

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

MICHEL RODRIGO LUIZ

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE RAM PARA COMPARAR SISTEMAS DE CÉLULAS
DE CARGA DE UMA LINHA DE LAMINAÇÃO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

**CURITIBA
2017**

MICHEL RODRIGO LUIZ

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE RAM PARA COMPARAR SISTEMAS DE CÉLULAS
DE CARGA DE UMA LINHA DE LAMINAÇÃO**

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. Marcelo Rodrigues

Co-orientador: Denis Mazzei

CURITIBA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DA ANÁLISE RAM PARA COMPARAR SISTEMAS DE CÉLULAS DE CARGA DE UMA LINHA DE LAMINAÇÃO

por

MICHEL RODRIGO LUIZ

Esta monografia foi apresentada em 3 de novembro de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

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

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

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

Dedico este trabalho à minha esposa e filho por estarem sempre me apoiando em todas as etapas importantes de minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades encontrada nesse novo caminho.

Agradeço a ArcelorMittal Vega por me proporcionar a oportunidade de participar desta especialização.

Aos professores que disponibilizaram e compartilharam seus conhecimentos ao longo desta especialização.

Meus agradecimentos aos meus amigos da sala de aula e companheiros de trabalho que fizeram parte da minha formação e que irão continuar presentes com certeza em minha vida.

Enfim agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

Só há um caminho para a felicidade. Não nos preocuparmos com coisas que ultrapassam o poder da nossa vontade. (Epicuro, 341–271 a. C.)

RESUMO

LUIZ, Michel Rodrigo. **Aplicação da análise RAM para comparar sistemas de células de carga de uma linha de laminação**. 2017. 50 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Em aplicações que abrangem o estudo de confiabilidade e disponibilidade é possível usar ferramentas matemáticas para auxílio na tomada de decisões. Neste trabalho, o foco principal é mostrar a aplicação de ferramentas de confiabilidade, análise de dados de vida e Análise RAM (*Reliability, Availability, Maintainability*) para realizar a comparação entre dois ativos de fabricantes diferentes que desempenham a mesma função em uma linha de laminação de chapas de aço de uma empresa siderúrgica, equipamento esse chamado de células de carga. Ao final, foi possível descobrir a confiabilidade e disponibilidade de cada ativo e identificar qual melhor ativo para a empresa.

Palavras-chave: Confiabilidade. Disponibilidade. Análise RAM. Célula de carga.

ABSTRACT

LUIZ, Michel Rodrigo. **Aplicação da análise RAM para comparar sistemas de células de carga de uma linha de laminação.** 2017. 50 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

In applications covering reliability and availability studies it is possible to use mathematical tools to aid in decision making. In this paper the main focus is to show the application of reliability tools, life data analysis and RAM (*Reliability, Availability, Maintainability*) analysis to compare two assets of different manufacturers that perform the same function in a rolling mill of a steel company. In the end, it was possible to define the reliability and availability of each asset, called load-cells, and to identify which one is more beneficial for the company.

Keywords: Reliability. Availability. RAM analysis. Load cell.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Foto Unidade ArcelorMittal Vega.....	16
Figura 2 – Célula modelo original.....	17
Figura 3 – Célula modelo novo.....	18
Figura 4 – Disposição das células nas cadeiras de laminação	18
Figura 5 – Célula de carga modelo novo montada no mancal	21
Figura 6 – Par de células de carga modelo original montadas no mancal	21
Figura 7 – Ligação em Série	27
Figura 8 - Ligação Paralela Simples.....	28
Figura 9 - Ligação Paralela k de N.....	29
Figura 10 – Ângulos formados pela tira formando uma resultante de força	31
Figura 11 – Strain gage instalado em uma haste que sofre deformação	31
Figura 12 – Ponte de Wheatstone.....	32
Figura 13 – Caixa de passagem de ligação das células de carga.....	32
Figura 14 – Controlador de um par de células de carga	33
Figura 15 – Sistema de gerenciamento de materiais no almoxarifado	34
Figura 16 – Sistema de aplicação de força nas células para calibração	35
Figura 17 – Dados de falha imputados no software Weibull++ (sistema original)	40
Figura 18 – Teste de Aderência (sistema original).	41
Figura 19 – Parâmetros da distribuição (sistema original).....	41
Figura 20 – Dados de falha imputados no software no Weibull++ (sistema novo). ...	42
Figura 21 – Teste de Aderência do (sistema novo).	42
Figura 22 – Parâmetros da distribuição (sistema novo).	43
Figura 23 – Diagrama de blocos (sistema original).	44
Figura 24 – Diagrama de blocos (sistema modificado).	44
Figura 25 – Diagrama de blocos (sistema novo).	45
Figura 26 – Calculadora, recurso no software para cálculo de confiabilidade dos sistemas.	45
Figura 27 – Recurso no software para cálculo de disponibilidade dos sistemas.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Linhas de beneficiamento da unidade ArcelorMittal Vega.....	16
Tabela 2 – Quantidade de falhas das Células (sistema original).....	37
Tabela 3 – Tempo entre falhas das Células (sistema original).....	38
Tabela 4 – Quantidade de falhas das Células (sistema modificado).....	38
Tabela 5 – Quantidade de falhas das Células (novo fabricante).....	39
Tabela 6 – Tempo entre falhas das Células (novo fabricante).....	39
Tabela 7 – Comparativo de confiabilidade entre os três sistemas.	46
Tabela 8 – Comparativo de disponibilidade entre os três sistemas.....	48

LISTA DE SIGLAS

MTBF	Mean Time Between Failures
RAM	Reliability, Availability, Maintainability
LCCA	Life Cycle Cost Analysis
RS FCI	Failure Criticality Index
RS DECI	Dowing Event Criticality Index
MTBDE	Mean time between Dowing Eventes
RBD	Diagrama de blocos de confiabilidade
FTA	Análise de árvore de falha
KN	Kilo Newton

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	14
1.2	APRESENTAÇÃO DA OPORTUNIDADE	15
1.3	OBJETIVOS	19
1.3.1	Objetivo Geral.....	19
1.3.2	Objetivos Específico	19
1.4	JUSTIFICATIVA	20
1.5	METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE	23
2.1	ANÁLISE RAM	23
2.2	ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	25
2.3	SOFTWARE DE ANÁLISE DOS DADOS DE VIDA.....	26
2.4	ANÁLISE DE CONFIABILIDADE.....	26
2.5	REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA EM BLOCOS	27
2.5.1	Ligação em Série.....	27
2.5.2	Ligação Paralela Simples	28
2.5.3	Ligação Paralela k de N	28
3	REFERENCIAL TEÓRICO DO SISTEMA APLICADO NO ESTUDO... 30	
3.1	PRINCÍPIOS DE APLICAÇÃO DE TENSÃO/FORÇA NAS CÉLULAS DE CARGA.....	30
3.2	LEVANTAMENTOS DE DADOS PARA APLICAÇÃO DA ANÁLISE RAM	33
3.3	PROCEDIMENTOS DE TROCA DAS CÉLULAS DE CARGA	34
3.4	MELHORIAS IMPLANTADAS NO SISTEMA	35
4	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE RAM NO SISTEMA.. 37	
4.1	LEVANTAMENTO DOS DADOS DE FALHA	37
4.2	MODELAGEM DOS SISTEMAS	40
4.3	DIAGRAMA DE BLOCOS DOS SISTEMAS	43
4.3.1	Cálculo de Confiabilidade dos Sistemas	45
4.3.2	Cálculo de Disponibilidade dos Sistemas	47
5	RESULTADOS ALCANÇADOS COM O ESTUDO	49
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	49
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Perante o cenário atual onde a concorrência e competitividade entre as empresas esta cada vez maior, a tendência é que haja prioridade na realização de investimentos e que esses tragam alternativas cada vez mais rápidas e ágeis que respondem ao mercado visando inovação, melhorias contínuas e principalmente o aumento de produtividade e disponibilidade de seus ativos.

Nesta conjuntura, faz-se necessário que o envolvimento da manutenção interaja cada vez mais com o processo produtivo, contribuindo para um objetivo comum que é levar a empresa no patamar de excelência. Para isso são utilizadas técnicas e ferramentas na área de confiabilidade que tendem a maximizar a disponibilidade dos ativos.

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

A confiabilidade é uma particularidade que não esta associada ao projeto e pode ser determinada como a probabilidade de um item ou sistema funcionar de modo aceitável, nas condições desejáveis e em um dado tempo definido.

Segundo Fogliatto (2009), quanto o assunto de confiabilidade está em questão, geralmente esta associada a uma operação realizada com sucesso, um produto ou sistema que funcionada sem apresentar falhas ou quebras.

Confiabilidade pode ser caracterizada por dois tipos diferentes, sendo:

- Quantitativo, quando é conhecida a quantidade de falhas que o item ou sistema apresenta, onde esses dados poderão ser levados para um patamar estatístico também conhecido como uma distribuição de probabilidade de falha.
- Qualitativo, onde são levantados e analisados todos os modos de falha e seus efeitos gerados ao item ou sistema em questão.

Este trabalho então é realizado em uma área do setor siderúrgico que se assemelha a uma área industrial citado por Moubray (2000), onde a equipe de manutenção e operação realizam reuniões periódicas para informar os problemas identificados na linha e as possíveis causas dos problemas, o que

pode ser realizado para mitigar os problemas e as possíveis soluções para que o problema não ocorra novamente. Portanto tais reuniões são discutidos os modos de falha depois deles já terem ocorridos, sendo que tratar as falhas depois delas ocorrerem é um processo natural chamado de manutenção reativa, mas não o mais eficaz por já ocorreu a perda.

1.2 APRESENTAÇÃO DA OPORTUNIDADE

Na abordagem apresentada neste trabalho a aplicação da engenharia de confiabilidade foi realizada em um equipamento dentro a indústria siderúrgica, onde se trata de uma linha de laminação a frio de bobinas de aço, no qual há diversas oportunidades de ganhos possíveis com a aplicação de ferramentas de confiabilidade, sendo demonstrado um exemplo no decorrer deste trabalho.

A indústria siderúrgica onde foi realizado o estudo é do grupo ArcelorMittal que atualmente é a maior produtora de aço do mundo, com uma produção anual de aço bruto de 93,6 milhões de toneladas, presente em mais de 60 países, tem capacidade de produzir 130 milhões de toneladas de aço por ano e emprega cerca de 280 mil profissionais nas fábricas da Ásia, África, Américas e Europa. O estudo será realizado na filial ArcelorMittal Vega – São Francisco do Sul, SC, em operação desde 2002, atualmente com uma linha de decapagem e laminação, duas linhas de galvanização e uma linha de recozimento em caixa.

Figura 1 – Foto Unidade ArcelorMittal Vega



Fonte: Banco de dados Unidade ArcelorMittal Vega

A filial ArcelorMittal Vega conforme mostrado na figura 1, possui um volume de produção anual de aproximadamente 1,4 milhões de toneladas de aço, tendo como objetivo chegar a 1,7 milhões de toneladas no ano de 2020. Os produtos são destinados para linha branca e automotiva.

A unidade ArcelorMittal Vega possui seis linhas de beneficiamento de bobinas de aço sendo que todo material que é processado nas linhas de Galvanização, Recozimento em caixa e Encruamento, obrigatoriamente já passou pela linha de Decapagem e Laminação contínua. Abaixo a tabela 1 apresenta as características de cada linha:

Tabela 1 – Linhas de beneficiamento da unidade ArcelorMittal Vega

Linha	Tipo de processo
Decapagem	Remoção da camada de óxido da superfície das bobinas
Laminação	Redução da espessura das chapas de aço decapadas através de deformação mecânica controlada.
Recozimento em caixa	Tratamento térmico utilizado para restituir as propriedades mecânicas do aço após sua laminação á frio.
Encruamento	Acabamento superficial e propriedades mecânicas através de baixos valores de redução.

Galvanização 1 e 2	Revestimento da superfície da bobina com uma camada de zinco para o aumento da resistência à corrosão do aço.
Inspeção	Inspeção final da qualidade do produto antes do envio do produto acabado para os clientes.

Fonte: Autoria própria.

Uma análise foi realizada na linha de laminação, linha esta que é responsável por reduzir a espessura da tira, na medida requisitada pelo cliente. Para isso, são utilizados alguns instrumentos de medição (tensão, força, temperatura, torque e velocidade), para as medições de tensão, são utilizados instrumentos chamados de células de carga, sendo que estes são instrumentos fornecidos por dois fabricantes distintos conforme mostrado nas figuras 2 e 3.

Esses equipamentos são responsáveis pela medição da tensão entre as cadeiras de laminação e feedback para o controlador principal de laminação, visando realizar um controle de tensão no vão entre uma cadeira e outra, através do controle de velocidade e força dos cilindros de laminação. Uma comparação entre as células será realizada para identificar suas viabilidades econômicas e definir com qual instrumento/fabricante seria o mais adequado para permanecer instalado na unidade.

Figura 2 – Célula modelo original



Fonte: Banco de dados Unidade ArcelorMittal Vega

A célula de carga da figura 2 foi a célula de carga montada durante a implantação da linha de laminação e utilizada até os dias de hoje. Na figura 3, mostra um tipo de célula nova que possui a mesma função da célula da implantação original, apenas com características construtivas diferentes.

Figura 3 – Célula modelo novo

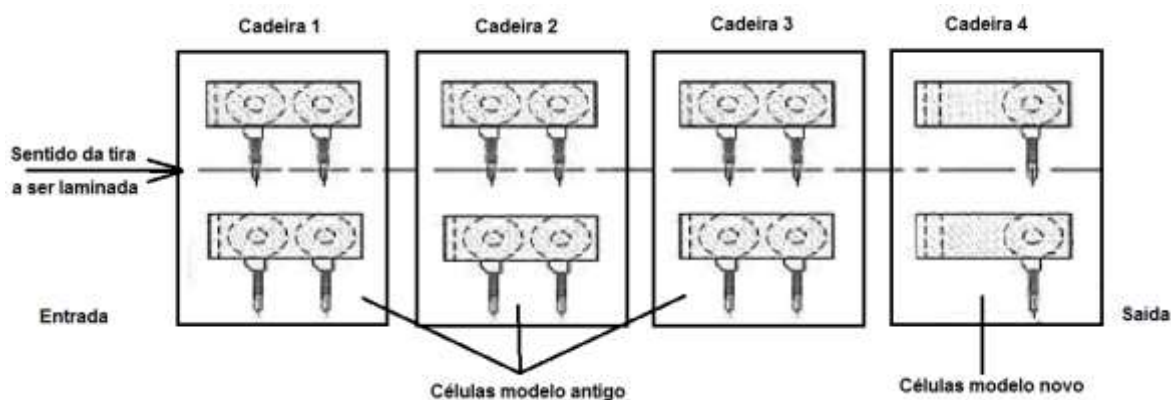


Fonte: Banco de dados Unidade ArcelorMittal Vega

A oportunidade foi observada após várias falhas frequentes causando perdas de produção, perda por utilização de mão de obra não programada e principalmente custo de aquisição de novas células de carga, já que após a falha os instrumentos não apresentam possibilidade de reparo.

Os modelos de células de carga utilizados foram instalados em 2002 na montagem dos equipamentos e até o período atual já foram trocadas pelo mesmo modelo diversas vezes por falha, sendo que com intuito de mitigar o problema de falhas das células de carga, no ano de 2016 foi instalado um par de células de um fabricante diferente a fim de avaliar a eficiência das novas células e foram dispostas na linha de laminação conforme a figura 4, no entanto os modelos de células novas também apresentaram falhas no período de um ano de funcionamento.

Figura 4 – Disposição das células nas cadeiras de laminação



Fonte: Autoria própria

Portanto nos dias de hoje permanece o problema frequente de falhas nas células de carga, sendo o problema principal a infiltração da emulsão de laminação que é uma mistura de água e uma pequena porcentagem de óleo responsável por ajudar no processo de laminação com resfriamento e lubrificação causando perda de isolamento elétrico.

Conhecidas as informações das células de carga, decidiu-se focar o trabalho na comparação das células de carga antigas com as células de carga de modelos novos instaladas em 2016 por outro fabricante. Foram levantadas todas as informações das células instaladas, sendo que essas informações estavam arquivadas em dois tipos de softwares de gerenciamento de manutenção, as duas fontes foram utilizadas para obter todos os dados possíveis para tornar o estudo mais confiável possível.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Comparar três tipos de sistemas de célula de carga instalados em uma linha de laminação de bobinas de aço, para identificar qual é o sistema mais confiável, ou seja, qual tem a melhor disponibilidade com o melhor custo benefício para a aplicação, utilizando uma ferramenta chamada de análise RAM.

1.3.2 Objetivos específicos

- Fazer o levantamento dos dados de falhas das células de carga;
- Comparar o valor de confiabilidade dos três tipos de sistemas de células de carga aplicados (modelo antigo, modelo modificado e modelo novo);
- Comparar o valor de disponibilidade dos três tipos de sistemas de células de carga aplicados;
- Recomendar qual o melhor sistema a ser aplicado no laminador.

1.4 JUSTIFICATIVA

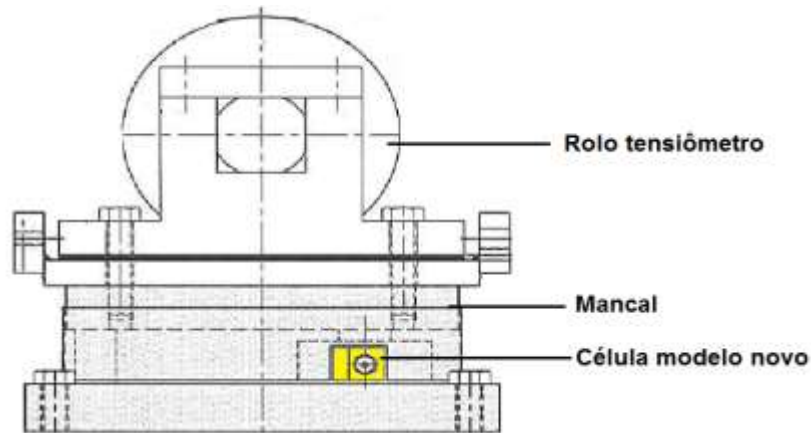
O setor siderúrgico tem como característica ser agressivo perante o mercado de trabalho, perante isso deve ter a casa bem arrumada, pois em momentos em que o mercado siderúrgico não está em seus melhores momentos, todo ganho mesmo que pequeno, é muito bem-vindo, onde a disponibilidade dos equipamentos é um fator predominante para o diferencial entre os concorrentes. Com a preocupação em estar com os equipamentos em plena capacidade, em 2016 a empresa reformulou a sua equipe de manutenção, criando assim, uma equipe focada em confiabilidade, tendo como objetivo principal tratar os problemas mais crônicos de equipamentos com análise de falhas, análise causa raiz, projetos e melhorias de aumento de produtividade.

Percebe-se então que a preocupação com a confiabilidade dos equipamentos está cada vez mais evidente, segundo Ross (2006) as ferramentas de confiabilidade são capazes de clarear as possibilidades de aumento de disponibilidade dos ativos, tratando principalmente a redução de probabilidade de falhas nos equipamentos que contemplam seus ativos.

A fim de aumentar a disponibilidade de um dos principais ativos da unidade, que é a linha de laminação onde todo material produzido na unidade ArcelorMittal Vega passa por essa linha, foi identificado a necessidade de realizar um estudo de análise RAM nas células de carga que são responsáveis pelo controle de tensão entre as cadeiras de laminação. Essas células de carga por sua vez estão sendo testadas por um novo modelo de outro fabricante e as células antigas no ano de 2017 sofreram uma modificação pela equipe de confiabilidade que esperasse um grande resultado na redução de parada para troca das células diminuindo assim o custo de manutenção, sendo o seguinte:

Diferente das células de modelo novo que utiliza apenas uma célula em cada mancal, conforme a figura 5, as células originais modelo antigo sempre funcionarem em pares nos mancais, conforme a figura 6, ou seja, duas células montadas no mancal de um lado do rolo tensiometro e outras duas células montadas no mancal no outro lado do rolo, portanto quando uma célula apresentava falha, o procedimento adotado era de troca do par de células, com isso uma célula aparentemente boa sempre era descartada, sendo assim foi realizada uma melhoria no sistema onde é possível trabalhar com apenas uma célula boa no mancal.

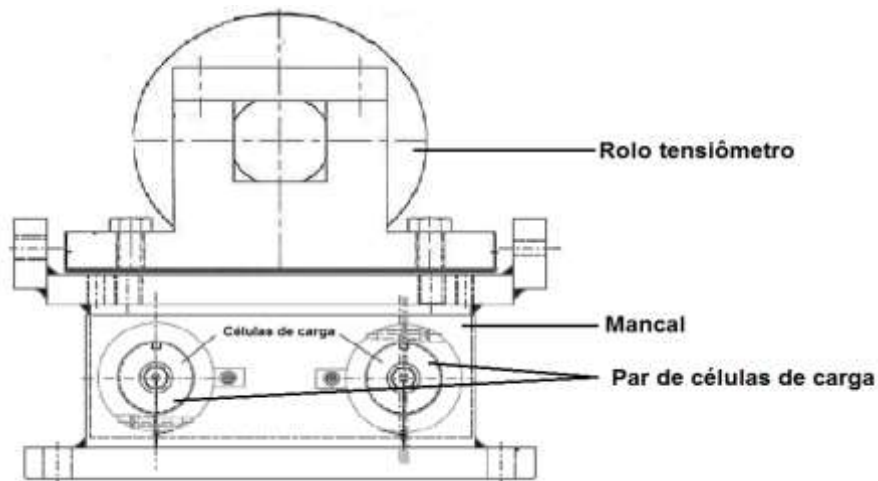
Figura 5 – Célula de carga modelo novo montada no mancal



Fonte: Banco de dados Unidade ArcelorMittal Vega

A diferença do tipo de montagem e quantidade das células nos mancais é dada basicamente pela concepção definida por cada fabricante, onde segundo o fabricante da célula mostrada na figura 5, uma célula única é montada em um lado do mancal e a medição será da mesma forma do que a células montadas em ambos os lados do mancal conforme figura 6.

Figura 6 – Par de células de carga modelo original montadas no mancal



Fonte: Banco de dados Unidade ArcelorMittal Vega

Perante essa melhoria implantada, o estudo tem como resultado demonstrar a necessidade ou não de continuar com a troca das células de carga pelo novo modelo que traz uma promessa de melhor disponibilidade ou continuar com as células antigas com a nova melhoria implantada no sistema.

O estudo terá uma delimitação em um único instrumento a fim de apresentar a de melhor forma a metodologia de confiabilidade que será utilizada em outros equipamentos na unidade conforme a sua criticidade e importância para a unidade. Será demonstrado de que forma foram aplicadas as ferramentas e seus respectivos resultados atingidos.

1.5 METODOLOGIA E ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 será apresentado o conceito da ferramenta de análise de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, conhecida como análise RAM aplicada na engenharia de confiabilidade.

Em seguida no capítulo 3 será demonstrada a aplicação teoria apresentada no capítulo 2 e o desenvolvimento da ferramenta de análise RAM para conhecer e comparar o valor de confiabilidade e disponibilidade de três modelos de células de carga, sendo, modelo antigo, modelo que passou por uma melhoria modelo novo.

Em detalhe será apresentado dados de falhas dos sistemas ocorridos desde 2010 até o período atual.

Por fim no capítulo 4 serão demonstrados os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta de análise RAM, bem como qual o sistema de células de carga que contém a melhor confiabilidade e disponibilidade indicada para permanecer montada na linha de laminação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE

A partir da necessidade levantada de obter-se uma comparação entre dois sistemas de células de carda instaladas no laminador, precisou-se de uma ferramenta que auxiliasse para atender de forma confiável esta demanda. Sendo assim optou-se pela ferramenta de análise RAM, pois pode trazer resultados quantitativos do sistema possibilitando ter um comparativo preciso dos sistemas.

Portanto, neste capítulo será explorado um pouco mais sobre a ferramenta de análise RAM, bem como análise dos dados de vida e alguns tipos de sistemas que aplicabilidade na ferramenta.

2.1 ANÁLISE RAM

Trata-se de uma ferramenta muito importante para a confiabilidade quantitativa, uma vez que permite através de simulação via software a obtenção da projeção da vida de um ativo, com informações que auxiliam a tomada de decisão, ferramenta esta que esta sustentada pela confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade do ativo.

De acordo com Calixto (2015), o principal objetivo da análise RAM é verificar o comportamento de um sistema e propor melhorias que venham a trazer a disponibilidade que o ativo foi projetado par realizar nas condições especificadas. No capítulo 4 será visto a aplicação da metodologia em detalhe para a comparação de sistemas similares, porem com comportamentos de falhas distintos. O principal objetivo de escolher a análise RAM como ferramenta para o estudo foi para ter uma análise mais quantitativa, pois até o momento foram apenas aplicadas análises qualitativas prevalecendo assim, a opinião dos especialistas da área em questão.

Com o resultado “mais confiável”, através da aplicação da ferramenta de análise RAM, pode-se garantir que o investimento no ativo X ou Y é mais assertivo, evitando que os recursos financeiros e tempos gastos sejam aplicados de forma a não conquistar os ganhos esperados.

A análise RAM é estruturada a partir do diagrama de blocos, que representa o sistema de forma lógica. Estes blocos são alimentados com a informação do modelo

que representa sua distribuição de confiabilidade (este modelo pode ser obtido através dos dados de tempo até a falha aplicando análise de dados de vida no software Weibull++)

Os Diagramas de Blocos de Confiabilidade também são conhecidos como RBD, que significa Reliability Block Diagram, que servem para estabelecer o modelo de confiabilidade do sistema através de uma representação gráfica dos componentes/subsistemas, associando diversos blocos com diferentes comportamentos e agrupados de forma que representem como eles estão logicamente conectados.

Importante ressaltar que na etapa de construção do diagrama de blocos é realizado o carregamento dos dados de falhas dos sistemas, dados estes que são obtidos do banco de dados existente na empresa. Depois de carregados os dados, há possibilidade de realizar simulações dos sistemas para fins de comparação do desempenho de cada sistema, contendo todas as informações necessárias em um relatório disponibilizado pelo software. Através deste relatório é possível tomar a decisão sobre qual o melhor o sistema de célula de carga a ser aplicado na linha de laminação.

Os dados de manutenibilidade são inseridos com informações relativas às distribuições do tempo de reparo, manutenções preventivas e etc. A análise RAM, a partir dos dados imputados proporciona informação de disponibilidade, assim como várias outras informações, como o custo das manutenções, perda por lucro cessante e etc.

Ressalta-se também a obtenção de alguns indicadores úteis para identificação dos itens mais críticos em nº de falhas e em downtime.

A análise RAM (Reliability Availability Maintainability), através da utilização de curvas estatísticas com modelos de comportamentos de cada sistema (distribuição de probabilidade de falha e de reparo), possibilita a projeção, através de simulação, de diversos custos da vida do ativo com manutenções preventivas, corretivas e outros gastos, gerando assim informações financeiras como lucro cessante, por exemplo, de forma a proporcionar base de dados para fundamentar a análise da vida econômica do ativo (LCCA- Life Cycle Cost Analysis).

Diversos indicadores podem ser extraídos da análise RAM para efeito de comparação entre sistemas como proposto no tema em questão, como:

- RS FCI (Failure Criticality Index), índice é relativo a porcentagem de vezes em que a falha do componente causou falha no sistema.
- RS DECI (Dowing Event Criticality Index), índice que representa a porcentagem de vezes em que qualquer evento de parada do componente causou parada do sistema.
- MTBDE (Mean time between Dowing Eventos), índice que representa a relação entre o tempo ativo (uptime) do componente e o número de eventos de parada do Componente.
- MTBF (Mean Time Between Failures), sendo um dos índices mais conhecidos na área de confiabilidade e é muito utilizado e representa o tempo médio entre falhas:

$$\text{MTBF} = (\text{Tempo Final} - \text{Tempo Parado por Manutenção Corretiva}) / \text{Número de Falhas do Componente}$$

A fim de suportar a aplicação da ferramenta de análise RAM utilizou-se o método de análise de dados de vida dos sistemas como descrito a seguir.

2.2 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

Quando se requer uma análise de dados de vida de um equipamento ou sistema onde a fonte de dados e de falhas é o banco de dados da organização que contem um volume considerado razoável de informações confiáveis, o método de análise de dados de vida (LDA) pode ser uma ferramenta de suma importância na questão de confiabilidade, sendo que se o volume de informações é pequeno e/ou as informações não são de credibilidade o resultado tende a não ser de uma assertividade desejada.

Caso não há bons dados no banco de dados, é possível coletar informações de outras maneiras, como por exemplo:

- Consulta de informações dos especialistas de manutenção e operação do sistema/equipamento;
- Consulta de informações dos operadores dos sistemas/equipamento;
- Informações dos fornecedores ou fabricantes.

O importante como relatado acima é obter o máximo de informações e com certa credibilidade, outro ponto positivo como relatado por Scapin (2007), é que com a utilização da ferramenta de análise de dados de vida, a procura de informações sobre os componentes torna o trabalho mais assertivo e é possível ter um ganho técnico da equipe envolvida no estudo.

Os principais dados para a análise é o tempo até a falha, pois segundo Fogliatto (2009), a probabilidade de um item funcionar até um tempo t pré-estabelecido é possível determinar aplicando modelagens de tempos até a falha do item, tendo conhecimento da distribuição que melhor se ajusta ao comportamento destes tempos até a falha, sendo assim há uma possibilidade de prever a confiabilidade do item para qualquer tempo determinado, basta obter o seu tempo médio até a falha. Pode-se afirmar então que a modelagem do tempo até a falha é o ponto principal das análises de confiabilidade.

2.3 SOFTWARE DE ANÁLISE DOS DADOS DE VIDA

Para análise dos dados serão utilizados o softwares Weibull++ e o BlockSim da ReliaSoft, onde segundo (RELIASOFT, 2017) “O software BlockSim 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).”.

2.4 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE

Para realizar a análise de confiabilidade do sistema será utilizado o software Weibull++ da ReliaSoft, pois oferece uma gama completa de ferramentas para a análise de dados de vida, também conhecida como análise de confiabilidade, tal software permite diversos tipos de cálculos, gráficos e relatórios. O software contempla uma diversidade de distribuições como: Weibull, Weibull Mista,

Exponencial, Lognormal, Normal, Gamma Generalizada, Gamma, Loglogistic, Gumbel e Weibull-Bayesian).

2.5 REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA EM BLOCOS

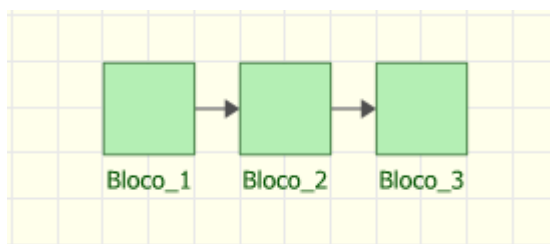
O software escolhido para representar em diagrama de blocos foi o BlockSim da ReliaSoft, onde cada bloco no diagrama pode representar um sistema, um subsistema ou um componente. As ligações entre blocos utilizadas na análise serão representadas conforme abaixo:

- Ligação em Série;
- Ligação Paralela Simples;
- Ligação Paralela k de N.

2.5.1 Ligação em Série

Na ligação em série os blocos são representados de uma forma que se apenas um dos blocos vir a falhar, todo sistema entra em falha, esse tipo de ligação é representado na figura 7.

Figura 7 – Ligação em Série



Fonte: Autoria própria

A equação do cálculo de confiabilidade de uma ligação em série é apresentada na equação **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_n \tag{1}$$

Sendo que:

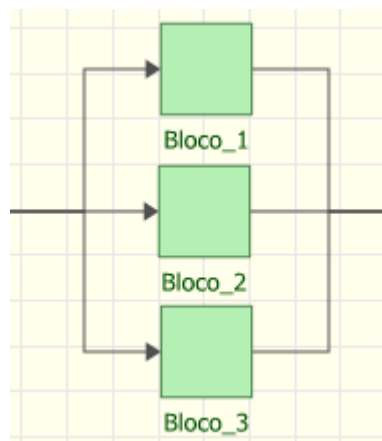
R_s é a confiabilidade do sistema

R_n é a confiabilidade dos "n" componentes do sistema

2.5.2 Ligação Paralela Simples

Neste tipo de configuração os blocos são ligados de tal forma que se um bloco vir a falhar o outro, ou os outros permanecem funcionando e o sistema não é afetado, por haver uma ligação também conhecida como “redundância”. Esse tipo de ligação é representada na figura 8.

Figura 8 - Ligação Paralela Simples



Fonte: Autoria própria

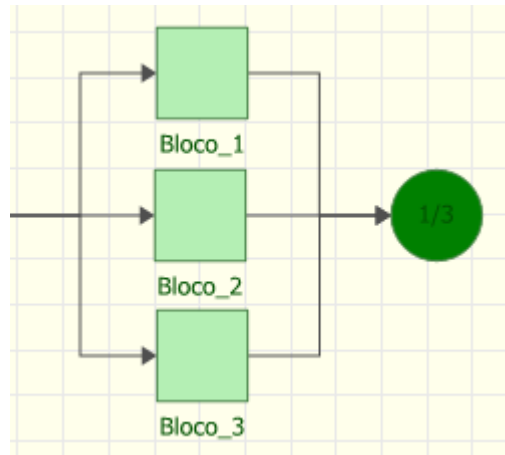
A equação do cálculo da confiabilidade de um sistema em paralelo é apresentada na equação **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

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

2.5.3 Ligação Paralela k de N

Esse tipo de ligação pode ser representado através de uma configuração em paralelo com uma restrição de um número mínimo de caminhos necessário para o funcionamento sistema representado pela letra K, e a letra N representa o número de caminhos que o sistema contempla, conforme apresentado na figura 9.

Figura 9 - Ligação Paralela k de N



Fonte: Autoria própria

Como representado na ligação acima com K de N (na configuração 1 de 3), o sistema permanecerá em funcionamento quando pelo menos um bloco estiver em funcionamento.

A equação do cálculo da confiabilidade de uma ligação Paralela k de N é apresentada na equação **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

$$R_s = R^n + nR^{n-1}(1-R) + \frac{n(n-1) \times R^{n-2} \times (1-R)^2}{2!} + \frac{n(n-1) \dots (n-k+1)R^{2-k}(1-R)^k}{k!} \quad (3)$$

No próximo capítulo, será abordado todo referencial teórico do sistema de células de carga, bem como sua aplicabilidade, falhas do sistema e melhorias implantadas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO DO SISTEMA APLICADO NO ESTUDO

O estudo de confiabilidade limitou-se a ser aplicado no sistema de células de carga do laminador sendo realizado pela ferramenta de análise RAM. O objetivo foi realizar uma comparação entre três sistemas semelhantes de células de carga para avaliar a substituição do sistema original pelo sistema novo, ou por manter o sistema original com melhoria implantado. Sendo também abordada a comparação sistema modificado com sistema novo.

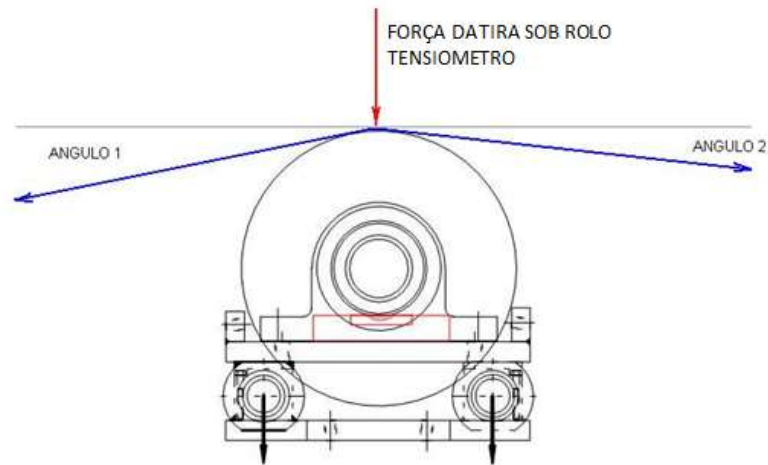
Portanto neste capítulo serão abordados os princípios de funcionamento e aplicação das células de carga, bem como levantamento de dados de quebra com seus respectivos gastos e melhorias implantadas no sistema.

3.1 PRINCÍPIOS DE APLICAÇÃO DE TENSÃO/FORÇA NAS CÉLULAS DE CARGA

As células de carga são conhecidas como transdutores de força que são medidas de forma indireta, através de uma deformação no material interno da célula, alterando sua resistência e posteriormente uma alteração na medição. As células tratadas no estudo tem a função de informar a tensão entre cadeiras de laminação, essa tensão é medida com a aplicação da força que a tira faz contra o rolo tensiometro, pois conforme mostrado na figura 10, a tira a que esta sendo processada causa um ângulo de entrada e saída do rolo tensiometro. A força é expressa em KN, sendo que as células de carga instaladas podem medir até 100KN de força.

O conjunto de células de carga é formado por dois mancais acoplados a um rolo que é montado entre as cadeiras de laminação de tal forma que fique acima da linha de passe bobina a ser laminada. Portanto como o conjunto esta acima da linha de passe a tira faz uma pressão sobre o rolo e essa pressão é percebida pela célula de carga e um feedback de sinal é monitorado pelo controlador para fazer o controle de tensão da tira.

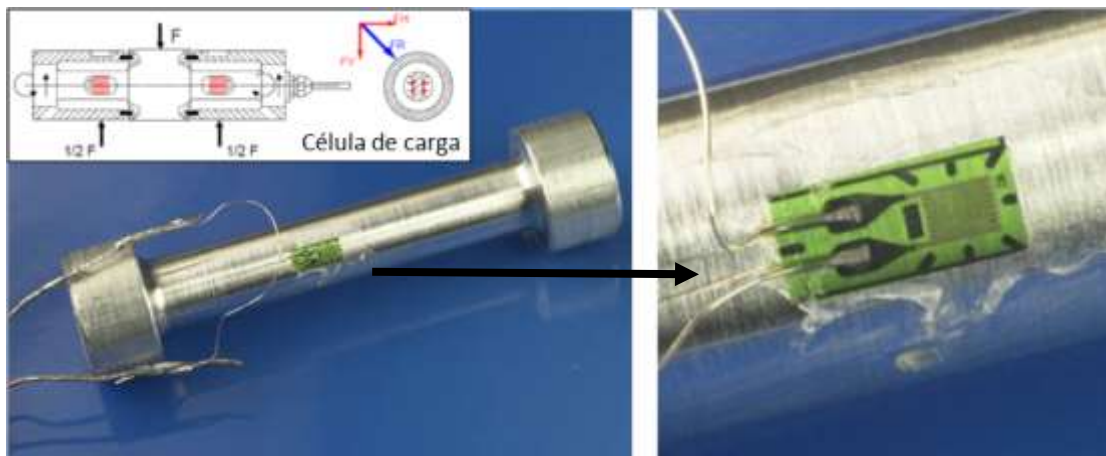
Figura 10 – Ângulos formados pela tira formando uma resultante de força



Fonte: Banco de dados Unidade ArcelorMittal Vega

As células de carga apresentadas operam como transdutores de pressão e utilizam o princípio de medição de strain gages, que medem a deformação, ou strain, para determinar a força aplicada. O método utilizado para a medição de um metálico colado conforme apresentado na figura 11.

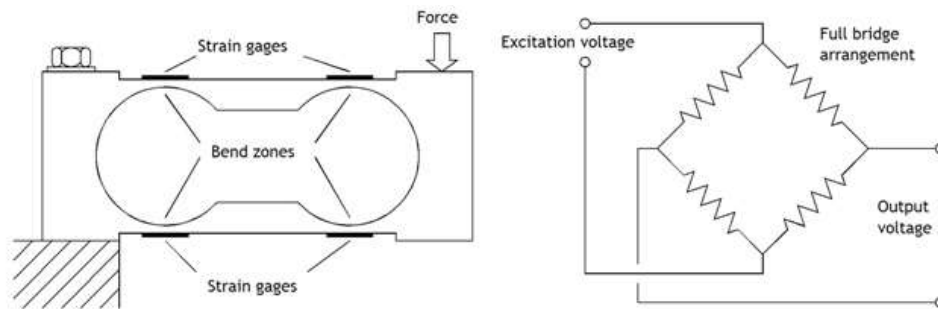
Figura 11 – Strain gage instalado em uma haste que sofre deformação



Fonte: Banco de dados Unidade ArcelorMittal Vega

Como as variações de tensão e deformação são muito pequenas, utilizam-se circuitos para amplificar esses sinais, neste caso é utilizada a ponte de Wheatstone, que é formada por quatro braços resistivos e uma tensão de excitação, tendo como sinal a ser medido a tensão de saída, conforme apresentado na figura 12.

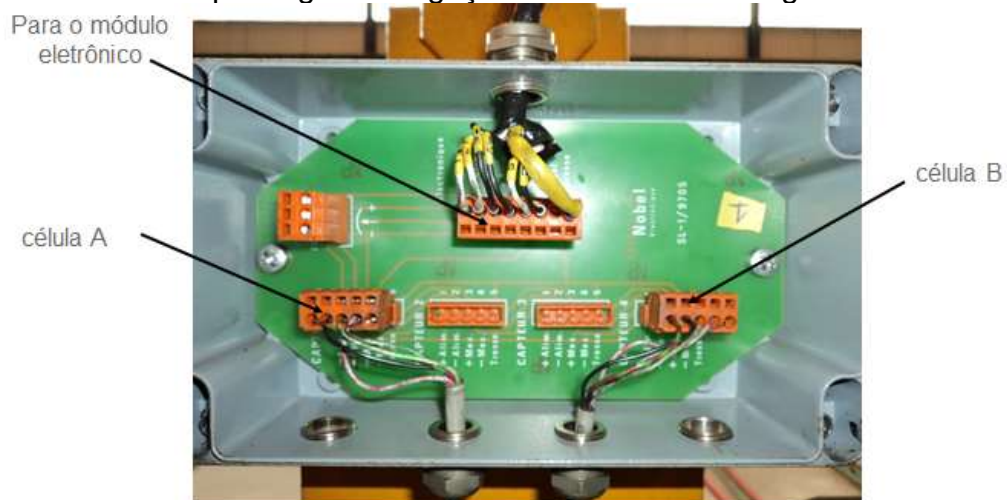
Figura 12 – Ponte de Wheatstone



Fonte: Banco de dados Unidade ArcelorMittal Vega

Como cada mancal possui duas células montadas, as mesmas são interligadas em uma caixa de passagem conforme a figura 13, que tem como finalidade realizar um resultante do sinal aplicado sobre as células para posteriormente esse sinal ser processado pelo controlador das células.

Figura 13 – Caixa de passagem de ligação das células de carga



Fonte: Banco de dados Unidade ArcelorMittal Vega

O resultado da variação de tensão/força é mostrado no controlador das células conforme figura 14, tal controlador possui uma comunicação via rede para o controlador principal de processo do laminador de tiras, gerando assim um feedback das medições de tensões aplicadas sobre o rolo tensiometro, formando uma malha fechada de aplicação de tensão.

Figura 14 – Controlador de um par de células de carga



Fonte: Banco de dados Unidade ArcelorMittal Vega

3.2 LEVANTAMENTOS DE DADOS PARA APLICAÇÃO DA ANÁLISE RAM

Para realizar o estudo primeiramente foram levantados os dados de falhas tanto do sistema antigo até dezembro de 2016, do sistema antigo modificado que hoje está instalado em três cadeiras de laminação e com o sistema novo que está instalado em uma cadeira de laminação há aproximadamente dois anos.

Os dados de falhas foram extraídos do sistema de gerenciamento de manutenção da empresa, foi definido o período de análise das falhas desde 2010, pois esse é o período de maí os dados de falhas do sistema, sendo assim podemos ter uma boa base de comparação com os sistemas em funcionamento.

A figura 15 apresenta o consumo de células de carga do sistema antigo do ano de 2016, onde quando apresentasse falha em uma célula de carga, o procedimento era a troca do par de células, sendo que nos últimos nove meses foram implantadas melhorias no sistema antigo, tendo um impacto positivo na redução do consumo de células de carga, que se pretende apresentar resultado do aumento de confiabilidade deste sistema no capítulo 4. Portanto ocorreram 12 falha em células de cargas, onde pode ser observado que houve a retirada de 24 células de carga gerando um gasto de R\$ 303.363,00 em células de carga e ocorreu uma compra de mais 12 células no valor de R\$152.446,68, totalizando um gasto total de R\$ 455.809,68 apenas em materiais, sem contar com mão de obra para a substituição das células de carga.

Já o sistema novo implantado apresentou 2 falhas em dois anos, porem não gerou custo de material, pois as células ainda estavam em período de garantia e teste de validação do sistema. Nesses casos o sistema novo foi desabilitado e retornado com a medição do sistema antigo.

Não há custos com parada do equipamento, pois as trocas de células de carga ocorrem sempre em tempos de preventiva onde o equipamento já estava programado para ficar parado.

Figura 15 – Sistema de gerenciamento de materiais no almoxarifado

Cen. Material		Texto breve material								
Dep. E	Fornecedor	TMv	Doc.mat.	Dt.lçto.	Qtd.	UM registro	UMB	Montante em MI	Moeda	Data doc.
AT01	18076137		CÉLULA				-100KN			
AMCE		201	4910323908	31.10.2016		6-	UN	75.649,45-	BRL	31.10.2016
AMCE		261	4910114022	26.10.2016		2-	UN	25.216,49-	BRL	26.10.2016
AMCE		261	4909526867	11.10.2016		4-	UN	50.432,97-	BRL	11.10.2016
AMCE		261	4909122969	29.09.2016		4-	UN	50.432,97-	BRL	29.09.2016
AMCE	3002396	101	5003091947	08.07.2016		12	UN	152.446,68	BRL	05.07.2016
AMCE		201	4905880120	30.06.2016		2-	UN	25.407,78-	BRL	30.06.2016
AMCE		261	4902995800	05.04.2016		6-	UN	76.223,34-	BRL	05.04.2016

Fonte: Banco de dados Unidade ArcelorMittal Vega

O sistema antigo foi concebido para funcionar da seguinte forma, são duas células montadas em série em cada mancal do rolo tensiometro, tanto lado operador como lado motor da cadeira de laminação, sendo que quando uma das células de carga de um dos lados apresentasse falha, um lado ficaria sem a medição (com a medição saturada) e a primeira medida a ser tomada pela equipe de manutenção é de duplicar o sinal da medição do lado em funcionamento para o lado que apresentou falha e a segunda medida é programar a troca do par de células do lado em falha em uma próxima parada preventiva da linha de laminação, seguindo assim a orientação do fabricante.

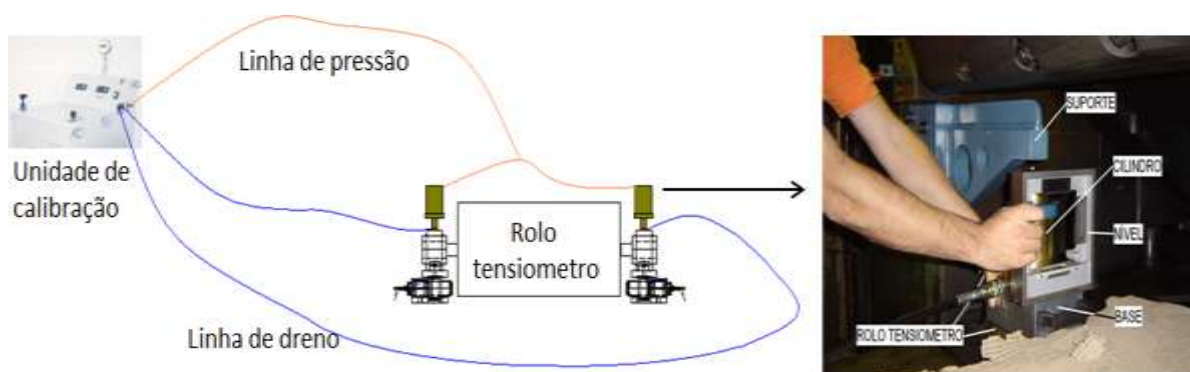
3.3 PROCEDIMENTOS DE TROCA DAS CÉLULAS DE CARGA

O procedimento de troca é da seguinte forma, primeiramente o rolo tensiometro é sacado e posteriormente o mancal com a célula danificada é retirado para assim realizar a substituição das células. Após a substituição das células de carga o mancal e rolo tensiometro são instalados novamente em linha para então

realizar a calibração do sistema, onde é aplicada uma força sobre o mancal das células através de um macaco hidráulico como mostra a Figura 16.

A força aplicada sobre o conjunto, a pressão exercida pelo macaco hidráulico é fornecida por uma bancada móvel, de aplicação pressão, chamada de “unidade de calibração”, que contém dois displays que servem para mostrar a pressão exata de aplicação de pressão em cada lado do rolo tensiometro e essa pressão é convertida para força, sendo medida e calibrada através do controlador da célula de carga.

Figura 16 – Sistema de aplicação de força nas células para calibração



Fonte: Autoria própria

O tempo de troca de um par de células, ou seja, um mancal é de aproximadamente 4 horas, sendo esse tempo dentro do horário de manutenções preventivas que são realizadas mensalmente. Em casos raros foi necessário realizar uma parada de linha não programada para realizar a troca do sistema, pois nesses casos os dois lados apresentaram falhas antes da data programada de preventiva, impactando diretamente assim na perda de produção e em custo de parada, devido ser atividade de corretiva emergencial, porém como foram casos raros em 10 anos de operação esse dado foi expurgado do estudo.

3.4 MELHORIAS IMPLANTADAS NO SISTEMA

A melhoria implantada no sistema antigo foi desenvolvida internamente pela equipe de confiabilidade, onde consistiu em interpretar as medidas que o controlador recebia das duas células de carga e desenvolver uma contra medida para manter o controlador medindo de forma aceitável com apenas uma célula de carga em

funcionamento e não com duas como definidas pelo fornecedor, ou seja, a melhoria fez com que alterasse o arranjo das células de série para paralelo, onde sempre que uma célula apresentasse falha, esta seria desativada e o mancal permaneceria medindo tensão com apenas uma célula boa.

Com essa melhoria praticamente duplicamos o tempo de funcionamento de ambos os lados medição de tensão e eliminamos o problema de parada para troca das células de carga, pois para ocorrer uma parada todas as quatro células (duas lado operador e duas lado motor) teriam que apresentar problema. No capítulo 4 serão apresentados todos os ganhos com a melhoria implantada, tanto pela redução de consumo de células de carga e também a comparação entre o sistema melhorado implantado com o sistema antigo através da aplicação da ferramenta de análise RAM.

4 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE RAM NO SISTEMA

Neste capítulo serão demonstradas as etapas de aplicação da ferramenta de análise RAM para fazer o comparativo de confiabilidade e disponibilidade dos sistemas de células de carga.

4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS DE FALHA

Para realização do estudo foram levantados dados contidos no bando de dados da empresa do ano de 2010 a 2016, onde se operava com o sistema original, os dados representam todas as falhas que causaram falha na leitura em um dos lados de medição de tensão entre as cadeiras de laminação da tira (1 e 2), (2 e 3) e (3 e 4).

A tabela 2 apresenta a quantidade de falha das células por ano.

Tabela 2 – Quantidade de falhas das Células (sistema original)

Quantidade de falhas de células de carga/ano						
Ano	Células entre cadeiras 1 e 2		Células entre cadeiras 2 e 3		Células entre cadeiras 3 e 4	
	Lado Operador	Lado Motor	Lado Operador	Lado Motor	Lado Operador	Lado Motor
2010	2	4	5	4	2	3
2011	4	5	2	1	1	1
2012	1	3	2	1	2	3
2013	2	2	2	2	5	4
2014	1	1	2	1	1	2
2015	2	2	2	1	1	1
2016	2	4	2	3	*	*

Fonte: Autoria própria

* Ano de instalação do modelo de células novas de outro fabricante entre as cadeiras 3 e 4 de laminação, sendo que tais dados de falhas serão representados nos próximos levantamentos de dados.

A tabela 3 demonstra o tempo em dias entre as falhas das células de carga, sendo que esses dados serão utilizados para calcular a confiabilidade das células instaladas no modelo original.

Tabela 3 – Tempo entre falhas das Células (sistema original)

Número de dias entre falhas de células de cargas (sistema original)						
Período	Células entre cadeiras 1 e 2		Células entre cadeiras 2 e 3		Células entre cadeiras 3 e 4	
	Lado Operador	Lado Motor	Lado Operador	Lado Motor	Lado Operador	Lado Motor
2010 a 2016		92				
		68				
		127	133			
		36	19			71
	92	22	83			70
	231	157	79		141	364
	22	49	34		364	26
	157	98	139		134	72
	141	139	238		209	25
	113	22	212	104	94	314
	509	28	261	44	121	103
	49	223	76	556	24	18
	118	295	313	284	28	24
	393	252	13	132	98	165
	98	315	343	148	371	332
379	158	122	535	60	60	

Fonte: Autoria própria

A tabela 4 a seguir representa os dados de quantidade de falhas do sistema com a melhoria implantada (mancal de duas células podendo funcionar com apenas uma célula sem falha o sistema), essa melhoria foi implantada em Janeiro de 2017 e esta em funcionamento esses 9 meses de levantamentos de dados.

Tabela 4 – Quantidade de falhas das Células (sistema modificado)

Número de falhas de células de carga (sistema modificado)						
Ano	Células entre cadeiras 1 e 2		Células entre cadeiras 2 e 3		Células entre cadeiras 3 e 4	
	Lado Operador	Lado Motor	Lado Operador	Lado Motor	Lado Operador	Lado Motor
2017	0	0	1	1	*	*

Fonte: Autoria própria

Por fim o último levantamento de dados de falha foi referente ao modelo de células novas de outro fabricante, sendo que foram instalados dois mancais, sendo

um no lado motor e outro no lado operador entre as cadeiras 3 e 4 de laminação, diferente do modelo antigo, cada mancal contem apenas uma célula de carga.

A tabela 5 representa a quantidade de falhas das células por ano do modelo do novo fabricante.

Tabela 5 – Quantidade de falhas das Células (novo fabricante)

Número de falhas de células de carga/ano		
Ano	Células entre cadeiras 3 e 4	
	Lado Operador	Lado Motor
2015	0	0
2016	1	1
2017	0	0

Fonte: Autoria própria

As células de carga do novo fabricante foram instaladas em agosto de 2015 e tiveram duas falhas em 2016. Vale ressaltar que quando ocorreram falhas das novas células de carga foi retornado com o sistema antigo devido falta de sobressalente, uma vez que o sistema ainda estava em teste, esse período será suspenso do estudo. O tempo entre falhas foi representado na tabela 6.

Tabela 6 – Tempo entre falhas das Células (novo fabricante)

Número de dias entre falhas (células novas)	
Período	Células entre cadeiras 3 e 4
2015	-
a	246
2017	111

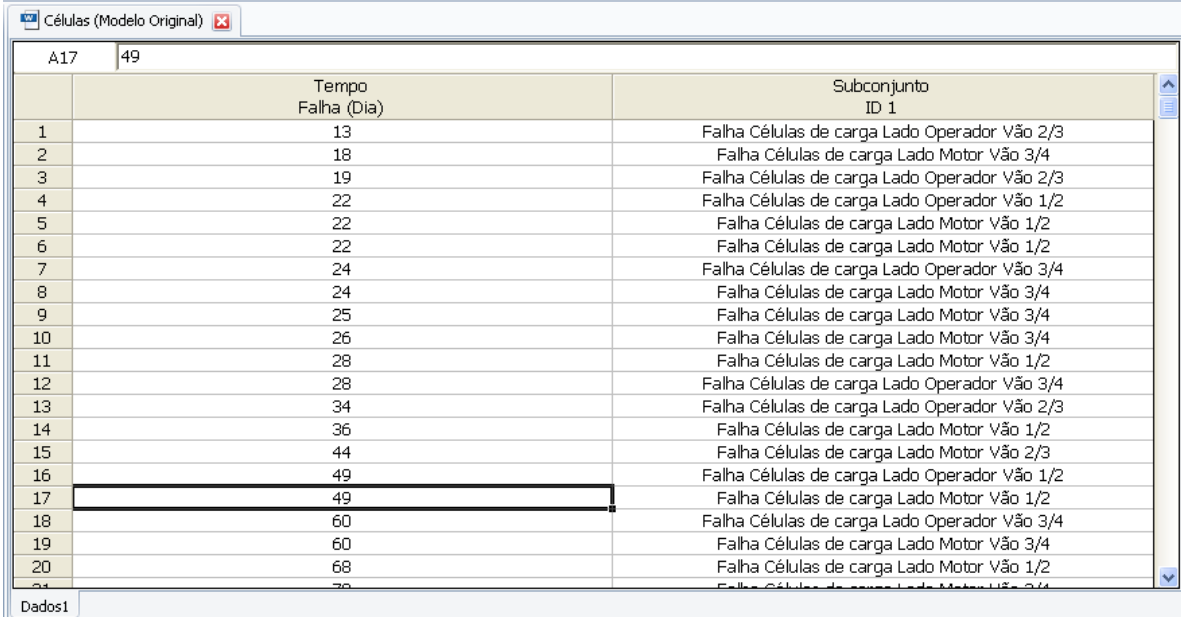
Fonte: Autoria própria

Todos os dados de falhas foram coletados e nos próximos capítulos, esses dados serão utilizados para calcular a confiabilidade e a modelagem dos 3 sistemas de células de carga utilizados.

4.2 MODELAGEM DOS SISTEMAS

Os dados de confiabilidade foram levantados através do software Weibull++ da ReliaSoft, na Figura 17 podem ser observados os dados do sistema original de células de carga dispostos no software. Devido ao número elevado de dados levantados, não foi possível visualizar todos na figura.

Figura 17 – Dados de falha imputados no software Weibull++ (sistema original)



The screenshot shows a spreadsheet window titled 'Células (Modelo Original)'. The active cell is A17, containing the value 49. The table below contains the following data:

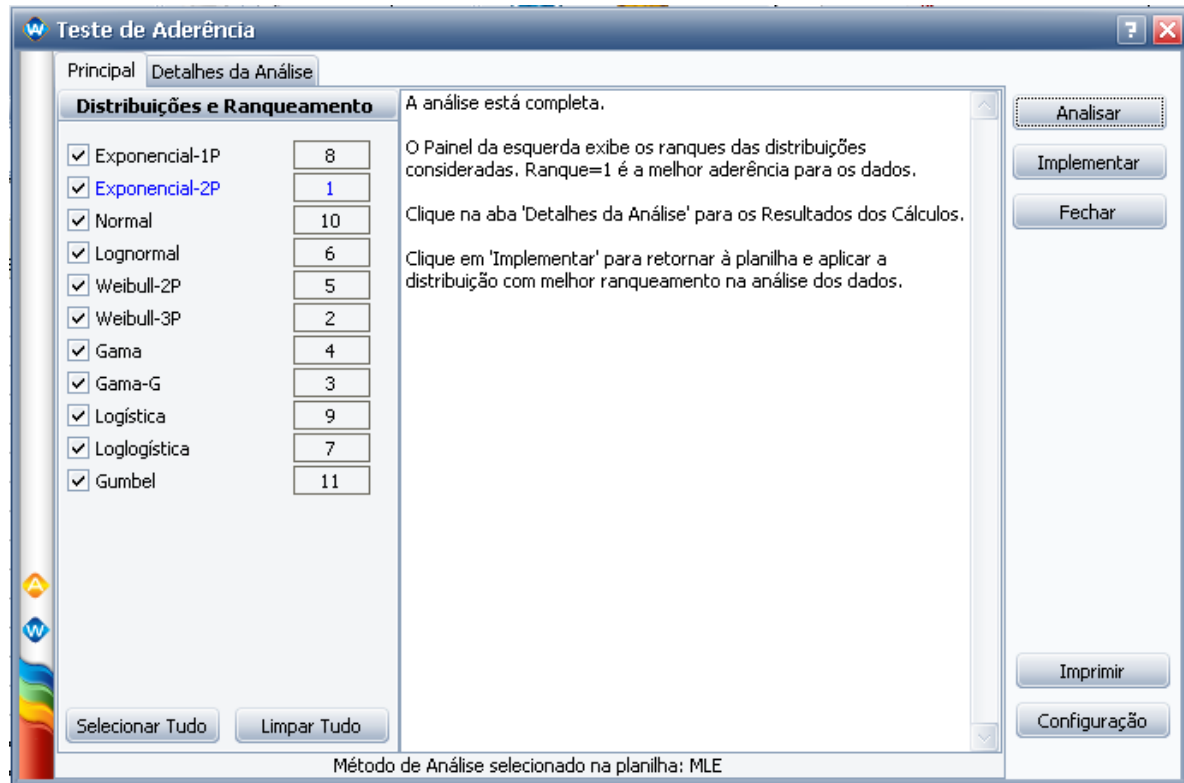
	Tempo Falha (Dia)	Subconjunto ID 1
1	13	Falha Células de carga Lado Operador Vão 2/3
2	18	Falha Células de carga Lado Motor Vão 3/4
3	19	Falha Células de carga Lado Operador Vão 2/3
4	22	Falha Células de carga Lado Operador Vão 1/2
5	22	Falha Células de carga Lado Motor Vão 1/2
6	22	Falha Células de carga Lado Motor Vão 1/2
7	24	Falha Células de carga Lado Operador Vão 3/4
8	24	Falha Células de carga Lado Motor Vão 3/4
9	25	Falha Células de carga Lado Motor Vão 3/4
10	26	Falha Células de carga Lado Motor Vão 3/4
11	28	Falha Células de carga Lado Motor Vão 1/2
12	28	Falha Células de carga Lado Operador Vão 3/4
13	34	Falha Células de carga Lado Operador Vão 2/3
14	36	Falha Células de carga Lado Motor Vão 1/2
15	44	Falha Células de carga Lado Motor Vão 2/3
16	49	Falha Células de carga Lado Operador Vão 1/2
17	49	Falha Células de carga Lado Motor Vão 1/2
18	60	Falha Células de carga Lado Operador Vão 3/4
19	60	Falha Células de carga Lado Motor Vão 3/4
20	68	Falha Células de carga Lado Motor Vão 1/2
21	70	Falha Células de carga Lado Motor Vão 3/4

Fonte: Autoria própria

Após a inserção dos dados de falha do sistema foi utilizado um recurso disponível no software chamado de “Teste de Aderência” para descobrir qual a distribuição mais se adequa aos dados de falha inseridos.

No caso dos dados inseridos podemos observar na Figura 18 que a melhor distribuição é a Exponencial – 2P (dois parâmetros).

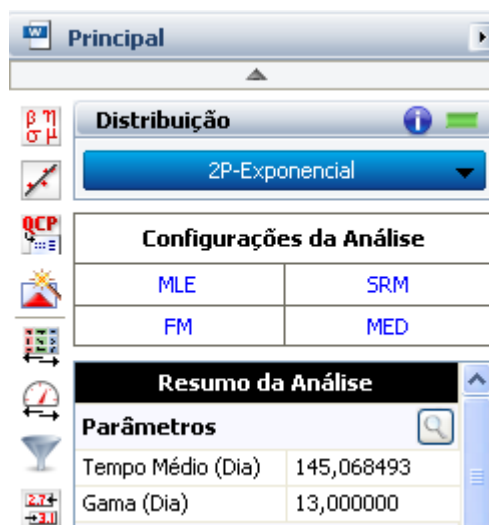
Figura 18 – Teste de Aderência (sistema original).



Fonte: Autoria própria

Após implementada a distribuição que teve melhor aderência aos dados de falha, como mostrado na figura 19 o software mostra os parâmetros da distribuição Exponencial-2P, sendo tempo médio de 145 dias e um Gama de 13 dias.

Figura 19 – Parâmetros da distribuição (sistema original).



Fonte: Autoria própria

A figura 20 representa os dados de falha das células de carga com sistema novo modificado, um detalhe que não foi utilizado no sistema original é que no sistema modificado contem dados suspensos pois o sistema está em funcionamento.

Figura 20 – Dados de falha imputados no software no Weibull++ (sistema novo).

	Condição F ou S	Tempo até F ou S (Dia)	Subconjunto ID 1
1	F	111	Falha Células de carga Vão 3/4
2	S	235	Falha Células de carga Vão 3/4
3	F	246	Falha Células de carga Vão 3/4

Fonte: Autoria própria

Aplicando o teste de aderência podemos observar na Figura 21 que a distribuição que mais se adequou ao sistema foi uma Weibull-2P (dois parametros).

Figura 21 – Teste de Aderência do (sistema novo).

Teste de Aderência

Principal | Detalhes da Análise

Distribuições e Ranqueamento

<input checked="" type="checkbox"/> Exponencial-1P	9
<input checked="" type="checkbox"/> Exponencial-2P	4
<input checked="" type="checkbox"/> Normal	6
<input checked="" type="checkbox"/> Lognormal	8
<input checked="" type="checkbox"/> Weibull-2P	1
<input checked="" type="checkbox"/> Weibull-3P	
<input checked="" type="checkbox"/> Gama	5
<input checked="" type="checkbox"/> Gama-G	3
<input checked="" type="checkbox"/> Logística	8
<input checked="" type="checkbox"/> Loglogística	7
<input checked="" type="checkbox"/> Gumbel	2

A análise está completa.

O Painel da esquerda exibe os ranques das distribuições consideradas. Ranque=1 é a melhor aderência para os dados.

Clique na aba 'Detalhes da Análise' para os Resultados dos Cálculos.

Clique em 'Implementar' para retornar à planilha e aplicar a distribuição com melhor ranqueamento na análise dos dados.

Erro [Weibull-3P]: Gama Pequeno (veja as configurações do Teste de Aderência)

Botões: Analisar, Implementar, Fechar, Imprimir, Configuração

Método de Análise selecionado na planilha: MLE

Fonte: Autoria própria

Depois de implementado o teste de aderência foram encontrados os parâmetros da distribuição Weibull-2P, sendo Beta 2,950127 dias e Eta de 244,715208 dias como mostrado na Figura 22.

Figura 22 – Parâmetros da distribuição (sistema novo).



Fonte: Autoria própria

No próximo capítulo será demonstrada a modelagem dos três sistemas de células, utilizando a distribuição e os parâmetros encontrados no Weibull++.

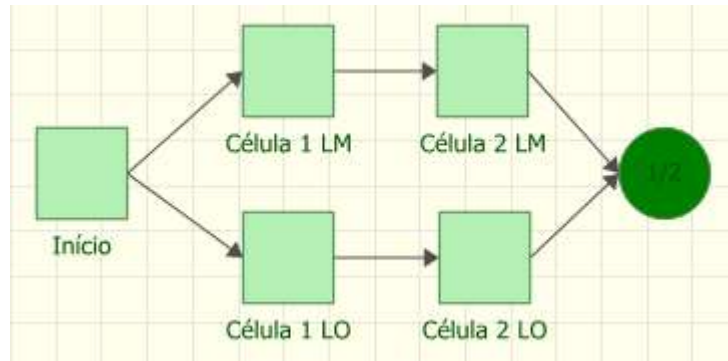
4.3 DIAGRAMA DE BLOCOS DOS SISTEMAS

No capítulo anterior foi possível encontrar a melhor distribuição com seus respectivos parâmetros para os dois tipos de sistemas de células, utilizando os dados de falha de cada sistema no software Weibull++.

Para descobrir a confiabilidade de cada sistema, foi realizada a modelagem de cada sistema utilizando o software BlockSim da ReliaSoft, conforme mostrado nas figuras 23, 24 e 25.

Na Figura 23 pode ser observado que o sistema original contém duas células de cada lado montadas em série, onde cada célula contém a distribuição encontrada no capítulo anterior, sendo uma Exponencial-2P, sendo tempo médio de 145 dias e um Gama de 13 dias.

Figura 23 – Diagrama de blocos (sistema original).

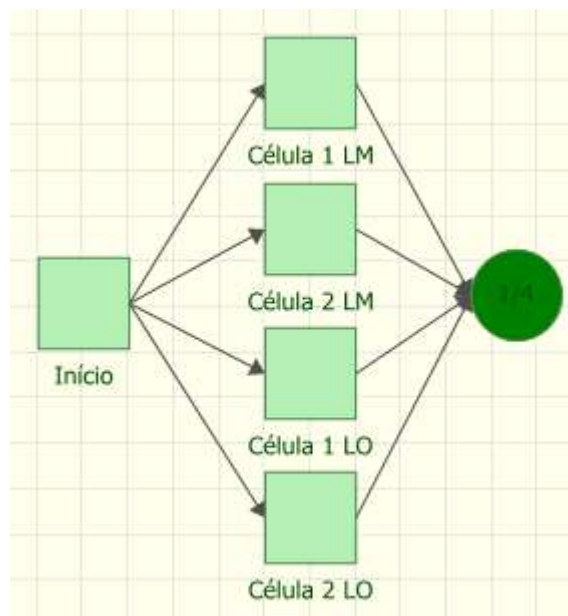


Fonte: Autoria própria

Na Figura 24 esta representado o diagrama de blocos do sistema modificado, onde contem quatro células em paralelo, sendo duas do lado motor e duas do lado operador.

Neste caso a distribuição aplicada a cada célula de carga é a mesma dos sistema original, pois tipo de célula permanece o mesmo, alterando o arranjo via sistema.

Figura 24 – Diagrama de blocos (sistema modificado).

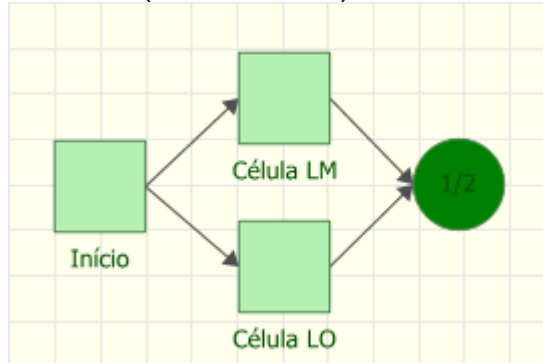


Fonte: Autoria própria

A Figura 25 esta representado o diagrama de blocos do sistema novo, onde contem duas células em paralelo, sendo uma do lado motor e duas do lado operador.

Como o tipo de célula é diferente dos sistemas anteriores, neste caso terá uma distribuição de falha diferente, coletada nos dois anos de funcionamento.

Figura 25 – Diagrama de blocos (sistema novo).

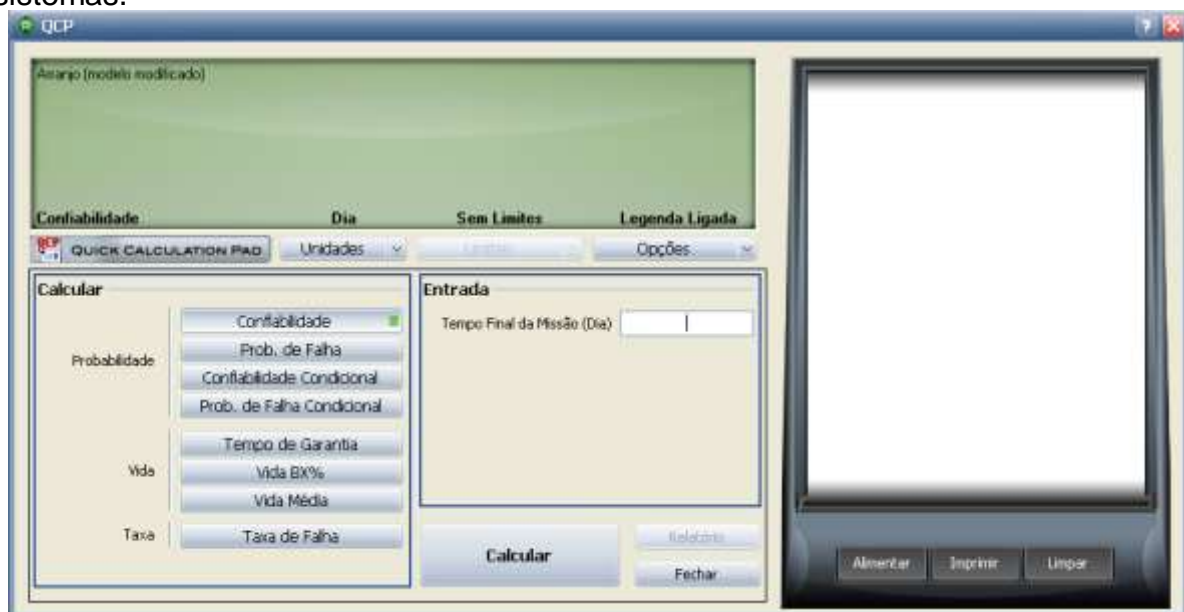


Fonte: Autoria própria

4.3.1 Cálculo de Confiabilidade dos Sistemas

Depois de descoberto a distribuições dos sistemas através do software Weibull++ e aplicadas as distribuições no BlockSim, é possível encontrar a confiabilidade de cada sistema, para o período desejado, utilizando um recurso do software chamado de QCP (Quick Calculation Pad), como mostrado na Figura 26.

Figura 26 – Calculadora, recurso no software para cálculo de confiabilidade dos sistemas.



Fonte: Autoria própria

Foram levantados os dados de confiabilidade de um período de doze meses para os três tipos de sistemas e dispostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Comparativo de confiabilidade entre os três sistemas.

Confiabilidade dos três sistemas de células de carga implantados			
Período (mês)	Sistema antigo	Sistema Novo	Sistema Modificado
1	0,9544	0,9999	0,9998
2	0,7668	0,9997	0,9937
3	0,5644	0,9971	0,9697
4	0,3971	0,9857	0,9227
5	0,2723	0,9525	0,8554
6	0,1839	0,8819	0,7744
7	0,1231	0,7649	0,6871
8	0,0818	0,6081	0,5993
9	0,0541	0,4353	0,5155
10	0,0357	0,2768	0,4385
11	0,0236	0,1551	0,3696
12	0,0155	0,0758	0,3092

Fonte: Autoria própria

Como verificado na tabela 7, o sistema antigo tem a pior confiabilidade dos três sistemas, sendo a causa principal que sofreu modificação no seu arranjo de funcionamento e abriu margem para testes em outro sistema semelhante de células.

O sistema novo implantado teve uma confiabilidade superior ao sistema antigo, porem com duas falhas em aproximadamente dois anos de funcionamento fez com que sua confiabilidade não fosse a desejável pela empresa, uma vez que o fabricante prometeu um desempenho muito melhor do que o resultado encontrado.

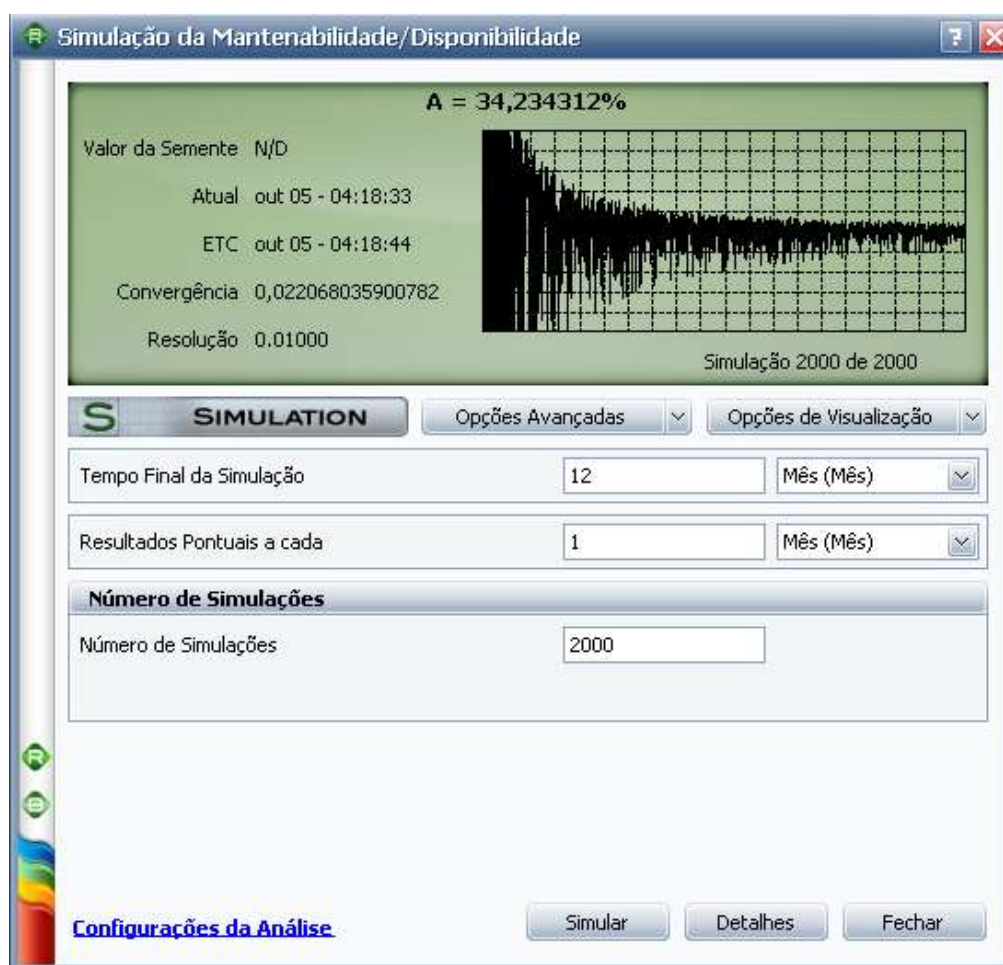
Nestas duas falhas que ocorreram nas células do sistema novo, o fabricante analisou as células e identificou um problema de projeto e já fez as devidas correções, onde se espera uma melhora significativa na sua confiabilidade.

Referente ao sistema modificado o resultado foi muito maior do que o esperado, pois ocorreram apenas duas falhas no período de funcionamento (vale ressaltar que o período ainda curto para ter uma boa conclusão da melhoria), porem contando que a melhoria não teve nenhum tipo de custo para a empresa, já trouxe grandes resultados de economias do sistema.

4.3.2 Cálculo de Disponibilidade dos Sistemas

Para calcular a disponibilidade dos sistemas foi utilizado o Software BlockSim, no modo simulação, onde é possível simular a disponibilidade de qualquer sistema, como exemplificado na figura 27.

Figura 27 – Recurso no software para cálculo de disponibilidade dos sistemas.



Fonte: Autoria própria

A tabela 8 demonstra a comparação de disponibilidade de cada tipo de sistema no período de doze meses.

Tabela 8 – Comparativo de disponibilidade entre os três sistemas.

Disponibilidade dos três sistemas de células de carga implantados			
Período (mês)	Sistema antigo	Sistema Novo	Sistema Modificado
1	0,990996	1	0,99993
2	0,928396	0,999854	0,998615
3	0,840441	0,999157	0,993015
4	0,75014	0,997561	0,980027
5	0,666365	0,992796	0,961041
6	0,592948	0,981005	0,936508
7	0,529535	0,957356	0,907229
8	0,475846	0,921677	0,874976
9	0,430849	0,876656	0,839903
10	0,392451	0,824181	0,804136
11	0,359399	0,768442	0,768221
12	0,331145	0,713456	0,732406

Observando a tabela 8, nota-se que a disponibilidade do sistema antigo é muito inferior aos outros dois sistemas que por surpresa tiveram resultados muito semelhantes, mostrando que a melhoria implantada fez com que tornasse o sistema um pouco mais disponível que o sistema novo implantado, no entanto muito mais disponível se comparado com o sistema original.

No próximo capítulo serão apresentadas todas as conclusões referentes aos três tipos de sistemas implantados.

5 RESULTADOS ALCANÇADOS COM O ESTUDO

Pode-se perceber que apenas através de uma ferramenta de análise de dados podemos descobrir como se comporta exatamente a confiabilidade e disponibilidade dos sistemas ou equipamentos.

Os resultados alcançados nesse estudo mostraram que apenas com uma melhoria implantada, o sistema já trouxe muitos ganhos a empresa, melhorando a confiabilidade do sistema de 1,5% para 30,9% em um ano, sem a necessidade de substituir o sistema por um novo.

No entanto esperasse que o sistema novo implantado possa melhorar seu resultado nas próximas análises, já que o fornecedor identificou que a falha ocorrida pelas células foi um problema de projeto e não um problema de deficiência do produto, sendo assim o problema de projeto foi corrigido para não acontecer novamente, portanto o sistema permanecerá instalado para certificar o seu potencial.

Para se obter uma boa comparação entre sistemas, são necessários vários dados de falhas, no entanto como observado nos levantamentos de dados de vida havia um grande histórico de falhas do sistema antigo, já o sistema novo que esta em funcionamento há um histórico de dois anos e o sistema antigo modificado contem um histórico de funcionamento de apenas nove meses, portanto a análise deve continuar para identificar se vale a pena substituir o sistema modificado pelo sistema novo.

Para concluir podemos pode-se dizer que o sistema antigo já não atende as necessidades de produção da empresa, no entanto o sistema modificado e o sistema novo ainda apresentam falhas indesejadas e a equipe de confiabilidade continua a procura mais soluções para melhorar o desempenho dos sistemas de medição de tensão.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A equipe de confiabilidade da empresa encontrou outro fabricante de sistemas de medição de tensão através de células de carga semelhantes ao sistema utilizado e iniciou-se um processo para testar o novo sistema.

Portanto a análise de dados feita até o momento deve continuar para os sistemas já implantados e para o novo sistema que já está em processo de implantação e testes.

REFERÊNCIAS

RELIASOFT CORPORATION. Weibull++ 7.0 Software Package, Tucson, AZ, 2011.

KARDEC, Alan, Gestão estratégica e confiabilidade/ Alan Kardec, João Lafraia. Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, 2002.

NBR-5462. Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994. 37p.

SCAPIN, Carlos Alberto, Análise Sistêmica de Falha, Editora Indg, 2007.

MOUBRAY, J. Reliability-Centred Maintenance. 2. ed. Nova York: Industrial Press, 1997. 426p.