

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

RODOLPHO RODRIGUES SOARES

**ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA EM UMA PLANTA DE
BENEFICIAMENTO DE COPRODUTOS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

RODOLPHO RODRIGUES SOARES

**ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA EM UMA PLANTA DE
BENEFICIAMENTO DE COPRODUTOS**

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

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

Co-orientador: Prof. Dr. Denis Mazzei

CURITIBA

2019



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



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA EM UMA PLANTA DE BENEFICIAMENTO DE COPRODUTOS

por

RODOLPHO RODRIGUES SOARES

Esta monografia foi apresentada em 04 de outubro de 2019, 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. Marcelo Rodrigues Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

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

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

Dedico este trabalho à minha Esposa e filhos por me compreenderem nos momentos de ausência, e aos meus pais que me proporcionaram o estudo necessário para alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores e orientadores pelo conhecimento transmitido durante o curso e orientação do trabalho de monografia.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

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

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

SOARES, Rodolpho Rodrigues. **Análise do Custo do Ciclo de Vida em uma Planta de Beneficiamento de Coprodutos**. 2019. 69 folhas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O controle de custos dos ativos tem tido cada vez mais importância nas corporações, pois tem se tornado fator de competitividade primordial nos mercados em que atuam. A proposta deste trabalho é realizar uma análise RAM (do inglês *Reliability, Availability and Maintainability*) para definição de qual ativo em uma planta de beneficiamento de coprodutos tem maior impacto na maximização da produção. Outro passo também escopo deste trabalho é realizar uma análise do custo do ciclo de vida do ativo (LCCA) selecionado e definir a melhor estratégia a ser adotada nos próximos anos. A análise realizada aponta para uma peneira de processamento de coprodutos demonstrando que o uso da metodologia adequada se faz necessário para tomadas de decisão assertivas levando-se em conta não apenas fatores técnicos e de gestão, mas também a vida econômica do ativo. O estudo de caso conseguiu mostrar não somente qual ativo tem maior influência para disponibilidade da planta, que é a peneira vibratória, mas também qual a melhor estratégia a ser adotada considerando o ciclo de vida do ativo que se embasa na norma de Gestão de Ativos. Como resultado da análise viu-se que a estratégia a ser adotada é a aquisição de uma nova peneira e 12 anos é a vida econômica útil de um novo ativo considerando os parâmetros de manutenção atuais.

Palavras-chave: Análise RAM. Análise do Custo do Ciclo de Vida do Ativo (LCCA). Vida econômica do Ativo. Gestão de Ativos.

ABSTRACT

SOARES, Rodolpho Rodrigues. **Life Cycle Cost Analysis in a Coproduct Benefits Plant**. 2019. 69 f. Monograph (Specialization in Reliability Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2019

Cost control of assets has been increasingly important in corporations, as it has become a key competitiveness factor in the markets in which they operate. The purpose of this work is to perform a RAM (Reliability, Availability and Maintenance) analysis to define which asset in a co-product beneficiation plant has an impact on the maximization of production. Another step that is also the scope of this work is to carry out an analysis of the selected asset life cycle cost (LCCA) and define the best strategy to be adopted in the coming years. The analysis pointed to a sieve of coproducts processing demonstrating that the use of the appropriate methodology is necessary for assertive decision making taking into account not only technical and management factors but also the economic life of the asset. The case study was able to show not only which asset has the greatest influence on plant availability, which is the vibrating screen, but also the best strategy to be adopted considering the asset life cycle that is based on the Asset Management standard. As a result of the analysis it was found that the strategy to be adopted is the acquisition of a new sieve and 12 years is the economic life of a new asset considering the current maintenance parameters.

Palavras-chave: RAM Analysis. Asset Lifecycle Cost Analysis (LCCA). Asset economic life. Asset Management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo de Vida do Aço.....	15
Figura 2 – Fluxo de Produção da planta da CASP.....	16
Figura 3 – Exemplo de Planta de Peneiramento.....	22
Figura 4 – Modelo da Moega de Alimentadores.....	24
Figura 5 – Fotos do alimentador vibratório da planta da CASP.....	25
Figura 6 – Componentes de uma Correia Transportadora.....	27
Figura 7 – Defeitos de Correias.....	28
Figura 8 – Colapso em estrutura de Transportador de Correia.....	30
Figura 9 – Estrutura colapsada de uma Peneira Vibratória.....	32
Figura 10 – Modelos e formatos de tela para peneiras.....	33
Figura 11 – Modelos de distribuição de vida dos componentes de um Sistema.....	36
Figura 12 – Classificação de Dados de Vida de Ativos.....	38
Figura 13 – Diagrama de Blocos de Confiabilidade.....	39
Figura 14 – Diagrama de blocos na configuração composta.....	40
Figura 15 – Visão Probabilística Randômica de Distribuição de Falhas e Reparos..	42
Figura 16 – Influência do LCCA na Gestão de Ativos.....	47
Figura 17 – Seleção de Dados Censurados.....	51
Figura 18 – Seleção de Dados não censurados.....	52
Figura 19 – Criação de um RBD para simulação no Blocksim.....	53
Figura 20 – Diagrama de Blocos de Confiabilidade e Manutenibilidade da Planta da CASP.....	54
Figura 21 – Resultado da Simulação da disponibilidade da planta da CASP.....	54
Figura 22 – Falhas do Sistema.....	55
Figura 23 – Indicação da Criticidade RS FCI.....	56
Figura 24 – Indicação da Criticidade RS DTCl.....	57
Figura 25 – Taxa de Falha da Peneira da CASP.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensionamento das Correias Transportadoras da CASP.....	26
Tabela 2 – Dados de Falhas da Planta da CASP.....	50
Tabela 3 – Tempo total Indisponível e Eventos de Parada de cada bloco do Sistema.....	58
Tabela 4 – Análise de Viabilidade econômico-financeira das alternativas de manutenção.....	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Valor Presente Líquido considerando as 3 alternativas de manutenção.	61
Gráfico 2 – Definição da vida econômica do ativo.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AMT	Arcelor Mittal Tubarão
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> (Indicador chave de desempenho)
LCCA	<i>Life Cycle Cost Analysis</i> (Análise do ciclo de custo de vida)
RAM	<i>Reliability, Availability and Maintainability</i> (Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade)
RBD	<i>Reliability Block Diagram</i> (Diagrama de Bloco de Confiabilidade)
CASP	Canteiro de Separação de Produtos
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
CAE	Custo Anual Equivalente
VAE	Valor Anual Equivalente
LCC	<i>Life Cycle Cost</i> (Custo ciclo de vida)
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
SGM	Sistema de Gerenciamento da Manutenção
SGA	Sistema de Gerenciamento de Ativos
RCA	<i>Root Cause Analysis</i> (Análise de Causa Raiz)
LRU	<i>Lowest Replacement Unit</i> (Menor nível reparável)
RS FCI	<i>Reliasoft Failure Criticality Index</i> (Índice Reliasoft de Criticidade de Falha)
RS DTCI	<i>Reliasoft Downtime Criticality Index</i> (Índice Reliasoft de Criticidade de tempo de falha)

LISTA DE SÍMBOLOS

β – parâmetro de forma da distribuição Weibull

η – parâmetro de escala da distribuição Weibull

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo Geral.....	17
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	JUSTIFICATIVA	18
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	19
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2	PLANTA DE PENEIRAMENTO	22
2.1	ALIMENTADORES.....	23
2.1.1	Tipos de Alimentadores.....	24
2.2	CORREIAS TRANSPORTADORAS.....	25
2.2.1	Correia.....	27
2.2.2	Polias ou Tambores.....	27
2.2.3	Transmissão.....	28
2.2.4	Estrutura.....	28
2.2.5	Sistemas de Suporte da Correia.....	29
2.2.6	Pontos de Transferência	30
2.2.7	Sistemas Auxiliares ou Secundários	30
2.3	PENEIRAS VIBRATÓRIAS	30
2.4	SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	32
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	33
3.1	CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE CONFIABILIDADE	33
3.1.1	Sistemas.....	33
3.1.2	Classificação dos Dados de Vida	34
3.1.2.1	Dados Completos.....	34
3.1.2.2	Dados Censurados á Direita	34
3.1.2.3	Dados em Intervalo	35
3.1.2.4	Dados Censurados á Esquerda.....	35
3.2	DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE.....	36
3.2.1	Configuração em Série.....	36
3.2.2	Configuração em Paralelo	37
3.2.3	Configuração Composta	37
3.2.4	Configuração Complexa	37
3.3	ANÁLISE RAM	38
3.3.1	Modelagem de Sistema	38
3.3.2	Diagramas Análíticos.....	38
3.3.3	Diagramas de Simulação	39
3.4	CUSTO DO CICLO DE VIDA DOS ATIVOS	40
3.4.1	Métodos de Análise de Investimentos	40
3.4.1.1	Fluxo de Caixa.....	41
3.4.1.2	Payback Simples	41
3.4.1.3	Payback Descontado.....	41
3.4.1.4	Valor Anual Equivalente	41
3.4.1.5	Taxa Interna de Retorno.....	41
3.4.1.6	Valor Presente Liquido	42

3.4.1.7	Custo Anual Equivalente	42
3.4.1.8	Taxa Mínima de Atratividade	42
3.4.2	Avaliação da Vida Econômica do Ativo	43
3.4.3	Importância do LCCA na Gestão de Ativos	43
3.5	SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	44
4	DESENVOLVIMENTO	49
4.1	DADOS PARA PREPARAÇÃO DA ANÁLISE RAM.....	49
4.1.1	Dados de confiabilidade (TTF).....	50
4.1.2	Dados de Mantenabilidade (TTR).....	50
4.2	MODELOS ESTATÍSTICOS E TESTE DE ADERÊNCIA	51
4.3	DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROCESSO PRODUTIVO.....	53
4.4	RESULTADOS DA ANÁLISE RAM	55
4.4.1	Índice de Criticidade Reliasoft (RS FCI)	56
4.4.2	Índice de Criticidade Reliasoft (RS DTCl)	57
4.4.3	Tempo Indisponível do Bloco e Número de Paradas do Sistema	58
4.5	EQUIPAMENTOS IMPACTANTES AO PROCESSO PRODUTIVO.....	58
4.6	ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DA PENEIRA DA CASP....	59
4.6.1	Determinação dos Custos de Manutenção, Reforma e Aquisição.....	60
4.6.2	Definição da melhor Estratégia de Manutenção.....	61
4.6.3	Determinação da Vida Útil Econômica do Ativo	63
4.7	SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	64
5	CONCLUSÃO	65
5.1	DIFICULDADES ENCONTRADAS E BENEFÍCIOS DO ESTUDO.....	66
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	67

1 INTRODUÇÃO

Um tema muito discutido nas organizações atualmente é a gestão de ativos, que tem sido cada vez mais importante, pois permite gerenciar os custos, maximizar a disponibilidade e o rendimento dos ativos. A engenharia da confiabilidade suporta de maneira bem sólida a implantação de um sistema de gestão de ativos visto que possui metodologias e ferramentas que visam analisar o desempenho e direcionar as equipes para melhor tomada de decisão.

As siderúrgicas atualmente geram resíduos e estes precisam ser tratados e de alguma maneira reaproveitados dentro dos seus processos. Este é o maior desafio das indústrias atualmente visto que, como mostrado na figura 1, o aço figura entre os materiais mais recicláveis e reciclados do mundo. O setor estimula a coleta e recicla o aço contido nos produtos no final da vida útil, empregando-o na fabricação de novos produtos siderúrgicos, sem qualquer perda de qualidade. Estudos e pesquisas já realizadas não só no Brasil como em outros países demonstraram concreta possibilidade de uso dos coprodutos na indústria da construção civil, pavimentação, indústria cerâmica, agricultura, fabricação de cimento e concreto. O uso de coprodutos da indústria do aço vem propiciando diversos benefícios ambientais tais como:

- Redução de consumo de recursos naturais não-renováveis, como aqueles provenientes da mineração de rochas, areia e outros materiais primários;
- Transformação de um potencial passivo em ativo ambiental, por evitar a destinação desnecessária de materiais a aterros e sua aplicação para fins nobres, como obras de infraestrutura;
- Redução da emissão de gases de efeitos estufa na produção de cimento, devido ao uso de coproduto da indústria do aço em substituição ao clínquer (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2018).

Figura 1 – Ciclo de Vida do Aço



Fonte: Instituto Aço Brasil (2018).

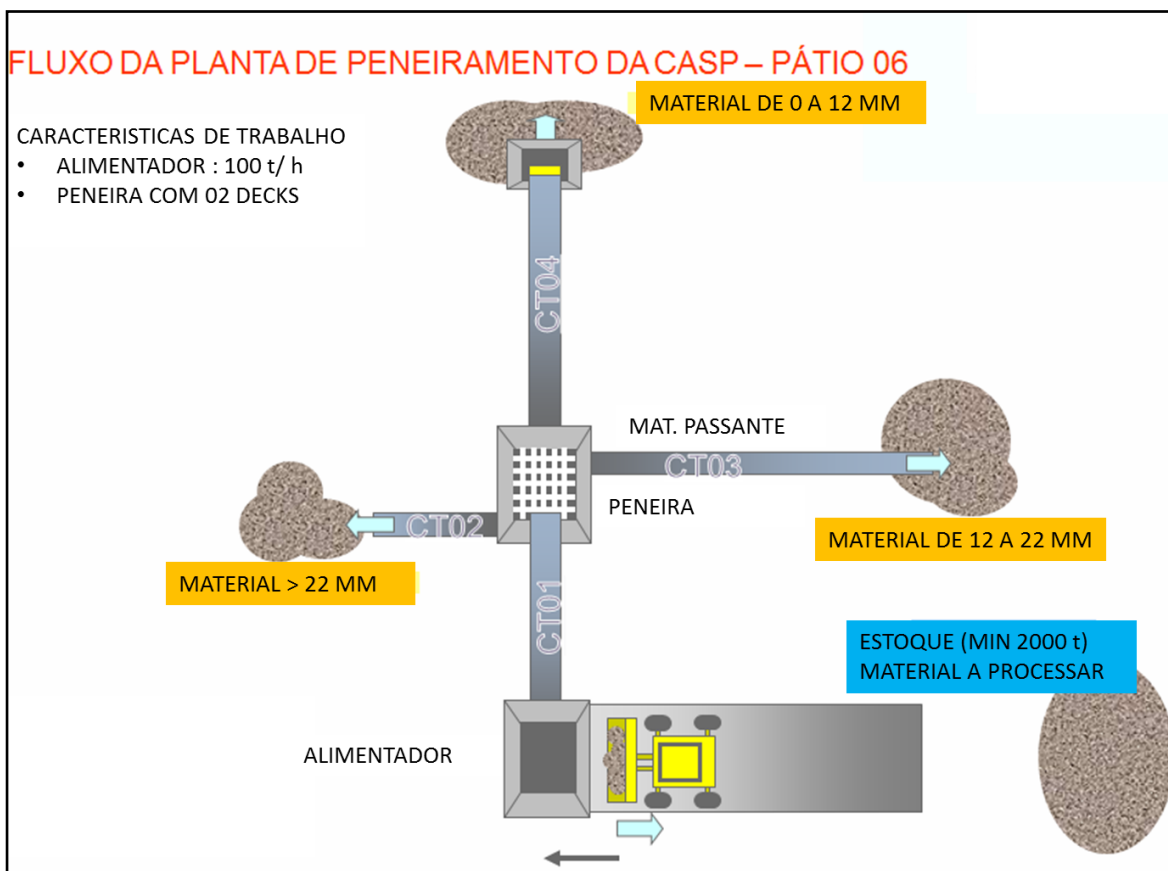
A planta objeto deste estudo é uma planta de beneficiamento de coprodutos denominada CASP. Esta planta beneficia os mais diversos resíduos siderúrgicos entre eles carepa, lixo (resíduos de queda de correias), lama dos alto fornos, lama de aciaria, coque e briquete (coproduto beneficiado que é reutilizado como carga metálica na aciaria).

Os materiais processados na CASP apresentam densidade aparente que variam de 0,5 a 4,5 t/m³, umidade de 15 a 30% e uma distribuição granulométrica de 12 a 200 mm.

A planta da CASP realiza uma separação granulométrica dos resíduos siderúrgicos gerados para posteriormente estes resíduos sofrerem transformações em outras plantas e posteriormente serem reaproveitados dentro dos processos siderúrgicos.

Conforme é mostrado na figura 2, esta planta é constituída de 01 alimentador vibratório, 04 correias transportadoras e 01 peneira vibratória onde é feita a separação granulométrica dos materiais processados.

Figura 2 – Fluxo de produção da planta da CASP



Fonte: Manual Técnico Planta de Coprodutos (2008).

O presente estudo tem por finalidade determinar qual ativo de uma planta de beneficiamento de coprodutos tem maior impacto na maximização da produção, e a determinação deste ativo se dará com a realização da análise RAM.

Após a determinação do ativo que causa maior impacto na produção o presente estudo também visa analisar qual a melhor estratégia para manutenção do ativo considerando a vida econômica. Para isso será adotada a metodologia da análise do custo de ciclo de vida (em inglês LCCA, *Life Cycle Cost Analysis*) que ajudará na tomada de decisão para permanecer com atual sistema de manutenção ou pela completa substituição do ativo considerando o ponto de vista financeiro.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Para a sustentabilidade e competitividade das empresa se torna cada vez mais evidente a necessidade de redução dos custos, com isso é cada vez mais

necessário as pessoas de manutenção trabalharem com a engenharia de confiabilidade buscando assim redução de custos de manutenção, aumento da vida útil dos equipamentos, melhor momento de troca de equipamentos e determinação do melhor momento de substituição dos equipamentos.

A planta da CASP objeto deste estudo é uma planta que tem uma importância no processo produtivo da AMT principalmente no que diz respeito ao processo de reciclagem de resíduos e reaproveitamento deste dentro do próprio processo produtivo. A disponibilidade desta planta tem caído ano a ano, e parte atribuída a queda do KPI está ligada a vida útil dos ativos e ao avançado estado de deterioração dos mesmos. Visando um aumento de disponibilidade desta planta foram realizados estudos de confiabilidade entre eles a análise RAM e o LCCA, para que de posse destes resultados seja possível pela alta gerência uma tomada de decisão mais assertiva possível do que fazer tendo embasamento técnico e financeiro para tal.

Para a realização dos estudos de confiabilidade é necessário ter uma grande quantidade de registros confiáveis de falhas e isso nem sempre é possível podendo assim influenciar nos resultados de análises RAM, e nos resultados de análises de custo de vida de ativos.

É fator primordial para definição do melhor momento de troca de um ativo que se tenha o retorno financeiro do valor investido para aquisição de um novo item, bem como os custos de manutenção para continuidade da vida do ativo sem a completa substituição do item. Tendo-se estas informações através da análise LCC é possível tomar a decisão de continuar com equipamento até a completa extinção do mesmo e com isso colocar o processo em risco e gerar custos maiores, ou partir para uma completa substituição do item antes que a vida útil econômica e técnica se torne inviável.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Determinar através de análise RAM, qual equipamento gera maior impacto para produção da planta de beneficiamento de coprodutos – CASP e de posse da

informação determinar qual a melhor estratégia de manutenção do ativo levando-se em conta sua vida econômica.

1.2.2 Objetivo Específico

Para o cumprimento do objeto geral do trabalho, os seguintes objetivos específicos deverão ser atendidos:

- Levantar os dados de falha e tempos de manutenção de todos os equipamentos da planta;
- Desenvolver um diagrama de blocos de confiabilidade, do inglês *Reability Block Diagram* (RBD);
- Realizar uma análise de sistemas;
- Identificar os “*bad actors*” do sistema;
- Identificar qual equipamento tem maior influência para a confiabilidade do sistema;
- Definir o limite do que está dentro e fora do estudo de análise de custos;
- Levantar os custos atuais e futuros do ativo definido através da análise RAM;
- Estabelecer a metodologia prática mais adequada do LCCA;
- Realizar análise para definir qual a melhor estratégia de manutenção a ser adotada para o ativo estudado;
- Determinar o melhor momento para investir em um novo ativo com especificação mais adequada ao processo;

1.3 JUSTIFICATIVA

O cenário macroeconômico mundial obriga empresas a se tornarem cada vez mais competitivas nos ramos em que atuam. No setor siderúrgico para que estas se tornem competitivas é cada vez mais necessário produzir mais com menos recursos, e para isso os equipamentos devem estar cada vez mais disponíveis e os custos devem ser cada vez mais otimizados, visando com isso uma maior lucratividade das empresas. Neste contexto esse trabalho visa mostrar alguns conceitos de engenharia de confiabilidade através das metodologias de análise RAM e análise de

Custo de Ciclo de Vida que proporcionam agregar as empresas ferramentas para tomada de decisões que visem melhorar a disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade dos equipamentos assim como determinar qual o melhor momento para uma eventual substituição de um equipamento analisando fatores da vida econômica estando este conceito alinhado com a norma que trata da Gestão de Ativos.

A planta de beneficiamento de coprodutos tem uma importância fundamental na cadeia produtiva da AMT, pois ela prepara os resíduos para que sejam reaproveitados em outros processos e retornem a cadeia produtiva da empresa, gerando receitas e economias. Diante disto, é estratégia da empresa buscar alternativas para maximizar a confiabilidade e disponibilidade deste ativo, assim como, definir o melhor momento para a completa substituição de equipamentos da planta considerando sempre sua vida econômica, e assim buscando uma otimização dos custos de manutenção bem como tendo uma melhor organização orçamentária conseguindo assim ter um melhor gerenciamento dos riscos e embasamento técnico para tomada de decisão.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS

O presente estudo busca mensurar em uma planta de beneficiamento de coprodutos denominada CASP qual dos equipamentos da planta gera maior impacto que impede a maximização do produto, ou seja, qual equipamento possui uma menor confiabilidade e conseqüentemente que mais afeta para disponibilidade da planta. Após determinação através de uma análise RAM qual equipamento gera maior impacto para a maximização da produção da planta é realizado uma análise do custo de ciclo de vida do ativo selecionado para determinar o que é mais viável tecnicamente e financeiramente para empresa visto que os equipamentos da planta já são antigos e estão com alto grau de deterioração.

Para realização dos estudos acima citados se faz necessário as etapas de levantamentos de dados, entre eles, dados de falhas, custos de manutenção, custos de implantação de novos equipamentos, análises de investimentos, tempos de reparos dos equipamentos e tempo médio entre falhas dos equipamentos.

Após a fase de levantamento e coleta de dados será aplicado uma metodologia teórica, onde será realizado a modelagem e simulação visando definir com isso, o equipamento a ser estudado para realização da análise do custo do ciclo de vida, e assim mostrar para a empresa através de parâmetros técnicos qual é a melhor decisão a ser tomada para realização de um investimento e quais os impactos de uma possível postergação dos investimentos na planta de beneficiamento de coprodutos.

Segundo Silva e Menezes (2005), esta pesquisa é classificada quanto a natureza em pesquisa aplicada, quanto a abordagem do problema é classificada em pesquisa quantitativa, quanto aos objetivos é classificada como pesquisa exploratória e quanto aos procedimentos técnicos esta pesquisa é classificada como estudo de caso.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A organização desse trabalho foi feita buscando a separação dos assuntos em cinco capítulos, visando organizar e facilitar o entendimento. Esses capítulos estão detalhados da seguinte maneira:

- Capítulo 1: Introdução;
- Capítulo 2: Planta de Beneficiamento da CASP;
- Capítulo 3: Referencial Teórico;
- Capítulo 4: Desenvolvimento;
- Capítulo 5: Conclusão;

O Capítulo 1, responsável pela Introdução do trabalho, busca contextualizar o problema a ser estudado, mostrando desde a importância de beneficiamento de coprodutos no cenário siderúrgico atual com grande importância para o cunho ambiental até o sistema que será objeto de estudo neste trabalho. Também apresenta as diferentes ferramentas da Engenharia de Confiabilidade, sua importância e os seus benefícios, permitindo definir o problema e escopo a ser estudado. Nessa fase as premissas e restrições também são definidas.

O Capítulo 2 expõe a planta de beneficiamento de coprodutos da CASP, detalhando seu papel e importância dentro do processo siderúrgico da ArcelorMittal Tubarão. Este capítulo também detalha as funções dos principais sistemas da planta detalhando de forma mais específica os sistemas que serão objeto de aplicação das metodologias compostas no presente estudo.

O Capítulo 3 apresenta a fundamentação teórica da Análise RAM, os conceitos necessários para entendimento da metodologia proposta e define o modelo da Análise RAM a ser aplicada. Este capítulo também mostra o referencial teórico para Análise do Custo do Ciclo de Vida. Serão evidenciados os principais fatores motivacionais para a substituição de ativos bem como os principais modelos de Análise de Investimento que auxiliam na tomada de decisão.

O Capítulo 4 aplica o modelo de Análise RAM proposto na Planta de Beneficiamento da CASP para definição de qual subsistema gera maior impacto na confiabilidade e disponibilidade do sistema global (Planta). Após definição do subsistema é realizado um detalhamento e levantamento dos custos tanto para aquisição de novo ativo quanto para manutenção, apresentando a vida útil econômica do ativo e detalhando a evolução dos custos para uma análise da melhor época de substituição do ativo.

O Capítulo 5 apresenta uma síntese dos resultados obtidos após a realização da análise RAM bem como as ações de controles para maximização da confiabilidade e disponibilidade do sistema completo. O capítulo também apresenta os resultados da avaliação da vida econômica do subsistema que gera maior impacto na confiabilidade e disponibilidade do sistema, bem como melhor alternativa financeira para substituição ou manutenção do equipamento que estão alinhados aos conceitos da Gestão de Ativos.

2 PLANTA DE PENEIRAMENTO

A planta estudada neste trabalho é uma planta de peneiramento de coprodutos denominada CASP e como as demais plantas de peneiramento espalhadas pelo mundo, esta, possui equipamentos específicos para que o processo de peneiramento e separação dos materiais por granulometria se torne possível. As plantas de peneiramento basicamente são compostas por Moegas alimentadoras, Correias transportadoras, Peneiras, onde é realizado a separação dos materiais por granulometrias, e algumas plantas possuem britadores e rebritadores, equipamentos estes que não fazem parte da planta em estudo.

Figura 3 – Exemplo de Planta de Peneiramento



Fonte: Manual Técnico de Britagem (2016).

A planta da CASP da AMT é responsável pelo processamento e separação de restos de materiais que são produzidos por outras plantas além de realizar a descontaminação de alguns materiais que passam pela planta entre eles o Briquete que é levado para a CASP apenas para separação e retirada dos finos gerados durante o processo de produção. Outros materiais que também são processados na planta são carepa, lama de aciaria, lama de alto forno, lixo industrial, coque e escória de KR. Conforme mostrado na figura 2 a planta da CASP é responsável por

realizar a separação até 22mm, de 12 a 22 e de 0 a 12 mm, e esta separação é realizada por uma peneira existente na planta onde também existem 04 correias transportadoras e 01 moega alimentadora. Juntos estes equipamentos são responsáveis pela produção da planta e pela disponibilidade, visto que estes apresentam modos de falhas distintos que influenciam principalmente devido ao tempo de intervenção preventivo e principalmente devido a ocorrência de falhas. Estas falhas no último ano foram responsáveis por impactar em 15 % na disponibilidade total da planta gerando custos elevados de manutenção além de constantes perdas de produção.

2.1 ALIMENTADORES

Os alimentadores são equipamentos utilizados para realizar a transferência de materiais de forma controlada e assim levá-los até ao equipamento seguinte realizando o controle do fluxo dos materiais ou até mesmo interrompendo o fluxo caso seja necessário durante o processo produtivo.

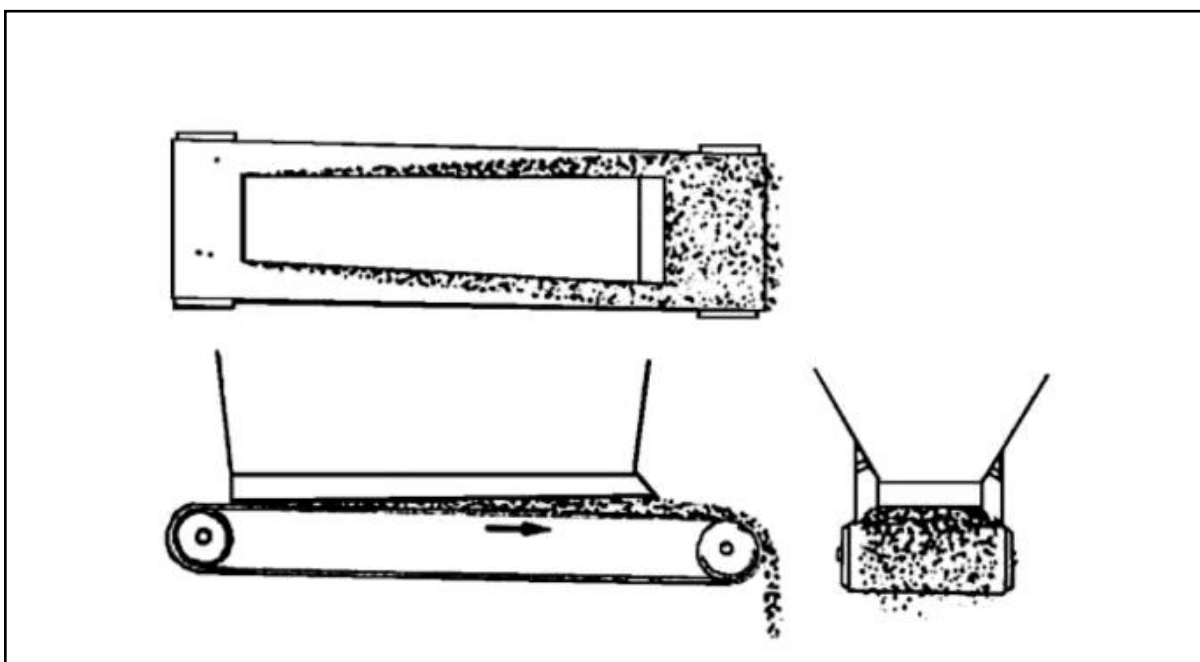
O alimentador é um conjunto composto pelo alimentador propriamente dito e por uma calha chamada de moega que serve para realizar o controle de vazão do material conforme é mostrado na figura 4.

Algumas características são essenciais para que haja uma boa performance dos alimentadores entre elas podemos citar:

- O alimentador deve ser curto;
- A inclinação da parede traseira e frontal da moega deve ser suficiente para permitir livre escoamento de material;
- A largura da boca deve ser no mínimo 2,5 vezes do maior fragmento presente na alimentação;
- A moega deve facilitar o escoamento do material não criando acúmulo de materiais na mesma;

Essas regras são importantes para um bom escoamento dos materiais que tem boa fluidez, e para os materiais que não possuem uma boa escoabilidade se faz necessário soluções especiais.

Figura 4 – Modelo da Moega de Alimentadores



Fonte: Chaves (2012).

A figura 4 mostra o descarregamento de material da moega do alimentador com controle de vazão de material para correia, equipamento este que é essencial para uma correta alimentação de plantas onde a alimentação é realizada com pá carregadeiras.

2.1.1 Tipos de Alimentadores

Existem vários tipos de alimentadores e a correta especificação de um alimentador depende de fatores como a propriedade dos materiais, a escala de produção, o arranjo de montagem, a precisão e as características de processo. Em função dos fatores citados podemos separar os alimentadores por modelos e tipos e cada qual se adequa a uma ou mais características citadas anteriormente. Sendo assim podemos citar os tipos de alimentadores como segue:

- alimentador de sapata;
- alimentador de esteiras;
- alimentador vibratório;
- alimentador de gaveta;

- alimentador de espiral ou parafuso;
- alimentadores especiais. (CHAVES, 2012)

Figura 5 – Fotos do alimentador vibratório da planta da CASP



Fonte: Manual Técnico Planta de Coprodutos (2008).

Conforme mostrado na figura 5, o alimentador utilizado na planta da CASP é do modelo vibratório e como citado ele possui características que são essenciais para o perfeito escoamento do material que é produzido na planta.

2.2 CORREIAS TRANSPORTADORAS

Na planta da CASP existem 04 correias transportadoras, que realizam o transporte do material da moega alimentadora até a peneira vibratória onde ocorre a separação granulométrica e posteriormente o material é transportado da peneira para as pilhas conforme o dimensionamento.

Correias transportadoras são equipamentos capazes de realizar o transporte de grande quantidade de materiais por longas distâncias reduzindo com isso os custos de transporte. A seleção de uma correia transportadora depende de alguns fatores que se bem definidos reduzem os custos de implantação bem como de manutenção dos equipamentos. Entre os fatores primordiais para a correta seleção de um transportador é possível citar:

- Características do material transportado;
- Condições de serviço;

- Inclinação dos roletes;
- Largura da Correia;
- Tensão máxima da Correia;
- Tempo de percurso completo da correia;
- Temperatura do material transportado.

Conforme mostrado na tabela 1 as correias da CASP possuem dimensões diferentes, e estas foram assim dimensionadas conforme necessidade quantitativa do material passante bem como suas características físicas e dimensionais.

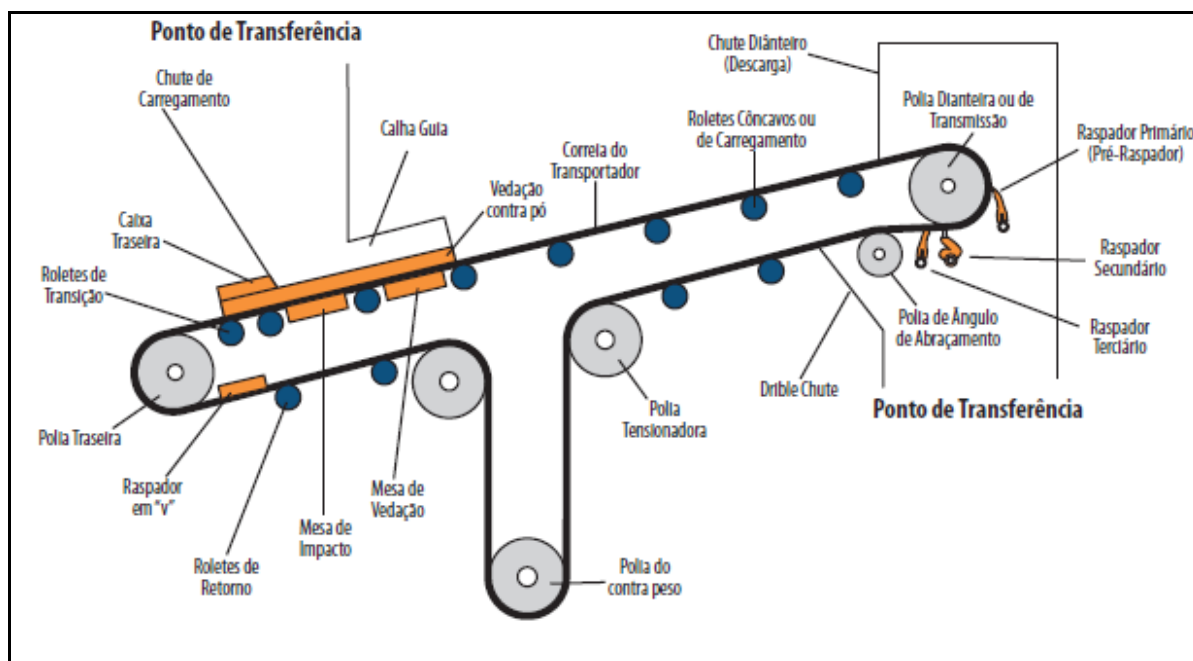
Tabela 1 – Dimensionamento das Correias Transportadoras da CASP

CASP	Largura das Correias	Comprimento das Correias
CT01	48”	58 m
CT02	24”	32 m
CT03	42”	64 m
CT04	24”	32 m

Fonte: O Autor (2019).

As correias transportadoras são constituídas por seis componentes principais que possibilitam que o material seja transportado de um ponto ao outro na quantidade e tempo requerido. Entre os componentes podemos citar a correia propriamente dita, as polias ou tambores, a transmissão, a estrutura, os sistemas de suporte da correia e os pontos de transferência. Além desses componentes principais, todas as correias também possuem elementos auxiliares ou secundários que são necessários para melhorar a operação dos sistemas.

Figura 6 – Componentes de uma Correia Transportadora



Fonte: Swinderman et al (2009).

A figura 6 mostra os componentes auxiliares e os componentes principais que são necessários para o perfeito funcionamento de uma correia transportadora.

2.2.1 Correia

A correia é um componente que forma a superfície móvel sobre a qual o material viaja. É composto de material de borracha que possuem característica de resistência a abrasão, algumas com resistência a pequenas temperaturas e possuem uma malha de aço que proporcionam uma boa resistência a tração ao qual o componente é submetido. Para que a correia possua uma vida útil adequada se faz necessário alguns cuidados, principalmente relacionados ao manuseio para que não ocorra danos as camadas e a superfície da correia. As correias devem ser enroladas em um núcleo, devidamente apoiadas, rodadas em um suporte e devidamente protegidas. Além dos danos de manuseio outros danos podem ser causados as correias como por exemplo, o transporte de materiais pontiagudos, a união incorreta da correia, o transporte de materiais a temperaturas superiores ao especificado para a correia.

Figura 7 – Defeitos de Correias



Fonte: Swinderman et al (2009).

A figura 7 mostra dos principais defeitos de correias transportadoras que podem causar problemas durante o transporte dos materiais.

2.2.2 Polias ou Tambores

Os tambores são os elementos responsáveis pelo apoio e movimento da correia fazendo o controle da tensão. Normalmente uma correia transportadora é dotada de 02 tambores sendo um denominado tambor de cauda, e outro denominado tambor de cabeça ou de transmissão. Apesar desta configuração ser a mais comum em transportadores de dimensões pequenas, em transportadores maiores se faz necessário o uso de tambores intermediários ao longo da correia que exercem a função de tensionamento na correia. A forma construtiva dos tambores é composta de uma peça cilíndrica em aço com eixo também em aço que são apoiados em mancais que possibilitam que estes tambores sejam um elemento girante. Além das peças metálicas o tambor é composto por um revestimento que pode ser em borracha ou cerâmico que exerce a função de fricção na correia fazendo assim com que a mesma se movimente.

2.2.3 Transmissão

A transmissão é a parte da correia responsável pelo fornecimento de energia para que um ou mais tambores realizem o movimento da correia. A transmissão é composta por um motor normalmente elétrico que aciona um redutor que é responsável pela relação necessária para que a correia atinja a velocidade especificada. Quanto maior a velocidade requerida da correia, maiores deverão ser a capacidade dos motores e redutores. Algumas correias são dotadas de inversores de frequência para que a partida seja realizada de forma mais suave e isso se faz necessário de acordo com as características construtivas do transportador.

2.2.4 Estrutura

A estrutura é o componente responsável por suportar e alinhar os componentes rolantes do transportador. A estrutura é realizada normalmente em aço carbono estrutural e são dimensionadas e projetadas conforme a capacidade de transporte requerida levando-se em consideração o volume transportado e a largura da correia. Esta é um dos principais componentes do transportador, pois caso este componente esteja mal dimensionado pode gerar graves acidentes face ao colapsamento da estrutura pelo fato de não suportar o peso transportado. Como este componente é em aço estrutural está sujeito as intempéries que podem gerar redução da massa estrutural ao longo do tempo, causando o colapso no transportador. Por este fato é de suma importância que sejam realizadas inspeções regulares nas estruturas dos transportadores e que sejam sempre mantidos limpos. Face a isto o papel da manutenção e operação são primordiais para uma boa manutenção e inspeção dos componentes estruturais de um transportador de correias.

Figura 8 – Colapso em estrutura de Transportador de Correia



Fonte: Acervo Técnico Pericial Mina Conceição (2003).

A figura 8 mostra a estrutura de uma correia colapsada pelo efeito da degradação estrutural ao longo do tempo.

2.2.5 Sistemas de suporte da Correia

Os sistemas de suporte da correia são os elementos que apoiam os filamentos de carregamento e retorno da correia. Estes elementos são os cavaletes, as guias laterais, os rolos e as mesas de impacto que são partes fundamentais para que o transportador funcione. Todos estes elementos possuem modelos diferentes e cada modelo possui uma particularidade para a perfeita montagem num transportador e cada elemento deste exerce uma função e a perda da função de um destes elementos pode gerar falhas no transportador ou até mesmo parada completa no mesmo.

2.2.6 Pontos de Transferência

Os pontos de transferência são os pontos do transportador responsáveis pelo carregamento e descarregamento dos materiais. Normalmente são constituídos de estruturas metálicas com revestimentos resistentes ao desgaste e abrasão.

2.2.7 Componentes Auxiliares ou Secundários

Estes elementos são os responsáveis pela manutenção da limpeza e pela extinção da emissão de particulados durante o processo do transporte dos materiais. Os raspadores primários, secundários e terciários são elementos que funcionam realizando a raspagem do material residual existente no retorno das correias evitando que o material caia no chão, ou seja, carreado para a cauda do transportador gerando transtornos operacionais e até parada do transportador. Os limpadores exercem função similar aos raspadores, porém realizam a limpeza da parte superior do retorno da correia. Os canhões de ar e os vibradores são equipamentos que são instalados nas calhas e exercem a função de desobstruir as calhas de carregamento e descarregamento. (SWINDERMAN et al, 2009)

2.3 PENEIRA VIBRATÓRIA

Os objetivos do peneiramento é preparar o material para a venda ou para um processo a seguir, é um método de análise físico (granulométrica) para o controle da eficiência de outras operações básicas como é a britagem, moagem, concentração e flotação de minérios, também o peneiramento determina o valor (importância) do produto para algumas aplicações específicas.

O peneiramento pode ser aplicado para depuração inicial, desaguamento, lavagem de minério, recuperação de médios, classificação granulométrica de produtos e separação de lixos. (MANUAL DE BRITAGEM FAÇO, 1985)

Na planta da CASP a principal função realizada pela peneira vibratória é a de classificação granulométrica e a separação de lixos.

Uma máquina vibratória possui características peculiares que permitem a realização da separação granulométrica de materiais, bem como separação de lixo e

desaguamento dos materiais sendo estas as atividades que a peneira da CASP realiza.

As peneiras de acordo com a necessidade de separação podem possuir mais de uma malha onde é realizado o corte do material, normalmente até em função do tamanho das estruturas, as peneiras possuem 02 decks, caso da peneira da CASP ou 03 decks.

Uma peneira vibratória possui componentes que se não forem bem mantidos podem causar problemas de contaminação de materiais ou até mesmo um colapso da peneira conforme mostrado na figura 9 e assim paradas não previstas que geram impactos nos processos das plantas onde estão instaladas.

Figura 9 – Estrutura colapsada de uma Peneira Vibratória



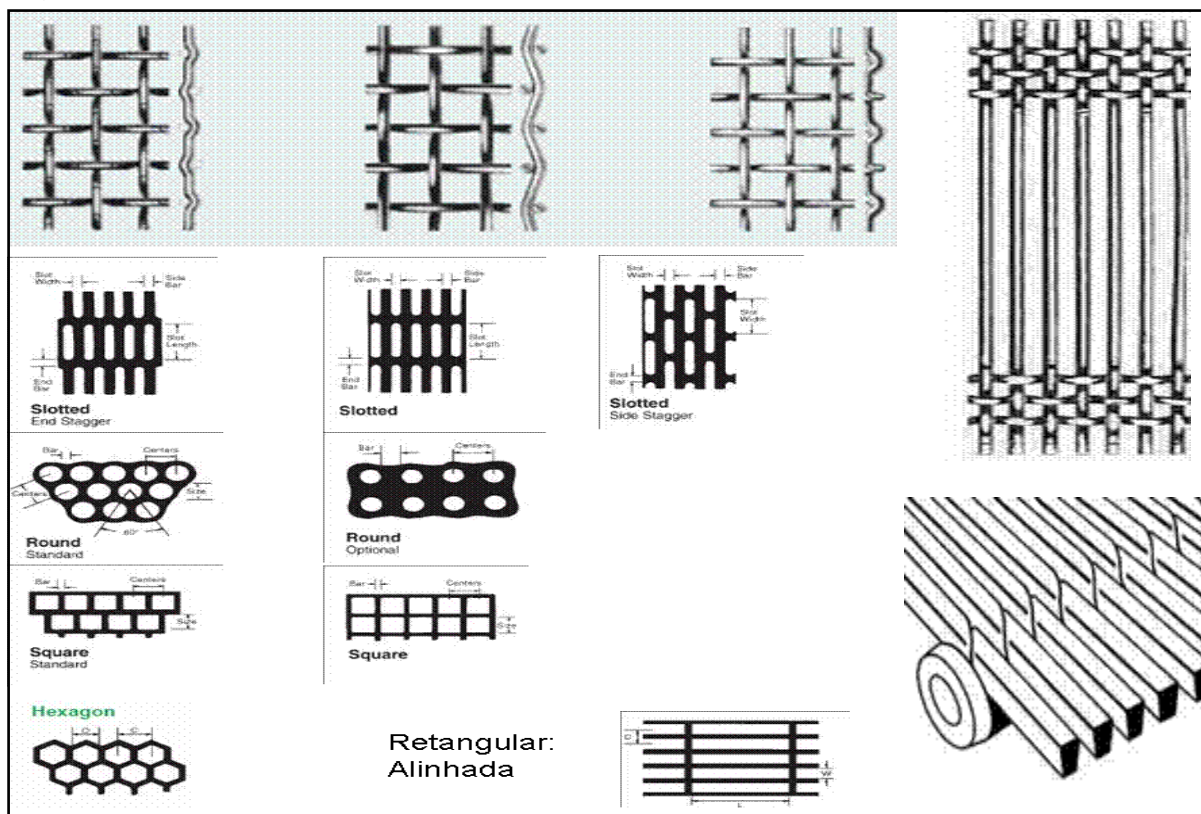
Fonte: O Autor (2015).

Os principais componentes das peneiras são as telas que são os elementos responsáveis pela separação granulométrica dos materiais, as molas que são os elementos que auxiliam no processo vibratório da peneira, o sistema de acionamento com as massas vibratórias que também auxiliam no processo vibratório e as estruturas e espelhos que são responsáveis por suportar o material que passa pelo equipamento e é separado pela mesma.

O componente que é responsável pela classificação dos materiais são as telas, e existem vários tipos de telas que são fabricadas de vários tipos de materiais. Hoje os materiais mais usados são os de aço carbono, aços liga, aços inox e mais recentemente dependendo da aplicação estão sendo usadas telas de polipropileno

que possuem além de uma boa resistência a abrasão, além de uma maior facilidade de montagem e substituição, pois estas são montadas em módulos.

Figura 10 – Modelos e formatos de tela para peneiras



Fonte: Manual de Britagem Faço (1985).

A figura 10 mostra os mais diversos tipos e modelos de telas de peneira vibratória. Durante a seleção de uma peneira é primordial que a tela esteja bem definida para o material que passará pela mesma.

2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados todos os subsistemas que compõem a planta de peneiramento da CASP, buscando detalhar como cada um realiza sua função específica dentro do processo. A planta da CASP é o objeto de aplicação da análise RAM e de posse da informação do estudo será dada uma prioridade ao equipamento que gera maior impacto a disponibilidade da planta e posterior, este

será estudo de um LCC para verificação de qual a melhor estratégia de manutenção deverá ser adotada levando-se em conta o fator financeiro.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão mostrados os conceitos da engenharia de confiabilidade, bem como o referencial teórico dos métodos de engenharia quantitativa que serão abordados para o desenvolvimento do estudo de caso, sendo a Análise RAM e o LCC os métodos utilizados.

3.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE CONFIABILIDADE

Segundo a NBR 5462 (1994), confiabilidade é a probabilidade de um item operar por um determinado tempo sem falhas. Mais genericamente, confiabilidade é a capacidade de partes, componentes, equipamentos, produtos e sistemas realizarem suas funções requeridas por períodos desejados sem falha, em ambientes específicos e com a confiança desejada.

3.1.1 Sistemas

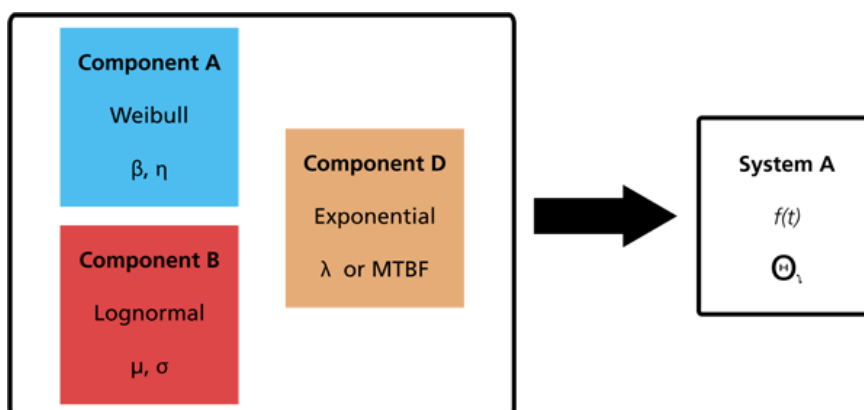
Para Confiabilidade, um sistema é uma coleção de itens, subsistemas, montagens e/ou um componente arranjados de forma lógica afim de permitir que este possa alcançar uma funcionalidade desejada. A análise de confiabilidade é construída a partir de um modelo de distribuição de vida que indica os tempos até a falha de todo o sistema com base nas distribuições de vida dos componentes. Os sistemas podem ser geralmente classificados em sistemas não reparáveis e reparáveis (PALLEROSI, 2007).

Sistemas não reparáveis são aqueles que não são reparados quando falham e seus componentes não são reparados e são substituídos quando falham.

Sistemas reparáveis são aqueles que são reparados quando falham e estes possuem dois tipos de distribuições: distribuições de falha e distribuições de reparo.

A distribuição de falha descreve o tempo que leva para um componente falhar, e a distribuição de reparo descreve o tempo necessário para reparar um componente. (RELIAWIKI, 2017)

Figura 11 – Modelos de distribuição de vida dos componentes de um Sistema



Fonte: Reliawiki (2015).

A figura 11 mostra exemplos de distribuição de vida de componentes aleatórios onde juntos se caracterizam num sistema. Pode-se avaliar um sistema pelas curvas de confiabilidade e manutenibilidade dos componentes e assim traçar a curva do sistema.

3.1.2 Classificação dos Dados de Vida

Na análise de dados de vida são usados todos os conjuntos de dados disponíveis e estes muitas vezes estão incompletos ou incluem incerteza quando da ocorrência de uma falha, sendo assim os dados de vida podem ser separados em dados completos, onde todas as informações estão disponíveis, e dados censurados, onde há falta de algumas informações da vida do ativo.

3.1.2.1 Dados Completos

Dados completos significam que o valor de cada unidade da amostra é observado ou conhecido, ou seja, é conhecido o tempo até a falha de todos os dados da amostra. Por exemplo, se fossem testadas cinco unidades e todas elas falhassem (e seus tempos até a falha fossem registrados), haveria então informações completas como o tempo de cada falha na amostra

3.1.2.2 Dados Censurados à direita

Dados censurados à direita ocorrem quando a falha ocorre após o intervalo de tempo determinado para a análise, ou seja, a falha ocorreria em algum momento após o nosso ponto de dados (ou à direita na escala de tempo). No caso dos dados de vida, estes conjuntos de dados são compostos de unidades que não falharam. Por exemplo, se forem testadas cinco unidades e somente três falharam ao final do teste, seriam dados censurados à direita (ou dados suspensos) as duas unidades que não falharam.

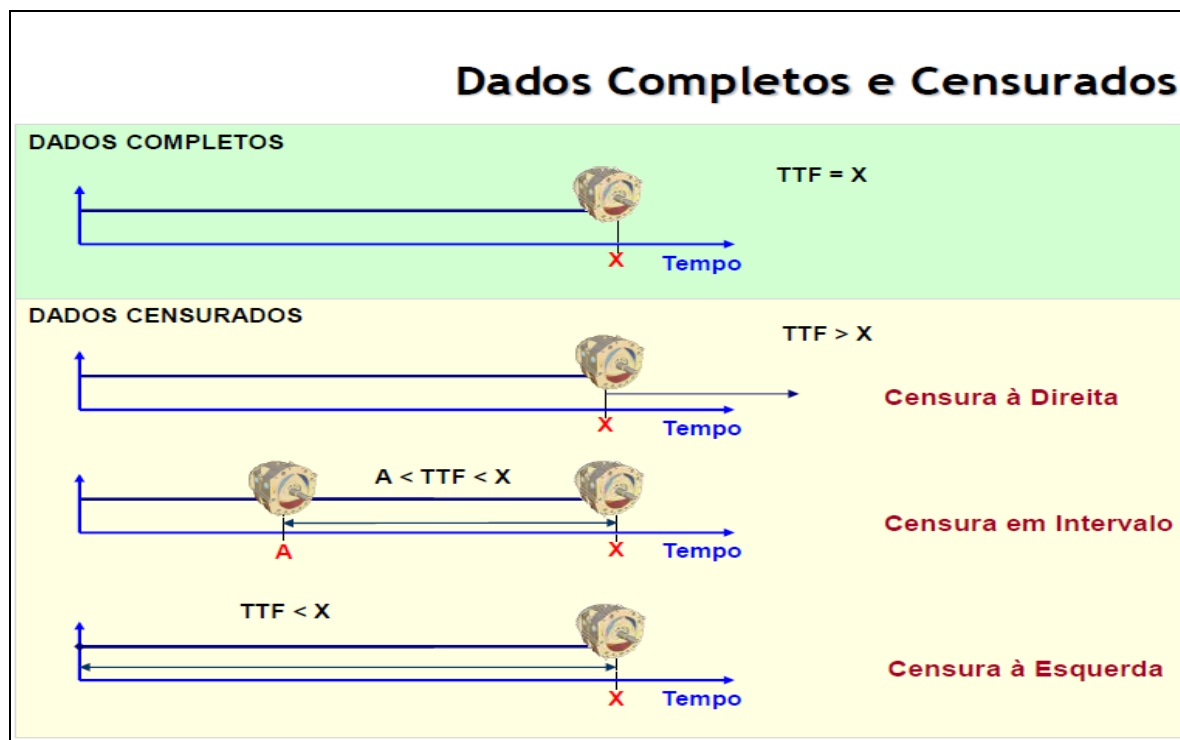
3.1.2.3 Dados em Intervalo

Os dados censurados por intervalo refletem a incerteza quanto aos tempos exatos em que as unidades falharam em um intervalo, e este tipo de dado geralmente vem de testes ou situações em que os objetos de interesse não são monitorados constantemente. Os dados em intervalo são menos informativos em comparação com os dados completos, no entanto, há casos onde os dados de intervalos são inevitáveis devido à natureza do produto, ao teste e ao equipamento de teste. Nestes casos, é necessária uma atenção para ajustar os intervalos de inspeção reduzidos o bastante para observar o comportamento das falhas.

3.1.2.4 Dados censurados à esquerda

Nos dados censurados à esquerda, um tempo de falha só é conhecido antes de um certo tempo específico, ou seja, a falha ocorreu antes do período de observação, porém não se sabe o momento exato da sua ocorrência. Por exemplo, sabe-se que determinada unidade falhou algum tempo antes de 50 horas, mas não se sabe exatamente quando, ou seja, a falha pode ter ocorrido num tempo entre 0 e 50 horas. Isto é idêntico aos dados censurados em intervalo, onde o tempo de início para o intervalo é zero (RELIAWIKI, 2017).

Figura 12 – Classificação de Dados de Vida de Ativos



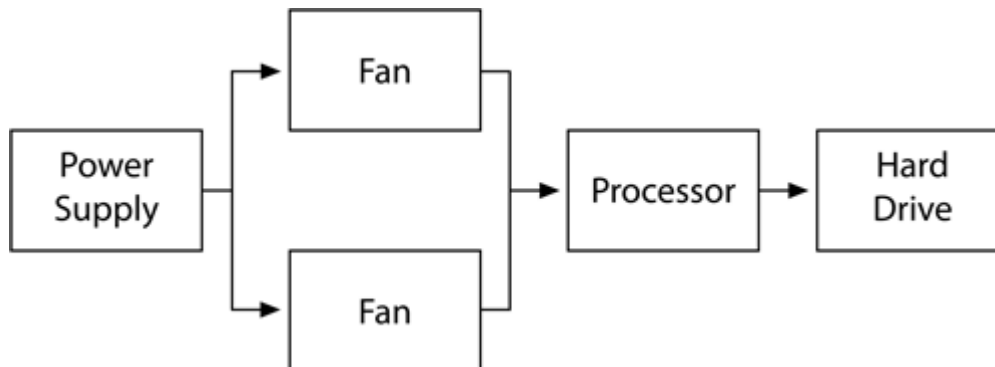
Fonte: Apostila G400 Reliasoft (2014).

A figura 12 exemplifica a classificação dos dados de vida dos equipamentos mostrando os tipos de dados que existem para levantamento das curvas de falha.

3.2 DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE

Diagramas de blocos são amplamente utilizados em engenharia e ciência e existe em várias formas diferentes. Eles podem também ser usados para descrever a inter-relação entre os componentes e para definir o sistema. Quando usado desta maneira, o diagrama de blocos é então conhecido como diagrama de bloco de confiabilidade (RBD – *Reliability Block Diagram*). Um diagrama de blocos de confiabilidade é uma representação gráfica dos componentes de um sistema e como eles estão logicamente conectados sob o aspecto da confiabilidade. Deve-se notar que o diagrama pode ser diferente em relação à forma como os componentes estão conectados fisicamente. É mostrado abaixo um RBD de um sistema simplificado de computador com uma configuração de ventilador redundante.

Figura 13 – Diagrama de Blocos de Confiabilidade



Fonte: Reliawiki (2015).

Existem tipos de configurações do diagrama de blocos que proporcionam características independentes e diferentes umas das outras.

3.2.1 Configuração em Série

Os blocos são conectados em série e nesta configuração se qualquer dos componentes falhar todo o sistema irá falhar.

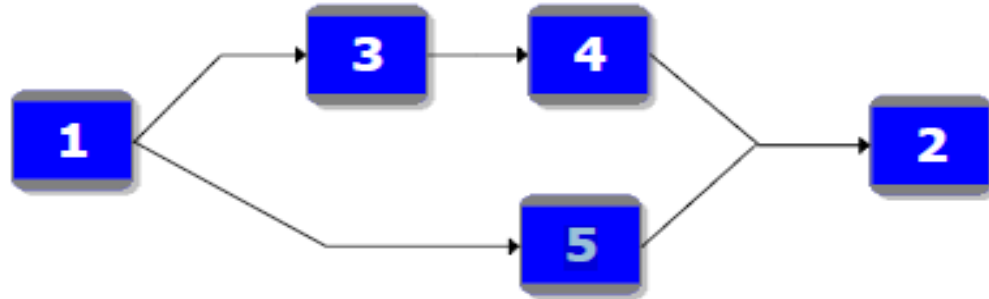
3.2.2 Configuração em Paralelo

Nesta configuração os blocos são conectados em paralelo (redundância) e o sistema somente apresentará falha, se todos os componentes do sistema falharem. No mínimo um componente do sistema deverá ter sucesso para que o sistema não falhe.

3.2.3 Configuração Composta

Esta configuração apresenta uma mistura entre os sistemas série e paralelo.

Figura 14 – Diagrama de blocos na configuração composta



Fonte: Reliawiki (2015).

A figura 14 mostra uma configuração de sistema composta onde podem ser analisados pelos cálculos das confiabilidades individuais dos sistemas em série e dos sistemas em paralelo.

3.2.4 Configuração Complexa

Esta configuração não pode ser expressa como simples combinações de configurações série ou paralela e, portanto, requerem um tratamento analítico mais avançado. Configurações complexas são necessárias quando muitas redundâncias estão presentes, é necessário levantar a confiabilidade de sistemas de rede, é utilizado blocos para representar a análise de modos de falha e também para executar análises diferentes de confiabilidade (RELIAWIKI, 2015).

3.3 ANÁLISE RAM

A análise RAM (*Reliability, Availability and Maintainability*) tem como objetivo avaliar o desempenho de um equipamento ou sistema através da definição e melhoria dos equipamentos críticos, para que o sistema atinja a disponibilidade necessária.

Para realização da análise RAM é necessário o levantamento dos modos de falha dos equipamentos, que causam perda para o sistema estudado, o histórico de falhas e o tempo necessário para reparar cada modo de falha. O segundo passo dessa análise é modelar o sistema segundo a metodologia do Diagrama de blocos,

que representa cada equipamento considerado no sistema em série ou em paralelo, dependendo da lógica de perda gerada para o sistema. O terceiro passo é a simulação direta, que descreve o comportamento do sistema ao longo do tempo segundo as características de falha e reparo de cada equipamento, dando o resultado de disponibilidade final do sistema, sendo possível observar a contribuição no percentual de perdas de cada equipamento no sistema (RELIAWIKI, 2015)

3.3.1 Modelagem de Sistema

Na análise de confiabilidade do sistema, é construído um modelo do sistema, a partir dos modelos dos componentes. Em outras palavras, preocupa-se com a construção de um modelo (distribuição de vida) que represente os tempos até falha do sistema completo baseado na distribuição de vida dos subsistemas, conjuntos e/ou componentes (“caixas pretas”) que compõem o sistema (RELIAWIKI, 2015).

3.3.2 Diagramas Analíticos

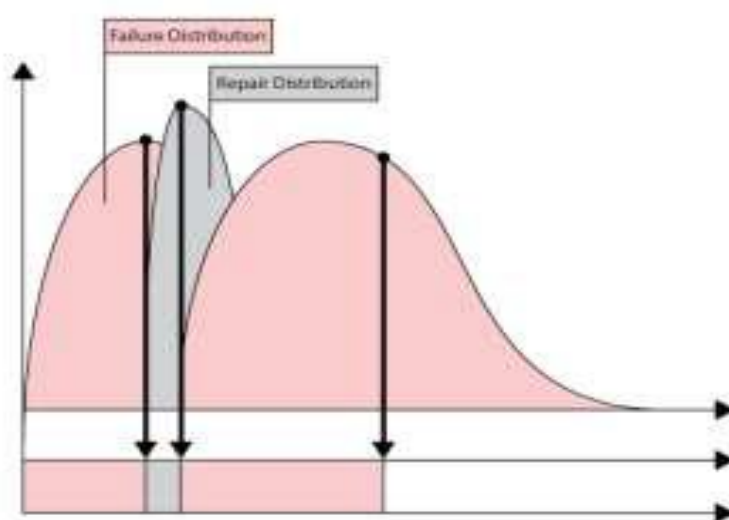
A abordagem analítica envolve a determinação de uma expressão matemática que descreve a confiabilidade do sistema em termos de confiabilidades dos seus componentes. Diagramas analíticos são apropriados quando se está realizando “análise de confiabilidade”. No contexto do BlockSim, o termo “análise de confiabilidade” é usado para se referir a todas análises que não incluem reparos ou restaurações do componente. Quando se considera somente as características de falha dos componentes, a abordagem analítica pode ser usada. Entretanto, quando ambas características de falha e manutenção necessitam serem consideradas, o método de simulação deve ser utilizado para levar em conta os eventos adicionais.

3.3.3 Diagramas de Simulação

Em contraste aos diagramas analíticos, os diagramas de simulação levam em conta reparos e ações de restauração, incluindo comportamentos de equipes, sobressalentes, rendimento, etc. Estas ações significam que a idade dos componentes do sistema não é mais uniforme e também o tempo de operação do sistema não é contínuo. Se alguém inclui informação de características de reparo e manutenção dos componentes e recursos disponíveis no sistema, outras informações também podem ser analisadas/obtidas, como a disponibilidade do

sistema, rendimento, utilização de sobressalentes, custo do ciclo de vida, etc. Isto pode ser obtido através de simulação de eventos discretos. Em simulação, tempos de falhas randômicos são gerados de cada distribuição de falha do componente. Esses tempos de falha são então considerados de acordo com o modo que os componentes estão arranjados logicamente dentro do sistema. Os resultados globais são analisados para determinar o comportamento do sistema completo. Em um caso probabilístico, as falhas e reparos não acontecem em um tempo fixo ou com uma duração fixa, ao contrário, ocorrem randomicamente e baseados na distribuição relacionada (RELIAWIKI, 2015).

Figura 15 – Visão Probabilística Randômica de Distribuição de Falhas e Reparos



Fonte: Reliawiki (2015).

A figura 15 representa o modelo de simulação que utiliza tempos de falha randômicos da distribuição de falha e da distribuição de reparo para projetar os dados de confiabilidade do sistema.

3.4 CUSTO DO CICLO DE VIDA DOS ATIVOS

Após determinação através da análise RAM de qual equipamento tem maior impacto para a disponibilidade da planta, será feito o estudo de LCC para determinar qual a melhor alternativa para o equipamento selecionado levando em conta o fator econômico-financeiro. Custo do ciclo de vida é o custo total de possuir uma máquina

ou equipamento, incluindo seus custos de aquisição, operação, manutenção e/ou descarte. (BRANCO FILHO, 2006)

O custo do ciclo de vida de um ativo é definido como o custo total, em um valor presente que inclui os custos iniciais (projeto), manutenção, substituições e reparos e todos os custos ao longo do tempo de vida útil ou ciclo de vida deste ativo.

O LCCA é um processo de avaliação econômica do custo total de um ativo analisando seus custos iniciais, descontos praticados e despesas futuras tais como manutenção, utilidades, operação e outros custos efetivados durante a vida útil ou ciclo de vida do ativo (FULLER et al, 1995)

O objetivo de uma análise de LCC é a de escolher a alternativa mais barata após uma comparação com diversas alternativas de forma a alcançar o menor custo total durante a vida do componente.

Ao realizar um estudo de LCC é necessário levar em conta o valor presente líquido dos custos, considerando a depreciação, impostos e o valor presente.

A metodologia de LCCA reúne conceitos fundamentais à sua aplicação, tendo as disciplinas matemática financeira, gestão de investimentos, análise de dados de vida, análise de confiabilidade de sistemas e análise RAM envolvidas no seu processo de desenvolvimento (BARRINGER, 2003).

3.4.1 Métodos de análise de Investimentos

Existem alguns métodos para se determinar o momento ideal para substituição de ativos depreciáveis ou analisar alternativas de investimentos que auxiliam na tomada de decisão.

3.4.1.1 Fluxo de Caixa

É a representação linear da série de pagamentos (saídas) e/ou recebimentos (entradas) em espécie que estão previstos ocorrerem no tempo de operação do projeto.

3.4.1.2 Payback Simples

O período de tempo necessário para se recuperar o investimento, ignorando a taxa de juros ou TMA.

3.4.1.3 Payback Descontado

O Payback Descontado é o período de tempo necessário para se recuperar o investimento, considerando a taxa de juros ou TMA aplicada.

3.4.1.4 Valor Anual Equivalente

Este método consiste em achar a série uniforme anual equivalente ao fluxo de caixa dos investimentos à Taxa Mínima de Atratividade, ou seja, acha-se uma série uniforme equivalente a todos os custos e receitas para cada projeto utilizando a TMA. O melhor projeto é o que tiver maior saldo positivo (CASSAROTO FILHO et al, 2010)

$$VAE = VPL \cdot \frac{(1+i)^n \times i}{(1+i)^n - 1}$$

3.4.1.5 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa que no cálculo do VPL retorna o valor presente líquido a zero.

$$FC_0 = \sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \right)$$

3.4.1.6 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é um indicador financeiro utilizado para calcular a atratividade de investimentos. Faz análise calculando a somatória do valor presente de cada período da série dos pagamentos (ou recebimentos) a uma taxa de juros

conhecida e deduz desta o valor inicial deste fluxo, ou seja, o investimento, financiamento ou empréstimo.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1+i)^t} \right) - FC_0$$

3.4.1.5 Custo Anual Equivalente

O custo anual equivalente (CAE) é um indicador financeiro utilizado para comparar alternativas distintas de um investimento. Representa o custo que determinado fluxo de caixa pode sofrer periodicamente. É feita reduzindo o fluxo de caixa a uma série uniforme equivalente, com o uso da taxa mínima de atratividade (TMA)

$$CAE = VPL \cdot \frac{(1+i)^n \times i}{(1+i)^n - 1}$$

O custo anual equivalente (CAE) é um indicador financeiro utilizado para comparar alternativas distintas de um investimento. Representa o custo que determinado fluxo de caixa pode sofrer periodicamente. É feita reduzindo o fluxo de caixa a uma série uniforme equivalente, com o uso da taxa mínima de atratividade (TMA).

3.4.1.6 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A Taxa mínima de atratividade é retorno mínimo que um investidor se propõe a receber pelo seu investimento, ou o máximo que um tomador de dinheiro se propõe a pagar pelo empréstimo (MAZZEI, 2017).

3.4.2 Avaliação da Vida Econômica do Ativo

A vida econômica de um equipamento depende:

- Degradação física – Perda do valor do serviço proporcionado, aumento dos custos de manutenção e operação;
- Obsolescência tecnológica – inadequação das características operacionais, alto risco na operação, não atendimento a requisitos ambientais e ausência de peças sobressalentes;
- Viabilidade do negócio (excesso ou insuficiência de capacidade) – Solicitações crescem ou diminuem e torna-se economicamente viável substituir o equipamento.

Ao ponto determinante onde é considerado a depreciação total do sistema (ativo) e onde o mínimo custo é observado entre a soma dos custos por manutenção preventiva e os custos por manutenção corretiva tem-se a Vida Econômica do Sistema Não Reparável e ao ponto determinante onde é considerado a depreciação total do sistema (ativo) e onde o mínimo custo é observado entre a soma dos custos totais de manutenção ao longo da vida operacional e os custos totais de recuperação de capital tem-se a Vida Econômica do Sistema Reparável (BARRINGER, 2003).

3.4.3 Importância do LCCA na Gestão de Ativos

Segundo a PAS-55 (2008), o gerenciamento ideal do ciclo de vida dos ativos físicos depende fortemente da informação e do conhecimento, dos recursos humanos e financeiros, e, muitas vezes, tem um impacto significativo na reputação da empresa e na satisfação do cliente. Dentro da análise do gerenciamento de ciclo de vida do ativo, destacamos os enfoques financeiro e econômico como um dos mais relevantes.

Percebe-se que o impacto do custo de ciclo de vida, embora seja financeiro, envolve mudanças na estratégia do Sistema de Gerenciamento da Manutenção (SGM) e, por consequência, no Sistema de Gerenciamento de Ativos (SGA).

Figura 16 – Influência do LCCA na Gestão de Ativos



Fonte: Neto (2018).

A Figura 16 mostra as áreas de influência em que o LCCA está envolvido. O custo de ciclo de vida determina estratégias dentro do SGM, tendo como influência a gestão financeira. Como essa ferramenta abrange todo o ciclo de vida econômica do ativo, ela está contida também na gestão do ciclo de vida dos ativos, um dos alicerces fundamentais do Sistema de Gerenciamento de Ativos (SGA) (NETO, 2018).

3.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado o referencial teórico para realização da Análise RAM para determinação do ativo que impacta mais na disponibilidade de planta, bem como a análise de Custo do Ciclo de Vida do ativo escolhido, também foi explicitada a estrutura de decomposição dos custos que será importante para o desenvolvimento do cálculo da vida econômica ótima, que será realizado no próximo

capítulo. Foram apresentados os indicadores financeiros bem como suas fórmulas e também foi exposto a importância do LCCA para a gestão de ativos.

O referencial teórico é parte fundamental para a execução do presente estudo, pois através dos conceitos apresentados no capítulo é possível a determinação de maneira coerente de qual ativo gera maior impacto para a planta, bem como qual será a melhor decisão a ser tomada do ponto de vista econômico e também do ponto de vista da otimização da confiabilidade.

No capítulo 4, apresentaremos todos os custos envolvidos na aquisição de um novo ativo, assim como os demais custos e a partir deste levantamento e estimativa, calcularemos a vida econômica ótima. Com a determinação da vida econômica ótima, por se tratar de substituição idêntica, poderemos avaliar se o ativo existente esta antes ou depois deste ponto e poderemos calcular quanto custará uma possível postergação da decisão ao longo dos anos caso o estudo mostre que é viável pela sua completa substituição.

4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será abordada a aplicação do referencial teórico do Capítulo 3, ao processo produtivo, objeto de aplicação deste estudo mostrado no Capítulo 2. Com utilização do software Weibull ++ e Blocksim da Reliasoft serão realizadas as simulações de confiabilidade definido qual ativo da planta de peneiramento do CASP que será objeto de estudo de LCC, determinando qual melhor estratégia a ser adotada. Para definição do ativo será explanado sobre o desenvolvimento considerando os procedimentos para coleta e análise de dados, assim como as considerações e simplificações adotadas.

Por fim, serão apresentados os resultados obtidos a partir da análise realizada com definição do ativo a ser objeto de estudo de LCC.

Após definição, serão realizados todos os cálculos, premissas e estimativas para definição da melhor estratégia de manutenção, bem como definição da vida econômica útil do ativo.

4.1 DADOS PARA PREPARAÇÃO DA ANÁLISE RAM

O levantamento de informações foi realizado a partir do banco de dados do Sistema do Boletim de produção, sistema de controle e imputação das paradas realizadas pela operação nos relatórios de produção da planta.

Estes dados são acordados mensalmente entre as áreas envolvidas, de forma a validar os responsáveis por cada parada. O período de análise deste estudo foi de 12 meses (de jun/17 a jun/18).

Com o objetivo de realizar um estudo representativo, foram tratadas todas as paradas de operação e de manutenção (elétrica e mecânica) do período, sendo analisados 160 eventos englobando 7 diferentes equipamentos. Foram excluídas da análise todas as paradas operacionais ocasionadas por fatores externos (Clima, Greves etc.) além das paradas de passagem de turno e de limpeza da planta que apesar de influenciarem na disponibilidade da planta, são itens já previamente programados pela operação. Os dados foram modelados em uma planilha, conforme a tabela 2 mostra.

Tabela 2 – Dados de Falhas da Planta da CASP

Parada	Equipamer	Razão	Nature	Data Inicio	Data Fim	F/A	TTF	TTR
PARADA CORRETIVA	PENEIRA	QUEBRA DO ROLAMENTO LA	M	01/06/2017 13:20	01/06/2017 22:40	S	13,33	9,42
PARADA CORRETIVA	PENEIRA	TROCA PARAFUSO TELA SUP.	M	08/06/2017 15:50	08/06/2017 18:01	F	17,17	2,18
PARADA CORRETIVA	PENEIRA	INSPEÇÃO ESTRUTURAL	M	21/06/2017 13:23	21/06/2017 15:43	F	20,82	2,33
PARADA CORRETIVA	PENEIRA	TROCA EIXO CARDAN PENEIRA	M	26/06/2017 08:00	26/06/2017 10:00	F	1,00	2,00
PARADA PREVENTIVA	CT 01	TROCA CORREIA EM V	M	26/06/2017 08:00	26/06/2017 10:00	F	17,93	2,00
PARADA CORRETIVA	PENEIRA	TROCA DE TELAS	M	26/06/2017 10:00	28/06/2017 18:50	F	17,98	56,83
PARADA CORRETIVA	PENEIRA	QUEBRA FUSIVEL DO EIXO CARDAN	M	03/07/2017 15:23	03/07/2017 17:13	F	2,28	1,83
PARADA CORRETIVA	CT 02	DESARME ELÉTRICO DO MOTOR	E	22/07/2017 15:09	22/07/2017 17:09	F	20,42	2,00
PARADA PREVENTIVA	CT 01	TROCA CORREIA EM V	M	26/07/2017 08:00	26/07/2017 10:00	F	1,00	2,00

Fonte: O Autor (2019).

Como o estudo foi realizado com sistemas reparáveis, os dados necessários para se levantar as curvas de confiabilidade e manutenibilidade serão explanados para cada evento, assim como os cálculos de confiabilidade e de manutenibilidade necessários para a realização da análise de confiabilidade quantitativa objeto deste estudo.

4.1.1 Dados de Confiabilidade (TTF)

O TTF (*time to fail*), conhecido como tempo até a falha, é o valor que representa a confiabilidade do equipamento, pois indica o período em que o sistema esteve em funcionamento desde o fim da falha anterior até o início da falha atual. Há dois casos especiais, onde o TTF da primeira falha e o TTF após a última falha são tratados como casos de suspensão, devido não se conhecer quando ocorreu o final da falha anterior, e na última falha, devido não se saber quando a falha seguinte ocorrerá.

4.1.2 Dados de Manutenibilidade (TTR)

O TTR (*time to repair*), conhecido como tempo de reparo, é o valor que representa a manutenibilidade, pois indica o período do reparo realizado para restaurar o equipamento à condição de operação para cada falha. Como são conhecidos os tempos de início e fim de cada reparo não há suspensão e os dados são considerados completos.

4.2 MODELOS ESTATÍSTICOS E TESTE DE ADERÊNCIA

Para realização da análise, foi utilizado o software Weibull++ da ReliaSoft com o objetivo de modelar a distribuição estatística que se ajusta melhor à amostra representativa dos dados de vida possibilitando assim a análise dos dados de confiabilidade e manutenibilidade.

As planilhas de dados para o cálculo de TTF (dados de confiabilidade) foi realizada com a seleção dos tipos de dados como “Dados de tempo até a falha” e como na amostra há suspensões, optou-se pela por selecionar “O conjunto de Dados contém suspensões” como a figura 17 mostra.

Figura 17 – Seleção de Dados Censurados

Assistente para Itens de Projeto

Opções da Ficha Técnica
Especifique o tipo de dados que você vai usar para realizar a análise de dados de vida.

Tipo de Dados
 Dados de Tempo-até-Falha **Dados no Formato Livre**

Unidades
Hora (h)

Opções para o tipo de dados Tempos-até-Falha

O Conjunto de Dados contém suspensões (dados censurados à direita):
Selecione caso seu conjunto de dados possua itens que não falharam.

O Conjunto de Dados contém intervalos e/ou dados censurados à esquerda
Selecione esta opção caso o conjunto de dados contenha incertezas de quando exatamente uma unidade falhou ou foi suspensa. Isso permitirá que você especifique o intervalo em que cada falha ou suspensão ocorreu.

Entrar Dados Agrupados
Selecione esta opção caso o conjunto de dados contenha um ou mais grupos de unidades com o mesmo tempo de falha ou suspensão.

Baseado nas seleções, a planilha incluirá estas colunas de tempos de falha/suspensão:

Condição F ou S	Tempo até F ou S
--------------------	---------------------

< Voltar Próximo > OK Cancelar

Fonte:O Autor (2019).

Já para o cálculo de manutenibilidade (TTR), como não há suspensões selecionou-se a opção “Dados de Tempo até a Falha” como mostrado na figura 18 e

será criado apenas uma coluna para imputação de dados chamada “Tempo de Falha”.

Figura 18 – Seleção de Dados não censurados

Configuração da Planilha de Dados da Análise Weibull++

Opções da Ficha Técnica
Especifique o tipo de dados que você vai usar para realizar a análise de dados de vida.

Tipo de Dados
 Dados de Tempo-até-Falha **Dados no Formato Livre**

Unidades
Hora (h)

Opções para o tipo de dados Tempos-até-Falha

O Conjunto de Dados contém suspensões (dados censurados à direita)
Selecione caso seu conjunto de dados possua itens que não falharam.

O Conjunto de Dados contém intervalos e/ou dados censurados à esquerda
Selecione esta opção caso o conjunto de dados contenha incertezas de quando exatamente uma unidade falhou ou foi suspensa. Isso permitirá que você especifique o intervalo em que cada falha ou suspensão ocorreu.

Entrar Dados Agrupados
Selecione esta opção caso o conjunto de dados contenha um ou mais grupos de unidades com o mesmo tempo de falha ou suspensão.

Baseado nas seleções, a planilha incluirá estas colunas de tempos de falha/suspensão:

Tempo Falha

< Voltar Próximo > OK Cancelar

Fonte: O Autor (2019).

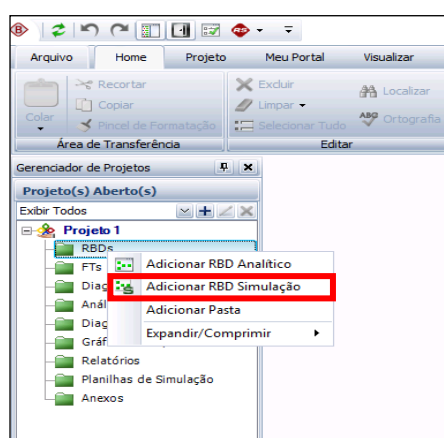
Após a inserção dos dados de falha e de reparo no software weibull++ 2018, e com os parâmetros já previamente determinados em função das características, foram realizados testes de aderência para definição dos melhores modelos a serem aplicados em cada caso de acordo com os dados coletados.

Diante da determinação das curvas de confiabilidade e manutenibilidade após escolha dos melhores modelos para cada caso específico, foi realizada a publicação das curvas para que posteriormente após validação, quando comparadas com os dados reais, essas fossem utilizadas no modelo de simulação do software Blocksim da Reliasoft para assim ser possível a determinação dos principais *Bad Actor's* da planta de Beneficiamento do CASP.

4.3 DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROCESSO PRODUTIVO

No software Blocksim, adiciona-se um modelo de simulação conforme mostrado na figura 19 para possibilitar a criação dos blocos dos equipamentos com suas respectivas curvas e posteriormente também ser possível a simulação da planta por completo e assim poderemos determinar quais equipamentos serão os *Bad Actor's* da planta da CASP.

Figura 19 – Criação de um RBD para simulação no Blocksim.

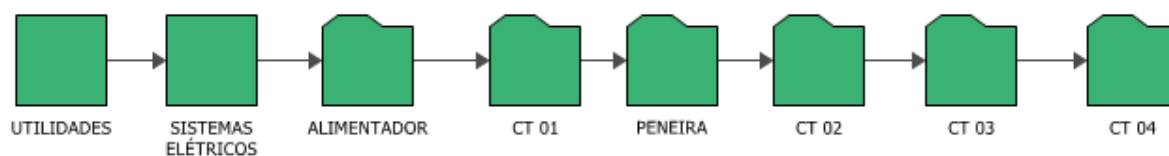


Fonte: O Autor (2019).

Com a devida validação dos modelos, foi realizado a construção do diagrama de blocos em série conforme mostrado na figura 20, visto que, o processo produtivo da planta da CASP é um fluxo contínuo onde qualquer equipamento que venha a falhar gera um impacto de parada da planta como um todo.

Foram adicionados os blocos dos equipamentos da planta em subdiagramas e dentro de cada subdiagrama foi adicionado os modos de falha dos equipamentos para determinação dos impactos a nível LRU (*Lowest Replacement Unit*). Conforme exposto anteriormente não estão sendo considerados na análise as paradas programadas operacionais (troca de turnos, limpezas etc) por tais fatos não se tornarem objetos de análise do presente trabalho. Para os itens que possuem apenas 01 modo de falha, como nos itens de utilidades e das paradas para sistemas elétricos foram inseridos blocos comuns de confiabilidade e manutenibilidade.

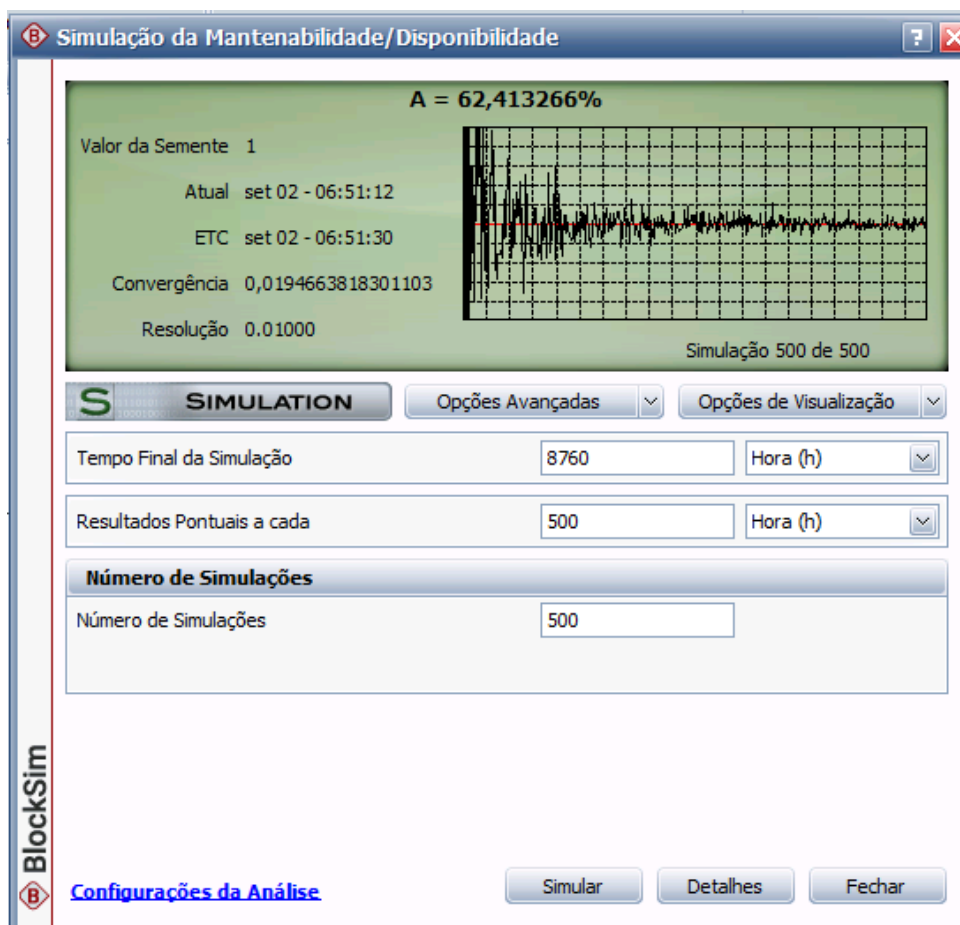
Figura 20 – Diagrama de Blocos de Confiabilidade e Manutenibilidade da Planta da CASP



Fonte: O Autor (2019).

A partir do modelamento realizado no RBD, foi realizada a simulação para o período determinado no estudo, ou seja, 12 meses (8760 horas) sendo obtido um resultado geral de disponibilidade conforme a figura 21 pode mostrar.

Figura 21 – Resultado da Simulação da disponibilidade da planta da CASP



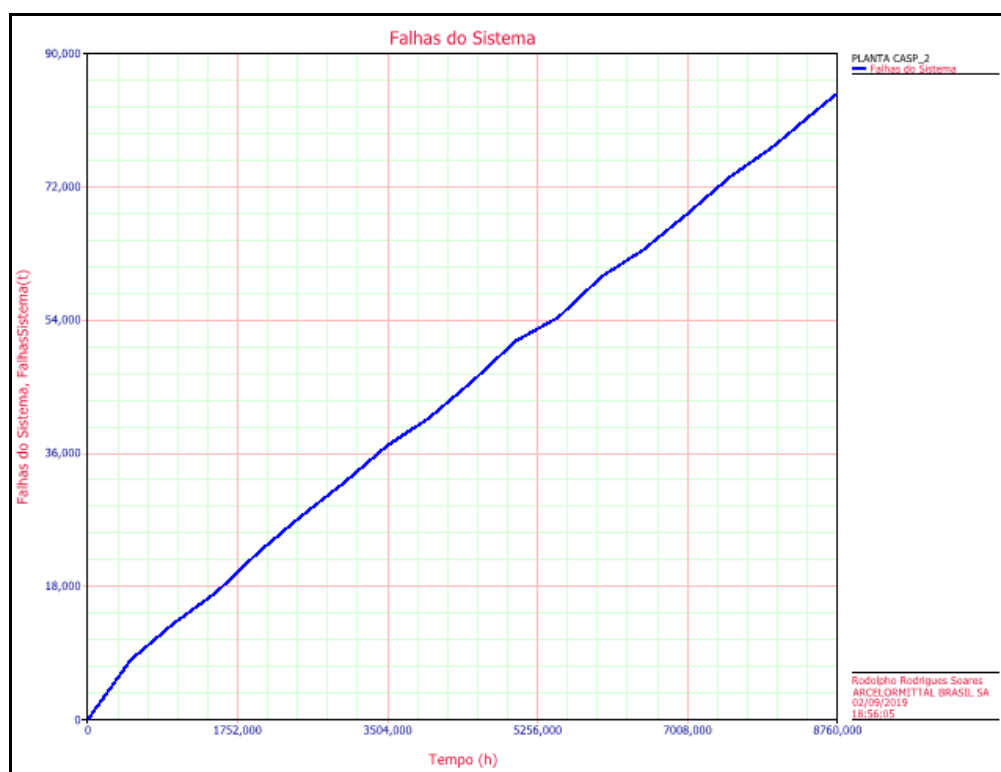
Fonte: O Autor (2019).

Após análise de simulação de todo o sistema pode-se observar que para 1 ano, a disponibilidade do sistema é de 62,41 %. Foram consideradas na análise as paradas preventivas e corretivas dos equipamentos e desconsideradas todas as paradas operacionais para desobstrução de equipamentos visto que podem ser evitados pela operação caso haja uma limpeza adequada da planta.

4.4 RESULTADOS DA ANÁLISE RAM

A confiabilidade quantitativa, através da análise RAM, permite desenvolver uma avaliação profunda de sistemas suportada por um robusto modelamento matemático. Com a análise RAM é possível realizar a determinação de quais equipamentos mais influenciam na performance do sistema, ou seja, no processo produtivo da planta da CASP. A adoção de alguns critérios e índices de avaliação foram adotados no presente estudo para que pudéssemos definir de forma objetiva quais equipamentos tem maior influência na disponibilidade da planta da CASP.

Figura 22 – Falhas do Sistema



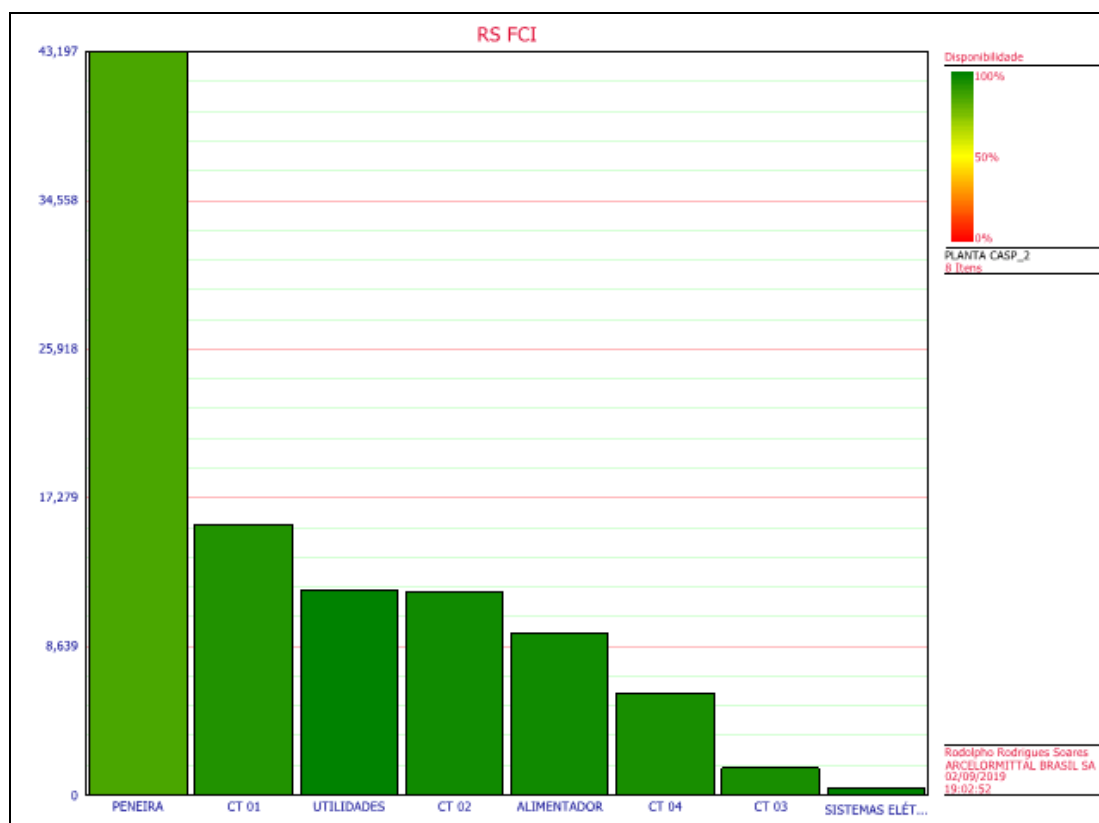
Fonte: O Autor (2019).

A figura 22 mostra o gráfico de falhas de todo o sistema ao longo do tempo, como pode ser verificado com o passar do tempo o número de falhas aumenta, ou seja, há uma taxa de falha crescente do sistema a medida que os equipamentos envelhecem.

4.4.1 Índice de Criticidade da Reliasoft (RS FCI)

Medida relativa referente ao número de falhas do sistema causada pelo componente em análise, ou seja, a porcentagem de vezes em que a falha do componente causou falha no sistema. Sendo assim, trata-se de uma indicação dos equipamentos que estão impactando mais na confiabilidade da linha (RELIAWIKI, 2017).

Figura 23 – Indicação da Criticidade RS FCI



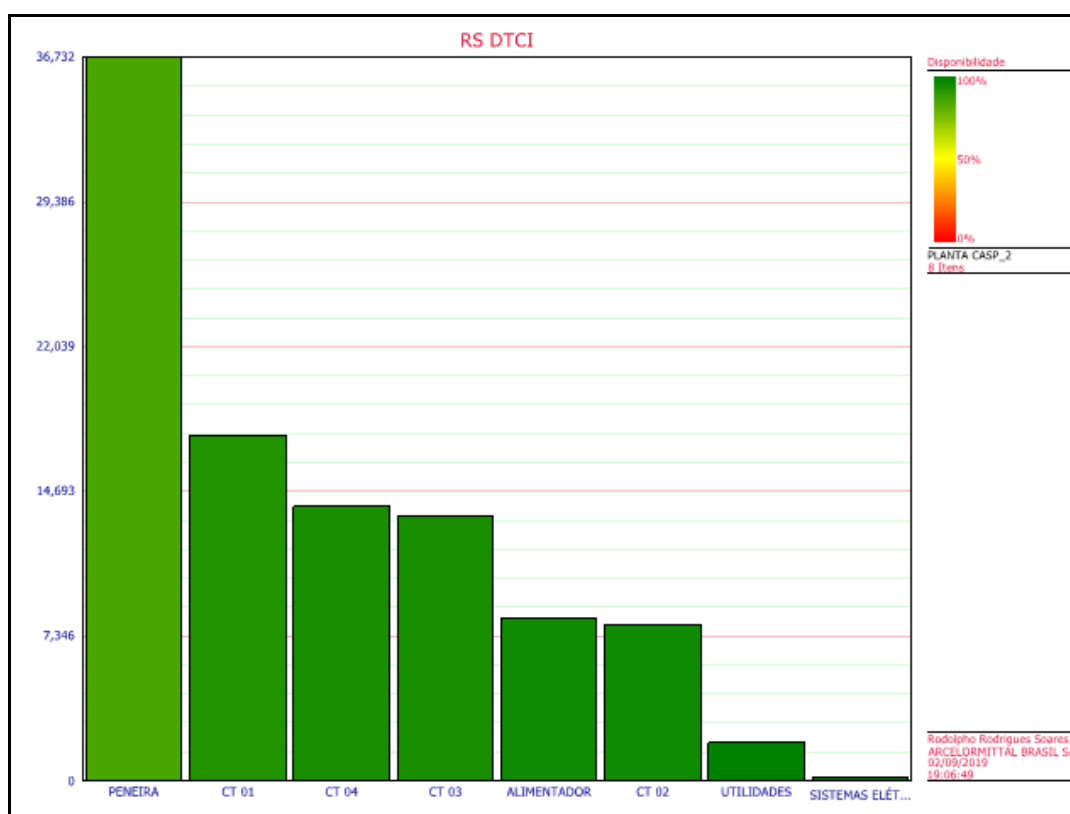
Fonte: O Autor (2019).

O gráfico mostrado na figura 23 apresenta uma visão geral de todos equipamentos e o seu impacto na criticidade do número de falhas. Conforme pode ser verificado o item que apresenta maior número de falhas é a peneira vibratória.

4.4.2 Índice de Criticidade da Reliasoft (RS DTIC)

Este índice apresenta uma relação referente ao tempo de indisponibilidade do sistema causado por um componente em relação ao tempo de indisponibilidade total do sistema. Trata-se de um índice relativo à manutenibilidade, devido retratar o comportamento do tempo de reparo das falhas ocorridas.

Figura 24 – Indicação da Criticidade RS DTIC



Fonte: O Autor (2019).

A figura 24 mostra os equipamentos de geram maior indisponibilidade do sistema, como pode ser verificado a peneira vibratória é o que gera maior impacto para o sistema. Fazendo um comparativo com o indicador RS FCI que mostra a quantidade de falhas, a peneira vibratória é o item que gera grande impacto para a

disponibilidade da planta possuindo maior número de falhas, ou seja, menor confiabilidade e também maior tempo de paradas, ou seja, menor manutenibilidade.

4.4.3 Tempo Indisponível do Bloco e Número de Paradas do Sistema

Este critério apresenta o ranqueamento dos valores absolutos de tempo indisponível do bloco em horas e dos números de eventos de parada do sistema, de modo a possibilitar a visualização do impacto real causado no resultado do sistema. Trata-se da análise da manutenibilidade e confiabilidade dos equipamentos mais impactantes.

Tabela 3 – Tempo total Indisponível e Eventos de Parada de cada bloco do Sistema

Resumo Individual do Bloco			
Nome do Bloco	Eventos de Parada do Sistema	Tempo Indisponível do Bloco (h)	Tempo Disponível do Bloco (h)
PENEIRA	41,492	1228,447845	7531,552155
CT 01	17,954	590,068314	8169,931686
CT 04	6,906	467,814151	8292,185849
CT 03	3,224	452,080438	8307,919562
ALIMENTADOR	8,994	281,62389	8478,37611
CT 02	11,786	270,934945	8489,065055
UTILIDADES	10,044	63,829544	8696,170456
SISTEMAS ELÉTRICOS	0,372	6,61862	8753,38138

Fonte: O Autor (2019).

Conforme verificado na tabela 3 confirma-se que a peneira vibratória é o equipamento com maior número de paradas do sistema, bem como, também é o gera maior indisponibilidade do sistema.

4.5 EQUIPAMENTOS IMPACTANTES AO PROCESSO PRODUTIVO

Através da aplicação da análise RAM e considerando-se os diferentes critérios de priorização, são indicados abaixo os equipamentos que geram maior impacto a planta de beneficiamento da CASP.

- Peneira Vibratória;

- Correia Transportadora 01;
- Correia Transportadora 04;
- Correia Transportadora 03;
- Alimentador Vibratório;

É importante observar que os equipamentos listados acima são os que possuem maior impacto em quase todos os critérios observados, evidenciando que estes realmente influenciam na confiabilidade, manutenibilidade e na perda através do custo gerado.

Diante dos resultados apresentados, bem como do histórico e situação atual dos ativos viu-se uma oportunidade para realização de um estudo do custo do ciclo de vida do ativo com maior impacto na disponibilidade da planta da CASP que conforme mostrado foi a Peneira Vibratória. O presente estudo de LCC visa determinar economicamente qual é a melhor estratégia de manutenção a ser adotada para os próximos anos visto que o ativo que já possui mais de 17 anos de operação (aquisição em 2001) e apresenta condições de degradação estrutural severas com redução crescente de sua confiabilidade.

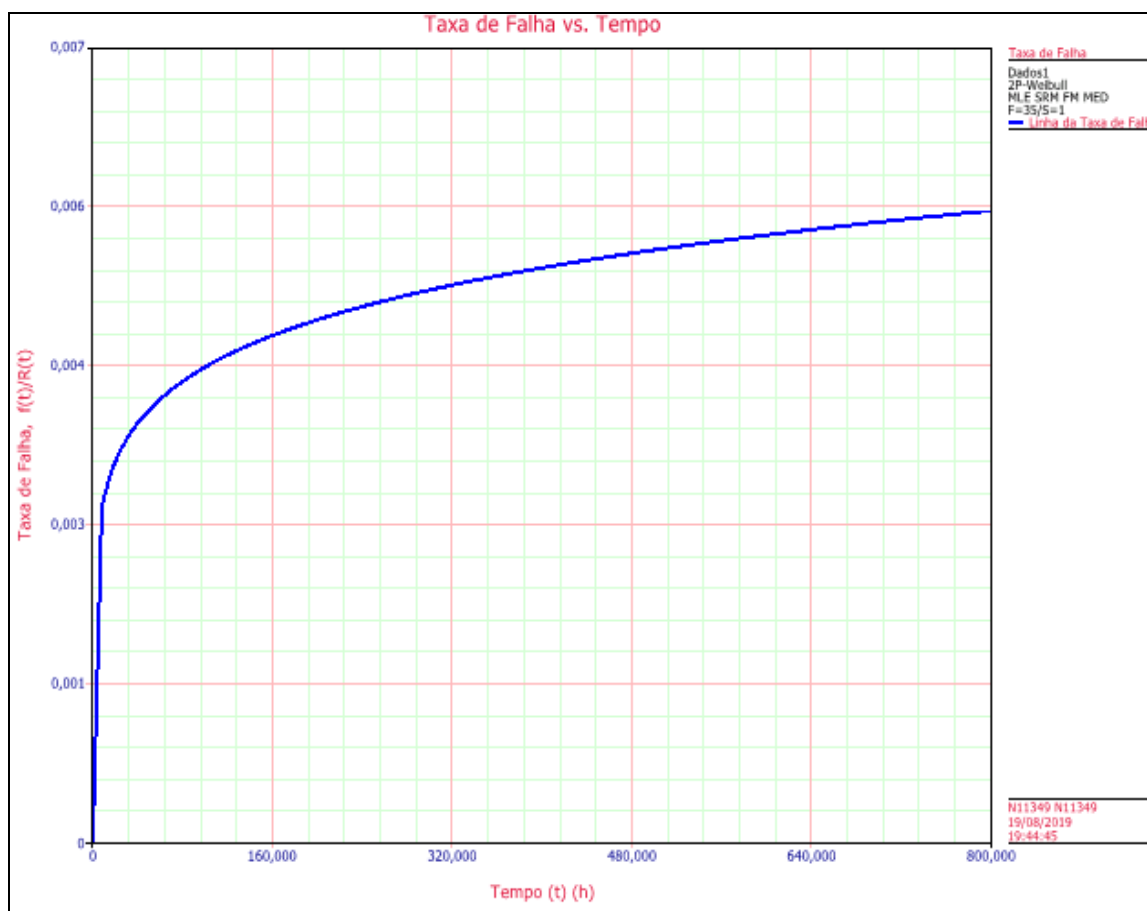
4.6 ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DA PENEIRA DA PLANTA DA CASP

Diante do que foi mostrado na análise RAM, onde a taxa de falha da peneira vem aumentando ao longo do tempo, e considerando que o ativo escolhido já apresenta uma vida útil elevada foi sugerido um estudo para determinar qual a melhor estratégia de manutenção a ser adotada para os próximos anos considerando o ponto de vista financeiro e de confiabilidade do ativo. As estratégias de manutenção sugeridas para analisar no presente estudo são:

- Continuar com o equipamento mesmo com custos crescentes de manutenção e disponibilidade decrescente;
- Fazer uma reforma geral da peneira;
- Realizar aquisição de uma nova peneira.

Independente das alternativas analisadas acima também será analisada qual a melhor época para ser realizada a substituição da peneira. A motivação para realização deste tipo de análise é a constatação in loco do estado da peneira além da constatação através da análise de confiabilidade de que a taxa de falha somente irá crescer nos próximos anos, conforme mostrado na figura 25, o que pode levar a um colapso do ativo num curto espaço de tempo.

Figura 25 – Taxa de Falha da Peneira da CASP



Fonte: O Autor (2019).

O gráfico mostrado na figura 25 mostra o aumento do crescimento da taxa de falha da peneira vibratória da planta da CASP, tendo em vista que o ativo já possui uma elevada vida útil, nos próximos anos se faz necessária uma avaliação para substituição do ativo.

4.6.1 Determinação dos Custos de Manutenção, Reforma e Aquisição

Para realização de uma análise mais assertiva de qual será a melhor estratégia de manutenção foram levantados os custos de manutenções atuais da peneira levando-se em consideração também o aumento de custos devido paradas corretivas.

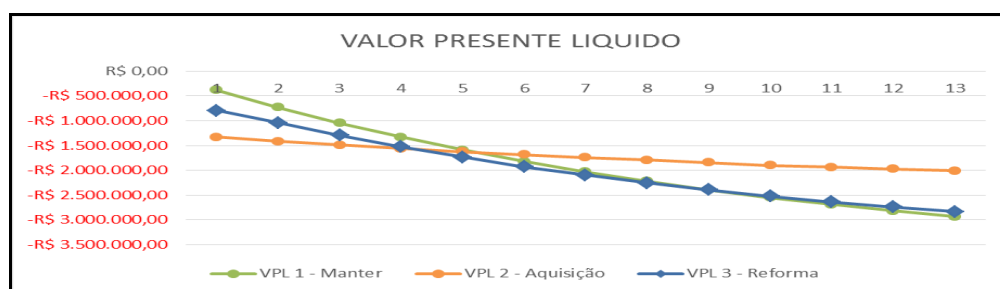
Para a reforma foi realizada uma cotação com fornecedor fabricante de uma peneira similar além de cotação dos materiais necessários para realização da reforma e para a determinação dos custos de aquisição de uma nova peneira também foi realizada uma cotação com o mesmo fornecedor considerando os valores atuais de mercado.

Além do levantamento dos custos foi também definido para utilização da vida econômica do ativo uma taxa mínima de atratividade de 15 % que foi um valor estipulado pela AMT e pela engenharia de investimento.

4.6.2 Definição da melhor estratégia de manutenção

Para definição da melhor estratégia, estaremos levando em consideração além dos fatores de confiabilidade do ativo já expostos anteriormente através da análise RAM, em que apontou que o ativo além de apresentar uma taxa de falha crescente também gera maior impacto para disponibilidade operacional da planta da CASP, também os fatores econômicos onde através da determinação do Valor Presente Líquido para as 03 alternativas poderemos definir qual alternativa será mais viável para adotar como estratégia a ser seguida e adotada para os próximos anos.

Gráfico 1 – Valor Presente Líquido considerando as 3 alternativas de manutenção



Fonte: O Autor (2019).

Tomando por base que quanto maior o VPL, melhor é a alternativa de investimento, a alternativa de aquisição de um novo ativo considerando uma análise de 13 anos se tornou a alternativa mais viável economicamente conforme o gráfico 1 mostra.

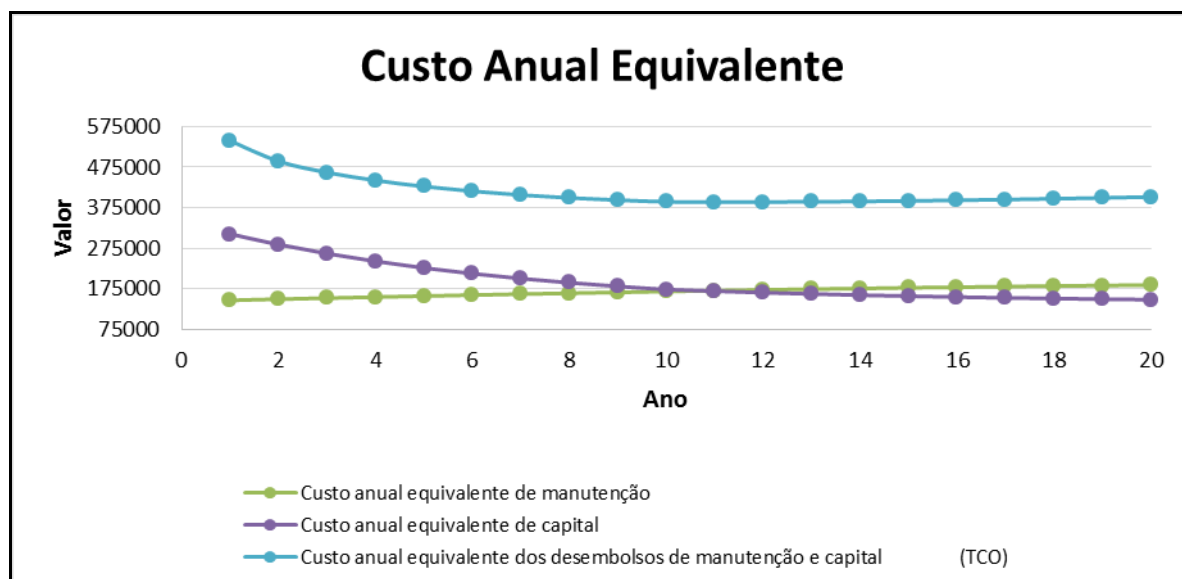
Além disso, conforme pode ser verificado na tabela 4 o reparo se torna uma alternativa inviável economicamente, visto que, para o período da análise apresentou um VPL negativo. Em todos os comparativos a aquisição de uma nova peneira tem-se mostrado como a melhor alternativa de viabilidade econômica de investimento.

Diante do exposto, foi realizada uma análise da vida econômica do ativo, com determinação do custo atual equivalente com uma taxa de atratividade para determinar qual será a melhor época para realizar a troca do ativo.

4.6.3 Determinação da Vida Útil Econômica do Ativo

Como exposto anteriormente, será realizado a determinação da vida útil econômica do ativo, ou seja, qual é o melhor momento econômico para realizar a troca do ativo, visto que a alternativa de troca da peneira se mostrou a mais viável. Para tanto, foi realizado a determinação do custo anual equivalente para assim ser possível a determinação do ponto ótimo de substituição do ativo.

Gráfico 2 – Definição da vida econômica do ativo



Fonte: O Autor (2019).

Tabela 4 – Análise de Viabilidade econômico-financeira das alternativas de manutenção

Opção 1) ANÁLISE DE AQUISIÇÃO NOVA PENEIRA VERSUS CONTINUAR COM EXISTENTE SEM FAZER NADA														
Variáveis	Anos													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Custo de aquisição	1.240.000,00													
Custo de Corretiva		19.200,00	19.968,00	20.766,72	21.597,39	22.461,28	23.359,74	24.294,13	25.265,89	26.276,53	27.327,59	28.420,69	29.557,52	30.739,82
Custo de Preventiva		146.360,00	152.214,40	158.302,98	164.635,10	171.220,50	178.069,32	185.192,09	192.599,78	200.303,77	208.315,92	216.648,55	225.314,50	234.327,08
Custo de Reparos Especiais		0,00												
Custo de desativação											60.000,00	60.001,00	60.002,00	60.003,00
Benefício da depreciação = alíquota de IR (25%) X taxa de depreciação (20%) X investimento (1240000)		62.000,00	62.000,00	62.000,00	62.000,00	62.000,00	62.000,00	62.000,00	62.000,00	62.000,00	62.000,00	62.000,00	62.000,00	62.000,00
Fluxo de caixa de custo	1.240.000,00	103.560,00	110.182,40	117.069,70	124.232,48	131.681,78	139.429,05	147.486,22	155.865,67	164.580,29	233.643,50	243.070,24	252.874,01	263.069,89
Valor presente	2.040.321,46													
Fluxo de caixa líquido de economia de custo	-1.240.000,00	338.619,00	349.683,76	361.191,11	373.158,75	385.605,11	398.549,31	412.011,28	426.011,73	440.572,20	395.715,09	411.462,69	427.840,24	444.872,93
VPL	891.642,90	-945.548,70	-681.137,53	-443.648,52	-230.293,79	-38.579,90	133.723,96	288.614,27	427.878,26	553.116,37	650.931,09	739.372,21	819.338,61	891.642,90
Economia de Custo Equivalente / Ano	265.990,94													
TIR	28,80%													
Opção 2) ANÁLISE DE REFORMA DA PENEIRA VERSUS CONTINUAR COM EXISTENTE SEM FAZER NADA														
Variáveis	Anos													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Custo de aquisição	525.000,00													
Custo de mão-de-obra		115.200,00	119.808,00	124.600,32	129.584,33	134.767,71	140.158,41	145.764,75	151.595,34	157.659,15	163.965,52	170.524,14	177.345,11	184.438,91
Custo de Materiais		194.040,00	201.801,60	209.873,66	218.268,61	226.999,35	236.079,33	245.522,50	255.343,40	265.557,14	276.179,42	287.226,60	298.715,67	310.664,29
Custo de Reparos Especiais			0,00	56.300,00	58.552,00	60.894,08	63.329,84	65.863,04	68.497,56	71.237,46	74.086,96	77.050,44	80.132,46	83.337,75
Custo de desativação														
Fluxo de caixa de custo	525.000,00	309.240,00	321.609,60	390.773,98	406.404,94	422.661,14	439.567,59	457.150,29	475.436,30	494.453,75	514.231,90	534.801,18	556.193,23	578.440,96
Valor presente	2.834.432,26	793.904,35	1.037.087,41	1.294.027,65	1.526.390,99	1.736.528,28	1.926.565,48	2.098.425,20	2.253.846,17	2.394.400,79	2.521.511,05	2.636.462,94	2.740.419,43	2.834.432,26
Fluxo de caixa líquido - CONTINUAR REFORMA	-525.000,00	99.704,25	103.692,42	65.615,12	68.239,72	70.969,31	73.808,08	76.760,41	79.830,82	83.024,06	86.345,02	89.798,82	93.390,77	97.126,40
VPL	-58.100,93	-438.300,65	-359.894,29	-316.751,28	-277.735,00	-242.450,71	-210.541,44	-181.684,36	-155.587,52	-131.986,90	-110.643,73	-91.342,09	-73.886,68	-58.100,93
Economia de Custo Equivalente / Ano	-17.332,41													
TIR	12,44%													
Opção 3) ANÁLISE DE AQUISIÇÃO NOVA PENEIRA VERSUS REFORMA DA PENEIRA														
Variáveis	Anos													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Fluxo de caixa líquido de economia de custo	-715.000,00	238.914,75	245.991,34	295.575,99	304.919,03	314.635,79	324.741,23	335.250,88	346.180,91	357.548,15	309.370,07	321.663,88	334.449,47	347.746,53
VPL	949.743,83	-507.248,04	-321.243,25	-126.897,24	47.441,21	203.870,81	344.265,40	470.298,62	583.465,78	685.103,28	761.574,83	830.714,30	893.225,29	949.743,83
Economia de Custo Equivalente / Ano	283.323,35													
TIR	38,46%													

Fonte: O Autor (2019).

Como podemos observar no gráfico 2 o CAE de Capital é decrescente, e o ponto onde ele começa a ficar menor do que o CAE de manutenção é quando os custos de manutenção já não trazem retorno financeiro para a empresa.

4.7 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi abordado o desenvolvimento do estudo de caso da planta da CASP, onde foram levantados e detalhados dados de falha e de reparo dos equipamentos da planta além da determinação dos modelos estatísticos, construção do diagrama de blocos no BlockSim e a determinação dos equipamentos mais impactantes para a disponibilidade do processo produtivo, compondo assim a análise RAM da planta do CASP.

Além disso, de posse da informação de qual equipamento gerou maior impacto ao processo produtivo na análise feita, foram levantados os custos de aquisição, de manutenção e também de reparo do equipamento alvo da análise e após levantamento das informações de custos do equipamento foi verificado qual a melhor estratégia de manutenção a ser adotada para o ativo em questão com a realização de uma análise do VPL para 03 alternativas de manutenção que foram manter a condição atual do ativo, realizar a aquisição de um novo ativo e também realizar a reforma do ativo atual.

Após determinação de qual será a melhor alternativa de manutenção para os próximos anos foi feita a análise de vida útil econômica com base no Custo Anual Equivalente do ativo para determinação do ponto a partir do qual o custo de manutenção começa a elevar e já é viável a realização da troca. Todas as informações foram mostradas através das planilhas e plotados os gráficos que determinaram o maior VPL e o menor CAE. A base de dados são os custos reais do equipamento, bem como cotações realizadas no Mecardo para aquisição e reparo do ativo.

O próximo capítulo apresentará a síntese dos resultados deste trabalho, que será formulada com base no conteúdo abordado no presente capítulo e apontará comentários conclusivos sobre vários aspectos observados durante a realização do estudo e elaboração desta análise RAM e do estudo de LCC.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto a aplicação de uma análise RAM na Planta de Beneficiamento da CASP seguida de um LCCA aplicado a um equipamento definido anteriormente na RAM.

A análise RAM mostrou através dos resultados de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, qual ativo da planta é o mais crítico e que tem impactado negativamente para performance da planta. Através da análise pôde-se verificar que a planta apresenta uma disponibilidade de 62,41% e o equipamento que gera maior impacto negativo é a peneira vibratória da planta. A análise RAM mostrou que a peneira vibratória é o equipamento que apresenta o maior número de falhas e fica mais tempo indisponível por paradas não previstas. Pôde-se verificar também que a taxa de falha do sistema como um todo é crescente ao longo do tempo, o que indica uma futura redução da disponibilidade da planta num curto período caso nenhuma ação seja realizada no sentido de melhorar a confiabilidade e manutenibilidade dos equipamentos.

De posse da informação que a peneira vibratória foi o equipamento que mais gerou impacto negativo para performance da planta, e já conhecendo o histórico do equipamento, tomou-se a decisão de realizar um estudo de LCC para comprovar que a peneira vibratória já está em final de vida útil, impactando bastante na performance da planta da CASP. Foi realizado um comparativo para definir qual a melhor estratégia de manutenção a ser adotada, e para realização da análise, foi levado em consideração os dados históricos de manutenção e custos corretivos e preventivos de manutenção da peneira vibratória, além de levantamento de cotações no mercado para estimativa de valores de aquisição de uma nova peneira, bem como reforma da peneira atualmente existente. Na análise foi verificado que a alternativa da reforma da peneira se torna economicamente inviável, visto que, não garante que as falhas cessarão e com isso os custos de manutenção corretiva por um período diminuirão, porém num curto período voltarão a crescer. Foi também verificada na análise que a melhor alternativa de manutenção a ser adotada é a aquisição de uma nova peneira, pois reduz consideravelmente os custos de manutenção corretiva e até os custos de manutenção preventiva por um longo período.

Diante da informação de que a aquisição de uma nova peneira, será a estratégia mais viável economicamente, foi realizado uma análise para verificar qual seria a vida útil econômica de um novo ativo, onde chegou-se a 12 anos de utilização do ativo, sem que os custos passassem a inviabilizar economicamente a manutenção do equipamento.

5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS E BENEFICIOS DO ESTUDO

Em ambas as metodologias aplicadas, o item que apresentou maior dificuldade, foi o levantamento, análise e preparação dos dados de falha, reparos e levantamentos dos custos.

Apesar de possuímos um banco de dados disponível no CMMS e relatórios de produção para consulta e utilização, encontramos muitas dificuldades no levantamento das informações e na preparação dos dados de falha, bem como no levantamento e preparação dos dados de custos de manutenção, dados estes que foram usados nas ferramentas de confiabilidade quantitativa.

Além cruzamento de informações dos relatórios existentes, foi também realizado entrevistas com as pessoas envolvidas no processo, com o objetivo de prover dados coerentes com a realidade e de não ocorrer inconsistências que pudessem prejudicar a assertividade dos resultados das análises realizadas.

A dificuldade encontrada no levantamento dos dados se reflete na falta de atenção no preenchimento dos registros, a falta de cobrança e a baixa conscientização das equipes para a necessidade de realizar os registros de maneira correta e a importância que os dados têm para a realização de estudos de confiabilidade quantitativa.

A aplicação das metodologias adotadas no processo produtivo de beneficiamento de coprodutos gerou grande aprendizado na utilização de ferramentas de engenharia de confiabilidade quantitativa, gerou informações para tomada de decisão assertiva e coerente, gerou informações para um aprendizado mais profundo dos itens que geram maior impacto na disponibilidade da planta, além de mostrar a necessidade de trabalhar com a base sobre o gerenciamento das informações, com registros mais assertivos, coerentes e adequados conforme a norma ISO 14224 (2006).

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A aplicação deste estudo de caso possibilitou a identificação de novas etapas para permitir a continuidade do presente trabalho de modo a proporcionar melhores resultados não somente para o processo produtivo de Beneficiamento de coprodutos da planta da CASP, mas também estender este estudo para outras plantas produtivas. Como sugestões para continuidade dos estudos podem citar:

- Aplicação da metodologia RCM nos demais equipamentos da planta, para analisar os modos de falha que se manifestaram, verificando se estes já estão mapeados e garantir planos estruturados de manutenção;
- Aplicação de análise RAM, porém, com foco na determinação do tempo de troca ideal dos componentes e determinação da quantidade de sobressalentes ideal com a finalidade de evitar gastos desnecessários;
- Aplicação de análise das Causas Raízes das Falhas RCA (*Root Cause Analysis*) nos equipamentos que tem gerado maior impacto para a disponibilidade da planta, de modo a investigar os mecanismos das falhas e definir ações para mitigação;
- Aplicação de análise RAM para outras plantas do processo produtivo;
- Aplicação de LCC para outros equipamentos para análise a viabilidade econômica de substituição.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR-5462 Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia**. ABNT/CB-03 – Eletricidade, 1994.
- ARCELORMITTAL TUBARÃO. **Manual Técnico Planta de Coprodutos**. Vitória, 2008
- ASTEC DO BRASIL. **Manual Técnico de Britagem**. Vespasiano, 2016
- BARRINGER, H. Paul; **A Life Cycle Cost Summary** presented at International Conference of Maintenance Societies Perth Australia 2003
- BRANCO FILHO, Gil; **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade**. 4^o. ed. Buenos Aires: Editora Ciência Moderna, 2006.
- CASAROTTO FILHO, Nelson; HOPITTKKE, Bruno Hartmut. **Análise de Investimento**. 11 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010.
- CHAVES, Arthur Pinto; Colaboradores, **Manuseio de Sólidos Granulados Teoria e Prática de Tratamento de Minérios**. 2^a ed. Volume 5. São Paulo, Oficina de Textos, 2012
- CICLO de Vida do Aço. **Instituto Aço Brasil**, 2018 Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site2018/dados.asp>>. Acesso em: 22 fev. 2019
- FAÇO. **Manual de britagem**. 4^a edição. Fábrica de aço paulista. São Paulo, 1985.
- FULLER, Sieglinde K; PETERSEN, Stephen R. **Life-Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program, NIST Handbook 135**. United States Government. 1995.
- 14224, I. ISO 14224 **Petroleum and natural gas industries** — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. 2006.
- MAZZEI, Denis: **Análise do Custo do Ciclo de Vida. LCCA (Material Didático)**. Curitiba, PR. 2017. Não Paginado
- NETO, Teófilo Cortizo Moreira. **Aplicação da Análise do Custo do Ciclo de Vida em uma Indústria de Mineração com base na Gestão de Ativos**. Salvador, 2018.
- PALLEROSI, C. A, **Confiabilidade de Sistemas vol.4**, Confiabilidade, a Quarta Dimensão da Qualidade, 2007.
- PAS-55. PAS 55-1-2008 - **Asset Management**. Bsi, 2008.
- PRECISÃO ENGENHARIA. **Acervo Técnico Pericial Mina Conceição**. Belo Horizonte, 2003

RELIASOFT CORPORATION. **Reliawiki**, 2015. System Analysis Reference Reliability, Availability & Optimization. Disponível em: <http://www.reliawiki.org/index.php/System_Analysis_Reference>. Acesso em: 27/04/2019

RELIASOFT CORPORATION. **Reliawiki**, 2017. Life Data Analysis Reference. Disponível em: <http://www.reliawiki.org/index.php/Life_Data_Analysis_Reference_Book>. Acesso em: 27/04/2019

RELIASOFT. **G400 – Fundamentos dos Modelos e Análise de Dados de Engenharia da Confiabilidade**. Tucson, AZ, USA, 2014

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat., **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4^a ed. Florianópolis, Departamento de Ciência da Informação da UFSC, 2005.

SWINDERMAN, Todd R; MARTI, Andrew D; GOLDBECK, Larry J; MARSHALL, Daniel; STREBEL, Mark G, **Foundations Guia Prático para um Controle mais Limpo, Seguro e Produtivo de Pó e Material a Granel**. 4^a ed. Illinois, Martin Engineering Company, 2009