Tipos de Manutenção.....	21
Figura 2.3 - Modelo de Manutenção da ArcelorMittal Tubarão.....	22
Figura 2.4 - Fluxo de produção da ArcelorMittal Tubarão	24
Figura 2.5 - Detalhes do lingotamento convencional do aço	25
Figura 2.6 - Layout de uma Máquina de Lingotamento Contínuo.....	26
Figura 2.7 - Máquina de lingotamento contínuo e seus equipamentos	27
Figura 2. 8 - Vista dos segmentos de um veio de uma máquina de lingotamento	30
Figura 2.9 - Segmento completo	31
Figura 2.10 - Controle de campanha de segmentos na máquina.....	32
Figura 3.1 - Ilustração de um gráfico da curva da banheira	36
Figura 3.2 - Modelos de distribuição de vida	37
Figura 3.3 - Adaptação do impacto da manutenção na curva da banheira	39
Figura 3.4 - Tela do software Weibill++	41
Figura 3.5 -Tela do software BlockSim.....	42
Figura 3.6 - Tela do software RGA.....	43
Figura 4.1 - Dados de simulação para sistema segmento 1	47
Figura 4.2 - Dados de simulação para sistema segmento 2 a 4.....	51
Figura 4.3 - Dados de simulação para sistema segmento 5 a 6.....	54
Figura 4.4 - Dados de simulação para sistema segmento 7	57
Figura 4.5 - Dados de simulação para sistema segmento 8 a 14 sistemas	60
Figura 4.6 - Diagrama de blocos do sistema máquina	63
Figura 4.7 - Diagrama de blocos da máquina com betas menores dos sistemas segmentos.....	64
Figura 4.8 - Diagrama de blocos da máquina com betas maiores dos sistemas segmentos.....	65

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 2.1 - Pareto de falha dos segmentos do lingotamento contínuo 2	344
Gráfico 4.1 - MTBF vs Tempo para sistema segmentos posição 1	49
Gráfico 4.2 - Intensidade de Falhas vs Tempo sistema segmentos posição 1	50
Gráfico 4.3 - MTBF vs Tempo para sistema segmentos posição 2 a 4	52
Gráfico 4.4 - Intensidade de Falhas vs Tempo sistema segmentos posição 2 a 4	53
Gráfico 4.5 - MTBF vs Tempo para sistema segmentos posição 5 a 6	55
Gráfico 4.6 - Intensidade de Falhas vs Tempo sistema segmentos posição 5 a 6	56
Gráfico 4.7 - MTBF vs Tempo para sistema segmentos posição 7	58
Gráfico 4.8 - Intensidade de Falhas vs Tempo sistema segmentos posição 7	59
Gráfico 4.9 - MTBF vs Tempo para sistema segmentos posição 8 a 14	61
Gráfico 4.10 - Intensidade de Falhas vs Tempo sistema seg. posição 8 a 14.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Dados de falha dos segmentos do grupo 1	46
Tabela 4.2 - Resumo das saídas de simulação do sistema segmentos posição 1	48
Tabela 4.3 - Resumo saídas de simulação do sistema segmentos posição 2 a 4	51
Tabela 4.4 - Resumo saídas de simulação do sistema segmentos posição 5 a 6	54
Tabela 4.5 - Resumo saídas de simulação do sistema segmentos posição 7	57
Tabela 4.6 - Resumo saídas de simulação do sistema segmentos posição 8 a 14 ..	60

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AMSAA	Army Materiel Systems Analysis Activity
AMT	ArcelorMittal Tubarão
CST	Companhia Siderúrgica de Tubarão
DFI	Taxa de Falha ao Final do Processo
DMTBF	Tempo Médio Entre Falhas
DOE	Delineamento de Experimentos
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (Análise dos Modos de Falha e Efeitos)
FTA	Fault Tree Analysis (Análise de Árvore de Falhas)
LDA	Life Data Analysis (Análise de Dados de Vida)
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MLE	Análise de Regressão e Máxima Verossimilhança (MLE).
MTBF	Tempo Médio Entre Falhas
PNHP	Processo Não Homogêneo de Poisson
RCM	Reliability Centered Maintenance (Manutenção Centrada em Confiabilidade)
RDB	Reliability Block Diagram (Diagrama de Blocos de Confiabilidade)
RG	Reliability Growth (Crescimento da Confiabilidade)
RGA	Reliability Growth and Repairable Systems (Crescimento da Confiabilidade e Sistemas Reparáveis.)
SRA	System Reliability Analysis (Análise de Confiabilidade de Sistemas)

LISTA DE SÍMBOLOS

t - Variável Aleatória de Tempo.

λ - Parâmetro da Distribuição, ou Taxa de Falha.

β -Parâmetro de Forma da Curva de Distribuição de Falhas.

η - Vida Característica ou Parâmetro de Escala

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.2	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.3	OBJETIVOS	15
1.3.1	Objetivo Geral.....	15
1.3.2	Objetivos Específicos	16
1.4	JUSTIFICATIVA	16
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.5.1	Classificação	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	MANUTENÇÃO	19
2.1	CONCEITOS DE MANUTENÇÃO.....	19
2.1.1	Evolução da Manutenção	20
2.1.2	Tipos de Manutenção	21
2.2	MANUTENÇÃO NA ARCELORMITTAL TUBARÃO.....	22
2.3	A EMPRESA	23
2.4	PROCESSO DE LINGOTAMENTO DO AÇO	25
2.5	MAQUINA DE LINGOTAMENTO E SEUS COMPONENTES	277
2.5.1	Principais Equipamentos de uma Máquina de Lingotamento.....	277
2.5.1.1	Torre Giratória.....	28
2.5.1.2	Distribuidor de Aço.....	28
2.5.1.3	Molde.....	28
2.5.1.4	Segmentos.....	29
2.5.1.5	Barra Falsa.....	29
2.5.1.6	Máquina de Corte.....	29
2.6	OBJETO DO ESTUDO	29
2.6.1	Controle de Campanha dos Segmentos.....	31
2.6.2	Controle das Falhas dos segmentos	32
2.7	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	34
3	REFERENCIAL TEÓRICO APLICADO AO TRABALHO	35
3.1	CONFIABILIDADE.....	35
3.1.1	Manutenção Centrada em Confiabilidade	35
3.1.2	Análise Quantitativa da Confiabilidade	36
3.2	MODELOS PROBABILÍSTICOS DE CONFIABILIDADE.....	37
3.3	SOFTWARE PARA MODELOS DE CONFIABILIDADE	39
3.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	44
4	DESENVOLVIMENTO	45
4.1	OS DADOS DE FALHA DOS SEGMENTOS	45
4.2	APLICANDO RGA AOS DADOS.....	47
4.2.1	Análise dos Dados do Sistema Segmentos Posição 1	47
4.2.2	Análise dos Dados do Sistema Segmentos Posição 2 a 4	50
4.2.3	Análise dos Dados do Sistema Segmentos Posição 5 a 6	54
4.2.4	Análise dos Dados do Sistema Segmentos Posição 7	57
4.2.5	Análise dos Dados do Sistema Segmentos Posição 8 a 14	60
4.2.6	Análise dos Sistemas Segmentos Inseridos no Sistema Máquina	63
4.3	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	66
5	CONCLUSÃO	67
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	68

REFERÊNCIAS.....	70
ANEXO B - DADOS DE SIMULAÇÃO PARA SEGMENTOS POSIÇÃO 2 A 4	73
ANEXO C - DADOS DE SIMULAÇÃO PARA SEGMENTOS POSIÇÃO 5 A 6	75
ANEXO D - DADOS DE SIMULAÇÃO PARA SEGMENTOS POSIÇÃO 7.....	77
ANEXO E - DADOS DE SIMULAÇÃO PARA SEGMENTOS POSIÇÃO 8 A 14....	79

INTRODUÇÃO

A competição cada vez mais acirrada no mercado provocada principalmente pelos efeitos da globalização e as exigências cada vez maiores dos clientes por qualidade, faz com que todo sistema em qualquer cadeia produtiva tenha de ser o mais eficiente e rentável possível. Na manutenção de uma empresa, isso não é diferente. Por ser uma parte importante no processo, a manutenção que até pouco tempo era responsável apenas por restabelecer os equipamentos de maneira rápida e mantê-los funcionando, também precisa ter um olhar para frente e desenvolver-se a fim de buscar a excelência dentro do seu negócio que é a gestão dos ativos.

Com o objetivo de maximizar os lucros, as empresas têm investido em novas ferramentas de gestão de manutenção, como o emprego de ferramentas como o RCM, *Realibility Centered Maintanance* e o FMEA, *Failure Mode and Effects Analysis*, na busca de uma maior eficiência na identificação das causas raiz de falhas nos equipamentos, permitindo a identificação das melhores técnicas de manutenção para preveni-las ou elimina-las otimizando os custos.

Entretanto, a aplicação destas ferramentas tem um foco mais qualitativo, empregando pouca ou quase nenhum recurso quantitativo para mensurar e antever os resultados possíveis a fim de balizar as tomadas de decisão.

O conceito de confiabilidade de componentes, e principalmente transformar este conceito em números palpáveis vem sendo uma tendência nas empresas de grande desempenho e líderes em seus segmentos.

Na siderurgia, a competitividade acirrada e as margens baixas, fazem com que as empresas busquem investir cada vez mais na excelência de gestão dos ativos, sendo a confiabilidade a nova tendência neste setor de produção.

1.2 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

O maior desafio nas indústrias não é apenas saber das técnicas de manutenção mais modernas ou conhece-las, mas decidir quais delas realmente são ou não são importantes para aprimorar as tomadas de decisão. As empresas em maior ou menor escala, estão aplicando técnicas que visam melhorar o desempenho

dos ativos e reduzir os custos de manutenção destes sem, contudo, aplicar metodologias quantitativas afim de avaliar os resultados.

Neste contexto complexo, cada vez mais a Engenharia de Confiabilidade vem ganhando espaço, pois através dela é possível tratar todas as variáveis que norteiam o negócio manutenção. Porém, ainda há certa resistência na sua aplicação, dado que as pessoas, principalmente gestores, esperam ter respostas completas e precisas, o que só é possível em um mundo perfeito, e as opções dadas pela confiabilidade mostram sempre dois resultados, o sucesso ou o insucesso. Maximizar o primeiro e conseqüentemente reduzir o segundo para níveis aceitáveis, em se tratando de aumento da confiabilidade dos segmentos de uma máquina de lingotamento contínuo de placas, será a premissa deste trabalho.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são voltados à obtenção de dados quantitativos relativos ao desempenho de segmentos de uma máquina de lingotamento contínuo, implementando os conceitos de confiabilidade na gestão da manutenção da área de oficinas de segmentos, tomando como base o banco de dados existentes no Pareto de falhas destes equipamentos, e conhecer se as ações de reparo estão contribuindo na melhora do desempenho destes.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho será verificar se houve crescimento da confiabilidade dos segmentos da máquina de lingotamento contínuo após a implementação de melhorias, como alinhamento a laser dos rolos, treinamentos dos mecânicos em montagem de rolamentos, controle das folgas e tolerâncias de montagem, revisão dos desenhos, melhorias no sistema de lubrificação e refrigeração, entre outras, aplicadas após as análises das falhas ao longo dos últimos quatro anos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para auxiliar nas respostas do objetivo principal, foram elaborados os seguintes objetivos específicos, os quais este trabalho também deverá tratar:

- Separar os índices de falha dos grupos de segmentos da máquina no Pareto, porém incluindo todas as falhas, inclusive as não relacionadas a manutenção;
- Encontrar a confiabilidade de cada grupo de segmentos.
- Criar indicadores de desempenho de confiabilidade para comparações futuras.
- Estender e difundir o conceito de confiabilidade nas diversas áreas produtivas da usina.
- Entender a metodologia e os conceitos a fim de aplica-los em equipamentos novos futuramente, antecipando o estado futuro mediante as primeiras falhas destes.
- Criar números de referencia que possam apontar se a manutenção está contribuindo para melhorar o índice de trabalho da máquina, mesmo após a elevação da vida de campanha dos segmentos.

1.4 JUSTIFICATIVA

A necessidade de busca de desempenho cada vez melhor em todos os equipamentos faz com que a manutenção se aprimore tanto nos padrões de execução, aplicação de materiais mais nobres, investimentos em tecnologias mais modernas e em capacitação de pessoal. Porém, as tomadas de decisão na manutenção ainda são muito pouco baseadas em dados científicos, quantitativos, ou, quando o são, geralmente estão associados a grande experiência de alguns indivíduos que tomam essas decisões baseadas no notório saber.

Em uma máquina de lingotamento, as paradas por falha representam prejuízo imediato, pois significam a perda imediata de produção, além de muitas vezes, ainda ocorrerem desclassificações do produto por problemas de qualidade antes que a falha seja detectada.

Neste contexto, este trabalho se justifica por apresentar uma metodologia quantitativa para assegurar dentro do conceito de confiabilidade, as evidências de crescimento de confiabilidade, ratificando que as ações tomadas em melhoria e procedimentos estão dando os resultados esperados.

Caso sejam observados desvios, a equipe de manutenção poderá reavaliar sua estratégia de manutenção antes de implementar as melhorias em todos os segmentos.

Além disso, está prevista para 2019 a reforma de toda a máquina, onde serão colocados novos segmentos, com tecnologias mais modernas a fim de garantir melhor qualidade e desempenho. Obter os dados quantitativos relativos à confiabilidade da máquina atual será de suma importância para comparação com os dados a serem obtidos após a reforma, o que permitirá apurar o desempenho da nova máquina, sem, contudo, ter de esperar um longo tempo para obtenção de dados estatísticos.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os dados trabalhados foram obtidos nos arquivos de manutenção, sendo expurgadas as ocorrências que não eram representativas por conterem inconsistência de informação, o que limitou a amostra com dados parciais de 2011 até 28/09/2017.

1.5.1 Classificação

Para classificação da pesquisa, foi tomada como base a taxionomia proposta por Vergara (2004), que define os tipos de pesquisa em relação a dois aspectos: quanto aos fins e quanto aos meios.

Quanto aos fins, a pesquisa se classifica como aplicada, pois se trata de um trabalho que visa resolver um problema concreto com uma finalidade prática de propor uma forma de mensurar o crescimento da confiabilidade nos segmentos de uma máquina de lingotamento contínuo, com uso de ferramentas estatísticas de análise.

Quanto aos meios, classificou-se a pesquisa como um estudo de caso, já que foram colhidas informações de chão de fábrica, usando o Pareto de falhas da equipe de manutenção da máquina para obtenção de todas as informações relevantes para compor os dados a serem trabalhados.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado nos seguintes capítulos:

No capítulo 1 são realizados os comentários iniciais, apresentação e justificativa do tema, exposição dos objetivos, métodos de pesquisa e estrutura do trabalho.

No capítulo 2 é realizada a fundamentação teórica para desenvolvimento do trabalho, descrevendo a empresa, a máquina de lingotamento contínuo e seus componentes, uma breve explanação sobre evolução e tipos de manutenção e como a empresa aborda o assunto manutenção em suas áreas. São apresentados o tema e objetivo do trabalho, que é a verificação do crescimento da confiabilidade nos segmentos da Máquina de Lingotamento Contínuo 2 da ArcelorMittal Tubarão.

No capítulo 3 são revisados os conceitos e metodologias de análise utilizadas para especificar a confiabilidade dos segmentos, mostrando os principais modelos estatísticos de especificação de confiabilidade e apresenta os softwares a serem utilizados no trabalho.

No capítulo 4 é mostrado a tratativa dos dados levantados em campo e o tratamento destes nos softwares para obtenção das métricas de confiabilidade. São apresentados os resultados das simulações para cada grupo de segmentos com as respectivas análises dos resultados

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho e sugestões de novas propostas para trabalhos futuros para enriquecimento.

2 MANUTENÇÃO

Neste capítulo será contextualizada a manutenção no cenário de estudo além de apresentar uma visão geral de uma planta siderúrgica, detalhes da máquina de lingotamento contínuo e seus componentes, e os conceitos de confiabilidade adotados na manutenção tratados neste trabalho.

2.1 CONCEITOS DE MANUTENÇÃO

Todo equipamento, peça, sistema ou organismo, estão sujeitos a algum tipo de deterioração ao longo de sua existência. Em máquinas submetidas a um regime de trabalho, este estado gradativo tende a se intensificar. O não zelo ou cuidado com tais equipamentos poderá fazer com que estes percam suas funções de forma parcial ou definitiva, levando a empresa a parar por longos períodos e perder negócios. Para garantir que isso não aconteça, atividades de manutenção precisam ser feitas e estas devem estar alinhadas com os objetivos da empresa e seus resultados, pois tais atividades estão associadas a custos, que podem ser elevados, e prejudiciais se não empregadas corretamente.

O dicionário Aurélio define a manutenção como as medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou de uma situação ou ainda como cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas.

Manutenção é o termo usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas cuidando de suas instalações físicas. É uma parte importante da maioria das atividades de produção, especialmente aquelas cujas instalações físicas têm um papel fundamental na produção de seus bens e serviços (SLACK 1999).

As atividades de manutenção existem para assegurar que um equipamento continue a desempenhar as funções nas quais foram projetadas. Porém, a degradação do mesmo é inevitável, pois são causados pelo tempo de uso e desgaste natural. A manutenção pode desempenhar um papel importante na melhoria da produtividade, melhorando sua forma de gerenciamento e evitando problemas de relacionamento entre os vários departamentos de uma empresa, deixando de ser visto como um mal necessário. O gerenciamento das atividades da manutenção não deve ter seu escopo reduzido apenas para manter as condições originais dos equipamentos. As atividades de melhoria requerem ações específicas tanto em nível técnico como gerencial (MARÇAL 2004).

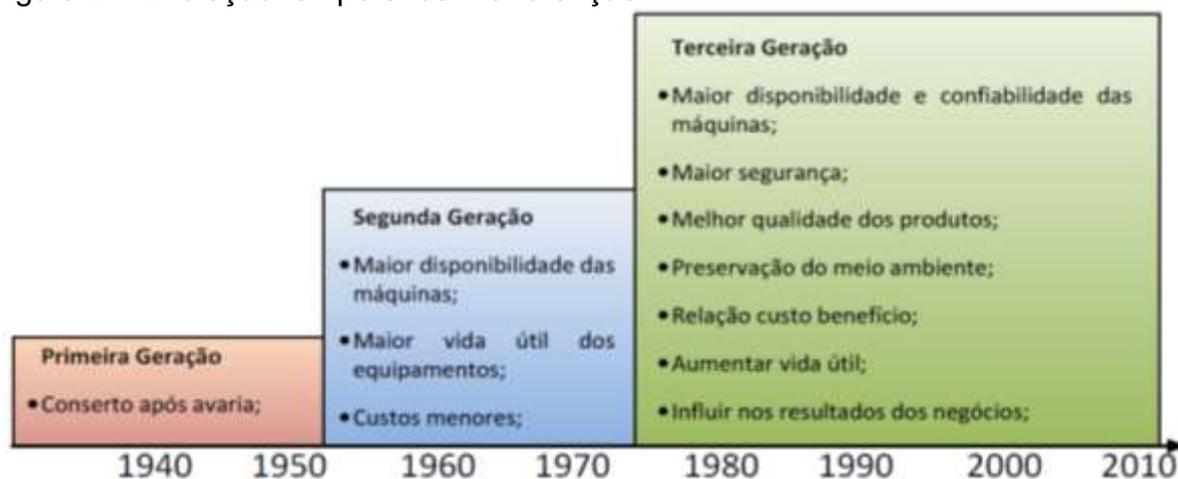
Para Moubray (1997), manutenção é uma atividade desafiadora, pois apesar dos progressos tecnológicos, fatores como complexidade, concorrência, custos, e estes associados a uma nova filosofia de organização e responsabilidades, fizeram da manutenção uma das atividades que mais mudaram nas últimas duas décadas. Atualmente, muitas empresas consideram a manutenção como parte do processo com grande influência nos resultados, e não como custo somente, pois perceberam que a manutenção bem realizada é a única forma de se manterem competitivas e atuantes no mercado, por garantir a estabilidade operacional de forma econômica.

2.1.1 Evolução da Manutenção

Ao olhar a história da manutenção, observa-se que esta evoluiu com o passar do tempo.

Moubray (1997) classifica a evolução da manutenção em três gerações distintas, onde cada geração corresponde a um período tecnológico de produção, resultando em novos conceitos, filosofias e atividades de manutenção. A Figura 2.1 detalha esta classificação.

Figura 2.1 Evolução temporal da manutenção



Fonte: MOUBRAY, John (1997).

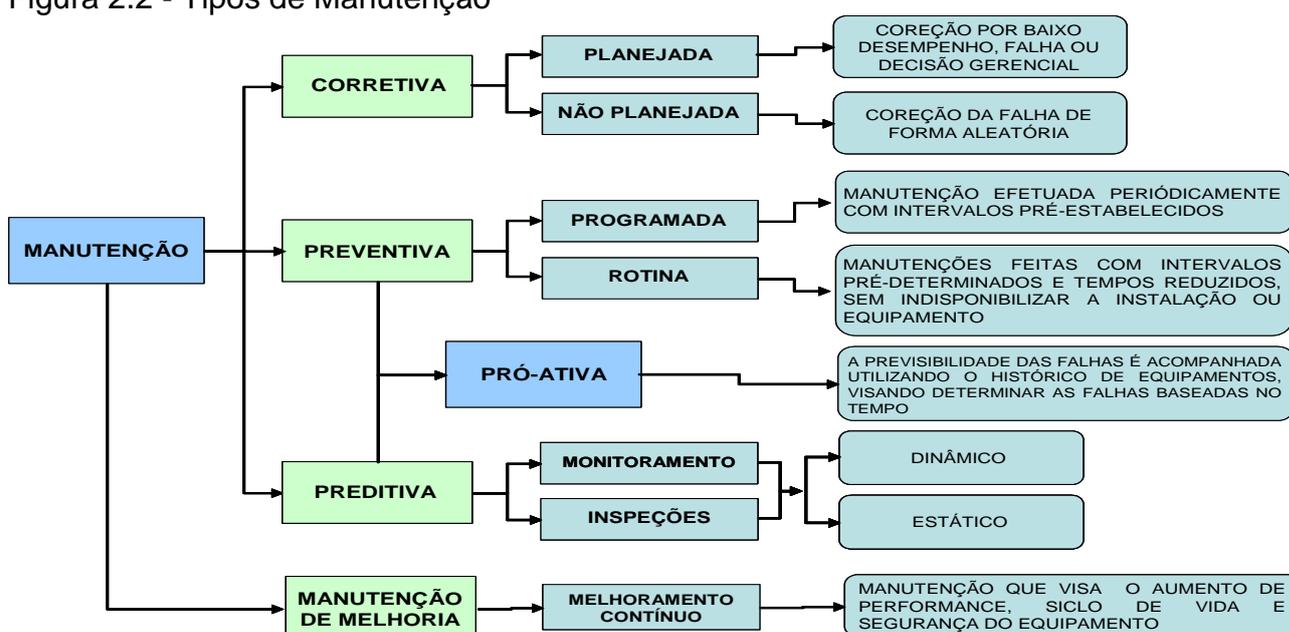
A classificação proposta por Moubray resume as mudanças de conceito e foco das empresas da gestão de seus ativos, a medida que a indústria evolui.

Atualmente há uma corrente forte para mudança de conceitos de manutenção voltada para confiabilidade, o que já é chamado de a Quarta Geração da manutenção.

2.1.2 Tipos de Manutenção

Kardec e Nascif, (1988), afirmam que atividades de manutenção de uma organização consistem em uma combinação de quatro abordagens básicas para cuidar de suas instalações físicas. De acordo com a política de gestão de ativos adotada pela empresa, as quatro abordagens podem ser percebidas, bem como suas variantes. A Figura 2.2 mostra essas abordagens, bem como ilustra as variantes destas.

Figura 2.2 - Tipos de Manutenção



Fonte: Kardec e Nascif, 1988 – Adaptado.

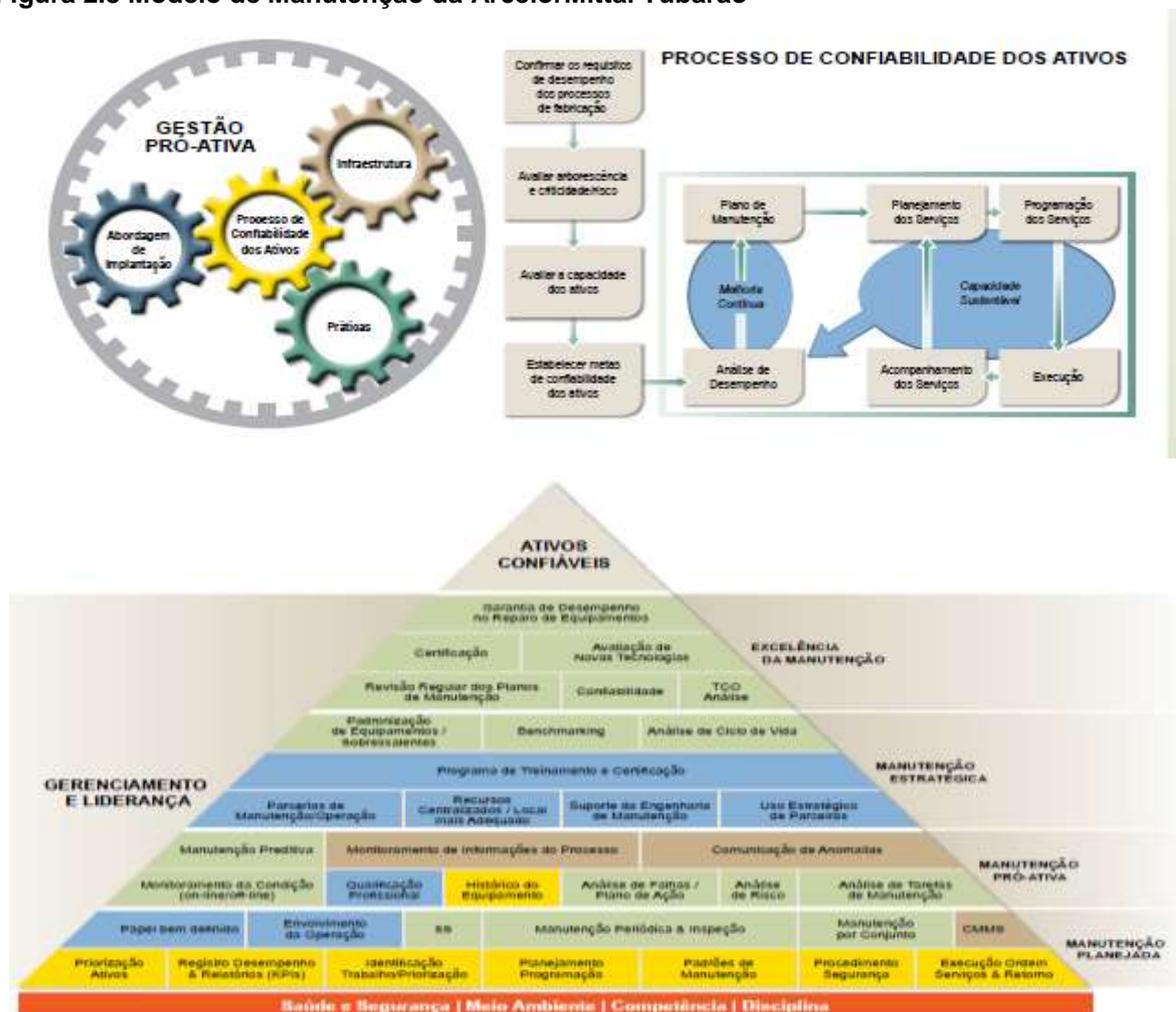
Os tipos de manutenção e abordagens ilustradas são os mais comuns de se encontrar em organizações, podendo se ter todos os tipos ou apenas um deles. Tudo depende da estratégia da empresa na gestão de seus ativos.

2.2 MANUTENÇÃO NA ARCELORMITTAL TUBARÃO

A ArcelorMittal aplica todas as filosofias de manutenção nos ativos de sua planta, porém entendeu que é necessário implementar os conceitos de confiabilidade afim de obter melhores resultados tanto de desempenho quanto de custos de manutenção. Ultimamente, tem investido junto às equipes de manutenção na mudança de abordagem, com foco em confiabilidade, sendo inclusive parte de seu plano diretor de manutenção, objetivando a excelência da manutenção.

A Figura 2.3 ilustra o modelo de manutenção definido como estratégia no Plano Diretor de Manutenção da ArcelorMittal Tubarão.

Figura 2.3 Modelo de Manutenção da ArcelorMittal Tubarão



Fonte: ArcelorMittal Aços Planos América do Sul (2017).

Este modelo de estruturação da manutenção segue as diretrizes válidas para todo o Grupo ArcelorMittal em suas diversas unidades pelo mundo.

A ArcelorMittal considera a manutenção como função estratégica, capaz de assegurar a confiabilidade operacional mediante a maximização da disponibilidade e da vida útil dos ativos.

2.3 A EMPRESA

Este estudo se desenvolve na ArcelorMittal Tubarão, localizada em Serra no Espírito Santo, Brasil. Para conhecer melhor a empresa, foi feito um levantamento de sua história desde sua fundação até os dias atuais. Originalmente foi concebida como uma empresa estatal chamada de Companhia Siderúrgica de Tubarão, CST.

O plano de construir uma produtora de aço no Espírito Santo começou a se desenvolver no início da década de 1960. O objetivo era aproveitar as vantagens logísticas de Vitória fazendo a integração com o sistema ferroviário, que traz minério de ferro de Minas Gerais, e o acesso ao mar, para receber um insumo fundamental, o carvão mineral, e escoar a produção.

No dia 13 de março de 1974, nasce oficialmente a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), como uma parceria entre o governo brasileiro e duas empresas internacionais, a japonesa Kawasaki e a italiana Finsider. A construção é iniciada com a terraplanagem em 27 de março de 1978 e, em 2 de maio de 1980, é dado o primeiro passo das obras civis, com a escavação para a implantação do Alto-Forno. Em 30 de novembro, é realizada a inauguração oficial.

O plano de construir uma produtora de aço no Espírito Santo começou a se desenvolver no início da década de 1960. O objetivo era aproveitar as vantagens logísticas de Vitória fazendo a integração com o sistema ferroviário, que traz minério de ferro de Minas Gerais, e o acesso ao mar, para receber um insumo fundamental, o carvão mineral, e escoar a produção.

No dia 13 de março de 1974, nasce oficialmente a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), como uma parceria entre o governo brasileiro e duas empresas internacionais, a japonesa Kawasaki e a italiana Finsider. A construção é iniciada com a terraplanagem em 27 de março de 1978 e, em 2 de maio de 1980, é dado o primeiro passo das obras civis, com a escavação para a implantação do Alto-Forno. Em 30 de novembro, é realizada a inauguração oficial.

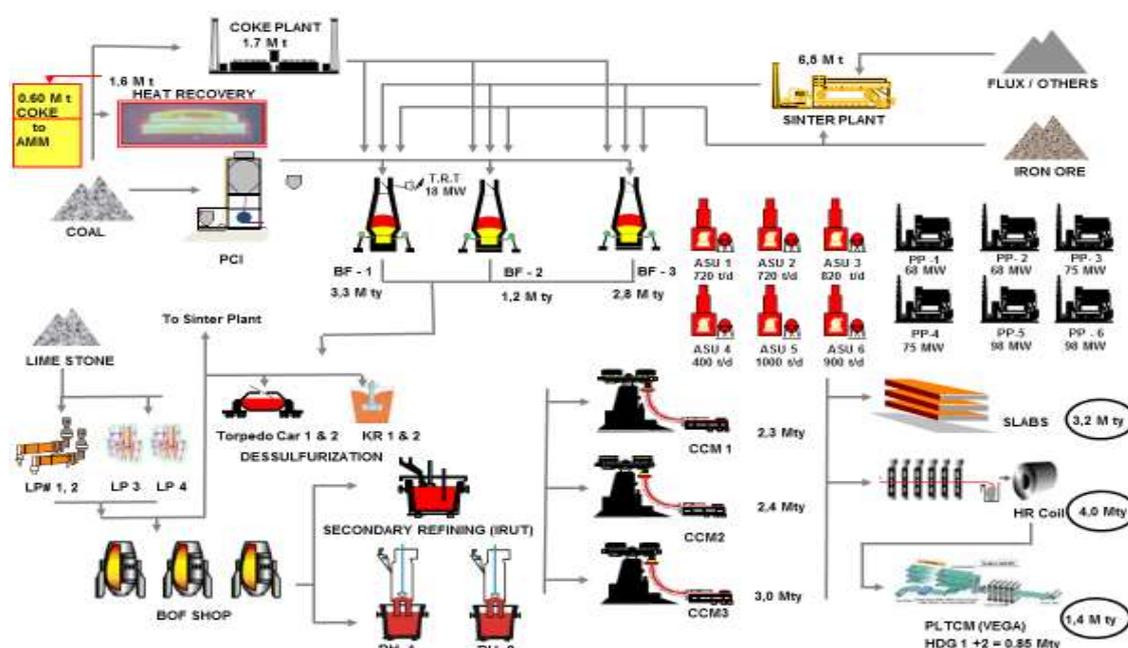
No dia 16 de julho de 1992, as ações da Companhia Siderúrgica de Tubarão são comercializadas em um leilão realizado na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro, consolidando a privatização da empresa. Em 2016 a empresa passa a fazer parte do Grupo ArcelorMittal, maior produtor de aço do mundo, e ganha a denominação atual: ArcelorMittal Tubarão. (ARCELORMITTAL TUBARAO, 2017).

Atualmente, com uma planta completamente integrada, e capacidade instalada de produção de 7,5 Milhões de toneladas por ano, a ArcelorMittal Tubarão fornece placas e bobinas nas mais diversas composições do aço para atender as mais exigentes aplicações tanto no mercado doméstico quando no internacional.

Usinas siderúrgicas integradas são aquelas que possuem todo o ciclo de produção, compreendendo a redução, o refino do aço, a produção das placas e a laminação.

A Figura 2.4 apresenta o fluxo de produção completo da ArcelorMittal Tubarão com as várias áreas produtivas.

Figura 2.4 - Fluxo de produção da ArcelorMittal Tubarão



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2017).

O parque industrial da empresa, comporta todos as diversas áreas produtivas e de apoio ao processo, desde os pátios de matérias primas, redução, geração de energia, processamento e despacho dos produtos.

Neste complexo parque industrial, estão instaladas as máquinas de lingotamento contínuo sendo o processo de lingotamento, de aços e suas ligas, considerado a última etapa na siderurgia para se trabalhar o aço em seu estado ainda líquido.

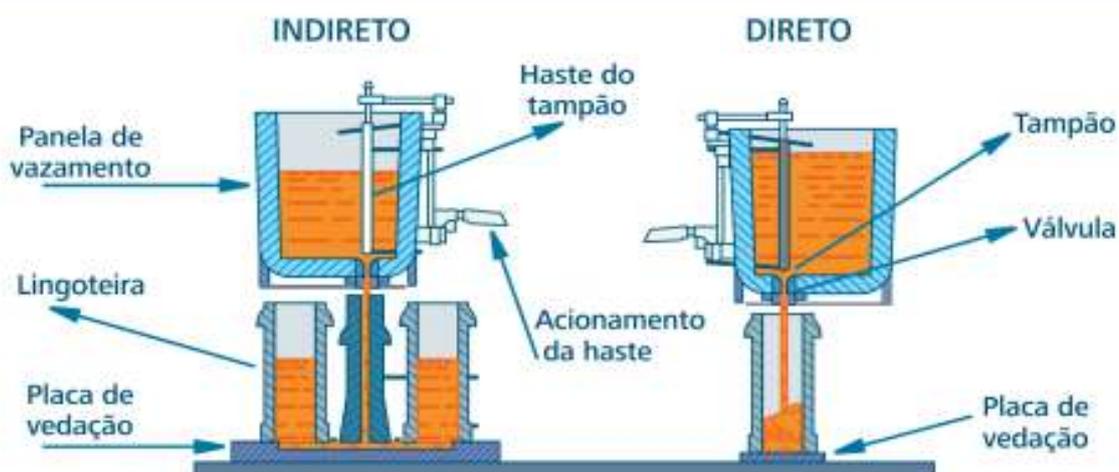
O processo tem como finalidade solidificar o aço e dar a forma desejável, de maneira a torná-lo adequado para ser utilizado nas etapas seguintes do processo de transformação do aço. A ArcelorMittal Tubarão, possui três máquinas, sendo a máquina 2 o objeto deste estudo.

2.4 PROCESSO DE LINGOTAMENTO DO AÇO

Nas últimas décadas, o método de converter aço líquido em sólido mudou drasticamente na empresa. O método de produção das placas era o lingotamento convencional, que consistia em vaziar o aço líquido em moldes individuais chamadas de lingoteiras, onde após um longo período de resfriamento ao ambiente, obtinha-se um produto denominado lingote, que seriam por sua vez reaquecidos e laminados.

A Figura 2.5 - ilustra o processo de lingotamento convencional através da moldagem do aço em lingoteiras,

Figura 2.5 Detalhes do lingotamento convencional do aço



Fonte: Araújo (2003).

O processo convencional direto se destinava a aços com maior tolerância a impurezas e menos propensos a reações, enquanto o indireto era usado para aços mais complexos.

Na ArcelorMittal Tubarão, o lingotamento convencional foi substituído pelo lingotamento contínuo a partir de 1995. Atualmente, as três máquinas em operação.

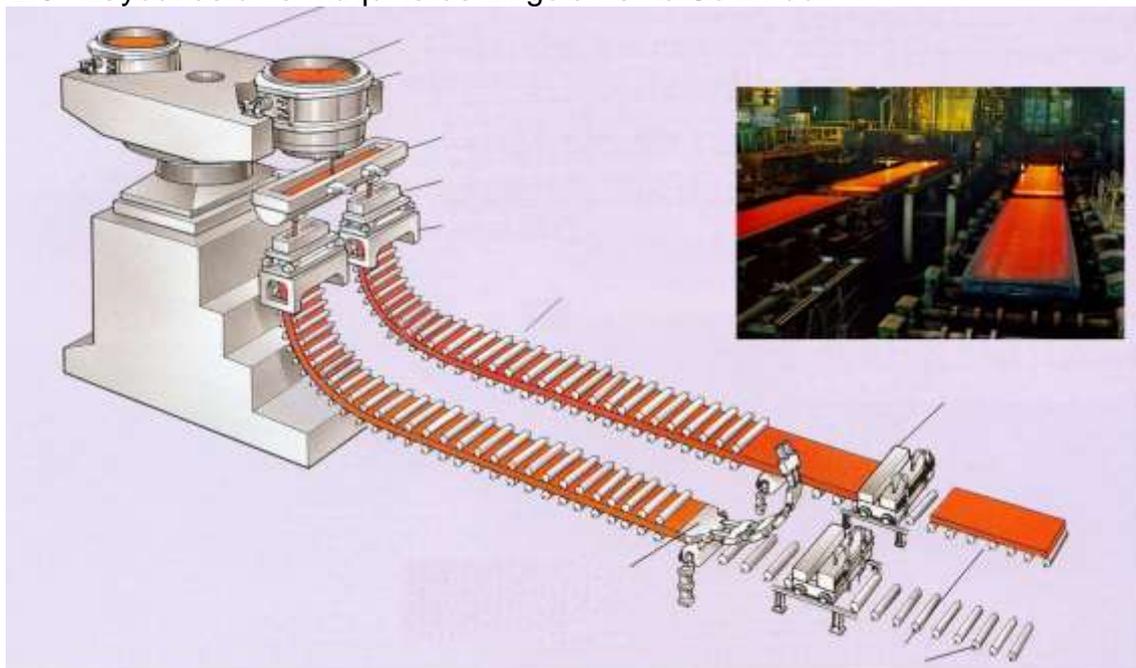
As máquinas são dotadas de dois veios, cada sendo que cada veio possui instalados 14 segmentos, dispostos em uma forma curva afim de facilitar o processo de lingotamento.

O aço é vazado no molde onde recebe a forma inicial da placa, para depois passar pelos segmentos onde se garante a contenção da pele de aço em solidificação, garantindo a forma final, ocorre o processo de resfriamento até a

solidificação total. Ao longo de todo comprimento estão dispostos rolos extratores que fazem a extração contínua da placa.

A Figura 2.6 - ilustra uma máquina de lingotamento contínuo, e o produto final que são as placas de aço.

Figura 2.6 - Layout de uma Máquina de Lingotamento Contínuo



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2017).

A concepção inicial de um projeto para se lingotar continuamente o metal, surgiu em na metade do século XIX, concebidas por G. E. Sellers em 1840, J. Laing em 1843 e Henry Bessemer em 1846, cujo a este cabe a patente do lingotamento contínuo do aço. Inicialmente a ação de lingotar continuamente somente puderam ser utilizadas no lingotamento de metais não ferrosos com baixo ponto de fusão. O aço era um desafio em função das altas temperaturas de trabalho além do envolvimento de baixas condutividades térmicas.

No ano de 1887, R. M. Daelen vislumbrou a possibilidade de solidificar o aço usando água para resfriamento no molde, abrindo o topo e sua base. Consideráveis problemas ocorriam durante este processo devido ao agarramento da pele solidificada do aço da parede do molde.

Apesar disso, somente em 1933 Siegfried Junghans desenvolveu um sistema de oscilação do molde, fazendo com que o processo fosse utilizado em larga escala no lingotamento contínuo.

No Brasil o processo de lingotamento contínuo foi introduzido pela Riograndense em 1960, com uma máquina de tarugos de dois veios, seguida pela siderúrgica Dedini em 1968 com máquina de tarugos de três veios. (ARAUJO, 2003)

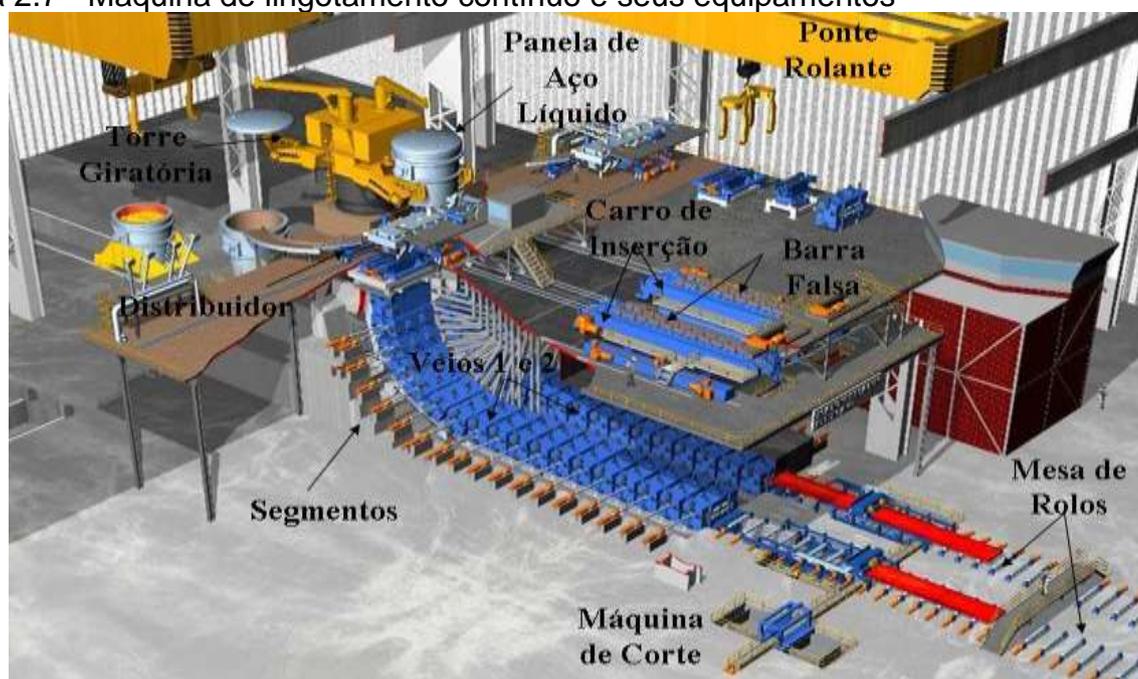
2.5 MAQUINA DE LINGOTAMENTO E SEUS COMPONENTES

Para garantir as qualidades dimensionais e físicas das placas produzidas, complexos componentes compõem uma máquina de lingotamento contínuo, precisando combinar robustez e precisão, pois por trabalhar com cargas e temperaturas elevadíssimas, os aços nas transições de líquido até sólido é extremamente sensível sendo as variações dimensionais nos equipamentos na ordem dos décimos de milímetro.

2.5.1 Principais Equipamentos de uma Máquina de Lingotamento.

Para melhor entendimento, a Figura 2.7 apresenta os principais equipamentos que compõem uma máquina de lingotamento contínuo, e imediatamente a seguir, são descritas suas funções básicas no processo.

Figura 2.7 - Máquina de lingotamento contínuo e seus equipamentos



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2017).

Máquinas de lingotamento contínuo, na verdade é um conjunto de vários e complexos equipamentos de precisão milimétrica e perfeito sincronismo fundamentais para produção segura e de qualidade.

2.5.1.1. Torre Giratória

Equipamento destinado transferência e sustentação da panela com aço líquido durante o processo de lingotamento. Possui dois braços de sustentação, permitindo que enquanto uma panela de aço está em processo de lingotamento a outra fique na condição de espera. Ao fim do escoamento do aço da panela em lingotamento, através de um giro de 180 graus, é feita a troca da panela vazia pela cheia, dando assim continuidade ao processo. Esses equipamentos são dotados de braços que tem a função de suportar, abaixar/levantar e inclinar a panela de aço.

2.5.1.2. Distribuidor de Aço

Recipiente metálico, revestido internamente por material refratário para suportar temperaturas elevadas imposta pelo aço líquido. Instalado entre a panela de aço e o molde, tem como finalidade principal distribuir o aço entre os veios da máquina, proporcionando condições de controle e vazão do aço para os moldes e também manter a continuidade do processo durante as trocas de painéis de aço.

2.5.1.3. Molde

É uma das partes mais importantes do Lingotamento Contínuo, pois ele é quem define a transformação do aço líquido em sólido, além de conferir a forma e dimensões finais do produto. Grande parte da qualidade da placa está diretamente relacionada com o funcionamento do molde. O molde é composto de placas de cobre, que são refrigeradas internamente, através de circulação de água, para extrair o calor proveniente do contato com aço líquido. Por este sistema o molde processa a solidificação de uma pele de aço que suporta a massa líquida; esta solidificação avança à medida que a placa desce na máquina.

2.5.1.4. Segmentos

Equipamentos que responsáveis por conter a placa em formação, resfria-la e promover a sua extração. Para isso é formador por duas estruturas rígidas, que suportam os rolos e estão ligas entre si por cilindros hidráulicos. Também possui um sistema de resfriamento com vários bicos de spray que promovem o resfriamento da placa, e conseqüentemente sua solidificação garantindo que a pele sólida de aço não se rompa devido à pressão ferrostática da coluna do aço líquido. As máquinas da ArcelorMittal Tubarão possuem quatorze segmentos. Cada segmento, a partir do segundo, possui o seu rolo central superior motorizado e articulado, tendo este a função de extrair as placas de aço. Todos estes itens operam com desvio máximo permitido de 0,5 mm, para garantir a qualidade do produto.

2.5.1.5. Barra Falsa

Equipamento utilizado para partida ou início do processo de lingotamento. Articulada como uma corrente é introduzida na máquina por cima, pelo molde, ou por baixo através do último rolo da máquina.

2.5.1.6. Máquina de Corte

É um equipamento situado logo após o último rolo da máquina, que tem como finalidade seccionar as placas em comprimentos programados previamente. O corte automático das placas é realizado através de maçaricos alimentados por gás natural e oxigênio.

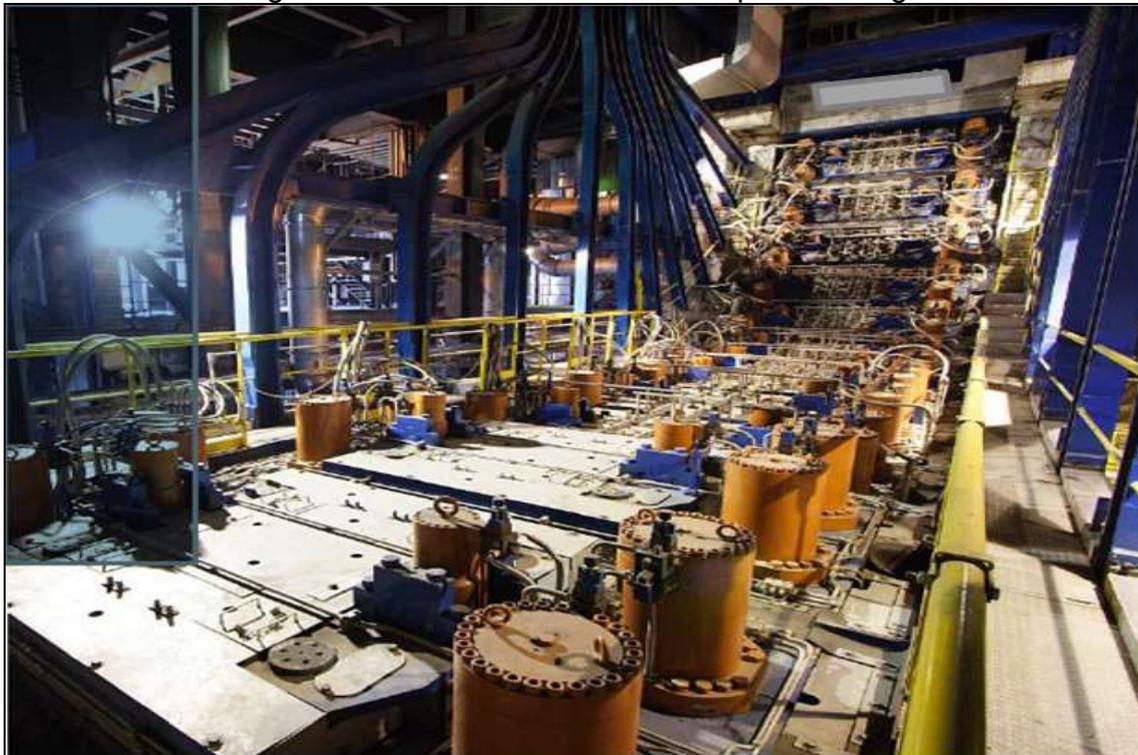
2.6 OBJETO DO ESTUDO

Os componentes a serem tratados neste estudo são os segmentos da máquina de lingotamento contínuo 2 da ArcelorMittal Tubarão.

A máquina 2 é dotada de 2 veios de produção sendo que cada veio é composto por um molde, um segmento zero e 14 segmentos montados em série. As avaliações serão feitas nos segmentos de 1 a 14 dos veios. Para melhor

entendimento a Figura 2.8 mostra a vista de um veio com seus segmentos montados.

Figura 2. 8 - Vista dos segmentos de um veio de uma máquina de lingotamento



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2017).

Os segmentos são formados por vários sistemas, sendo os principais o conjunto de rolos livres, o conjunto de rolos motrizes, o sistema hidráulico de clamp e rolo motriz com seus respectivos cilindros, os sistemas de refrigeração de rolos e mancais, o sistema de spray, o sistema de lubrificação entre outros, sendo cada sistema dotado de vários componentes.

A condição de trabalho dos segmentos expõe estes sistemas as mais diversas variações de temperatura, esforços, impactos e corrosão fazendo com que todos possam falhar provocando a perda de função e conseqüentemente a parada da máquina.

A Figura 2.9 mostra um segmento novo, recém-fabricado, onde podem ser vistos os rolos com seus mancais, os cilindros hidráulicos na parte superior, as tubulações dos sistemas de refrigeração e a estrutura onde tudo é montado.

Figura 2.9 - Segmento completo



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2017).

2.6.1 Controle de Campanha dos Segmentos

Para acompanhar a campanha dos segmentos, é feito um controle de produção sendo alocada a produção de cada um mediante sua localização na máquina. Quando ocorre uma falha, esta é anotada, avaliada e ações são tomadas para eliminar, ou prevenir para que ela não se repita. Muitas vezes, apenas o componente falho é substituído ou reparado, e o segmento retorna para máquina a fim de concluir sua campanha.

Cada intervenção feita no segmento antes que este conclua sua campanha, é considerado como retrabalho.

As campanhas são definidas mediante a posição do segmento na máquina e o histórico de falhas de cada posição.

resultados pode ser longo, visto que o tempo de operação total pode ser de mais de um ano, período em que podem ocorrer outras falhas, ou se ter uma repetição da falha anterior.

De acordo com Kumar, (2016), “Uma máquina de lingotamento contínuo, com manutenção *Word class*, o esperado é que ocorram no máximo 5 falhas em posições distintas para os segmentos de uma máquina com as características da máquina 2 da ArcelorMittal Tubarão”. Isto durante suas campanhas totais. Levando se em consideração que as campanhas dos segmentos estudados estão entre 1,5 a 2,5 milhões de toneladas, e que a máquina tem capacidade de produção de 2.6 milhões de toneladas por ano, em dois veios, cada segmento pode ficar de um a dois anos em operação.

Como foi observado no controle de desempenho mostrado na figura 4, existem 13 segmentos com falha em 24 montados, e 8 com falha nos 12 reservas, sendo que alguns falharam mais de uma vez, totalizando 48 falhas em 40 segmentos. Um número muito superior aos 5 retrabalhos propostos, que significaria ter-se apenas cinco falhas ao longo de um ano.

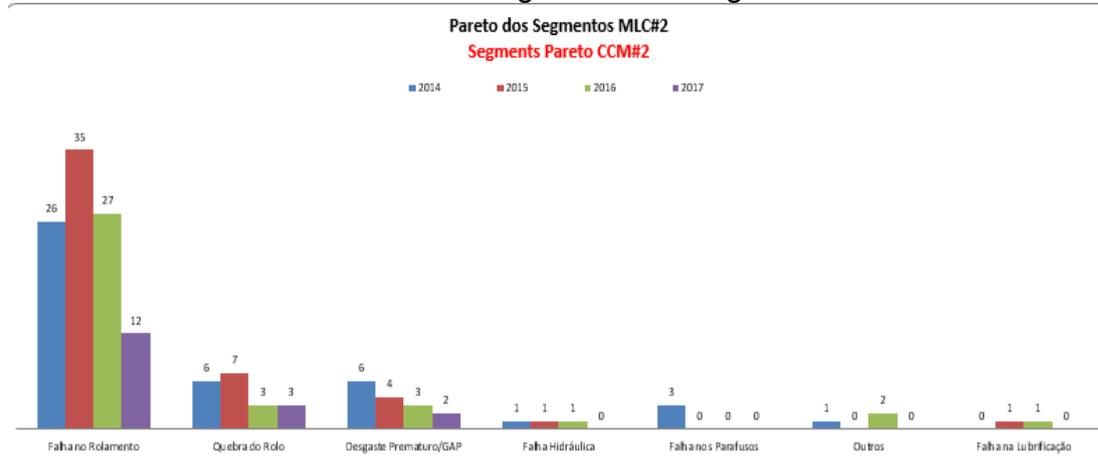
Perseguir essa marca tornou-se o desafio da manutenção, e muitas foram as ações tomadas tanto em materiais quanto em procedimentos empregados na manutenção destes a fim de reduzir o número de falhas, principalmente por que também houve a necessidade de se elevar as campanhas dos segmentos na ordem de 30%.

Quando se eleva a campanha de um equipamento, ou seja, se espaça mais o intervalo entre as manutenções há sempre uma preocupação se com o envelhecimento do equipamento, as falhas não se tornem mais frequentes, devido ao fim de vida útil.

No Gráfico 2.1 observa-se o número de falhas nos segmentos da máquina de lingotamento contínuo número 2, ao longo dos anos, onde é possível se ter uma noção de resultados da redução do número de falhas, porém esse é um conhecimento tardio, pois ele é resultado de uma observação instantânea no momento, quando as falhas já ocorreram.

A apresentação em Pareto facilita a estratificação das principais falhas dos segmentos.

Gráfico 2.1 - Pareto de falha dos segmentos do lingotamento contínuo 2



Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2017).

Avaliando o gráfico, é possível observar que há um total de 17 falhas só no ano corrente, sendo os rolamentos os componentes que mais falham.

Como a campanha total de um segmento em operação tem duração mínima de 1,5 anos, a aplicação de ferramentas estatísticas de confiabilidade nos dados de acompanhamento dos segmentos torna-se uma necessidade para verificar se as melhorias implementadas após as análises destas falhas estão permitindo o crescimento dessa confiabilidade.

2.7 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados o tema e objetivo do trabalho, que é a verificação do crescimento da confiabilidade nos segmentos da Máquina de Lingotamento Contínuo 2 da ArcelorMittal Tubarão. Feita uma apresentação da empresa e da máquina, abordados conceitos de manutenção adotados pela empresa. Também foram mostrados a fonte dos dados a serem trabalhados, as características principais dos itens em estudo e as expectativas com os resultados.

Os conceitos tratados neste capítulo facilitam o entendimento da importância do estudo, por deixar clara a complexidade dos sistemas envolvidos, bem como a importância da manutenção como estratégia de negócio.

No próximo capítulo será feita a revisão bibliográfica da engenharia de confiabilidade aplicada a este trabalho.

3 REFERENCIAL TEÓRICO APLICADO AO TRABALHO

Este capítulo mostra os conceitos e metodologias de análise utilizadas para especificar a confiabilidade dos segmentos e fazer as avaliações a que o mesmo se propõe.

3.1 CONFIABILIDADE

Spano, (2017), define a Confiabilidade, em uma visão qualitativa sendo uma das características da qualidade mais importantes para componentes, produtos e sistemas complexos. É uma metodologia científica aplicada para se conhecer o desempenho ou comportamento de vida de produtos, equipamentos, plantas ou processos de forma a assegurar que estes executem sua função, sem falhar, por um período de tempo em uma condição específica de uso.

3.1.1 Manutenção Centrada em Confiabilidade

Conceitualmente Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), do inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM), é uma abordagem criada no final da década de 60, inicialmente orientada para a indústria aeronáutica, com o objetivo de direcionar os esforços da manutenção, para componentes e sistemas onde a confiabilidade é fundamental. Seu principal objetivo é garantir o desempenho, a segurança e preservação do ambiente a um melhor custo-benefício (MOUBRAY, 1997)

Atualmente, vários segmentos da indústria bem como de outros setores produtivos, estão inserindo em seu negócio os conceitos de confiabilidade, principalmente pela segurança que os números podem apresentar nas tomadas de decisão.

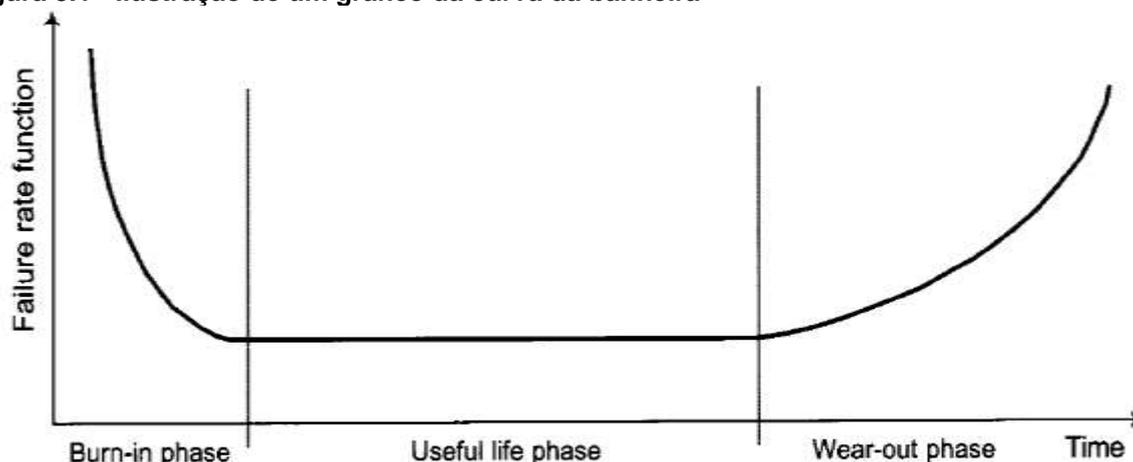
A engenharia de confiabilidade, fortemente presente nas aeronaves, expande sua aplicação para os processos industriais. Operar e manter os complexos equipamentos produtivos, de alta tecnologia, em níveis de confiabilidade e disponibilidade adequados, também se demonstrou um fator determinante para a excelência empresarial e evolução dos produtos, (MOCZYDLOWER, 2017).

3.1.2 Análise Quantitativa da Confiabilidade.

Ao se falar em quantificar, fica evidente a necessidade de se apresentar números, assim Spano (2017), define também que Confiabilidade é uma combinação da Engenharia, Física e Estatística em uma única metodologia.

Todo equipamento, assim como os segmentos apresentam curvas de desempenho durante sua existência, ou ciclo de produção, que mostram o comportamento das falhas. A gráfico da curva da banheira é a forma mais usual de representar o comportamento das falhas ao longo do ciclo de vida de qualquer componente. Nela, observa-se o comportamento da taxa de falhas ao longo do ciclo completo, sendo a primeira uma taxa decrescente onde ocorrem as falhas prematuras, ou de infância, seguida pela taxa de falhas constante, onde ocorrem as falhas de vida útil, ou seja, falhas normais ao uso, e finalmente uma taxa de falha crescente, onde se observas as falhas por fim de vida útil. A Figura 3.1 ilustra um exemplo de curva da banheira.

Figura 3.1 - Ilustração de um gráfico da curva da banheira



Fonte: OREDA (2002)

A distribuição estatística dos dados de vida ou dos tempos até falha podem ser representados por uma função densidade de probabilidade, fdp, sendo que de acordo com os dados, esta podem assumir formas diferentes. Ou seja, a fdp descreve o comportamento probabilístico das falhas.

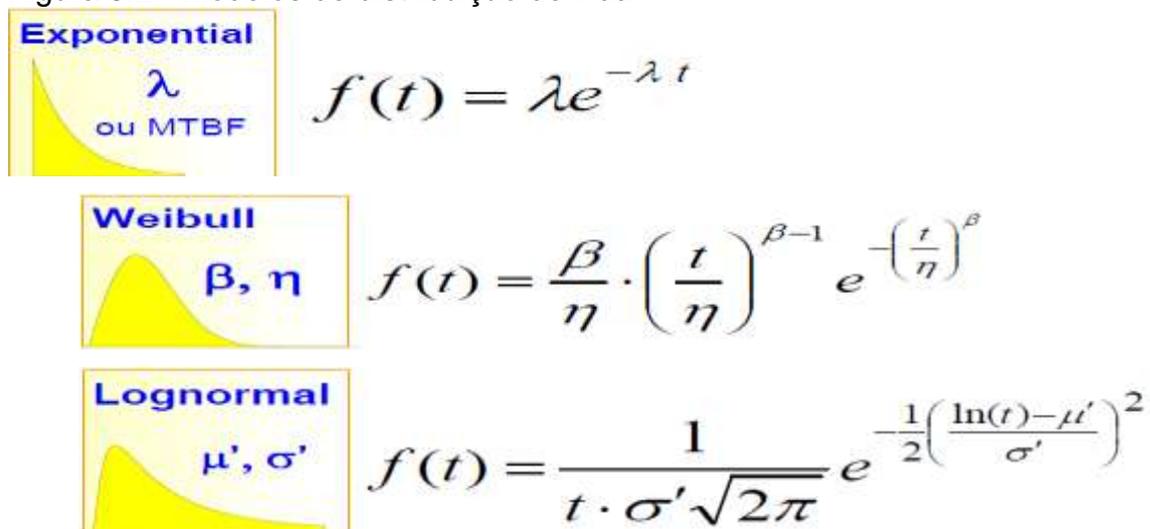
3.2 MODELOS PROBABILÍSTICOS DE CONFIABILIDADE

Para representar as diversas formas como os dados de vida podem se apresentar, são usados modelos que representam matematicamente os dados através de uma função contínua. Os modelos mais usados na análise de confiabilidade são:

- Exponencial: Aplicada para Taxa de Falha Constante
- Weibull: É uma função monotônica, pois a taxa de falhas pode ser Crescente, Decrescente ou Constante.
- Log-Normal: Taxa crescente, então decrescente assintoticamente para zero.
- Normal: Taxa de Falha Crescente
- Outras
 - Gama
 - Gama Generalizada
 - Logística
 - Loglogística
 - Gumbell
 - Modelos Mistos (Weibull Mista)

A Figura 3.2 mostra os três principais modelos e suas funções matemáticas.

Figura 3.2 - Modelos de distribuição de vida



Fonte: SPANÓ (2017).

Onde:

t é a variável aleatória e representa o tempo.

λ (lambda) representa o parâmetro da distribuição, ou taxa de falha.

β - Parâmetro de Forma → É aquele que dá a aparência da distribuição. Ou seja, ao variar β a equação de Weibull poderá representar uma curva típica de falhas prematuras, de falhas aleatórias ou de falhas por desgastes.

Teoricamente, β pode assumir valores entre 0 e $\infty \rightarrow$ Na prática é pouco provável encontrar valores menores que 0,2 ou maiores que 10.

η - Vida Característica ou Parâmetro de Escala \rightarrow É o período para que ocorram cerca de 63% das falhas.

Como os segmentos são reparados e voltam a operar e assim estão sujeitos a outras falhas em diferentes condições, a abordagem adotada para análise será a de confiabilidade de sistemas reparáveis.

Mariano, (2016), afirma que um sistema reparável pode ser traduzido como uma sequência de eventos aleatórios interdependentes e, que o tempo até a próxima falha, depois da atividade de manutenção, depende de quão boa ou ruim foi tal atividade, e que devido a esta característica os eventos de um sistema reparável são dependentes e não identicamente distribuídos logo à análise de dados de vida não poderá ser utilizada, pois requer que os eventos sejam independentes e identicamente distribuídos.

Um sistema reparável então pode ser modelado com um processo estocástico. “A natureza estocástica de um processo é devida ao fato de que ao chegar a um estado, permanecerá nele até a próxima ocorrência de um evento. ” Porém, tais eventos são dependentes e não identicamente distribuídos.

Dentre os vários modelos de processos estocásticos aplicáveis ao caso destaca-se o de Poisson que é um dos mais simples e dos mais importantes dentre os processos estocásticos. Isto não se deve apenas às inúmeras aplicações desse processo, mas, também à utilidade na construção de processos mais complexos.

Uma característica desse processo é que os intervalos de tempo entre eventos sucessivos têm distribuição exponencial. Esta distribuição é particularmente conveniente na modelagem matemática porque implica em uma taxa fixa de ocorrência.

Como a taxa de ocorrência de uma falha em um sistema reparável não deve ser considerada constante emprega-se o Processo Não Homogêneo de Poisson (PNHP).

O modelo Crow-AMSAA é um PNHP, Processo de Poisson Não Homogêneo com uma função de intensidade Weibull para modelar o sistema de tempos de falha como apresentado pelo Postulado de Duane. É um modelo de probabilidade de crescimento da Confiabilidade baseado no Postulado de Duane no qual as falhas ocorrem de acordo com um processo de Poisson não homogênea com intensidade

de falha $\lambda \beta t^{\beta - 1}$. O MTBF acumulado $(\lambda t^{\beta} - 1) - 1$ versus o tempo de teste acumulado, t , é linear.

O MTBF instantâneo é dado por: $(\lambda \beta t^{\beta - 1}) - 1$, onde $\lambda > 0$, $\beta > 0$, e se $\beta < 1$ o item está sob Crescimento.

Os dados de falha dos segmentos se enquadram para uso deste modelo, sendo ele o adotado nas análises e definições das métricas de confiabilidade.

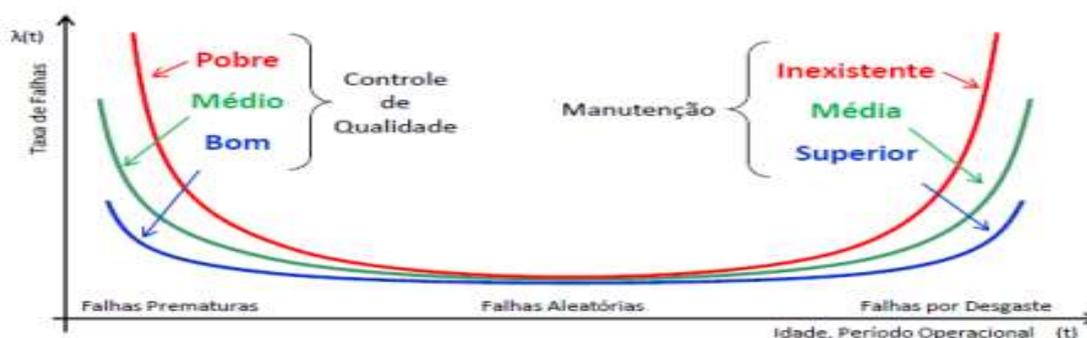
As interações matemáticas necessárias para uso de qualquer um dos modelos são praticamente impossíveis de serem executadas manualmente, sendo necessário o uso de softwares desenvolvidos para este fim.

3.3 SOFTWARE PARA MODELOS DE CONFIABILIDADE

Segundo Rigoni, (2017), o papel da manutenção é a de prolongar a vida útil dos ativos e melhorar a disponibilidade dos equipamentos.

A Figura 3.3 ilustra essa condição na curva da banheira, fazendo uma comparação simples nos extremos onde ocorrem as falhas prematuras ou as falhas por desgaste por fim de vida.

Figura 3.3 - Adaptação do impacto da manutenção na curva da banheira



Fonte: Rigoni (2017).

Quanto melhor for a manutenção, melhor será o desempenho dos equipamentos.

Entretanto, trabalhar os modelos para obter as métricas de confiabilidade ou quantificar o crescimento desta, permitindo enxergar na prática essa variação na curva requer o uso de softwares específicos.

Neste trabalho, todos os softwares utilizados são da ReliaSoft, por serem os usados em sala e por estarem disponíveis na empresa para simulação.

De acordo com a ReliaSoft Brasil, especializada em engenharia da confiabilidade, para criar as especificações de confiabilidade é necessário o conhecimento de algumas conceituações de confiabilidade, entre eles:

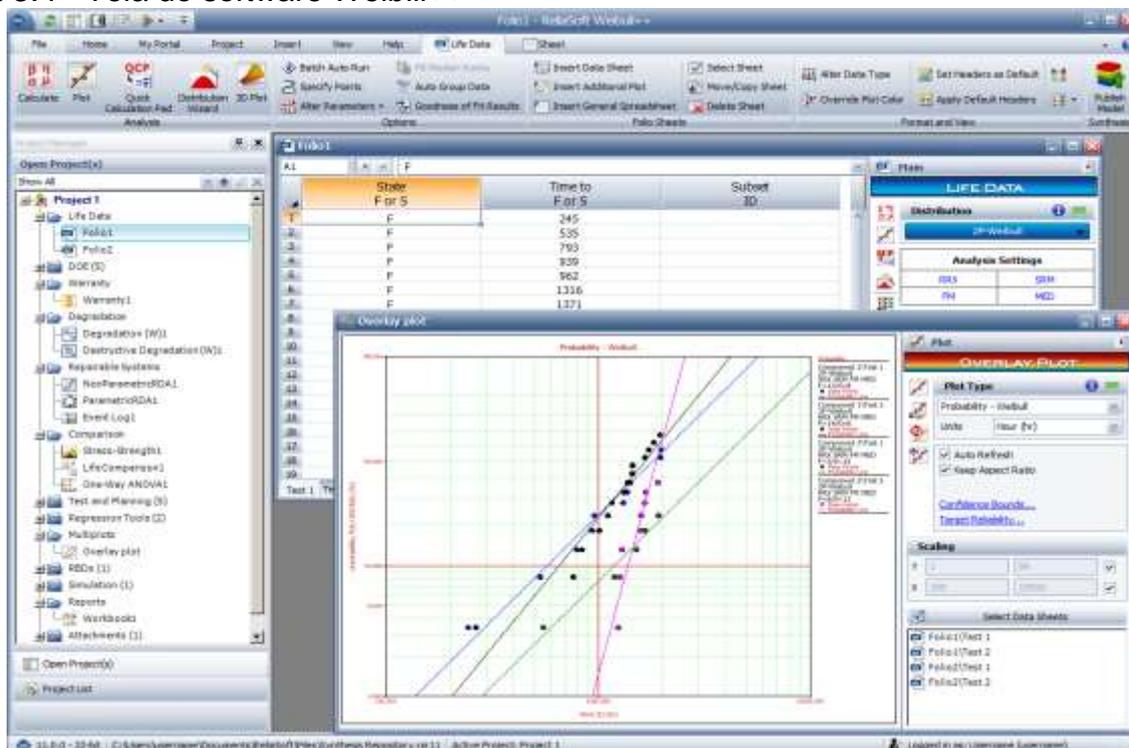
A Análise de Dados de Vida, LDA, que compreende os conceitos estatísticos fundamentais para se analisar e calcular as medidas da Engenharia da Confiabilidade. Como a maioria dos eventos, (ex. Falhas, Acidentes, Execução de um Reparo), não são determinísticos e sim eventos que ocorrem de maneira probabilística, necessitamos utilizar ferramentas matemáticas e estatísticas para modelar este comportamento e assim poder tomar decisões precisas em relação à estes eventos probabilísticos.

Para se trabalhar dados relativos a LDA, o software Weibull++ é o padrão para análise de dados de vida. O Weibull++ oferece um conjunto completo de ferramentas para a análise de dados de vida (análise de confiabilidade), permitindo diversos tipos de cálculos, gráficos e relatórios. O software suporta diversas distribuições incluindo Weibull, Weibull Mista, Exponencial, Lognormal, Normal, Gamma Generalizada, Gamma, Loglogistic, Gumbel e Weibull-Bayesian).

O software também inclui outras ferramentas para análises relacionadas à confiabilidade, incluindo análise de dados garantia, análise de degradação, análise de dados não paramétricos, análise de eventos recorrentes, delineamento de testes de confiabilidade e delineamento de experimentos (DOE).

A Figura 3.4 mostra uma das telas de interface da Weibull ++.

Figura 3.4 - Tela do software Weibull++



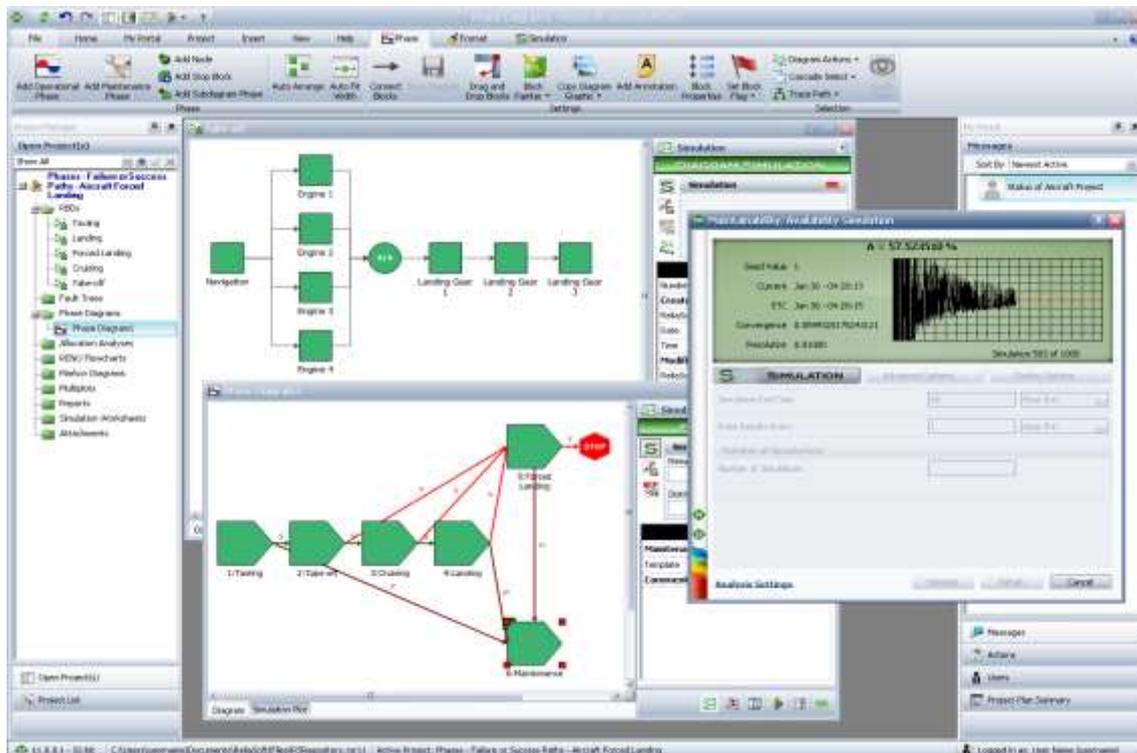
Fonte: ReliaSoft (2008).

A Confiabilidade de Sistemas, SRA, que tem como objetivo levantar a confiabilidade de sistemas não reparáveis e reparáveis. Utilizando a metodologia de Diagrama de Blocos de Confiabilidade (RBD) ou a Análise de Árvore de Falhas (FTA), o sistema é modelado de maneira a representar sua lógica de confiabilidade.

O software usado é o BlockSim Análise da Confiabilidade de Sistemas que fornece uma plataforma para a análise da confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade de sistemas, utilizando a abordagem de diagrama de blocos de confiabilidade (RBD) e análise de árvore de falha (FTA). O BlockSim também permite simulações de sistemas reparáveis.

A Figura 3.5 mostra uma das telas de interface do BlockSim.

Figura 3.5 -Tela do software BlockSim



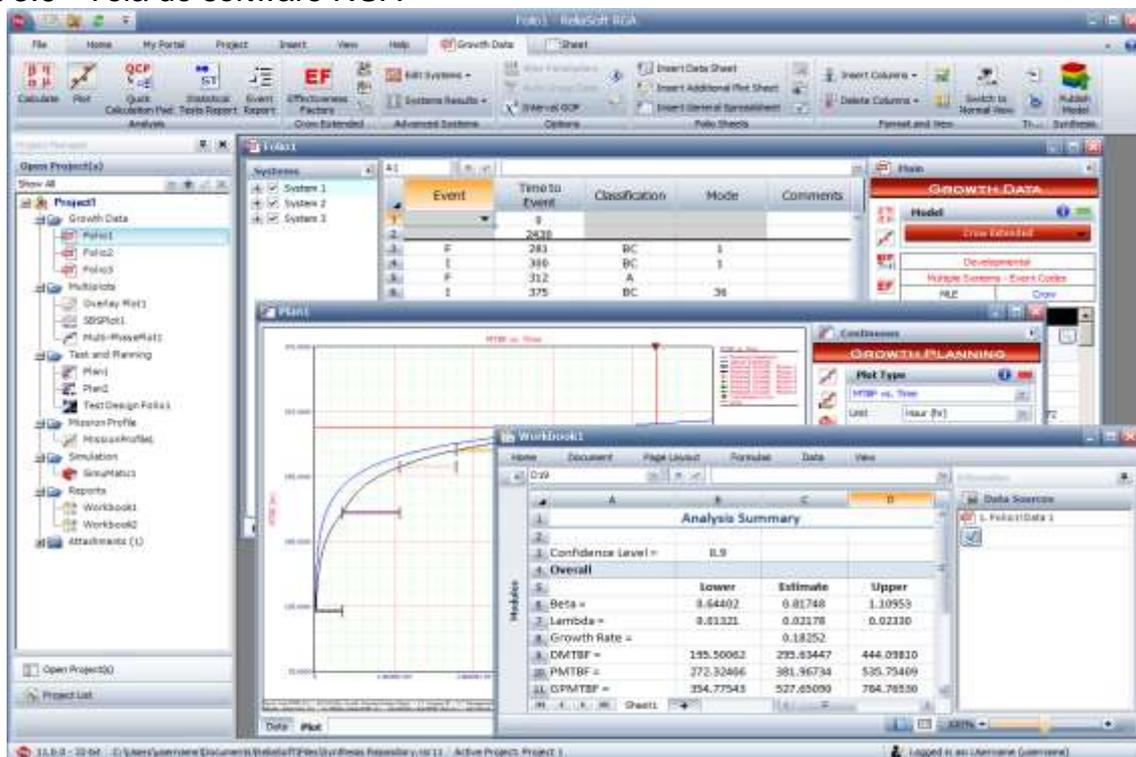
Fonte: ReliaSoft (2008).

Crescimento da Confiabilidade, ou Reliability Growth (RG), que quantifica a melhora positiva da confiabilidade (ou suas medidas) nos períodos futuros devido a mudança no projeto de um item ou em seu processo de fabricação, ou após o reparo.

Para se trabalhar o crescimento da confiabilidade nos segmentos, o software usado será o RGA: Software para a Análise do Crescimento da Confiabilidade e Sistemas Reparáveis. O RGA possui os modelos tradicionais para análise do crescimento da confiabilidade: Crow-AMSAA (NHPP), *Duane*, *Standard Gompertz*, *Lloyd Lipow*, *Modified Gompertz* e *Logistic*. Esses modelos podem ser utilizados para análise de tempo até falha, dados discretos (sucesso/falha) e dados de confiabilidade. Além disso, o software oferece recursos inovadores que facilitam projeções e planejamento para diversas fases do programa e análises do crescimento da confiabilidade.

A Figura 3.6 mostra uma das telas de interface do BlockSim.

Figura 3.6 - Tela do software RGA



Fonte: ReliaSoft (2008).

Como os segmentos ao falharem são retirados de operação e reparados parcialmente para continuarem suas campanhas, estes são considerados sistemas reparáveis. Logo a Análise de Dados de Vida, LDA, não será aplicada pois conceitualmente para ela os eventos (ou variáveis aleatórias) são estatisticamente independentes e distribuídas de forma idêntica, devendo ter a mesma distribuição de probabilidade e serem mutuamente independentes, ou seja, a ocorrência de uma não interfere na probabilidade de ocorrências das outras.

Os segmentos são compostos por vários sistemas e estes por componentes que podem apresentar diferentes distribuições de falhas, além disso, após a falha de um, ao repara-lo ou substituí-lo, algumas ações de melhoria tanto de processo quando de manutidas são implementados a fim de garantir uma performance melhor, logo há uma mudança na distribuição de falha ao longo de sua utilização. Assim, a método mais indicado para tratar os dados propostos neste trabalho é o de crescimento da confiabilidade, usando o software RGA.

3.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi feita toda a revisão da teoria a ser aplicada no trabalho. Dando uma conceituada em confiabilidade, mostrando os principais modelos estatísticos de especificação de confiabilidade e apresentando os softwares a serem utilizados no trabalho.

Os referenciais tratados neste capítulo ajudaram a entender quais os melhores modelos para se desenvolver as simulações no capítulo seguinte, afim de se obter os melhores resultados.

Uma das informações importantes é a não recomendação de LDA na análise de sistemas reparáveis.

No próximo capítulo será aplicado as análises aos dados de falha dos segmentos afim de se obter as métricas de confiabilidade para os sistemas segmentos bem como para a máquina de lingotamento contínuo.

4 DESENVOLVIMENTO

A aplicação dos modelos estatísticos nos dados coletado em campo, mostraram-se de grande relevância na mudança da visão da manutenção no que se refere aos resultados até então alcançados. Se por um lado há evidências do crescimento da confiabilidade, por outro, é possível verificar que uma mudança de estratégia é necessária para se alcançar os objetivos almejados.

Este capítulo mostra a tratativa dos dados levantados em campo e o tratamento destes nos softwares para obtenção das métricas de confiabilidade.

4.1 OS DADOS DE FALHA DOS SEGMENTOS

Os levantamentos dos dados foram feitos mediante o Pareto de falhas controlado pela manutenção, sendo consideradas as falhas a partir do ano de 2011, tomando-se o cuidado de que os segmentos tenham cumprido no período avaliado, pelo menos duas campanhas completas.

A unidade da variável em estudo é a tonelada produzida, entretanto, como os softwares disponíveis não possuem esta unidade em sua biblioteca, nas simulações será percebida a unidade Km, que foi adotada devido a similaridade com a tonelada, sendo ambas uma milhar de suas unidades unitárias, metro e quilo respectivamente.

Os segmentos foram divididos em grupos de acordo com suas características comuns, totalizando 5 grupos, sendo eles: Segmentos 1, Segmentos 2 a 4, Segmentos 5 a 6, Segmentos 7 e segmentos 8 a 14.

O objetivo desta divisão é garantir que sistemas similares estejam sendo comparados.

A Tabela 4.1 mostra os dados do grupo dos segmentos 1. Estes dados também estão disponíveis no Anexo A.

Tabela 4.1 - Dados de falha dos segmentos do grupo 1

Data Saída	Posição	Tipam	Produção	Vida	Campanha	Motivo
26/02/2009	1v3	1-1	252.340	252.340	252.340	BAIXA VAZÃO SPRAYS
20/04/2009	1v3	1-1	122.605	374.945	374.945	
25/06/2009	1v3	1-1	89.280	464.225	464.225	
18/12/2009	1v3	1-1	468.100	932.325	932.325	
01/07/2010	1v3	1-1	328.910	1.261.235	1.261.235	
09/03/2011	1v3	1-2	156.550	469.495	469.495	Rolamento quebrado.
18/03/2011	1v3	1-1	24.490	1.285.725	1.285.725	Fim de vida.
24/03/2011	1v3	1-2	18.135	487.630	487.630	Rolamento quebrado.
26/04/2011	1v3	1-1	79.670	1.365.395	1.365.395	Fim de vida útil
30/06/2011	1v3	1-3	172.980	172.980	172.980	desalinhamento de rolos
09/07/2011	1v3	1-1	24.180	1.389.575	1.389.575	break-out
08/10/2011	1v4	1-5	872.805	872.805	872.805	quebra do 2º rolo longo superior
16/11/2011	1v3	1-3	355.260	528.240	528.240	Rolamento quebrado.
20/11/2011	1v4	1-2	110.050	597.680	597.680	devido quebra do 3º rolo base superior
01/04/2012	1v3	1-5	400.520	1.273.325	1.273.325	Break Out
15/06/2012	1v3	1-2	212.040	806.310	806.310	Desgaste geral dos rolos sem condições de correção
25/05/2010	1v4	1-4	406.720	406.720	406.720	Vazamento de selagem.
21/09/2010	1v3	1-4	256.215	662.935	662.935	Breakout
30/11/2012	1v4	1-4	402.535	1.065.470	1.065.470	Quebra do rolo central inferior antes do motriz
07/01/2013	1v4	1-3	746.015	746.015	746.015	Quebra do rolamento do 3º rolo inferior.
03/04/2013	1v4	1-5	354.020	354.020	1.627.345	Break Out
01/07/2013	1v3	1-1	1.058.960	1.058.960	2.448.535	Break Out
30/07/2013	1v3	1-4	72.230	1.137.700	1.137.700	Vazamento óleo na tubulação de clamping base inferior do segmento. Fim de Campanha
19/11/2013	1v3	1-5	308.450	662.470	1.935.795	Desvio de GAP/Alinhamento no último rolo longo inferior.
20/02/2014	1v3	1-5	247.225	909.695	2.183.020	Rompimento de pele.
29/08/2014	1v3	1-4	484.220	1.621.920	1.621.920	Quebra do 9º rolo longo inferior.
10/10/2014	1v3	1-3	135625	881.640	881.640	Quebra de rolamento
26/11/2014	1v4	1-2	890.165	890.165	890.165	Bico de spray obstruído, vazamento no distribuidor de graxa de alimentação dos mancais centrais da base superior
30/11/2014	1v4	1-3	6.820	888.460	888.460	Rompimento de pele
05/01/2015	1v4	1-5	118.420	1.028.115	2.301.440	Quebra do munhão do último rolo longo superior
11/03/2015	1v4	1-3	216.070	1.104.530	1.104.530	Quebra do munhão do penultimo rolo Longo superior
04/06/2015	1v3	1-1	763.375	763.375	3.211.910	Vazamento hidráulico no bloco do cilindro do clamp lado acionamento.
09/06/2015	1v4	1-2	300.700	1.190.865	1.190.865	Break-Out
27/09/2017	1v3	1-2	1.331.760	1.331.760	2.522.625	Em operação
08/07/2015	1v4	1-5	104.160	1.132.275	2.405.600	Obstrução de bicos de spray
27/08/2015	1v4	1-1	155.620	918.995	3.367.530	Rompimento de pele com placa agarrada no interior do mesmo.
15/10/2015	1v3	1-3	435.240	435.240	1.539.770	Vazamento de selagem.
11/11/2015	1v4	1-5	239.785	1.372.060	2.645.385	Fim de campanha.
19/11/2015	1v4	1-3	21.235	456.475	1.561.005	Break-Out
09/12/2015	1v3	1-1	173.755	1.092.750	3.541.285	Vazamento de selagem.
27/09/2017	1v4	1-1	422.375	422.375	3.541.285	Em operação
31/12/2015	1v4	1-5	143.530	1.515.590	2.788.915	Rompimento de pele.
20/02/2016	1v4	1-3	125.705	582.180	1.686.710	Estouro de topo, aço nos rolos.
29/02/2016	1v3	1-4	222.580	222.580	1.844.500	Devido ao Breakout no veio 3
30/03/2016	1v4	1-5	114.855	1.630.445	2.903.770	2º rolo curto inferior com rolamento quebrado
09/08/2016	1v3	1-3	533.975	1.116.155	2.220.685	Fim de campanha
04/10/2016	1v4	1-4	643.405	865.985	2.710.485	falta das válvulas nas grades de spray
23/03/2017	1v4	1-3	547.305	1.663.460	2.767.990	Fim de campanha.
14/06/2017	1v4	1-4	160.580	1.026.565	2.871.065	Deslocamento dos mancais bipartidos do 7º e 10º rolo longo inferior para fora da chaveta.

Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2017).

Na tabela, a coluna Produção, representa quanto o segmento produziu até a falha, a coluna vida refere-se a campanha acumulada.

A coluna campanha, em azul, refere-se aos dados tratados para entrada no RGA, e mostra o acúmulo de produção em todas as campanhas durante o intervalo observado. Além disso, outras informações como datas das ocorrências,

identificação dos segmentos e posição onde eles operaram na máquina e provável causa da falha, podem ser observadas na tabela.

Os dados similares para todos os demais grupos de segmentos estão disponíveis nos anexos.

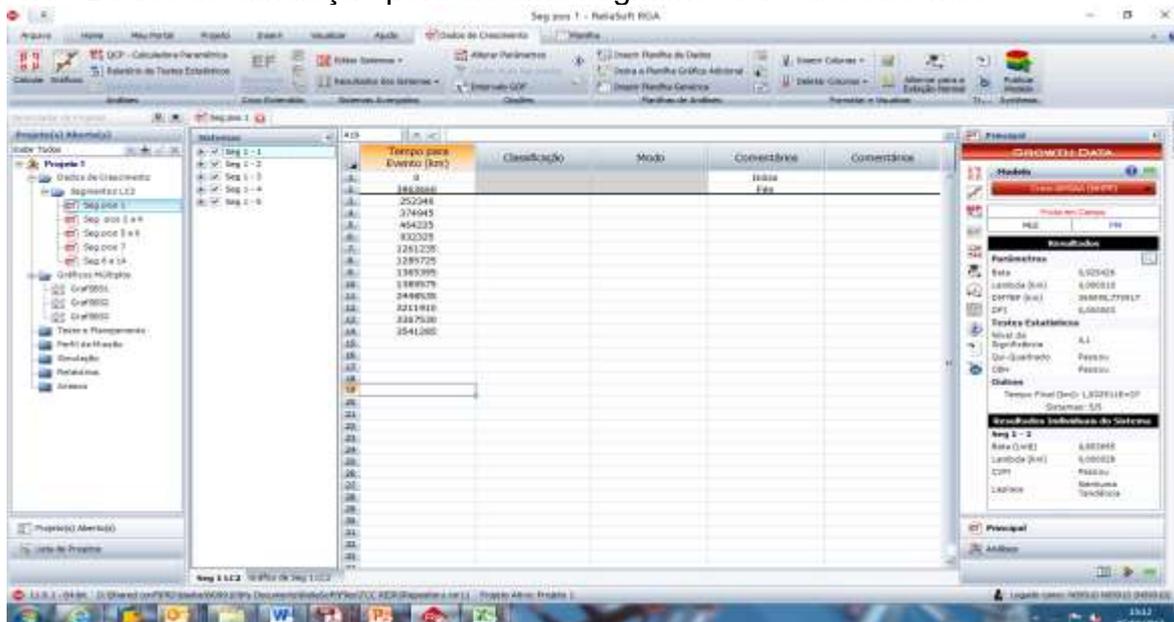
4.2 APLICANDO RGA AOS DADOS

Após os dados serem tratados, sendo expurgados aqueles que não tinham informações relevantes, ou eram redundantes, o Software foi carregado com os dados da coluna campanha, sendo que cada segmento foi considerado um sistema.

4.2.1 Análise dos Dados do Sistema Segmentos Posição 1

No programa foram criados sistemas equivalentes aos dados de falhas, ou seja, o sistema segmento posição 1, é composto por cinco subsistemas. A Figura 4.1 mostra os dados e os sistemas já inseridos no software RGA.

Figura 4.1 - Dados de simulação para sistema segmento 1 Total 5 sistemas



Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Os resultados da simulação mostram os valores das métricas de confiabilidade do sistema analisado. Internamente, cada grupo de dados de cada segmento é

avaliado, encontradas as métricas individuais e geradas, finalmente, as métricas do sistema.

A tabela 4.2 mostra o resumo das saídas do modelo, com as principais informações de confiabilidade para o sistema segmentos 1.

Tabela 4.2 - Resumo das saídas de simulação do sistema segmentos posição 1

Parâmetros	
Modelo	Crow-AMSAA (NHPP)
Análises	MLE
Beta	0,877926
Lambda (km)	0,000022
DMTBF (km)	389065,2445
DFI	0,000003

Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Avaliando os resultados, pode-se observar que o valor de Beta 0,877 é menor que 1, o que indica confiabilidade crescente;

O Lambda representa a taxa de falha inicial. Nesse caso é 0, 000022 falhas por tonelada, ou seja, para se produzir 1 milhão de tonelada, ao início do processo ocorreriam 22 falhas nestes segmentos.

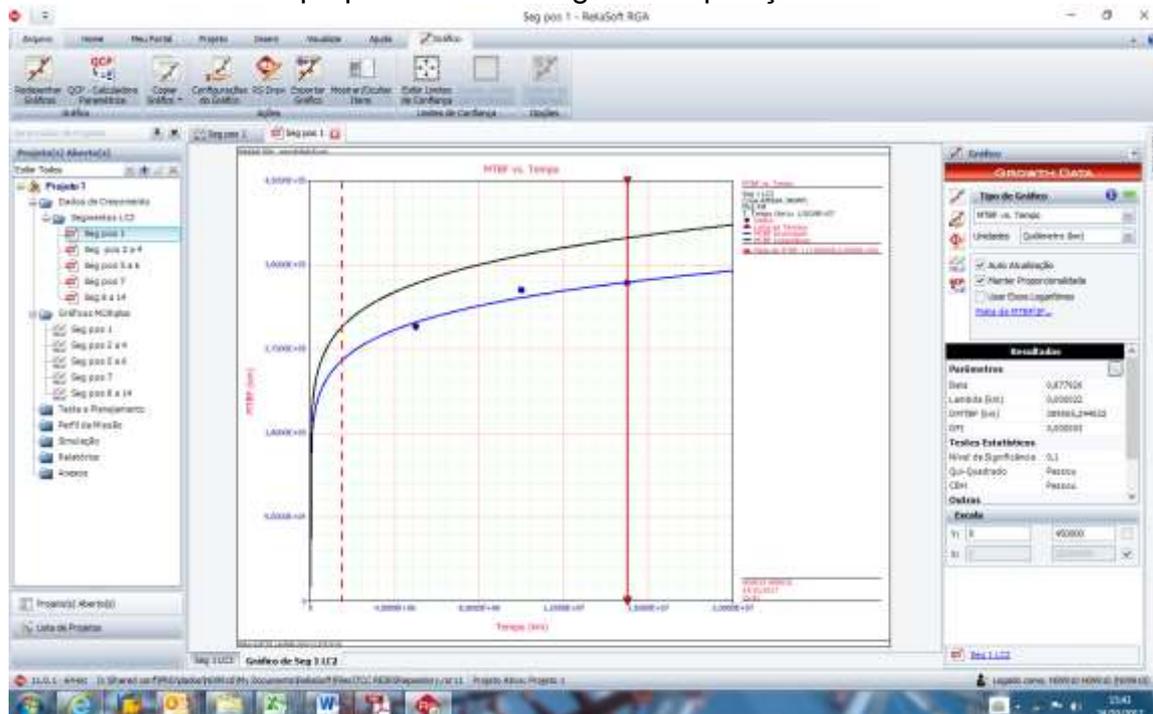
DMTBF é o MTBF, Tempo Médio entre as falhas, ao final igual a 389055,24 toneladas. Este é o valor de produção entre falhas no período final analisado.

O DFI representa a intensidade de falha (taxa de falha) ao final do teste que é de 0.000003 falhas por tonelada. Comparando com a taxa inicial Lambda de 0,000022, uma melhora da taxa ao fim do teste devida a redução de 22 para 3 falhas por milhão de toneladas, logo, está confirmada o crescimento da confiabilidade do sistema.

Para melhor efeito de visualização e interpretação, o software permite a plotagem dos gráficos das medidas de confiabilidade, o que torna mais perceptível a evolução.

O Gráfico 4.1 resume os resultados observados em relação ao tempo médio entre as falhas, onde é possível constatar que há uma curva crescente ao longo do tempo.

Gráfico 4.1 - MTBF vs Tempo para sistema segmentos posição 1



Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

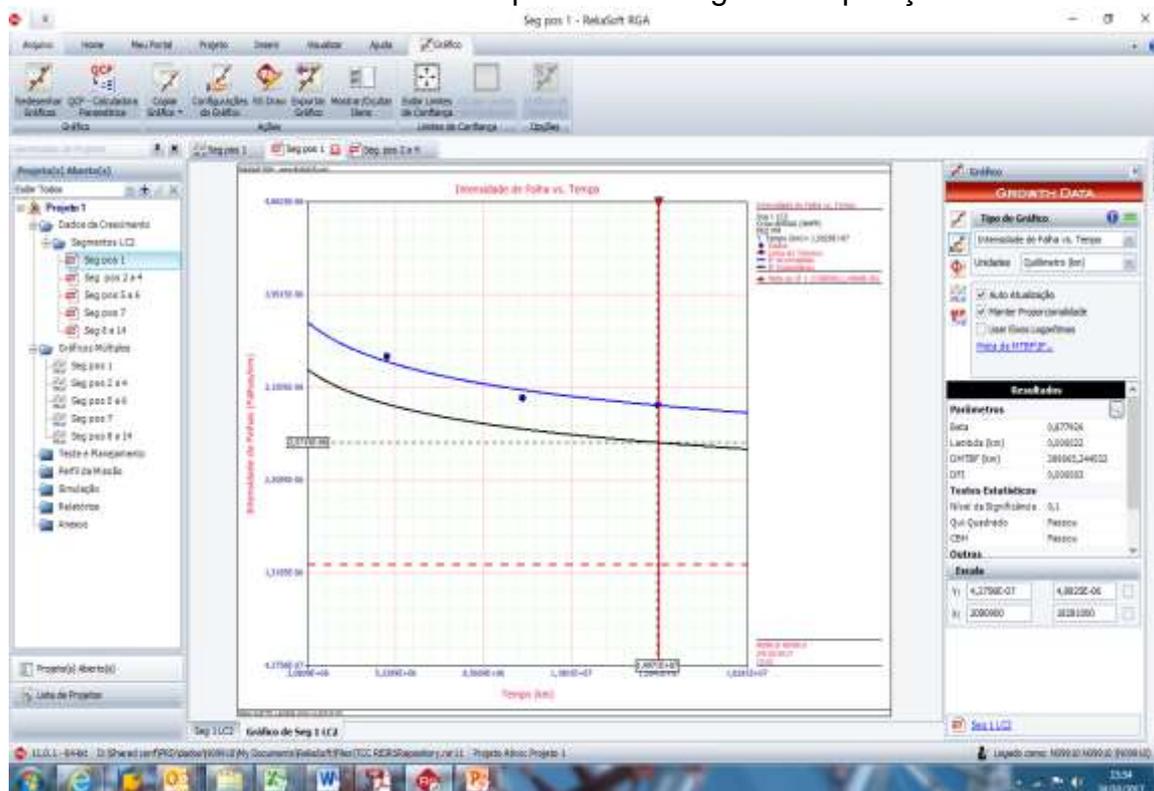
Ao longo do tempo, é possível observar a evolução do MTBF o que caracteriza aumento da confiabilidade.

A redução da intensidade das falhas ao longo do tempo, ou seja, o número de falhas que ocorrem em um período avaliado, é uma informação que confirma o crescimento da confiabilidade, pois se o MTBF aumenta, obviamente que menos falhas estarão ocorrendo. Seria uma inconsistência se os dois valores crescessem juntos com o passar do tempo.

A plotagem do gráfico de intensidade de falhas mostra a redução das ocorrências durante os períodos avaliados, e com possibilidade de redução ainda maior. Esta informação é confirmada no campo pelos dados de controle de campanha. Os segmentos da posição 1, originalmente possuíam campanhas de 800.000 toneladas e atualmente estão operando com campanhas de 150000 toneladas, e mesmo assim a taxa de falha está decrescendo.

O Gráfico 4.2 mostra a constante queda da taxa de falha ao longo do tempo.

Gráfico 4.2 - Intensidade de Falhas vs Tempo sistema segmentos posição 1



Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

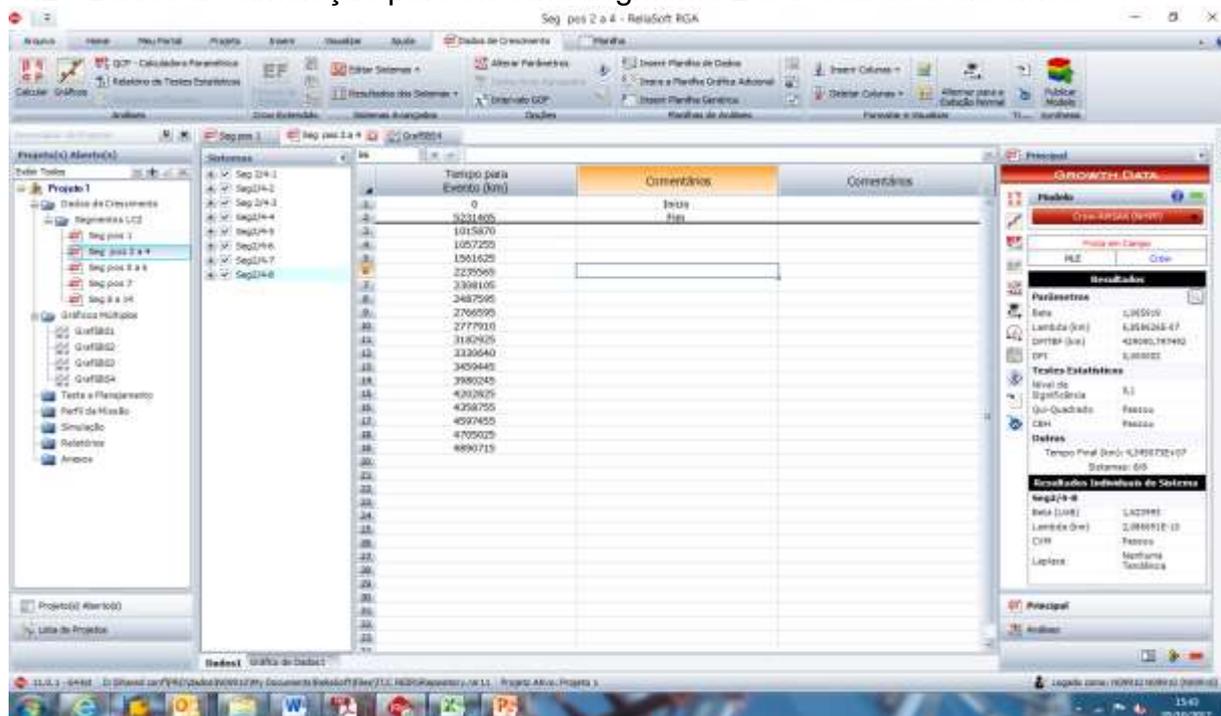
Ratificando o crescimento da confiabilidade do sistema, a intensidade de falhas ao longo do tempo esta em uma tendência descendente, o que indica que as melhorias implementadas estão dando os resultados, e que os aumentos das campanhas não impactaram no aumento da taxa de falhas.

4.2.2 Análise dos Dados do Sistema Segmentos Posição 2 a 4

Para o sistema 2 a 4, que totalizam 8 sistemas, os dados foram tratados da mesma forma, não sendo consideradas as posições de montagem dos segmentos nos veios. Diferente do segmento 1, estes além de poderem estar em veios diferentes, podem assumir as posições 2, 3 ou 4. Essas possibilidades não foram consideradas por não impactarem em mudança de condição de trabalho.

Simulando os dados relativos ao sistema segmentos posição 2 a 4, disponíveis no Anexo B os resultados observados foram conforme mostrados na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Dados de simulação para sistema segmento 2 a 4 total de 8 sistemas



Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Os resultados da simulação mostram que para este sistema há uma piora da confiabilidade ao final da amostragem e que uma investigação das causas deve ser feita para entender o que levou o sistema a apresentar este comportamento.

A tabela 4.3 mostra o resumo das saídas do modelo, com as principais informações de confiabilidade para o sistema segmentos 2 A 4.

Tabela 4.3 - Resumo saídas de simulação do sistema segmentos posição 2 a 4

Parâmetros	
Modelo	Crow-AMSAA (NHPP)
Análises	MLE
Beta	1,065
Lambda (km)	6,86 E-7
DMTBF (km)	429090,79
DFI	0,000002

Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Avaliando os resultados, pode-se observar que o valor de Beta 1,065 é ligeiramente maior que 1, o que indica confiabilidade com tendência de decrescimento;

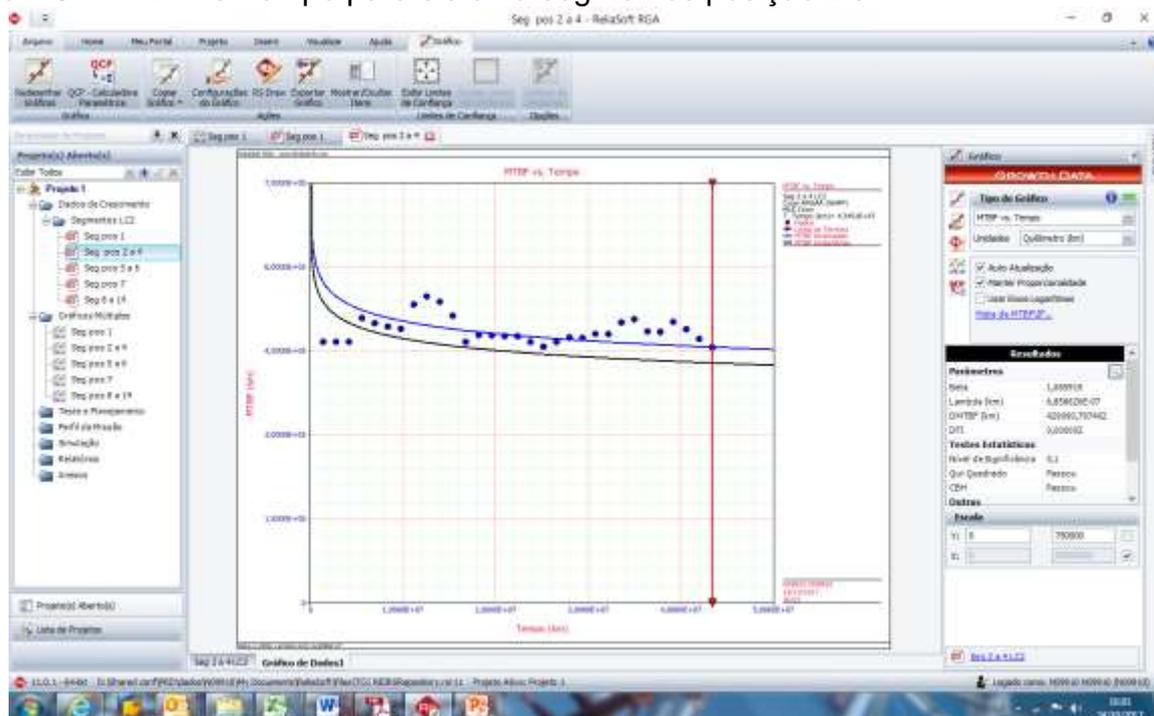
O Lambda representa a taxa de falha inicial. Nesse caso é 6,86 E-7 falhas por tonelada, ou seja, para se produzir 1 milhão de toneladas, ao início do processo ocorreriam 0,68 falhas nestes segmentos.

DMTBF é o MTBF, Tempo Médio entre as falhas, ao final igual a 429090,79 toneladas. Este é o valor de produção entre falhas no período final analisado.

O DFI representa a intensidade de falha (taxa de falha) ao final do teste que é de 0.000002 falhas por tonelada. Comparando com a taxa inicial Lambda de 6,86E-7, observa-se uma piora da taxa ao fim do teste devida a elevação do número de falhas de 0,68 para 2 falhas por milhão de toneladas.

O Gráfico 4.3 resume os resultados observados em relação ao tempo médio entre as falhas, onde é possível constatar que há uma curva crescente ao longo do tempo.

Gráfico 4.3 - MTBF vs Tempo para sistema segmentos posição 2 a 4

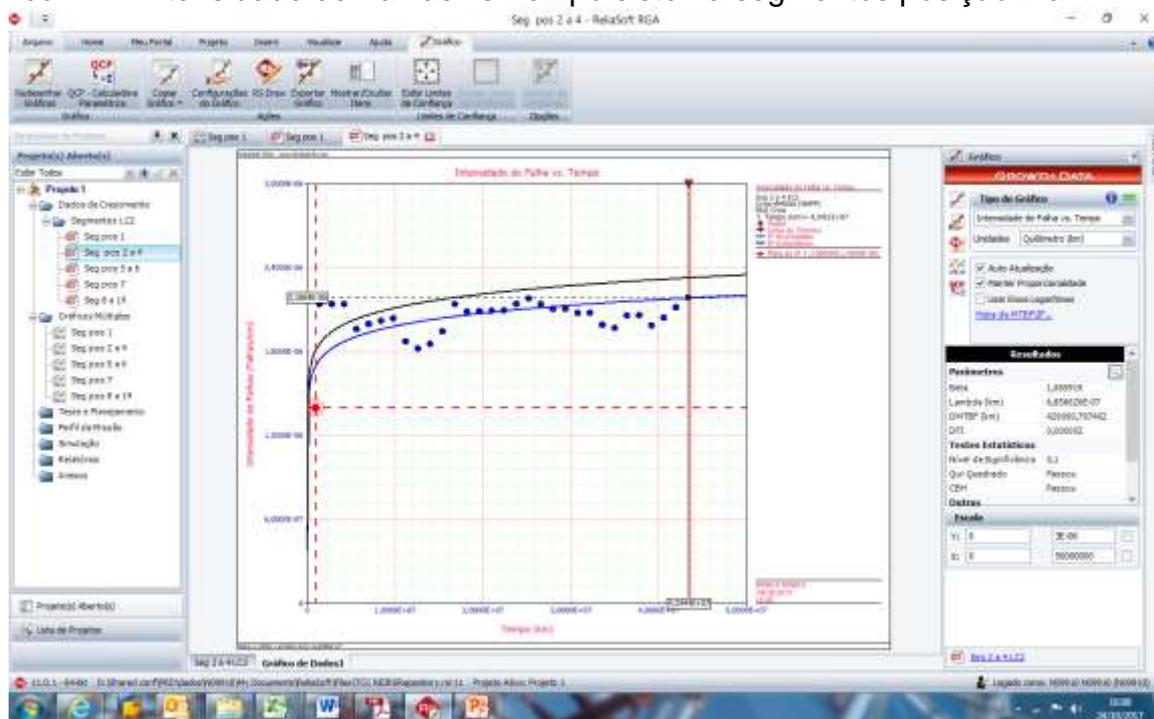


Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Avaliando o gráfico, é evidente uma deterioração do MTBF dos segmentos posição 2 a 4 o que precisa ser investigado nos dados usados para simulação afim de identificar a causa.

Avaliando o Gráfico 4.4 de intensidade das falhas ao longo do tempo, faz se a mesma constatação.

Gráfico 4.4 - Intensidade de Falhas vs Tempo sistema segmentos posição 2 a 4



Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

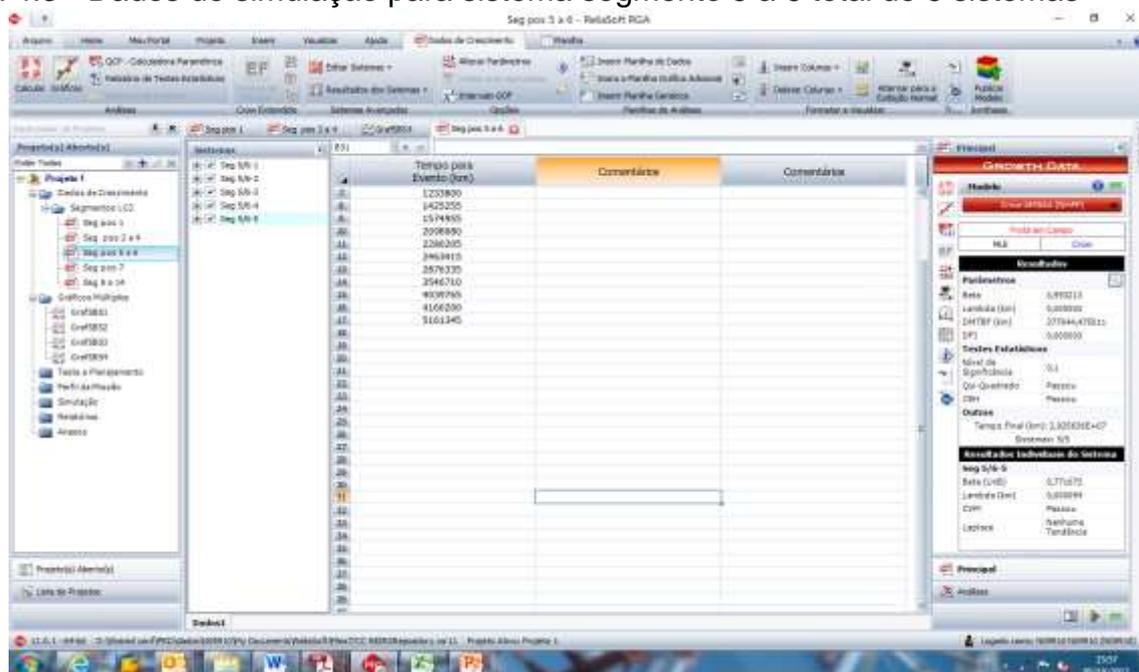
Observa-se que a intensidade das falhas está num crescente ao longo do tempo, essa situação não era esperada pois todos as melhorias implantadas no sistema deveriam estar mostrando o inverso do que mostram os dados simulados.

Este grupo de segmentos deverá ter seus dados reavaliados para apuração e identificação das possíveis causas deste comportamento.

4.2.3 Análise dos Dados do Sistema Segmentos Posição 5 a 6

Simulando os dados relativos ao sistema segmentos posição 5 a 6, disponíveis no Anexo C os resultados conforme mostrados na Figura 4.3.

Figura 4.3 - Dados de simulação para sistema segmento 5 a 6 total de 5 sistemas



Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

O valor de beta muito próximo de 1, demonstra taxa constante de falhas e manutenção dos MTBF's o que indica nenhuma ganho de confiabilidade. Más diferente das posições 2 a 4, aqui não se observa perda.

Os resultados da simulação com as métricas de confiabilidade para este grupo, podem ser vistas na tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Resumo saídas de simulação do sistema segmentos posição 5 a 6

Parâmetros	
Modelo	Crow-AMSAA (NHPP)
Análises	MLE
Beta	0,993
Lambda (km)	0,000003
DMTBF (km)	377644,47
DFI	0,000003

Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Avaliando os resultados, pode-se observar que o valor de Beta 0,993 valor muito próximo de 1, o que indica confiabilidade estabilizada.

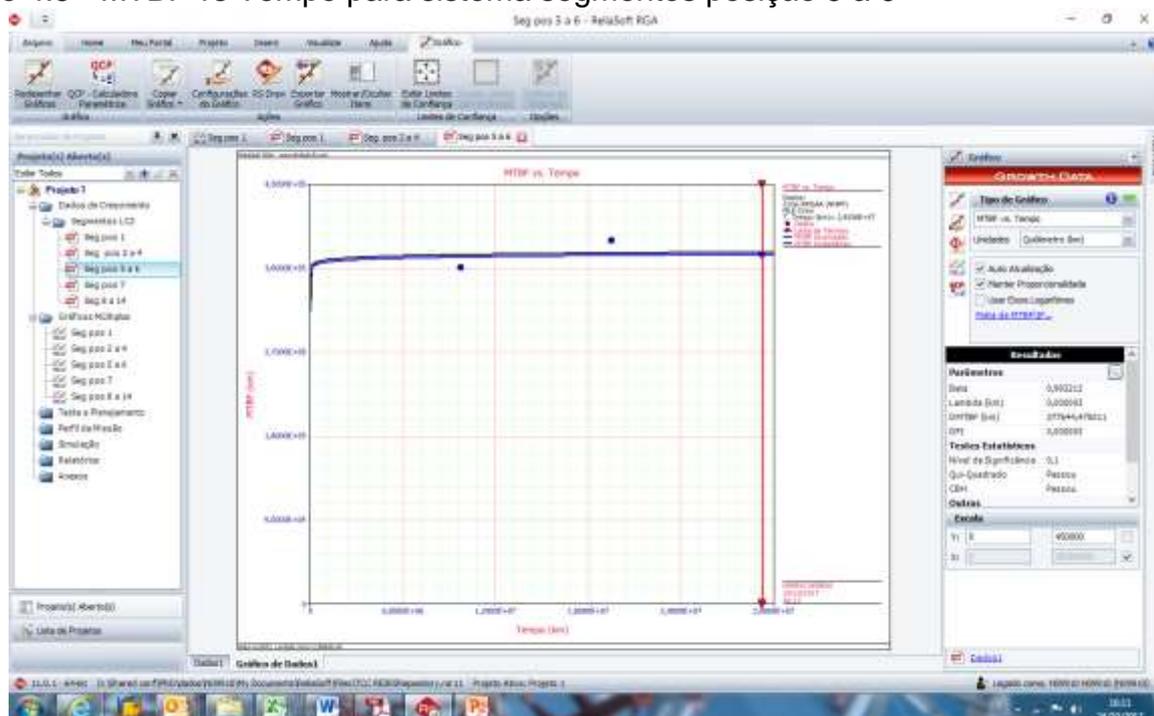
O Lambda representa a taxa de falha inicial. Nesse caso é 0.000003 falhas por tonelada, ou seja, para se produzir 1 milhão de toneladas, ao início do processo ocorreriam 3 falhas nestes segmentos.

DMTBF é o MTBF, Tempo Médio entre as falhas, ao final igual a 377644,47 toneladas. Este é o valor de produção entre falhas no período final analisado.

O DFI representa a intensidade de falha (taxa de falha) ao final do teste que é de 0.000003 falhas por tonelada. Comparando com a taxa inicial Lambda tem o mesmo valor, logo não há crescimento e a confiabilidade se manteve durante todo o período avaliado.

O Gráfico 4.5 resume os resultados observados em relação ao tempo médio entre as falhas.

Gráfico 4.5 - MTBF vs Tempo para sistema segmentos posição 5 a 6

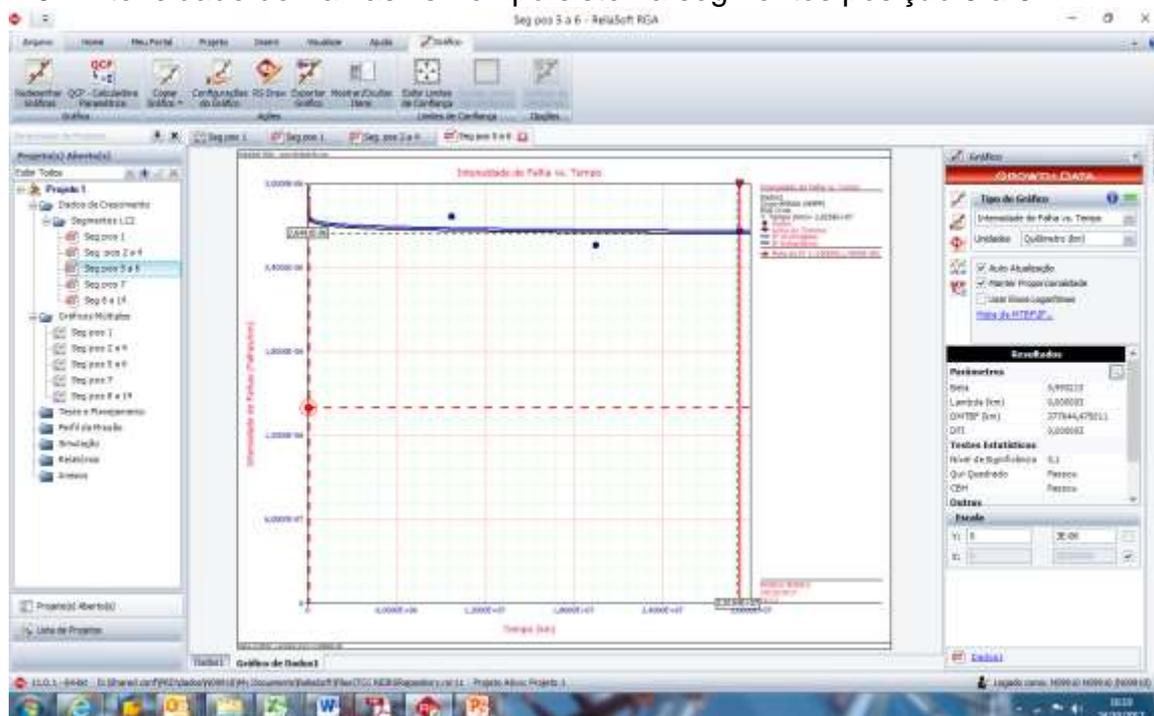


Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Pode-se observar que o MTBF não se altera, mantendo-se estável, ou seja, nenhuma evolução na confiabilidade dos segmentos deste grupo.

O mesmo pode ser observado no Gráfico 4.6 de intensidade de falhas ao longo do tempo.

Gráfico 4.6 - Intensidade de Falhas vs Tempo sistema segmentos posição 5 a 6



Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

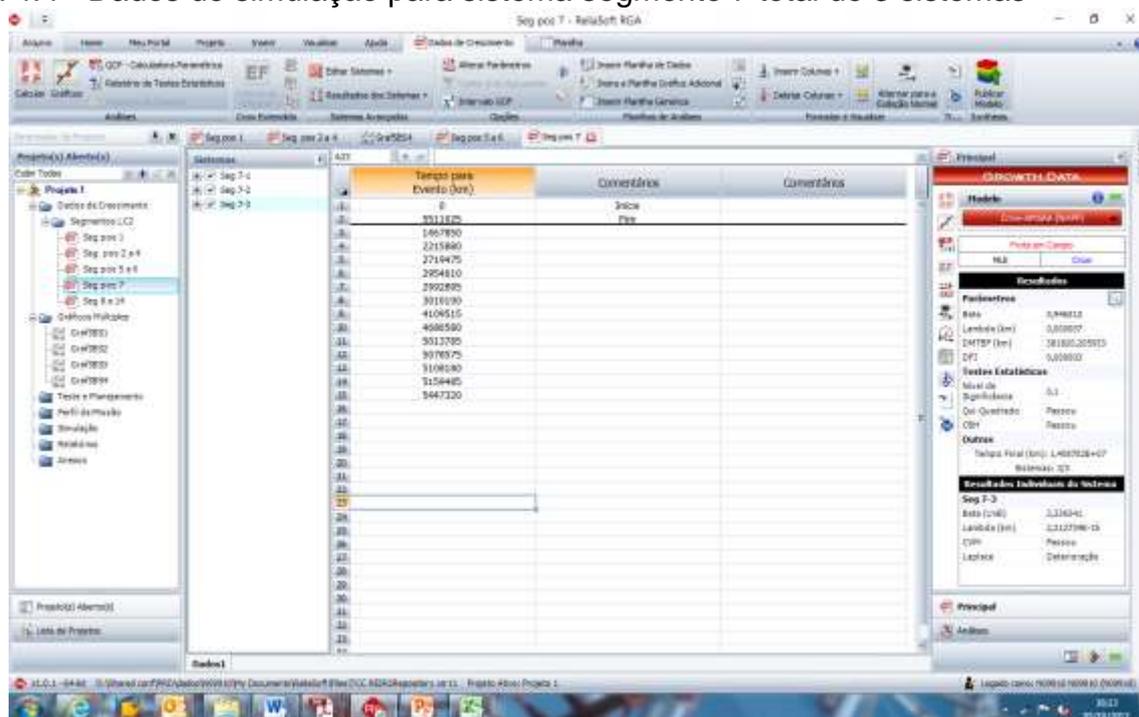
Assim como o MTBF, também as falhas apresentam um comportamento homogêneo ao longo do tempo, indicando confiabilidade estacionada no mesmo patamar.

Este resultado mostra que as ações de manutenção não estão dando resultado o que precisara se investigado dado que ações de melhorias são implementados nos sistemas de forma igual.

4.2.4 Análise dos Dados do Sistema Segmentos Posição 7

Os dados relativos ao sistema segmentos posição 7 estão disponíveis no Anexo D e os resultados de simulação são mostrados na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Dados de simulação para sistema segmento 7 total de 3 sistemas



Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Os resultados da simulação são mostrados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Resumo saídas de simulação do sistema segmentos posição 7

Parâmetros	
Modelo	Crow-AMSAA (NHPP)
Análises	MLE
Beta	0,946
Lambda (km)	0,000007
DMTBF (km)	381820,20
DFI	0,000003

Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Avaliando os resultados, pode-se observar que o valor de Beta 0,95 é menor que 1 o que indica crescimento, embora tímido, da confiabilidade.

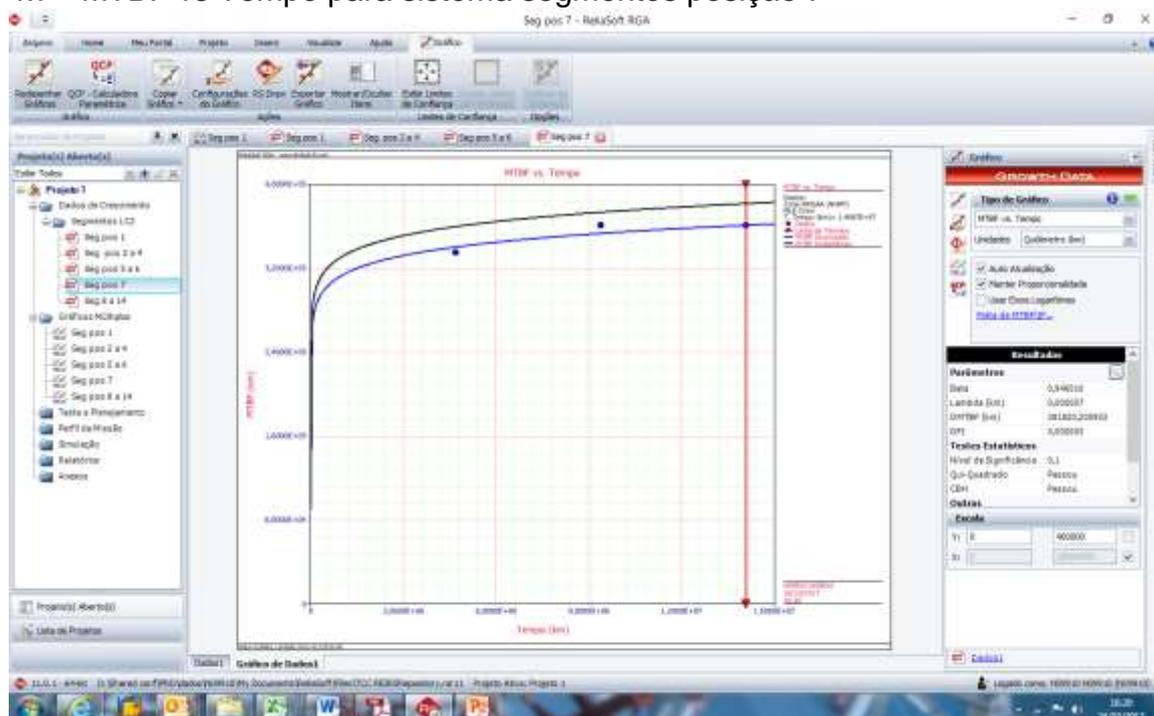
O Lambda representa a taxa de falha inicial. Nesse caso é 0.000007 falhas por tonelada, ou seja, para se produzir 1 milhão de toneladas, ao início do processo ocorreriam 7 falhas nestes segmentos.

DMTBF é o MTBF, Tempo Médio entre as falhas, ao final igual a 381820,20 toneladas. Este é o valor de produção entre falhas no período final analisado.

O DFI representa a intensidade de falha (taxa de falha) ao final do teste que é de 0.000003 falhas por tonelada. Comparando com a taxa inicial Lambda de 0,000007, observa-se uma melhora da taxa ao fim do teste devida a redução de 7 para 3 falhas por milhão de toneladas

O Gráfico 4.7 resume os resultados observados em relação ao tempo médio entre as falhas.

Gráfico 4.7 - MTBF vs Tempo para sistema segmentos posição 7

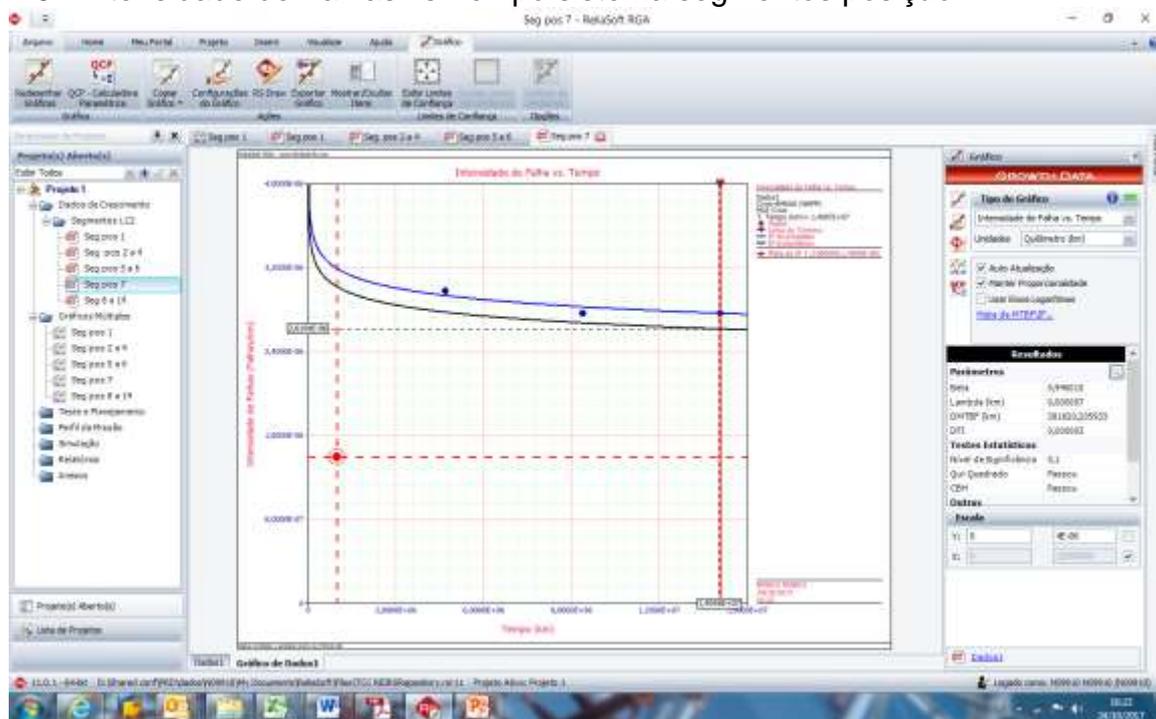


Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Conforme pode ser observado, a um crescimento do MTBF ao longo do período avaliados.

Da mesma forma, o Gráfico 4.8 de Intensidade de Falhas ao longo do tempo, também mostra uma tendência de decrescimento.

Gráfico 4.8 - Intensidade de Falhas vs Tempo sistema segmentos posição 7



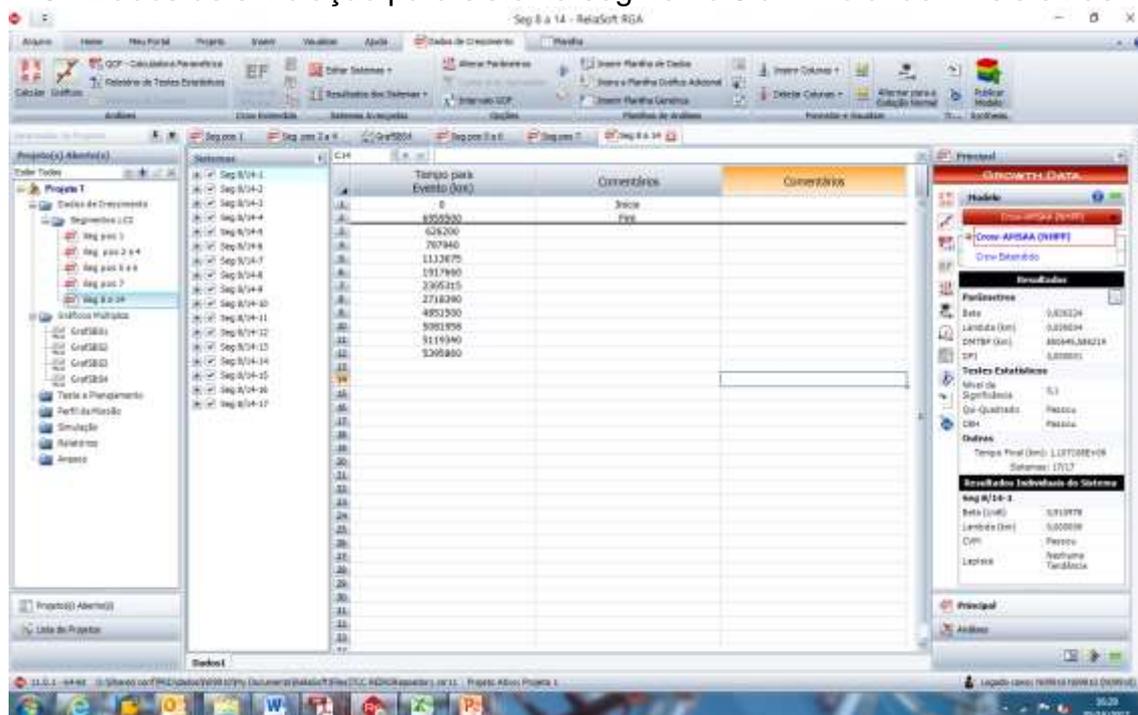
Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Pode se observar que o gráfico embora com uma suave curvatura indica que as falhas ocorrem com menos frequência com passar do tempo. Este comportamento dos dados, indicam que as ações implementadas estão dando o resultado esperado, contribuindo para uma maior disponibilidade do sistema.

4.2.5 Análise dos Dados do Sistema Segmentos Posição 8 a 14

Simulando os dados relativos ao sistema segmentos posição 8 a 4, disponíveis no Anexo E, os resultados observados foram conforme mostrados na figura 4.5.

Figura 4.5 - Dados de simulação para sistema segmento 8 a 14 total de 17 sistemas



Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Os resultados da simulação são vistos na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Resumo das saídas de simulação do sistema segmentos posição 8 a 14

Parâmetros	
Modelo	Crow-AMSAA (NHPP)
Análises	MLE
Beta	0,9363
Lambda (km)	0,000004
DMTBF (km)	850645,58
DFI	0,000001

Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Avaliando os resultados, pode-se observar que o valor de Beta 0,936 é menor que 1 o que indica crescimento da confiabilidade.

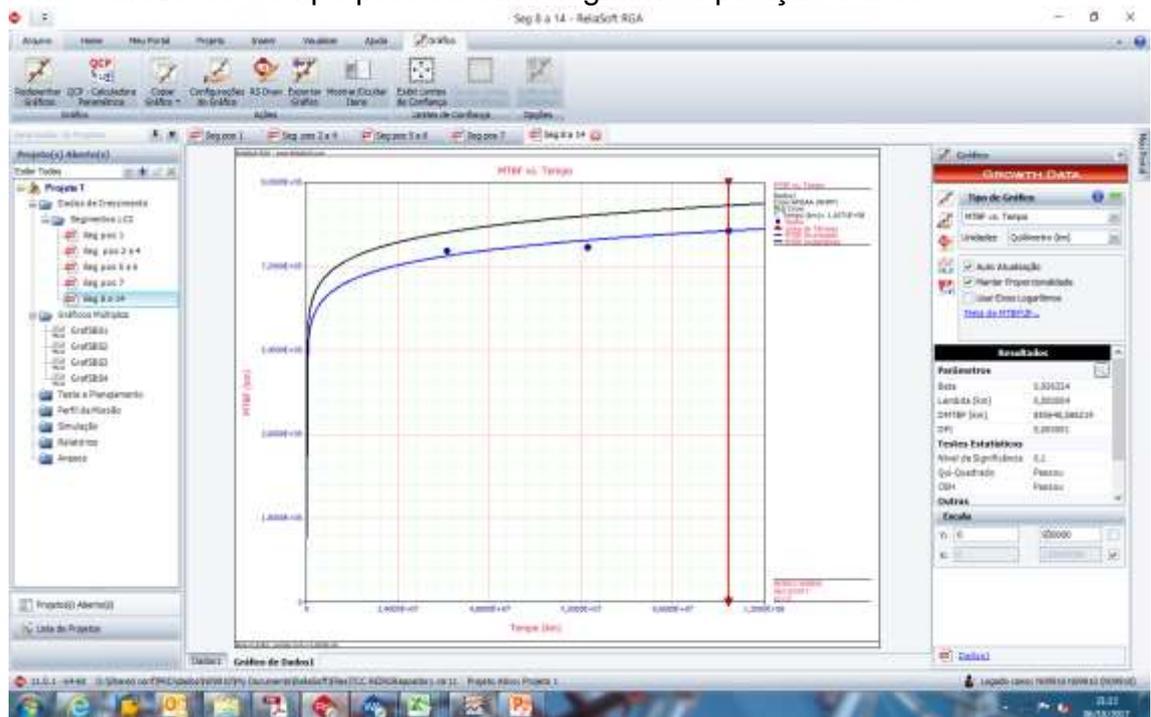
O Lambda representa a taxa de falha inicial. Nesse caso é 0.000004 falhas por tonelada, ou seja, para se produzir 1 milhão de toneladas, ao início do processo ocorreriam 4 falhas nestes segmentos.

DMTBF é o MTBF, Tempo Médio entre as falhas, ao final igual a 850645,58 toneladas. Este é o valor de produção entre falhas no período final analisado.

O DFI representa a intensidade de falha (taxa de falha) ao final do teste que é de 0.000001 falhas por tonelada. Comparando com a taxa inicial Lambda de 0,000004, observa-se uma melhora da taxa ao fim do teste devida a redução de 4 para 1 falhas por milhão de toneladas

O gráfico 4.9 resume os resultados observados em relação ao tempo médio entre as falhas.

Gráfico 4.9 - MTBF vs Tempo para sistema segmentos posição 8 a 14

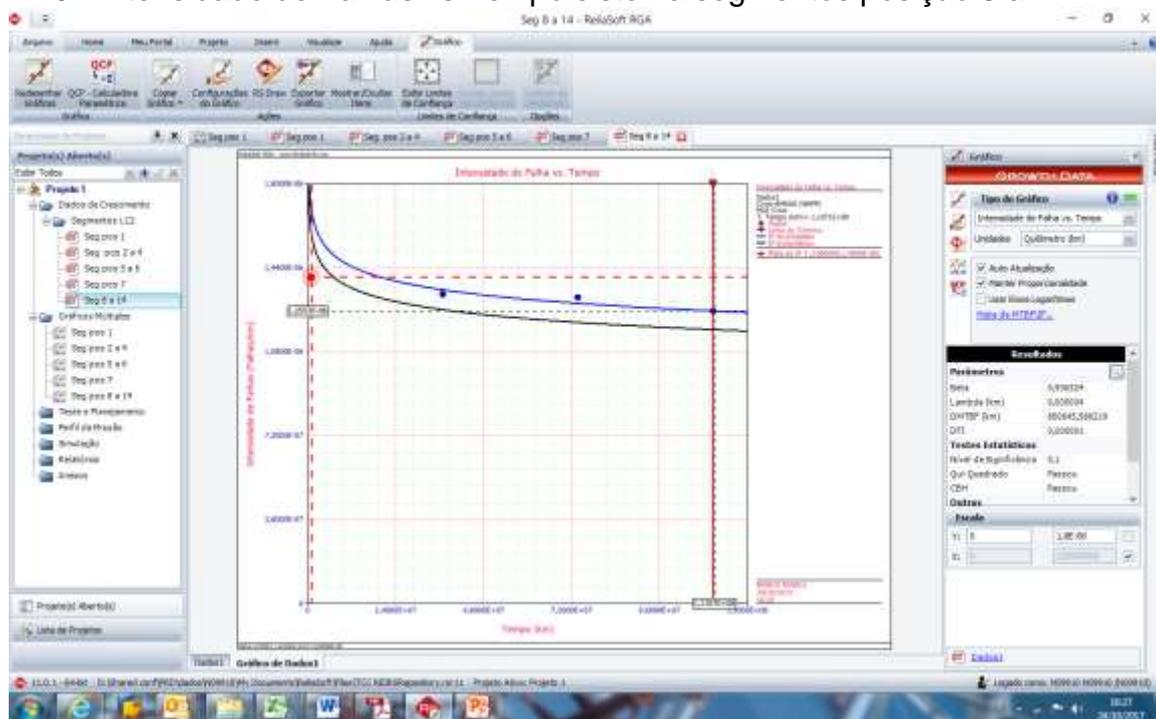


Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Pode se observar que o MTBF é crescente ao longo do período de testes.

Assim como a intensidade de falhas diminui ao longo do tempo como pode ser visto no Gráfico 4.10.

Gráfico 4.10 - Intensidade de Falhas vs Tempo sistema segmentos posição 8 a 14



Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Como pode ser observado, há uma tendência de diminuição das falhas ao longo do tempo.

Embora o crescimento seja tímido na confiabilidade, ele é muito significativo já que este é o sistema que tem mais segmentos montados na máquina.

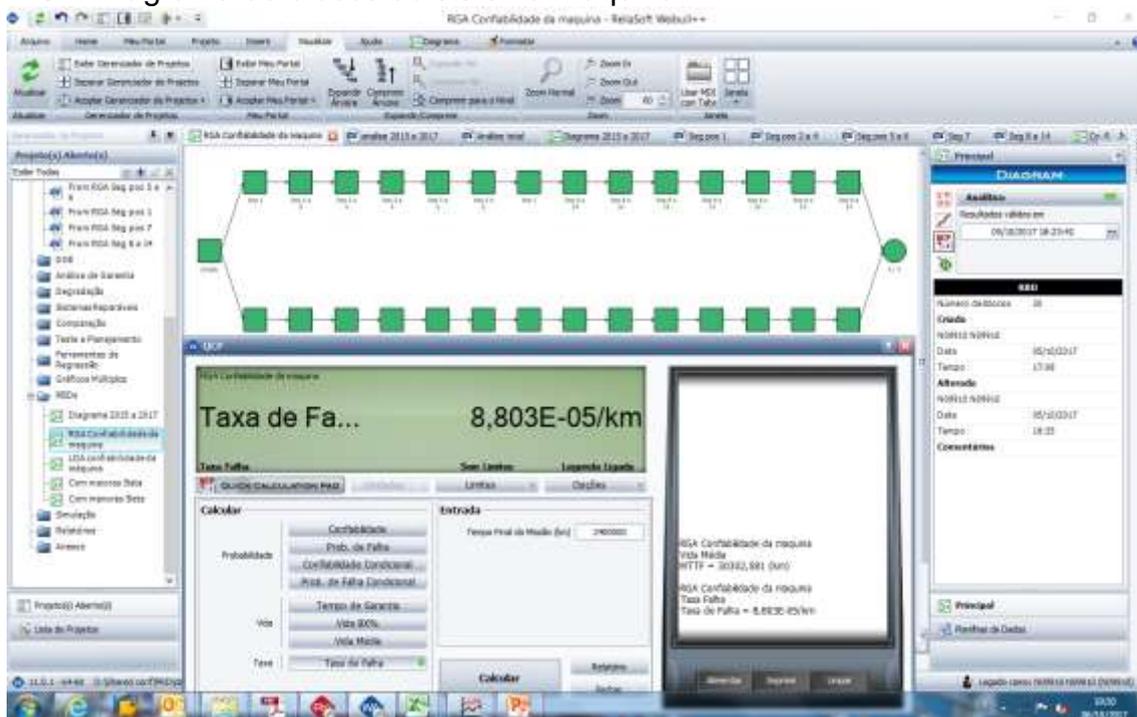
4.2.6 Análise dos Sistemas Segmentos Inseridos no Sistema Máquina

Como já mencionado, os segmentos são montados na máquina em dois veios, sendo dispostos em sua ordem, de acordo com o tipo. Assim, o segmento 1 ocupa a primeira posição, da segunda até a quarta posição, os segmentos 2 a 4 e assim por diante. A disposição dos segmentos é muito parecida com a disposição dos diagramas de bloco do BlockSim, o que facilitou a modelagem.

Transferindo os dados de confiabilidade de cada sistema segmentos, para o diagrama de blocos, foi possível tirar algumas conclusões como pode ser observado nos dados de simulação a seguir.

A figura 4.6 representa a simulação em diagrama de blocos da máquina, tomando como base os dados de confiabilidade de cada sistema segmentos alocados em seus respectivos blocos.

Figura 4.6 - Diagrama de blocos do sistema máquina.



Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

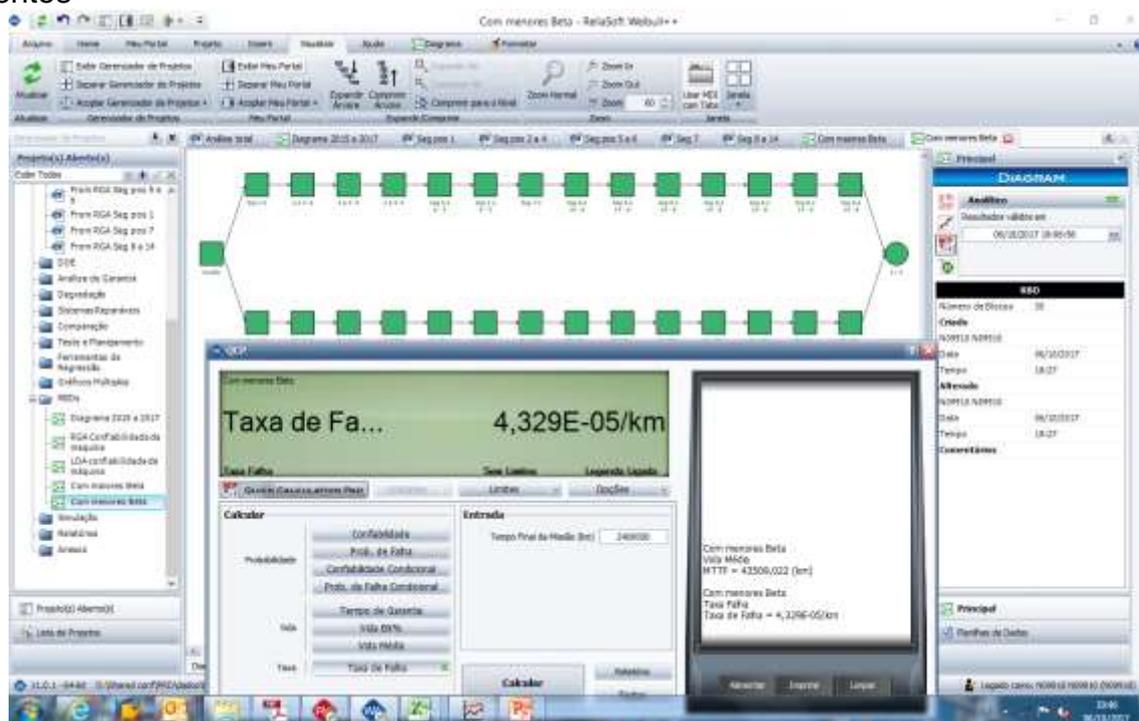
Como pode ser observado, para o sistema todo em operação, e com os dados de confiabilidade de cada segmento igual aos dados de seus respectivos sistemas, a máquina possui um MTBF de 30302,58 toneladas apenas, e opera com uma taxa de falha de $8,803E-5$ /ton. Sem levar em consideração as particularidades

de cada segmento, já que cada grupo possui campanhas distintas, e todos possuem reserva, os dados sugerem algo em torno de 88 falhas a cada milhão de tonelada produzido.

Para efeito de comparação de senários, foram feitas mais duas simulações, porém usando os menores e os maiores valores de Beta observados nas RGA's individuais dos segmentos, com a finalidade de comparar o impacto na máquina se todos os segmentos tivessem um desempenho igual no crescimento da confiabilidade.

A Figura 4.7 mostra os resultados para valores de beta menores, ou seja, os que tiveram crescimento maior na confiabilidade.

Figura 4.7 - Diagrama de blocos da máquina com betas menores dos sistemas segmentos

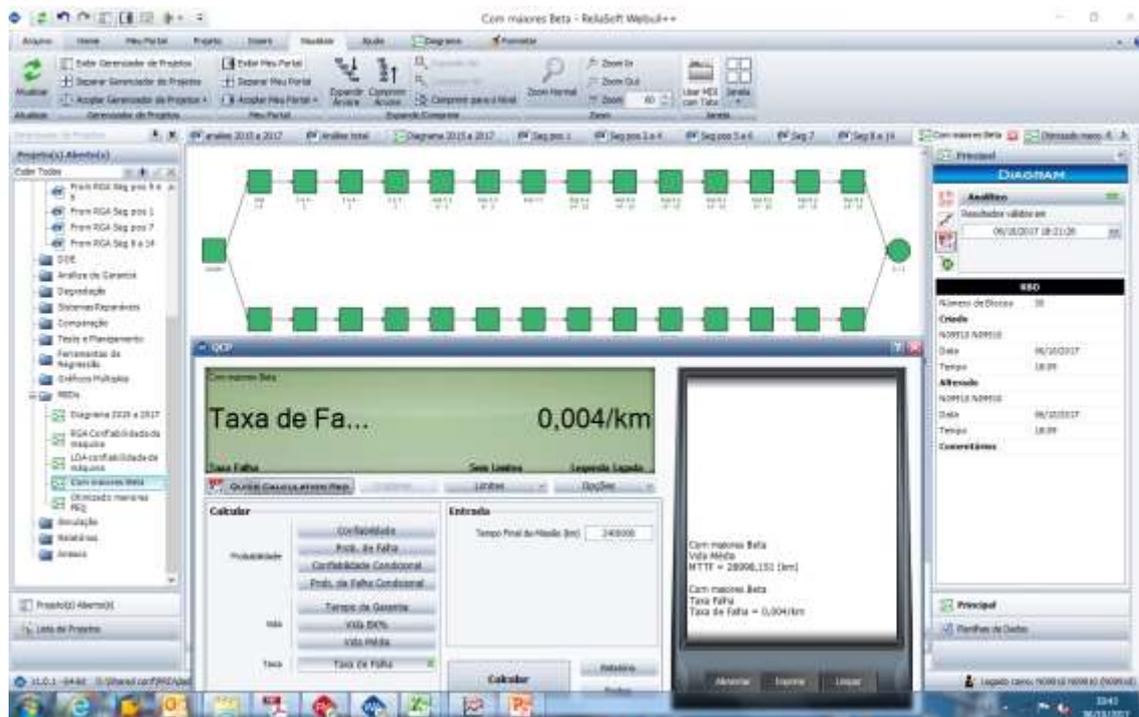


Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Para a simulação com os segmentos usando os menores valores de beta, o MTBF da máquina passa para 43509,02 toneladas, em torno de 40% superior ao observado no uso dos dados dos sistemas que foi de 30302,58 toneladas, enquanto a taxa de falha é de 4,32E-5falhas/tonelada, o que representa 43 falhas por milhão de tonelada produzida.

A Figura 4.8 mostra os resultados para valores de beta maiores, ou seja, os que tiveram decréscimo na confiabilidade

Figura 4.8 - Diagrama de blocos da máquina com betas maiores dos sistemas segmentos



Fonte: Software RGA ReliaSoft (2017).

Para a simulação com os segmentos usando os maiores valores de beta, o MTBF da máquina seria de apenas 28998,14 toneladas e uma taxa de falha de 0,004 falhas/tonelada, o que representa 4000 falhas por milhão de toneladas.

Logo buscar o crescimento da confiabilidade de cada segmento é o caminho para elevar a disponibilidade da máquina.

4.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado o desenrolar das simulações dos dados coletados nos softwares para definição das métricas de confiabilidade dos sistemas reparáveis segmentos, observado o comportamento do crescimento da confiabilidade nos sistemas e executada a simulação de toda a máquina através do diagrama de blocos, sendo os blocos carregados com as métricas de confiabilidade obtidas na análise RGA dos sistemas.

Os resultados observados foram de muita relevância, pois permitem identificar que há alguns segmentos que não apresentaram crescimento de confiabilidade e que alguns tiveram um decréscimo. Avaliando os dados foram identificados os que apresentaram os melhores resultados e também os piores, o que abriu uma reflexão sobre as políticas de manutenção hora em curso na empresa, alertando para a necessidade de se propor uma mudança de estratégia de manutenção para estes sistemas.

No próximo capítulo, será apresentada a conclusão final do trabalho, com as observações feitas e as possibilidades de implementação de soluções para os problemas observados, sendo propostos alguns estudos necessários a continuidade deste projeto, a fim de inserir de vez os conceitos de manutenção centrada em confiabilidade nos segmentos da máquina de lingotamento contínuo da ArcelorMittal Tubarão.

5 CONCLUSÃO

Os resultados observados ao concluir este trabalho, foram de significância impar tanto no desenvolvimento de conceitos de confiabilidade em sistemas reparáveis nesta fase final de especialização em engenharia de confiabilidade, quanto nos resultados práticos, porem quantitativos obtidos nas simulações e aplicáveis na fábrica.

O desenvolvimento do mesmo e a aplicação dos conceitos tornaram mais claras a opções de aplicação de determinado modelo estatístico nas variáveis que a manutenção gerencia, de forma a se obter os melhores resultados.

A separação dos segmentos por sistemas, dadas as suas características similares e áreas de aplicação específica, foi muito importante e facilitou o trabalho com os dados levantados em campo.

Na preparação dos dados, houve dificuldade em se identificar algumas causas de saída dos segmentos da máquina, por falta de informação além de se observar erros de lançamento, e existência de falhas geradas por fatores externos e não pelos componentes dos sistemas.

Foi observado que as melhores métricas de confiabilidade para sistemas reparáveis são a taxa de falha e, principalmente, o MTBF.

Analisado os resultados do sistema segmentos 2 a 4, pois estes indicam decrescimento de confiabilidade, e do sistema segmentos 5 a 6 que indicam nenhuma alteração. Avaliado o gráfico de distribuição de falhas, e constatado um aumento de falhas ao final do tempo de estudo. Investigado a causa deste comportamento e identificado que estes estiveram expostos s fatores externos que alteraram a condição de trabalho destes, e que as manutenções realizadas não consideraram estas ocorrências, por até então desconhecer os impactos no comportamento da confiabilidade dos sistemas.

Dada essa constatação, foi proposto a empresa uma mudança de política de manutenção parcial em segmentos que sofram interferência de fatores externos que possam mudar sua distribuição de falhas. A proposta foi aceita e já será implantada nos próximos casos de segmentos em posição crítica.

Avaliado a simulação da máquina toda, com MTBF na ordem 43509,02ton que é muito inferior ao que se necessita para conseguir apenas 5 segmentos

retrabalhados na máquina, (em torno de 480.000ton). Os resultados observados mostram que há necessidade de se reavaliar a simulação do diagrama de blocos ou a metodologia usada, visto que os sistemas separados não apresentam MTBF tão baixos.

Observado que ao se usar os melhores valores de MTBF, onde os segmentos sujeitos a fatores externos foram expurgados, constata-se que o MTBF da máquina aumenta na ordem de 40%.

De forma geral, o aumento de vida dos segmentos não esta comprometendo a confiabilidade dos segmentos, pois os únicos segmentos que diminuíram a confiabilidade tiveram como causa agentes externos.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O MTBF geral da máquina retornou valores pequenos se comparados aos MTBF's dos sistemas que a compõe. Há certa dúvida se este é o melhor método se se construir a confiabilidade da máquina, uma vez que as taxas de falha do modelo seriam equivalentes a mais de 80 falhas por milhão de toneladas produzidas. Entretanto, os números de falhas reais apurados no Pareto são de 43 falhas em 2016 e 30 em 2017, estes apenas relacionados a problemas de manutenção. Esta diferença merece ser estudada.

Em 2019 serão substituídos todos os segmentos. O ideal é tentar construir a confiabilidade dos segmentos com base nos dados de falhas de seus componentes, (rolamentos, rolos, cilindros hidráulicos etc.), para melhorar os dados de confiabilidade do sistema. Uma alternativa é desenvolver junto ao fornecedor da máquina a confiabilidade de cada segmento já na fase de projeto, para depois se comparar com os resultados observados durante a vida destes.

Dada a relevância do estudo da confiabilidade, o ideal é estender essa avaliação nos demais componentes da máquina e nas outras duas máquinas de Tubarão, após ter dados consistentes iniciar as avaliações de custos, sobressalentes, tempos de reparo etc. desenvolvendo modelos mais complexos, porém de grande relevância na gestão de ativos, que é o papel da manutenção.

Na maioria das posições houve crescimento da confiabilidade. Entretanto, observa-se que alguns segmentos tiveram uma perda desta, comprometendo o resultado final.

Investigando a causa, foi observado que os segmentos que estiveram sujeitos a esforços anormais, tiveram seus resultados comprometidos.

Uma nova política de manutenção em segmentos está sendo elaborada mediante estes resultados.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Luiz Antonio de. Manual de Siderurgia – Produção. 2ª ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2003.

ARCELORMITTAL TUBARÃO – Quem somos. Disponível em: <http://tubarao.arcelormittal.com/quem-somos/arcelor-mittal-tubarao/nossa-historia/index.asp>. Acesso em 08 maio 2017.

ARCELORMITTAL TUBARÃO, Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos da ArcelorMittal Aços Planos América do Sul, 2017.

KARDEC, A; NASCIF, J. Manutenção: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

KUMAR, Chatterjee – CTO Confiabilidade do grupo ArceloMittal. Palestra de Consultoria na implementação do RCM nas unidades de Tubarão, 2015.

MARIANO, Carlos Henrique, Sistemas Reparáveis – Material Didático Disciplina Análise de Dados de Vida – Especialização em Engenharia da Confiabilidade Turma Vitória E. Santo, 2016.

MOCZYDLOWER, Daniel. “Confiabilidade aplicada para evoluir padrões operacionais e de desenvolvimento tecnológico na aviação”. Palestra de abertura do Simpósio Internacional de Confiabilidade de 2017. Disponível em: <http://arsymposium.org/southamerica/2017/abstracts/p1s1.htm>. Acesso em 24 setembro 2017.

MOUBRAY, J. Reliability-centered maintenance: second edition. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

RELIASOFT, Synthesis Análise – Disponível em: http://www.reliasoft.com.br/images/reliability_tools_empower_pt.png, acessado em 10 outubro 2017.

RIGONI, Emerson, Manutenção Centrada na Confiabilidade, Material Didático Disciplina Manutenção Centrada na Confiabilidade, Especialização em Engenharia da Confiabilidade Turma Vitória E. Santo, 2017.

SLACK, Nigel et al. Administração da Produção. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 1999.

SPANÓ, Claudio C. Palestra Engenharia da Confiabilidade, Material Didático Disciplina Crescimento da Confiabilidade, Especialização em Engenharia da Confiabilidade Turma Vitória E. Santo, 2017.

VERGARA, Sylvia Constant. Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração. 5ª Edição. São Paulo: Atlas S.A. 2004.

ANEXO A - DADOS DE SIMULAÇÃO PARA SEGMENTOS POSIÇÃO 1

Data Sai	Posição	Equipam	Produç	Vida	Campanha	Motivo
26/02/2009	1v3	1-1	252.340	252.340	252.340	BAIXA VAZÃO SPRAYS
20/04/2009	1v3	1-1	122.605	374.945	374.945	
25/06/2009	1v3	1-1	89.280	464.225	464.225	
18/12/2009	1v3	1-1	468.100	932.325	932.325	
01/07/2010	1v3	1-1	328.910	1.261.235	1.261.235	
09/03/2011	1v3	1-2	156.550	469.495	469.495	Rolamento quebrado.
18/03/2011	1v3	1-1	24.490	1.285.725	1.285.725	Fim de vida.
24/03/2011	1v3	1-2	18.135	487.630	487.630	Rolamento quebrado.
26/04/2011	1v3	1-1	79.670	1.365.395	1.365.395	Fim de vida útil
30/06/2011	1v3	1-3	172.980	172.980	172.980	desalinhamento de rolos
09/07/2011	1v3	1-1	24.180	1.389.575	1.389.575	breack-out
08/10/2011	1v4	1-5	872.805	872.805	872.805	quebra do 2º rolo longo superior
16/11/2011	1v3	1-3	355.260	528.240	528.240	Rolamento quebrado.
20/11/2011	1v4	1-2	110.050	597.680	597.680	devido quebra do 3º rolo base superior
01/04/2012	1v3	1-5	400.520	1.273.325	1.273.325	Break Out
15/06/2012	1v3	1-2	212.040	806.310	806.310	Desgaste geral dos rolos sem condições de correção
25/05/2010	1v4	1-4	406.720	406.720	406.720	Vazamento de selagem.
21/09/2010	1v3	1-4	256.215	662.935	662.935	Breakout
30/11/2012	1v4	1-4	402.535	1.065.470	1.065.470	Quebra do rolo central inferior antes do motriz
07/01/2013	1v4	1-3	746.015	746.015	746.015	Quebra do rolamento do 3º rolo inferior.
03/04/2013	1v4	1-5	354.020	354.020	1.627.345	Break Out
01/07/2013	1v3	1-1	1.058.960	1.058.960	2.448.535	Break Out
30/07/2013	1v3	1-4	72.230	1.137.700	1.137.700	Vazamento óleo na tubulação de clamping base inferior do segmento. Fim de Campanha
19/11/2013	1v3	1-5	308.450	662.470	1.935.795	Desvio de GAP/Alinhamento no último rolo longo inferior.
20/02/2014	1v3	1-5	247.225	909.695	2.183.020	Rompimento de pele.
29/08/2014	1v3	1-4	484.220	1.621.920	1.621.920	Quebra do 9º rolo longo inferior.
10/10/2014	1v3	1-3	135625	881.640	881.640	Quebra de rolamento
26/11/2014	1v4	1-2	890.165	890.165	890.165	Bico de spray obstruído, vazamento no distribuidor de graxa de alimentação dos mancais centrais da base superior
30/11/2014	1v4	1-3	6.820	888.460	888.460	Rompimento de pele
05/01/2015	1v4	1-5	118.420	1.028.115	2.301.440	Quebra do munhão do último rolo longo superior
11/03/2015	1v4	1-3	216.070	1.104.530	1.104.530	Quebra do munhão do penúltimo rolo Longo superior
04/06/2015	1v3	1-1	763.375	763.375	3.211.910	Vazamento hidráulico no bloco do cilindro do clamp lado acionamento.
09/06/2015	1v4	1-2	300.700	1.190.865	1.190.865	Break-Out
27/09/2017	1v3	1-2	1.331.760	1.331.760	2.522.625	Em operação
08/07/2015	1v4	1-5	104.160	1.132.275	2.405.600	Obstrução de bicos de spray
27/08/2015	1v4	1-1	155.620	918.995	3.367.530	Rompimento de pele com placa agarrada no interior do mesmo.
15/10/2015	1v3	1-3	435.240	435.240	1.539.770	Vazamento de selagem.
11/11/2015	1v4	1-5	239.785	1.372.060	2.645.385	Fim de campanha.
19/11/2015	1v4	1-3	21.235	456.475	1.561.005	Break-Out
09/12/2015	1v3	1-1	173.755	1.092.750	3.541.285	Vazamento de selagem.
27/09/2017	1v4	1-1	422.375	422.375	3.541.285	Em operação
31/12/2015	1v4	1-5	143.530	1.515.590	2.788.915	Rompimento de pele.
20/02/2016	1v4	1-3	125.705	582.180	1.686.710	Estouro de topo, aço nos rolos.
29/02/2016	1v3	1-4	222.580	222.580	1.844.500	Devido ao Breakout no veio 3
30/03/2016	1v4	1-5	114.855	1.630.445	2.903.770	2º rolo curto inferior com rolamento quebrado
09/08/2016	1v3	1-3	533.975	1.116.155	2.220.685	Fim de campanha
04/10/2016	1v4	1-4	643.405	865.985	2.710.485	falta das válvulas nas grades de spray
23/03/2017	1v4	1-3	547.305	1.663.460	2.767.990	Fim de campanha.
14/06/2017	1v4	1-4	160.580	1.026.565	2.871.065	Deslocamento dos mancais bipartidos do 7º e 10º rolo longo inferior para fora da chaveta.

ANEXO B - DADOS DE SIMULAÇÃO PARA SEGMENTOS POSIÇÃO 2 A 4

Data Sai	Posiçã	quipam	Produç	Vida	Campa	Motivo
04/01/2011	2v3	2/4-2	310.465	310.465	310.465	Vazamento de selagem - Break-out
21/04/2010	4v4	2/4-4	101.060	101.060	101.060	
18/09/2010	3v4	2/4-4	459.420	560.480	560.480	
28/01/2011	4v4	2/4-4	352.780	913.260	913.260	Desgaste dos rolos
26/03/2011	4v3	2/4-4	48.825	962.085	962.085	Rolo quebrado.
15/04/2011	4v3	2/4-4	35.495	999.130	999.130	Rolamento quebrado.
19/05/2011	4v3	2/4-4	70.060	1.069.190	1.069.190	desgaste de rolos
09/07/2011	2v3	2/4-5	476.005	476.005	476.005	break-out
05/08/2011	2v4	2/4-8	889.235	1.015.870	1.015.870	desgaste de rolos e mancal furado
06/08/2011	3v4	2/4-7	1.298.125	1.298.125	1.298.125	desgaste de rolos
25/08/2011	4v3	2/4-1	265.360	265.360	265.360	quebra do 1° rolo longo inferior
13/09/2011	4v4	2/4-2	587.450	897.915	897.915	quebra do rolamento 8° rolo inferior (rolo travado)
29/09/2011	3v3	2/4-6	294.190	294.190	294.190	rolos desalinhados e passagem interna cilindro do motriz LOA
16/11/2011	3v3	2/4-7	128.805	128.805	1.426.930	Rolamento quebrado
20/11/2011	2v4	2/4-5	284.425	760.430	760.430	devido vazamento cilindro do rolo motriz lado oposto acionamento.
14/12/2011	4v3	2/4-1	253.115	518.475	518.475	devido quebra do rolamento do 5° rolo longo inferior
31/01/2012	3v3	2/4-2	163.990	1.061.905	1.061.905	Desgaste de rolo motriz e rolo 33 apresentando quebra
03/02/2012	4v3	2/4-5	108.035	868.465	868.465	Quebra do munhão - rolo longo 36
15/03/2012	4v4	2/4-8	504.370	1.561.625	1.561.625	Fim de Campanha, desgaste dos rolos
01/04/2012	2v3	2/4-6	400.520	694.710	694.710	Break Out
06/04/2012	3v3	2/4-3	246.295	246.295	246.295	Vazamento Hidráulico
09/04/2012	2v3	2/4-5	17.670	886.135	886.135	Vazamento Hidráulico
15/06/2012	4v3	2/4-1	440.200	958.675	958.675	Travamento completo do sistema de graxa depois do Break Out do dia 01/04/2012
31/07/2012	3v3	2/4-6	349.370	1.044.080	1.044.080	Desgaste do rolo motriz (Fim de Campanha) - Batoque do liner soldado lado acionamento
21/09/2012	4v4	2/4-2	545.290	545.290	1.607.195	Saída antecipada desvio do rolo motriz (quebra dos parafusos dos mancais centrais - Assispar)
25/10/2012	3v4	2/4-4	1.245.115	1.245.115	2.314.305	Fim de Campanha
25/10/2012	2v4	2/4-7	962.860	1.091.665	2.389.790	Fim de Campanha
15/02/2013	4v3	2/4-8	673.940	673.940	2.235.565	Quebra do munhão do 3° rolo inferior
15/03/2013	2v3	2/4-3	949.685	1.195.980	1.195.980	Fim de Campanha
24/03/2013	4v4	2/4-6	521.520	521.420	1.565.500	Quebra 3° rolo longo superior
03/04/2013	2v4	2/4-2	456.630	1.001.920	2.063.825	Break Out - Fim de Campanha
17/04/2013	4v4	2/4-8	72.540	746.480	2.308.105	Quebra do último rolo longo superior
04/06/2013	4v3	2/4-4	310.620	310.620	2.624.925	Quebra do mancal do 1° rolo superior e empeno dos calços giratórios
30/06/2013	3v4	2/4-1	698.430	698.430	1.657.105	Quebra do cilindro do rolo motriz lado oposto ao acionamento
01/07/2013	3v3	2/4-5	911.865	911.865	1.798.000	Break Out
01/07/2013	2v3	2/4-7	303.645	303.645	2.693.435	Break Out
12/08/2013	4v3	2/4-8	179.490	179.490	2.487.595	Rolos deslocados conforme informação da Of.Seg. Substituído no site survey
12/08/2013	2v4	2/4-6	349.380	871.100	1.914.880	Próximo de vencer a vida útil. Rolo deslocado conforme informação da of.Seg
12/09/2013	3v4	2/4-2	191.580	1.193.500	2.255.405	Fim de Campanha
03/10/2013	2v3	2/4-1	247.845	946.275	1.904.950	Quebra do rolamento do penúltimo rolo longo superior lado acionamento
07/11/2013	3v3	2/4-4	349.370	659.990	2.974.295	Rompimento da mangueira do penúltimo rolo longo inferior
21/11/2013	2v3	2/4-6	132.835	1.003.935	2.047.715	Fim de Campanha
26/12/2013	4v3	2/4-5	364.870	364.870	2.162.870	Quebra do último rolo longo inferior
26/12/2013	3v4	2/4-8	279.000	458.490	2.766.595	Quebra do último rolo longo inferior
09/01/2014	2v4	2/4-7	396.335	699.980	3.089.770	Desvio na Movimentação do cilindro motriz lado interno do veio.
15/01/2014	2v4	2/4-8	11.315	469.805	2.777.910	Desvio de alinhamento
30/01/2014	2v4	2/4-7	49.135	749.115	3.138.905	Desvio de alinhamento nas interseções.
17/02/2014	2v3	2/4-4	237.925	897.915	3.212.220	Quebra do rolo motriz inferior.
20/02/2014	2v3	2/4-7	9.300	758.415	3.148.205	Rompimento de pele.
28/02/2014	4v4	2/4-3	848.930	848.935	2.044.915	Desvio de GAP no rolo motriz e primeiro rolo longo inferior.
03/03/2014	3v4	2/4-1	185.845	1.132.120	2.090.795	Rolamento quebrado.
14/03/2014	4v3	2/4-5	217.310	582.180	2.380.180	Quebra do 3° rolo longo inferior
01/04/2014	3v4	2/4-4	83.855	1.217.215	3.296.075	Quebra do 1° rolo longo inferior.
05/05/2014	4v3	2/4-3	147.560	996.495	2.192.475	Fim de campanha
05/05/2014	4v4	2/4-7	186.000	944.415	3.334.205	Fim de campanha
04/08/2014	3v3	2/4-2	681.070	681.070	2.936.475	Quebra do rolamento do 7° rolo longo inferior
05/08/2014	2v3	2/4-8	405.015	874.820	3.182.925	Quebra do rolamento do 1° rolo longo inferior
25/08/2014	3v4	2/4-5	357.430	939.610	2.737.610	Quebra do 7° rolo longo inferior.
09/10/2014	3v4	2/4-8	147.715	1.022.535	3.330.640	Quebra do munhão 5° rolo longo superior
19/02/2015	4v3	2/4-1	823.670	823.670	2.914.465	Quebra do munhão do rolo motriz inferior
19/02/2015	3v4	2/4-5	421.755	1.361.365	3.159.365	Quebra do rolamento do anti penúltimo rolo superior
26/02/2015	2v3	2/4-2	650.225	1.331.295	3.586.700	Desvio de gap no ultimo rolo longo superior.
25/03/2015	4v4	2/4-4	941.470	941.470	4.237.545	Rompimento de pele no veio causando acúmulo de borra de aço nos rolos da base superior.
31/03/2015	4v3	2/4-8	128.805	1.151.340	3.459.445	Quebra do rolamento do 3° rolo longo inferior e quebra do rolamento do último rolo longo superior.
19/05/2015	4v4	2/4-2	180.110	1.511.405	3.766.810	Quebra do rolamento do último rolo longo superior.
09/06/2015	2v4	2/4-6	1.471.725	1.471.725	3.519.440	Break-Out
22/06/2015	3v3	2/4-7	1.043.770	1.043.770	4.377.975	Quebra do rolamento do último rolo longo superior.
08/07/2015	4v4	2/4-4	183.520	1.124.990	4.421.065	Desvio de gap e alinhamento no penúltimo rolo longo inferior
24/07/2015	3v4	2/4-3	526.225	526.225	2.718.700	Aço sobre os rolos da base superior proveniente do break-out de 09/06/15.
24/08/2015	3v3	2/4-6	207.080	1.678.805	3.726.520	Quebra do rolamento do motriz inferior.
02/09/2015	2v3	2/4-1	619.225	1.442.895	3.533.690	Fim de campanha.
08/10/2015	3v4	2/4-7	237.770	1.281.540	4.615.745	Quebra do rolamento do 2° rolo longo inferior
04/11/2015	4v3	2/4-5	717.650	717.650	3.877.015	Quebra do rolamento do 5° rolo longo superior.
15/11/2015	2v3	2/4-4	233.895	233.895	4.654.960	Quebra da carcaça do cilindro do motriz devido ao escorregamento da Barra Falsa.
19/11/2015	3v4	2/4-1	126.015	126.015	3.659.705	Break-Out
19/11/2015	2v4	2/4-8	520.800	520.800	3.980.245	Break-Out
09/12/2015	2v3	2/4-7	83.855	1.365.395	4.699.600	Vazamento de selagem.
29/02/2016	2v3	2/4-8	222.580	743.380	4.202.825	Devido ao Breakout no veio 3
29/02/2016	3v3	2/4-3	561.410	1.087.635	3.280.110	Retirado para limpeza de breakout
29/02/2016	4v3	2/4-6	336.040	2.014.845	4.062.560	Devido ao breakout e já tinha previsão de ser trocado na parada programada
27/09/2017	2v4	2/4-6	1.422.280	1.422.280	5.480.840	Em operação
29/02/2016	4v4	2/4-2	709.590	709.590	4.476.400	5° Rolo Curto com rolamento quebrado
24/05/2016	4v3	2/4-3	267.995	1.355.630	3.548.105	Fim de campanha.
08/07/2016	4v3	2/4-8	155.930	899.310	4.358.755	Quebra do rolamento do 6° rolo longo inferior.
12/07/2016	2v4	2/4-5	735.475	1.453.125	4.612.490	Fim de campanha
17/08/2016	3v3	2/4-2	564.510	1.274.100	5.040.910	Fim de campanha
27/09/2017	3v3	2/4-2	879.780	879.780	5.920.690	Em operação
26/10/2016	3v3	2/4-8	238.700	1.138.010	4.597.455	Quebra do rolamento do 6° rolo longo sup
17/11/2016	4v3	2/4-3	454.460	454.460	4.002.565	Quebra de rolamento
21/12/2016	3v3	2/4-5	182.745	182.745	4.795.235	Calço giratório inadequado.
27/09/2017	2v3	2/4-5	815.765	998.510	5.611.000	Em operação
21/12/2016	3v4	2/4-8	107.570	1.245.580	4.705.025	Quebra de rolamento
24/04/2017	3v4	2/4-8	185.690	185.690	4.890.715	Rompimento de pele.
27/09/2017	3v4	2/4-8	340.690	526.380	5.231.405	Em operação
20/02/2017	3v4	2/4-4	1.476.530	1.710.425	6.365.385	Desgaste de rolos
08/05/2017	4v3	2/4-4	35.495	1.745.920	6.400.880	Quebra do rolamento do 5° rolo longo inferior
27/09/2017	4v4	2/4-4	131.440	131.440	6.532.320	Quebra do rolamento do 5° rolo longo inferior
12/06/2017	3v4	2/4-1	154.845	1.495.285	5.000.145	Quebra do munhão do último rolo longo superior
02/07/2017	4v3	2/4-3	178.715	1.024.240	4.181.280	Quebra de munhão central do último rolo longo superior
27/09/2017	4v3	2/4-3	77.035	1.101.275	4.258.315	Em operação

ANEXO C - DADOS DE SIMULAÇÃO PARA SEGMENTOS POSIÇÃO 5 A 6

Data Saída	Posição	Equipam	Produção	Vida	Campa	Motivo
09/01/2011	6v4	5/6-4	507.315	507.315	507.315	3º rolo longo inferior travado
01/02/2011	5v4	5/6-2	456.010	456.010	456.010	Rolo motriz quebrado.
06/02/2011	6v4	5/6-5	84.940	84.940	84.940	Vazamento de água no rolo motriz.
15/04/2011	5v4	5/6-5	116.560	201.500	201.500	Rolamento quebrado.
11/05/2011	6v3	5/6-4	244.590	751.905	751.905	quebra do 5º rolo longo inferior
25/05/2011	5v3	5/6-1	684.015	684.015	684.015	5º rolo longo da base inferior quebrado
03/06/2011	6v4	5/6-2	279.465	735.475	735.475	2º rolo inferior com rolamento quebrado e desgaste do 1º rolo inferior
21/06/2011	6v4	5/6-1	48.670	732.685	732.685	rolos desalinados
29/06/2011	5v3	5/6-4	94.705	847.960	847.960	devido desgaste do rolo motriz e desalinhamento de rolos.
29/08/2011	5v3	5/6-1	168.175	900.860	900.860	7º rolo longo inferior travado, folga na alonga do rolo motriz e desgaste do motriz.
26/10/2011	6v3	5/6-4	311.705	1.159.665	1.159.665	desgaste acentuado rolo motriz
09/02/2012	6v3	5/6-1	278.845	1.179.705	1.179.705	quebra do rolo motriz e Fim de Campanha
14/02/2012	5v4	5/6-5	802.590	1.004.090	1.004.090	Vazamento de água no rolo motriz - mancal bi partido
09/04/2012	6v3	5/6-4	196.850	196.850	1.356.515	Vazamento Hidráulico
24/04/2012	6v4	5/6-2	866.760	1.602.235	1.602.235	Fim de Campanha, desgaste dos rolos
10/05/2012	5v3	5/6-3	718.425	718.425	718.425	Quebra do rolo curto posição 49 base inferior
18/05/2012	6v3	5/6-5	110.360	1.114.450	1.114.450	Rolos de entrada travados base Inf e Sup
05/06/2012	5v4	5/6-1	345.495	1.525.200	1.525.200	Realizado a troca do segmento - Fim de Campanha, desgaste dos rolos, e rolo travado
12/07/2012	5v4	5/6-5	68.045	1.233.800	1.233.800	Fim de Campanha, desgaste dos rolos
25/10/2012	6v3	5/6-3	434.155	1.159.555	1.159.555	Fim de Campanha
13/12/2012	6v3	5/6-5	191.425	191.425	1.425.255	Quebra do rolo longo inferior após o motriz
13/12/2012	6v4	5/6-4	700.755	886.600	2.057.270	Desvio de gap no rolo motriz.
13/12/2012	5v4	5/6-1	458.645	458.645	1.983.845	1º rolo de entrada soldado.
18/01/2013	6v4	5/6-4	47.275	933.875	2.104.545	Desvio de gap e giro 1º rolo inferior
22/02/2013	6v3	5/6-5	149.730	341.155	1.574.955	Quebra do 6º rolo longo inferior
30/04/2013	6v4	5/6-3	287.215	287.215	1.446.770	Quebra do 2º rolo superior
13/05/2013	6v3	5/6-4	225.060	1.158.935	2.329.605	Desvio de gap e Fim de Campanha
04/06/2013	5v3	5/6-2	1.092.750	1.092.750	2.694.985	Desvio gap motriz, Fim de Campanha
30/07/2013	5v4	5/6-1	582.645	1.041.290	2.566.490	Desvio gap motriz - Fim de Campanha
30/10/2013	6v3	5/6-3	459.575	746.790	1.906.345	Quebra do munhão central do 5º rolo longo superior
07/11/2013	6v4	5/6-5	523.125	523.125	2.098.080	Quebra do penúltimo rolo longo superior
11/11/2013	6v4	5/6-3	10.695	757.485	1.917.040	Quebra do rolamento central do 5º rolo longo inferior
12/12/2013	6v3	5/6-1	104.625	1.145.915	2.671.115	Fim de Campanha
22/01/2014	6v4	5/6-5	182.125	705.250	2.280.205	Desvio de GAP no 5º rolo longo superior.
27/01/2014	6v3	5/6-3	128.805	886.290	2.045.845	Desvio de GAP no 2º rolo inferior.
11/03/2014	5v4	5/6-2	605.740	605.740	3.300.275	Quebra do 5º rolo longo inferior
20/03/2014	6v4	5/6-1	162.285	162.285	2.833.400	Quebra do munhão do 3º rolo superior
01/04/2014	5v3	5/6-4	814.060	814.060	3.143.665	Desgaste de rolo conforme roll gap
02/04/2014	6v3	5/6-5	183.210	888.460	2.463.415	Quebra do penúltimo rolo longo inferior
05/05/2014	6v3	5/6-4	94.240	908.300	3.237.905	Fim de campanha
04/08/2014	6v4	5/6-2	325.965	931.705	3.626.692	Quebra do rolamento do 5º rolo curto inferior
16/09/2014	5v3	5/6-1	432.760	595.045	3.266.160	Desvio de Gap detectado pelo Roll Gap e Quebra de Rolamento do 6º Rolo Longo Inferior.
17/09/2014	5v4	5/6-3	496.155	496.155	2.542.000	Troca devido rolo motriz superior estar travado.
23/09/2014	5v4	5/6-1	19.840	614.885	3.286.000	Quebra do rolamento do 3º rolo longo inferior.
10/10/2014	6v3	5/6-5	412.920	412.920	2.876.335	Quebra de rolamento do 1º longo inferior
04/11/2014	5v3	5/6-2	143.840	1.075.545	3.770.530	Rolamento Quebrado
04/12/2014	5v4	5/6-3	217.310	713.465	2.759.310	Troca do seg. 5 do veio 4 devido quebra do rolamento do 5º rolo longo superior indicado pelo roll gap
26/01/2015	6v4	5/6-4	547.925	547.925	3.785.830	Quebra de rolamento do 1º rolo longo inferior e quebra do liner de apoio da base superior LA.
10/04/2015	6v4	5/6-3	247.380	960.845	3.006.690	Quebra do rolamento do 2º e 7º rolo longo superior.
27/05/2015	5v3	5/6-5	670.375	1.083.295	3.546.710	Quebra do rolamento do 7º rolo longo superior.
12/06/2015	6v3	5/6-1	789.570	1.404.455	4.075.570	Fim de campanha
22/06/2015	5v4	5/6-2	667.585	667.585	4.438.155	Quebra do rolamento do penúltimo rolo longo superior.
14/07/2015	5v4	5/6-1	75.640	1.480.095	4.151.210	Fim de campanha.
24/07/2015	6v4	5/6-4	367.040	914.965	4.152.870	7º rolo longo inferior com rolamento quebrado.
21/08/2015	5v4	5/6-2	121.985	789.570	4.560.100	Rolamento quebrado, 2º rolo longo superior.
24/08/2015	6v4	5/6-1	95.325	1.575.420	4.246.353	Quebra de rolamento do penúltimo rolo inferior.
29/09/2015	5v4	5/6-4	122.140	1.037.105	4.275.010	Quebra do rolamento do 2º rolo médio inferior.
02/10/2015	6v4	5/6-2	112.685	902.255	4.672.785	Quebra do rolamento 3º rolo longo inferior
08/10/2015	5v4	5/6-1	29.760	1.605.180	4.276.295	Fim de campanha.
08/11/2015	6v4	5/6-4	114.855	1.151.960	4.389.865	Troca do segmento 6 do veio 4 devido quebra do rolamento do 3º rolo longo superior.
12/11/2015	6v3	5/6-5	493.055	1.576.350	4.039.765	Fim de campanha.
26/11/2015	5v4	5/6-2	149.110	1.051.365	4.821.895	Quebra do rolamento do 7º rolo curto inferior.
28/12/2015	6v3	5/6-4	156.240	1.308.200	4.546.105	Quebra do rolamento 5º rolo longo superior
31/12/2015	5v4	5/6-5	120.435	120.435	4.160.200	Rompimento de pele.
22/01/2016	5v4	5/6-4	30.690	1.338.890	4.576.795	Fim de campanha.
01/06/2016	5v3	5/6-3	1.150.410	1.150.410	4.157.100	Quebra do rolamento do 2º rolo longo superior.
26/06/2016	6v4	5/6-1	706.955	706.955	4.983.250	Quebra do rolamento do 6º rolo longo superior.
14/09/2016	6v4	5/6-3	293.725	1.444.135	4.450.825	quebra do rolamento do 2º rolo longo inferior
26/10/2016	6v4	5/6-1	129.115	836.070	5.112.365	Quebra do rolamento do 3º longo superior.
09/11/2016	5v3	5/6-4	555.830	555.830	5.132.625	Quebra do rolamento do 2º rolo longo inferior
17/11/2016	5v4	5/6-5	1.001.145	1.121.580	5.161.345	Corrosão do bloco hidráulico do rolo motriz.
13/12/2016	5v3	5/6-1	110.670	946.740	5.223.035	Quebra do rolamento do último rolo longo inferior
27/12/2016	6v4	5/6-3	197.470	197.470	4.648.295	Quebra de munhão rolo motriz
10/02/2017	6v4	5/6-1	139.965	1.086.705	5.363.000	Quebra do rolamento do 7º rolo curto superior
23/03/2017	6v3	5/6-2	1.438.865	1.438.865	6.260.760	Desgaste de rolos
27/09/2017	6v3	5/6-2	475.540	1.914.405	6.736.300	Em operação
02/05/2017	6v3	5/6-1	107.415	1.194.120	5.470.415	Quebra do rolamento do 6º rolo longo inferior
31/05/2017	5v4	5/6-4	594.735	1.150.565	5.727.360	Quebra do rolamento central livre do 6º rolo longo inferior
27/09/2017	6v4	5/6-4	334.955	334.955	6.062.315	Em operação
14/06/2017	6v4	5/6-3	385.175	582.645	5.033.470	Deslocamento do mancal do último rolo curto inferior para fora da chaveta.
27/09/2017	5v4	5/6-3	271.250	853.895	5.304.720	Em operação
03/07/2017	5v4	5/6-1	109.585	1.303.705	5.580.000	Quebra do rolamento central do penúltimo rolo longo inferior

ANEXO D - DADOS DE SIMULAÇÃO PARA SEGMENTOS POSIÇÃO 7

Data Saída	Posição	Equipam	Produç	Vida	Campal	Motivo
11/03/2011	7v3	7-1	331.545	331.545	331.545	Desgaste rolo motriz.
25/05/2010	7v3	7-3	62.775	62.775	62.775	
09/11/2010	7v4	7-3	492.280	555.055	555.055	
07/06/2011	7v4	7-3	489.955	1.045.010	1.045.010	desgaste de rolos e rolo com rolamento quebrado
20/07/2011	7v3	7-2	347.975	347.975	347.975	quebra do 2 rolo longo superior
30/07/2011	7v3	7-3	27.125	1.072.135	1.072.135	desgaste de rolos
25/08/2011	7v3	7-2	65.255	413.230	413.230	quebra do rolo motriz inferior
13/09/2011	7v3	7-3	54.560	1.126.695	1.126.695	quebra 5º rolo
23/09/2011	7v3	7-2	29.295	442.525	442.525	8º rolo curto inferior travado
29/09/2011	7v4	7-1	314.805	646.350	646.350	devido 1º rolo longo inferior travado
26/10/2011	7v3	7-3	91.915	1.218.610	1.218.610	fim de vida e desgaste acentuado rolo motriz
02/11/2011	7v4	7-2	90.055	532.580	532.580	quebra rolo motriz inferior
05/01/2012	7v4	7-3	152.675	1.371.285	1.371.285	Desgaste acentuado no rolo motriz (Fim de Campanha) , desgaste de rolos nas posições 63, 65, 66
23/01/2012	7v4	7-2	39.680	572.260	572.260	Quebra do rolo motriz inferior
13/02/2012	7v3	7-1	294.500	940.850	940.850	Quebra do rolo motriz inferior, desvio de alinhamento - rolo 60 - Segmento em Fim de Campanha
19/02/2012	7v4	7-3	96.565	1.467.850	1.467.850	Quebra do rolo motriz (Fim de Campanha)
24/04/2012	7v4	7-1	209.560	1.134.755	1.134.755	Fim de Campanha, desgaste dos rolos
18/01/2013	7v4	7-3	748.030	748.030	2.215.880	Quebra 1º rolo inferior
30/07/2013	7v4	7-1	535.370	535.370	1.670.125	Vazamento de óleo na sub-placa do cilindro de clamping de entrada lado acionamento
01/08/2013	7v4	7-2	1.133.980	1.133.980	1.133.980	Quebra do 1º rolo inferior
26/08/2013	7v4	7-1	59.520	594.890	1.729.645	Desvio de gap e alinhamento do 1º rolo longo inferior
18/09/2013	7v3	7-3	503.595	503.595	2.719.475	Quebra do rolamento central do 3º rolo inferior longo
13/11/2013	7v3	7-1	166.625	761.515	1.896.270	Quebra do rolamento central 2º rolo longo inferior
22/01/2014	7v4	7-2	405.170	405.170	1.539.150	Quebra do rolamento do último rolo inferior.
11/02/2014	7v3	7-3	235.135	738.730	2.954.610	Quebra do 3º rolo longo inferior.
21/04/2014	7v4	7-1	254.355	254.355	2.150.625	Quebra do rolamento no 2º rolo superior
05/05/2014	7v4	7-3	38.285	777.015	2.992.895	Fim de campanha
04/07/2014	7v3	7-2	329.685	734.855	1.868.835	Quebra 3º rolo longo inferior
11/07/2014	7v3	7-3	17.205	794.220	3.010.100	Desvio de GAP nos Rolos
22/07/2014	7v3	7-2	37.975	772.830	1.906.810	Quebra do Rolamento do 2º rolo inferior.
26/09/2014	7v4	7-1	365.025	619.380	2.515.650	Quebra do rolamento do 3º rolo longo inferior.
10/10/2014	7v4	7-2	47.895	820.725	1.954.705	Quebra de rolamento do 1º longo inferior
17/12/2014	7v4	7-1	203.360	822.740	2.719.010	Troca do segmento 7 do veio 4 devido quebra do 5º rolo longo inferior
16/01/2015	7v4	7-2	92.690	913.415	2.047.395	Rolo travado.
26/02/2015	7v4	7-1	147.405	970.145	2.866.415	Desvio de gap e giro no 2 rolo longo inferior
25/06/2015	7v3	7-3	1.099.415	1.099.415	4.109.515	Quebra do rolamento do penúltimo rolo longo inferior.
21/07/2015	7v4	7-2	489.800	489.800	2.537.195	Quebra do munhão do primeiro rolo longo inferior;
30/07/2015	7v3	7-1	118.420	1.088.565	2.984.835	Quebra do rolamento do 5º rolo longo superior.
25/11/2015	7v3	7-2	367.040	856.840	2.904.235	Quebra do rolamento do 7º rolo longo inferior.
01/02/2016	7v4	7-3	577.065	577.065	4.686.580	Quebra do rolamento do último rolo curto inferior.
03/02/2016	7v3	7-1	184.605	1.273.170	3.169.440	Tendência de quebra e munhão deslocado do último rolo longo superior.
09/05/2016	7v4	7-2	312.480	1.169.320	3.216.715	Devido a quebra do rolamento do 1º longo inferior.
16/05/2016	7v3	7-3	327.205	904.270	5.013.785	Quebra do rolamento do 1º rolo longo inferior.
08/06/2016	7v3	7-2	75.020	1.244.340	3.291.735	Quebra do rolamento do penúltimo rolo longo inferior.
26/06/2016	7v3	7-3	64.790	969.060	5.078.575	Quebra do rolamento do penúltimo rolo longo inferior.
31/10/2016	7v3	7-2	440.200	440.200	3.731.935	Quebra do munhão do 5º rolo longo inferior
04/11/2016	7v3	7-1	618.140	618.140	3.787.580	Quebra do rolamento do 5º rolo curto inferior.
09/11/2016	7v3	7-3	29.605	998.665	5.108.180	Quebra do rolamento do 3º rolo inferior.
18/11/2016	7v3	7-1	30.070	648.210	3.817.650	Quebra do rolamento do 5º rolo longo inferior.
04/12/2016	7v3	7-3	51.305	1.049.970	5.159.485	Quebra do munhão do 5º rolo longo inferior.
18/01/2017	7v4	7-2	230.950	671.150	3.962.885	Quebra do rolamento do 1º rolo longo superior
07/04/2017	7v3	7-1	399.590	1.047.800	4.217.240	Desgaste de rolos
20/04/2017	7v4	7-3	287.835	1.337.805	5.447.320	Quebra de rolamento
31/05/2017	7v3	7-2	146.940	818.090	4.109.825	Quebra do rolamento central do 3º rolo longo inferior
14/06/2017	7v4	7-1	171.895	1.219.695	4.389.135	Quebra do munhão central do primeiro rolo longo superior.
27/09/2017	7v3	7-1	77.035	1.296.730	4.466.170	Em operação
03/07/2017	7v4	7-3	63.705	1.401.510	5.511.025	Fim de Campanha

ANEXO E - DADOS DE SIMULAÇÃO PARA SEGMENTOS POSIÇÃO 8 A 14

Data Saída	Posição	Equipam.	Produção	Vida	Campanha	Motivo
06/01/2011	12v4	8/14-2	661.695	661.695	661.695	Acumulo de carepa nos rolos
14/05/2010	9v3	8/14-12	492.900	492.900	492.900	Rolo motriz quebrado.
06/01/2011	13v4	8/14-12	699.980	1.159.710	1.159.710	Acumulo de carepa nos rolos
12/01/2011	13v4	8/14-15	1.511.095	1.511.095	1.511.095	2º rolo inferior travado
15/11/2010	8v4	8/14-1	626.200	626.200	626.200	
20/01/2011	8v4	8/14-1	171.740	797.940	797.940	Rolo travado.
25/01/2011	14v3	8/14-11	626.510	1.028.425	626.510	Quebra do rolo motriz - revestimento VAIS
05/02/2011	8v4	8/14-12	51.615	1.211.325	1.211.325	Rolo travado.
20/08/2010	10v3	8/14-4	214.365	214.365	214.365	Vazamento rolo vais
25/11/2010	10v3	8/14-4	282.720	497.085	497.085	
11/03/2011	10v3	8/14-4	263.035	760.120	760.120	Rolo arrancado da base.
18/03/2011	9v4	8/14-16	586.520	586.520	586.520	Rolo motriz quebrado.
05/09/2010	8v3	8/14-13	692.385	692.385	692.385	
15/11/2010	8v3	8/14-13	157.945	850.330	850.330	Vazamento motriz
30/03/2011	8v3	8/14-13	348.750	1.199.080	1.199.080	Desgaste de rolos.
04/04/2011	8v4	8/14-11	135.160	1.163.585	761.670	desgaste de rolos
15/04/2011	8v4	8/14-13	28.830	1.227.910	1.227.910	Rolamento quebrado rolo motriz.
22/04/2011	13v3	8/14-14	1.052.140	1.052.140	1.052.140	mancal bi-partido do rolo motriz quebrado.
11/05/2011	14v4	8/14-5	356.500	1.907.585	356.500	quebra do mancal bi-partido do rolo motriz superior
03/06/2011	14v3	8/14-1	315.735	1.113.675	1.113.675	mancal bi-partido do rolo motriz e 3º rolo superior quebrado
09/06/2011	12v3	8/14-6	614.730	1.342.920	614.730	quebra do 6º rolo longo da base superior e 2º rolo curto da base superior travado.
15/06/2011	8v3	8/14-16	189.875	776.395	776.395	quebra do 5º rolo da base inferior
21/07/2011	13v4	8/14-2	492.280	1.153.975	1.153.975	quebra rolamento mancal central rolo motriz superior e desgaste de rolos
02/08/2011	13v4	8/14-16	36.580	812.975	812.975	devido quebra do mancal bi-partido do rolo motriz
06/08/2011	8v4	8/14-11	298.840	1.462.425	1.060.510	desgaste de rolos
17/08/2011	13v3	8/14-13	313.410	1.541.320	1.541.320	agarramento de placa
04/09/2011	8v3	8/14-6	224.750	1.567.670	839.480	fim de vida e desgaste rolo motriz
23/09/2011	9v3	8/14-7	1.403.215	1.403.215	1.403.215	2º rolo longo inferior travado
18/11/2011	11v4	8/14-10	1.718.330	1.718.330	1.718.330	vazamento na haste do cilindro do clamp (entrada lado acionamento)
16/12/2011	10v3	8/14-12	736.250	1.947.575	1.947.575	Fim de Vida, desgaste e travamento de rolos e rolo motriz, vazamento água do rolo motriz
05/01/2012	8v4	8/14-4	389.360	389.360	1.149.480	Desalinhamento de rolos
22/10/2010	12v3	8/14-3	736.870	736.870	736.870	
23/01/2012	12v4	8/14-3	983.475	1.720.345	1.720.345	Quebra do rolo motriz superior - batoques de espaçamento quebrados - Desgaste do rolo motriz
03/02/2012	9v3	8/14-11	318.160	1.780.485	1.378.670	Quebra do rolo motriz - Quebra da tubulação dentro do segmento - Fim de Campanha
14/03/2012	9v4	8/14-8	978.515	978.515	978.515	Quebra do rolo longo de entrada (rolo 74)
19/03/2012	10v3	8/14-6	274.505	1.842.175	1.113.985	desgaste do motriz e dos rolos (Fim de Campanha)
29/03/2012	11v3	8/14-17	2.003.375	2.003.375	2.003.375	desgaste motriz e baixa vazão mancais centrais (Fim de Campanha)
17/04/2012	10v4	8/14-9	1.735.845	1.735.845	1.735.845	Quebra do mancal bipartido do rolo motriz
10/05/2012	12v4	8/14-12	350.765	2.298.340	2.298.340	Fim de Campanha, desgaste do rolo motriz e desvio de graxa
13/06/2012	8v3	8/14-1	803.985	803.985	1.917.660	Quebra do 1º rolo de entrada numero 67 (rolo travado)
19/07/2012	14v4	8/14-14	1.239.690	2.291.830	2.291.830	Fim de Campanha, desgastes dos rolos - travamento completo do sistema de graxa
05/08/2012	10v4	8/14-8	324.725	1.303.240	1.303.240	Fim de Campanha para a pos 10 e saída estratégica para posicionar o mesmo no 14v3
31/08/2012	14v3	8/14-5	1.283.710	3.189.280	1.640.210	Desgaste dos Rolos (Fim de Campanha)
05/09/2012	9v4	8/14-4	508.710	896.520	1.658.190	Quebra do munhão do rolo motriz
21/09/2012	9v4	8/14-17	37.665	2.041.040	2.041.040	Fim de Campanha, desvio de espaçamento - Desgaste dos rolos
13/12/2012	14v4	8/14-1	387.655	1.191.640	2.305.315	Danificação tubulações de graxa sob motriz devido quebra da alonga
03/01/2013	10v3	8/14-3	822.120	822.120	2.542.465	Quebra do mancal central do rolo motriz superior
10/01/2013	14v3	8/14-8	356.035	1.659.275	1.659.275	Quebra do rolo motriz superior
29/01/2013	12v3	8/14-15	1.669.815	1.669.815	3.180.910	Vazamento de água no mancal do 3º rolo inferior
06/03/2013	13v3	8/14-16	1.593.090	2.406.065	2.406.065	Desvio de gap motriz, folga parafusos alonga, vazamento de água mangueira junta rotativa, Fim de Campanha
08/03/2013	12v3	8/14-9	114.700	114.700	1.850.545	Quebra do 5º rolo superior
15/03/2013	9v3	8/14-10	1.195.515	1.195.515	2.913.845	Desvio de gap nos rolos centrais
25/04/2013	9v4	8/14-5	609.615	609.615	2.249.825	Desvio gap 1º rolo inferior, substituído rolo na oficina e montado novamente na maquina
09/05/2013	8v4	8/14-7	1.407.090	1.407.090	2.810.305	Desvio de gap na região central do segmento
13/05/2013	11v3	8/14-11	1.143.745	1.143.745	2.522.415	Quebra do rolo motriz
16/05/2013	11v4	8/14-13	1.536.050	1.536.050	3.077.370	Desvio de gap no rolo motriz
25/05/2013	9v4	8/14-5	89.125	698.740	2.338.950	Travamento 2º rolo longo inferior
04/06/2013	14v3	8/14-1	413.075	1.604.715	2.718.390	Quebra do ultimo rolo longo inferior
04/06/2013	10v4	8/14-14	834.520	834.520	3.126.350	Desvio gap 2º rolo longo superior
11/06/2013	13v3	8/14-8	365.205	1.924.480	1.924.480	Quebra do rolo motriz (desvio crescente de gap)
25/06/2013	13v3	8/14-14	42.005	876.525	3.168.355	Quebra do rolo motriz
01/07/2013	10v3	8/14-17	509.175	509.175	2.550.215	Desvio de gap e alta vibração
22/07/2013	8v3	8/14-12	1.114.605	1.114.605	3.412.945	Quebra do 3º rolo superior
23/07/2013	10v4	8/14-5	125.085	823.825	2.464.035	Ruido e vibração alta no rolo motriz
12/08/2013	9v4	8/14-7	202.585	1.609.675	3.012.890	Gap entre rolos conforme roll gap. Fim de Campanha.
12/08/2013	13v4	8/14-2	2.059.485	3.213.460	3.213.460	Desvio de gap. Fim de Campanha.
29/08/2013	12v4	8/14-6	1.310.680	1.310.680	2.424.665	Desvio de gap no motriz e alta vibração durante giro
03/10/2013	9v4	8/14-5	142.755	966.580	2.606.790	Quebra do rolamento do 3º rolo longo inferior lado acionamento
24/10/2013	10v4	8/14-14	251.565	1.128.090	3.419.920	Desvio de gap
24/10/2013	11v4	8/14-11	432.760	1.576.505	2.955.175	Desvio de gap devido a Fim de Campanha
19/11/2013	12v3	8/14-3	704.475	704.475	3.246.940	Mancal central furado no 4º rolo inferior.
19/11/2013	13v4	8/14-12	273.420	1.388.025	3.686.365	Quebra do 5º rolo longo inferior após agarramento de placa no veio.
12/12/2013	12v4	8/14-7	282.255	1.891.930	3.295.145	Fim de Campanha
30/01/2014	8v3	8/14-17	515.220	1.024.395	3.065.435	Quebra do último rolo inferior

30/01/2014	8v3	8/14-17	515.220	1.024.395	3.065.435	Quebra do último rolo inferior.
30/01/2014	11v4	8/14-2	259.625	259.625	3.473.085	Desvio na abertura/fechamento do clamp, fechando primeiro a saída.
11/03/2014	9v3	8/14-9	983.785	1.098.485	2.834.330	troca para montagem de segmento com grade de spray 100% limpas, validadas pela NALCO para teste
11/03/2014	8v3	8/14-11	116.095	1.692.600	3.071.270	Fim de Campanha
16/04/2014	13v3	8/14-8	798.870	2.723.350	2.723.350	Fim de Campanha
17/04/2014	8v4	8/14-15	929.690	929.690	4.110.600	Quebra do 2º rolo Inferior
05/05/2014	12v4	8/14-14	406.255	1.534.345	3.826.175	Fim de campanha
18/08/2014	13v4	8/14-12	693.625	2.081.650	4.379.990	Quebra do munhão do rolo motriz superior.
21/08/2014	14v4	8/14-4	1.643.620	2.540.140	3.301.810	Desvio no Sistema de Lubrificação
03/11/2014	10v4	8/14-10	1.011.840	1.011.840	3.925.685	Quebra de munhão do 5º rolo longo inferior.
04/12/2014	12v4	8/14-14	578.615	2.112.960	4.404.790	Troca do seg. 12 veio 4 devido desgaste na parte central dos rolos
04/02/2015	12v3	8/14-3	1.218.610	1.923.085	4.465.550	Quebra do munhão do 3º rolo longo inferior.
20/03/2015	8v3	8/14-7	1.075.855	1.075.855	4.371.000	1º rolo longo superior com rolamento quebrado
30/03/2015	9v3	8/14-2	1.105.925	1.365.550	4.579.010	Quebra do rolamento do 1º rolo longo inferior.
07/04/2015	11v4	8/14-5	1.253.330	2.219.910	3.860.120	Desmontado segmento da posição 11 veio 4 e montado na posição 14 do veio 4.
07/04/2015	14v4	8/14-9	732.995	1.831.480	3.567.325	Quebra do munhão do rolo motriz.
06/05/2015	13v3	8/14-17	1.123.440	2.147.835	4.188.875	Quebra do rolamento do rolo médio inferior.
28/05/2015	13v4	8/14-15	923.645	1.853.335	5.034.245	Quebra do rolamento do 1º rolo longo inferior.
10/06/2015	8v4	8/14-11	1.258.290	1.258.290	4.329.560	Quebra do rolamento do 3º rolo longo inferior.
12/06/2015	9v4	8/14-6	1.794.125	3.104.805	4.218.790	Fim de campanha
25/06/2015	11v3	8/14-16	2.221.615	2.221.615	4.627.680	Quebra do rolamento do rolo médio inferior.
08/07/2015	10v3	8/14-1	2.133.110	2.133.110	4.851.500	Quebra do rolamento do 1º rolo curto superior.
24/07/2015	9v4	8/14-15	148.645	2.001.980	5.182.890	Gap acima de 1mm devido desgaste dos rolos, não sendo possível mais correção de espaçamento.
21/08/2015	10v4	8/14-12	962.395	962.395	5.342.385	Rolamento quebrado, 1º longo inferior.
02/09/2015	14v3	8/14-13	2.376.770	3.912.820	5.454.140	Fim de campanha.
08/10/2015	11v4	8/14-3	613.180	613.180	5.078.730	Devido estar com o bloco do cilindro de clamp entrada lado interno fixado por somente 3 parafusos (uma das roscas do cilindro espanou).
08/10/2015	9v3	8/14-4	637.670	637.670	3.939.480	Quebra do rolamento do 1º rolo longo inferior.
19/10/2015	11v3	8/14-11	376.495	1.634.785	4.706.055	Quebra do rolamento do rolo médio inferior.
03/11/2015	12v3	8/14-10	904.115	1.915.955	4.829.800	Quebra do rolamento do rolo médio.
13/11/2015	13v3	8/14-1	230.485	2.363.595	5.081.958	Quebra do rolamento do último rolo longo inferior.
28/12/2015	8v3	8/14-14	930.620	930.620	5.335.410	Quebra do rolamento 5º rolo longo inferior.
28/12/2015	9v4	8/14-6	500.650	3.605.455	4.719.440	Quebra do rolamento do 3º rolo longo inferior.
28/08/2017	11v4	8/14-6	1.629.980	1.629.980	6.349.420	Vazamento de água e troca de posição
27/09/2017	13v4	8/14-6	77.035	1.707.015	6.426.455	Em operação
31/12/2015	8v4	8/14-9	659.835	659.835	4.227.160	Rompimento de pele.
12/01/2016	9v4	8/14-1	37.355	2.400.950	5.119.340	Desmontado segmento e montado na posição 14 do veio 4
12/01/2016	14v3	8/14-10	191.115	2.107.070	5.020.915	Desmontado segmento do veio para troca do rolo motriz superior com rolamento quebrado.
12/01/2016	9v3	8/14-3	300.235	913.415	5.378.965	Desmontado segmento para correção do parafuso de fixação do bloco hidráulico do clamp.
12/01/2016	14v4	8/14-5	913.415	3.133.325	4.773.535	Fim de campanha.
21/01/2016	11v3	8/14-4	261.485	899.155	4.200.965	Rolamento quebrado último rolo inferior.
17/02/2016	8v4	8/14-14	110.205	1.040.825	5.445.615	Quebra do rolamento do 2º rolo longo inferior
10/03/2016	12v3	8/14-11	364.250	1.999.035	5.070.305	Desvio de gap e alinhamento no 3º rolo longo inferior.
19/04/2016	14v4	8/14-1	276.520	2.677.470	5.395.860	Fim de campanha.
27/09/2017	9v3	8/14-1	1.563.640	1.563.640	6.959.500	Em operação
19/04/2016	11v4	8/14-12	576.755	1.539.150	5.919.140	Desmontado segmento 11 do veio 4 e montado na posição 14 do veio 4.
04/06/2016	9v3	8/14-3	420.825	1.334.240	5.799.790	Quebra do rolamento do 6º rolo longo inferior
10/06/2016	12v4	8/14-8	1.762.505	1.762.505	4.485.855	Saiu da posição 12 e montado na posição 13.
10/06/2016	13v4	8/14-2	1.178.000	2.543.550	5.757.010	Fim de campanha.
27/09/2017	11v3	8/14-2	1.160.175	1.160.175	6.917.185	Em operação
30/06/2016	8v3	8/14-15	552.730	552.730	5.735.620	Quebra do rolamento do 5º rolo longo inferior .
21/07/2016	14v4	8/14-10	583.420	2.690.490	5.604.335	Fim de campanha
21/07/2016	8v4	8/14-11	68.045	2.067.080	5.138.350	Troca da tubulação de alimentação de água do último rolo longo inferior devido avaria.
20/09/2016	10v3	8/14-17	1.419.025	1.419.025	5.607.900	Troca de posição
20/09/2016	13v3	8/14-7	1.632.305	2.708.160	6.003.305	Fim de campanha
27/09/2017	12v3	8/14-7	815.765	815.765	6.819.070	Em operação
27/09/2016	11v3	8/14-4	824.290	1.723.445	5.025.255	quebra do rolamento do 4º rolo inferior
04/10/2016	13v4	8/14-8	408.115	2.170.620	4.893.970	desgaste acentuado na parte central dos rolos.
04/11/2016	13v3	8/14-17	139.345	1.543.955	5.747.245	Desgaste acentuado nos rolos impedindo correção de espaçamento.
10/01/2017	14v3	8/14-11	585.280	2.652.360	5.723.630	Fim de campanha.
27/09/2017	8v4	8/14-11	506.850	506.850	5.724.136	Em operação
18/01/2017	13v4	8/14-4	335.575	2.059.020	5.360.830	Quebra do rolamento do 2º rolo longo inferior
20/02/2017	9v4	8/14-9	1.302.310	1.962.145	5.529.470	Quebra de rolamento penultimo rolo longo inferior
23/02/2017	12v4	8/14-3	863.505	2.265.170	6.730.720	Fim de campanha
03/03/2017	8v4	8/14-13	1.253.640	1.253.640	6.707.780	Quebra do rolamento último rolo longo inferior.
03/03/2017	9v4	8/14-17	30.845	1.574.800	5.778.090	Quebra do rolamento 5º rolo longo inferior.
27/09/2017	13v3	8/14-17	506.850	2.081.650	6.284.940	Em operação
27/09/2017	11v4	8/14-3	77.035	77.035	6.807.755	Em operação
20/04/2017	13v3	8/14-10	524.520	524.520	6.128.855	Mudança de posição na máquina
28/09/2017	14v4	8/14-9	632.245	2.594.390	6.161.715	Em operação
03/07/2017	9v4	8/14-12	1.287.740	2.826.890	7.206.880	Fim de campanha
27/09/2017	8v3	8/14-13	582.180	1.835.820	7.289.960	Em operação
29/04/2017	8v3	8/14-15	913.105	1.465.835	6.648.725	Quebra do munhão do 5º rolo longo inferior
27/09/2017	14v3	8/14-15	464.535	1.930.370	7.113.260	Em operação
05/05/2017	10v3	8/14-5	706.180	706.180	5.479.715	Quebra de munhão central do rolo motriz
27/09/2017	10v4	8/14-5	417.415	417.415	5.897.130	Em operação
19/05/2017	10v4	8/14-16	2.018.255	2.018.255	6.645.935	Quebra do rolamento do 5º rolo longo inferior
27/09/2017	12v4	8/14-16	271.250	271.250	6.917.185	Em operação
12/06/2017	9v4	8/14-10	148.025	672.545	6.276.880	Quebra do rolamento do 5º rolo longo inferior
27/09/2017	9v4	8/14-10	271.250	943.795	6.548.130	Em operação
27/09/2017	10v3	8/14-12	77.035	77.035	7.283.915	Em operação
03/07/2017	12v4	8/14-4	403.620	2.462.640	5.764.450	Fim de Campanha
28/08/2017	14v3	8/14-14	738.730	2.804.570	6.184.245	Fim de Campanha