

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

**LEONARDO JUSAN FIOROT**

**MODELO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO ÓTIMO DE  
SUBSTITUIÇÃO DE CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2017**

**LEONARDO JUSAN FIOROT**

**MODELO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO DE  
CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS**

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

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

Co-orientador: Prof. Denis Mazzei

**CURITIBA**

**2017**



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **MODELO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO DE CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS**

por

**LEONARDO JUSAN FIOROT**

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

---

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

---

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

---

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

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

Dedico este trabalho a Luciana, minha esposa,  
companheira de tantos desafios e tantas  
alegrias.

## **AGRADECIMENTOS**

Foram tantas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho que não serei capaz de me lembrar de todas. No entanto, gostaria que estas pessoas soubessem que o apoio dado me sustentou para a conclusão de um importante passo em minha vida.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Emerson Rigoni, pela condução não somente desta monografia, mas de todo o curso de Engenharia de Confiabilidade. Sua organização, compromisso e conhecimentos foram diferenciais para nosso aprendizado.

Aos meus colegas de classe, pelas contribuições enriquecedoras ao longo do curso.

À Arcelormittal Tubarão pelo incentivo, apoio financeiro, logístico e pela confiança em mim depositada.

À FUCAPE pela disponibilização do espaço, que muito colaborou com nosso desenvolvimento.

A toda minha família, em especial meus pais que cuidaram de minhas filhas em alguns momentos que precisei me ausentar para aulas ou elaboração da monografia.

Às minhas filhas, Júlia, Lívia e Tais, pela alegria e por serem a motivação de tudo pra mim.

À Luciana, pelo amor, apoio, partilha e por contribuir sempre para meu crescimento.

## RESUMO

FIOROT, Leonardo Jusan Fiorot. **MODELO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO DE CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS.** 2017. 61 fls. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A proposta do trabalho é utilizar a base instalada de Controladores Lógico Programáveis (CLPs) na Coqueria e a base de dados históricos (através do sistema de manutenção SISMANA e da experiência/memória da equipe de manutenção), além da possibilidade de desenvolvimento de ensaios acelerados, com o objetivo de realizar a análise de dados de vida e o ciclo de custo de vida dos CLPs. A coleta de dados será realizada através de pesquisa no SISMANA, entrevista com a equipe de manutenção e utilização de *software* de confiabilidade (*Reliasoft Synthesis*) e *software* de planilhas eletrônicas (MS – Excel). As etapas do trabalho consistem em preparação para coleta das amostras; realização da pesquisa; tratamento da amostra (análise crítica das informações obtidas); entrevista com equipe de manutenção; registro e análise; pesquisa e análise de viabilidade de criação de ensaio acelerado; tratamento dos dados; cálculo e modelamento das curvas de distribuição de falha; cálculo de custos; *payback*; TIR e VPL; definição do modelo ótimo e conclusão. A abrangência do trabalho será o parque de CLPs instalados na área de Coqueria, incluindo suas subáreas: baterias de coque, Unidade de apagamento a Seco, tratamento de coque, preparação de carvão, pátio de carvão e tratamento de Gás COG. Observam-se como principais obstáculos ao trabalho, a quantidade e qualidade das informações disponíveis, a disponibilidade das equipes de manutenção e a aquisição dos recursos de *software* (*Reliasoft Synthesis*). Ao fim do trabalho, objetiva-se um modelo mais robusto, com informações quantitativas e estatísticas, que auxilie a alta direção à tomada de decisão do emprego dos recursos de investimento, aplicando-os no momento mais adequado do ponto de vista técnico, de gestão de riscos e financeiro.

**Palavras-chave:** CLP. Confiabilidade. LDA. LCC. Gestão de Ativos.

Abstract

FIOROT, Leonardo Jusan Fiorot. **MODELO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO ÓTIMO DE SUBSTITUIÇÃO DE CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS.** 2017. 61 fls. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

This research study will use the installed basis of Programming Logic Controllers (PLCs) at Coke Plant and the historical data base (through SISMANA maintenance system and through the experience/memory of the maintenance staff), as well as the possibility of developing accelerated life testing aiming at realizing the life data analysis (LDA) and the life-cycle cost analysis (LCC) of the PLCs. Data will be collected through research at SISMANA, interview with the maintenance staff and will be treated with the reliability software (*Reliasoft Synthesis*) and electronic spreadsheet software (MS – Excel). The stages of the study will be as follows: preparation for the sample collection, realization of the research, treating of the sample (critical analysis of the information obtained), interview with the maintenance staff, registering and analysis of the data, research and analysis of viability of accelerated life testing, treating of the data, calculation and modeling of failure distribution functions, calculations of costs, payback, IRR (internal rate of return) and NPV (net present value), definition of optimal model, and conclusion. The study will comprehend the PLCs installed at the Coke Plant, including its sub-areas: Coke batteries, Coke Dry Quencher Unities, Coke handling area, coal handling area, coal Yard and Gas treatment area. The main obstacles for the accomplishment of the study are the quantity and quality of the available information, the availability of the maintenance staff, and the acquisition of the software (*Reliasoft Synthesis*). The ultimate goal of the study is to determine a robust model, containing quantitative and statistical information, in order to support the Board of Directors to make decisions as to the application of the sources of investment. It is desirable that investments be applied at the most adequate moment as for the technical, risk and financial management approaches.

**KEYWORDS: PLC. RELIABILITY. LDA. LCC. MANAGEMENT**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Foto histórica mostrando da esquerda para a direita: Dick Morley, Tom Bois-sevain, Modicon 084, George Schwenk, and Jonas Landau.....	15
Figura 2.1 - Foto das instalações da Arcelormittal Tubarão.....	21
Figura 2.2 – Fluxo de Produção de Aço da Arcelormittal Tubarão .....	23
Figura 2.3 – Visão aérea das baterias de coque, CDQ e Tratamento de Gás .....	24
Figura 2.4 – Carro de Carregamento da Arcelormittal Tubarão .....	25
Figura 2.5 – Máquina Desenfornadora .....	26
Figura 2.6 – Guia de Coque .....	27
Figura 2.7 – Pátio de Carvão da ArcelorMittal Tubarão.....	28
Figura 2.8 – Unidades de Apagamento a Seco ( CDQ) .....	28
Figura 3.1 – Taxa de Falha Constante .....	36
Figura 3.2 – Taxa de Falha Crescente .....	37
Figura 3.3 – Taxa de Falha Decrescente .....	38
Figura 3.4 - Curva da Banheira .....	39
Figura 3.5 - Visão Geral de um Sistema de Gestão de Ativos .....	43
Figura 4.1 - Tela de consulta de ocorrências/anomalias no SISMANA .....	46



## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – CLPS da Coqueria e áreas de aplicação.....	31
Quadro 4.1 – Quadro do número de falhas em CLPs na coqueria.....	47
Quadro 4.2 – Quadro dos dados de custo dos CLPs .....	49
Quadro 4.3 – Classificação do Impacto de acordo com a área de aplicação .....	50
Quadro 4.4 – Quadro de CLPs classificados conforme grau de obsolescência. ....	51
Quadro 4.5 – Quadro de valores de atualização ou substituição de CLPs da Coqueria.....	52
Quadro 4.6 – Classificação dos riscos .....	55
Quadro 4.7 – Quadro de riscos conforme modelo proposto.....	57
Quadro 4.8 – Taxa de Mitigação de Risco para CLPs de Alto e Médio Risco.....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

### LISTA DE ABREVIATURAS

VF	Valor Futuro
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno

### LISTA DE SIGLAS

CLP	Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica
MS	Micro Soft
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido
COG	<i>Coke Oven Gas</i> – Gas de Coqueria
LDA	<i>Life Data Analysis</i> – Análise de Dados de Vida
LCC	<i>Lifecycle Cost</i> - Custo do Ciclo de Vida
MODICON	<i>Modular Digital Controller</i> – Controlador Digital Modular
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Norma Brasileira
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
LTQ	Laminador de Tiras a Quente
CDQ	<i>Coke Dry Quencher</i> -
ISA	<i>International Society of Automation</i>
CMMS	<i>Computerized maintenance management system</i>
IAM	<i>Institute of Asset Management</i>
PAS	<i>Publicly Available Specification</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i> – Unidade Central de Processamento
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i> – Tempo Médio entre Falhas
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> – Sistema de Gestão Empresarial
SAP	<i>System Analysis and Program Development</i>

### LISTA DE ACRÔNIMOS

SISMANA	Sistema de Manutenção
---------	-----------------------

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\lambda$  – Taxa de Falhas

$\beta$  – Parâmetro de forma da distribuição de Weibull

$\eta$  – Parâmetro de vida característica da distribuição de Weibull

$\mu$  – Média em uma distribuição normal

$\sigma$  – Desvio Padrão em uma distribuição normal

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA .....	14
1.2	OBJETIVOS.....	17
1.2.1	Objetivo Geral.....	17
1.2.2	Objetivos Específicos.....	17
1.3	JUSTIFICATIVA.....	18
1.4	DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	19
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	19
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	20
<b>2</b>	<b>ÁREA DE APLICAÇÃO .....</b>	<b>21</b>
2.1	ARCELORMITTAL TUBARÃO .....	21
2.2	COQUERIA.....	23
2.2.1.	Baterias de Coque .....	24
2.2.2.	Área de Tratamento de Gás de Coqueria.....	27
2.2.3.	Pátios de Carvão .....	27
2.2.4.	Apagamento a seco de Coque (CDQ).....	28
2.3	SISTEMAS DE CONTROLE DA COQUERIA.....	29
2.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	32
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>33</b>
3.1	CONFIABILIDADE E ANÁLISE DE DADOS DE VIDA .....	33
3.2	ANÁLISE DE CUSTO DE CICLO DE VIDA .....	40
3.3	GERENCIAMENTO DE ATIVOS .....	42
3.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	44
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>45</b>
4.1	COLETA DE DADOS.....	45
4.1.1	Dados de Confiabilidade.....	45
4.1.2	Dados de custo de ciclo de vida .....	48
4.2	CONSIDERAÇÕES E SIMPLIFICAÇÕES .....	52
4.3	DESENVOLVIMENTO DO MODELO .....	53
4.4	APLICAÇÃO DO MODELO .....	56
4.5	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	58
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>59</b>
5.2	DIFICULDADES ENCONTRADAS E SOLUÇÕES.....	60
5.3	CONCLUSÕES.....	60
5.4	BENEFÍCIOS PARA EMPRESA.....	61
5.5	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	62
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os Controladores Lógico Programáveis (CLPs) constituem hoje um equipamento essencial para o desenvolvimento das mais diversas aplicações. Sua importância não se resume ao avanço na otimização de produção e redução de custo, mas também em ganhos de segurança, meio-ambiente e gestão de ativos.

Sendo equipamentos tão críticos para as empresas onde são utilizados, é de sumo interesse que estes equipamentos tenham sua vida útil maximizada, considerando o custo e risco para sua substituição. Conseqüentemente, é fundamental que os níveis de confiabilidade destes equipamentos estejam sempre acima dos requisitos das plantas, haja vista que sua falha provoca, na maioria dos casos, perdas de faturamento, incremento em custos, riscos à segurança e meio-ambiente e mesmo riscos ao patrimônio da empresa.

Este trabalho propõe a criação de um modelo para a determinação de um tempo ótimo para a substituição ou migração de um sistema de CLPs, considerando os aspectos de custo e confiabilidade.

### 1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Os CLPs foram primeiramente concebidos no fim da década de 60 nos Estados Unidos por Dick Morley, como uma alternativa aos painéis de relés, com o objetivo inicial de reduzir o tempo necessário de adequação em face às constantes mudanças da linha de produção da General Motors (PAREDE; GOMES,2011). Isto foi requerido pois havia uma enorme dificuldade para realizar qualquer alteração, seja modelo, dimensão ou mesmo cor ou outros pequenos detalhes.

Desta forma, a General Motos solicitou o desenvolvimento de um equipamento com características de ser facilmente programável, possuir manutenção simples através de peças moduláveis, possuir dimensões inferiores aos painéis de relés e custos compatíveis com os mesmos. Foi criado então o primeiro CLP em 1969, o MODICON (*modular digital controller*), conforme mostra a Figura 1.1.

Figura 1.1 - Foto histórica mostrando da esquerda para a direita: Dick Morley, Tom Bois-sevain, Modicon 084, George Schwenk, and Jonas Landau



Fonte: Segovia; Theorin ( 2012).

Desde então, os CLPs vem se modernizando devido à constante evolução da eletrônica e tecnologia de informação. Estas modernizações resultam em: redução no tamanho, maior capacidade de processamento e armazenamento, introdução de interfaces de programação e gerenciamento mais amigáveis e introdução de redes de comunicação. Desta forma, os CLPs vêm absorvendo, cada vez mais, tarefas importantes nas indústrias, como controle de motores, válvulas cilindros, monitoração das informações de processos (temperatura, pressão, vazão, etc), cálculos para otimização de parâmetros de controle, registros de diversas informações para identificação de falhas e análises de processo, além de diagnósticos diversos.

A enorme evolução dos CLPs, alinhada ao crescimento acelerado da tecnologia de informação, serve de base para auxiliar a responder uma importante pergunta: “Nós estamos extraindo o maior valor de nossos ativos?” (MONTEIRO, 2017, p. 6).

Uma importante disciplina que pretende responder a esta pergunta é a Gestão de Ativos, que pode ser retratada através de normas. Dentre elas, ressaltamos a norma ISO 55000 que, segundo Ribeiro (2016),

“fornece princípios, requisitos e orientações para um Sistema de Gestão de Ativos e aborda requisitos como a implantação dos princípios de Gestão de

Ativos e a documentação sobre quais ativos fazem parte e são escopo deste Sistema. Trata, ainda, da integração dos processos decisórios técnicos e financeiros, particularmente sobre a Gestão de Ativos, e destaca também a implantação de um processo decisório com foco no balanceamento entre os fatores de riscos, custos e desempenho dos ativos. A integração dos processos técnicos e financeiros é descrita de maneira genérica, e cada organização deve definir como isto ocorrerá”(RIBEIRO, 2016, p. 37).

Sua importância deve-se ao fato de uma adequada gestão de ativos garantir a melhor utilização de seus ativos, controlando os riscos e custos, alinhado ao plano estratégico da empresa.

A norma brasileira que aborda a gestão de ativos é a NORMA NBR ISO 55000 e sua família. De acordo com esta NORMA, a implantação de um sistema de gestão de ativos resulta em benefícios como:

1. Melhoria no Desempenho Financeiro
2. Decisões informadas sobre investimentos em ativo
3. Risco gerenciado
4. Melhoria de saídas e Serviços
5. Responsabilidade Social Demonstrada
6. Conformidade Demonstrada
7. Melhoria de Imagem
8. Melhoria de Sustentabilidade organizacional

Dentro deste contexto, podemos estabelecer considerações e premissas sobre a utilização de CLPs, baseadas nas considerações anteriores e outras que seguem:

- Os CLPs constituem um ativo estratégico da empresa e são também um importante instrumento para gerenciamento dos demais ativos;
- Os CLPs são equipamentos fundamentais no diferencial das empresas, contribuindo nas várias dimensões: segurança, custo, produção, meio-ambiente e gestão;
- São requeridos dos CLPs alta confiabilidade, dada a importância dos mesmos no processo;
- Os investimentos para a implantação ou substituição dos CLPs, não somente devido à aquisição do equipamento, mas também de sua

montagem e comissionamento, são consideráveis e impactam significativamente na estratégia de investimentos das empresas.

Considerando as premissas acima, são propostas algumas indagações a seguir:

- Qual a confiabilidade requerida para os sistemas de CLPs instalados?
- Qual o custo de manutenção, incluindo impactos operacionais, paradas de produção, recursos humanos para sustentar esta confiabilidade requerida?
- Existe algum modelo que auxilie, indique ou oriente a completa substituição do sistema por um sistema novo, respeitando os requisitos de confiabilidade e custo?

Responder a estas questões será o propósito central deste trabalho, utilizando-se de metodologias, artigos e outras experiências de engenharia de confiabilidade.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Propor um modelo para determinar o tempo mais adequado para a substituição de controladores lógico programáveis (CLPs), sob os aspectos de confiabilidade, custo de manutenção, paradas para intervenções de manutenção e investimentos, com o propósito de auxiliar a tomada de decisão e a priorização de recursos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho pretende também atender aos seguintes objetivos específicos, alinhados ao objetivo geral:



- Investigar os dados de falha dos CLPs a serem estudados, desenvolvendo o conhecimento dos mesmos;
- Desenvolver habilidades e compartilhar conhecimento sobre confiabilidade, principalmente nos aspectos de análise de dados de vida e análise de custos de ciclo de vida;
- Propor modelos para a melhor intervenção ou substituição de ativos críticos, em especial sistemas eletrônicos (CLPs), alinhado ao modelo estratégico da empresa e gestão de ativos;
- Contribuir com ferramentas de confiabilidade para o processo de tomada de decisão para aplicação dos recursos da empresa, em especial aos equipamentos eletrônicos (CLPs).

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A correta intervenção nos CLPs impacta diretamente no negócio da empresa, seja pelo dano causado pela intervenção tardia, traduzido em transtornos operacionais, custos de lucro cessante, ocorrências ambientais ou até mesmo acidentes com danos à segurança e imagem.

O entendimento do melhor tempo de intervenção e substituição acarreta em ganhos tanto de custo quanto de impacto nos planos estratégicos, alinhando os investimentos demandados ao melhor período do ponto de vista de mercado e negócios e visão empresarial.

Este entendimento também traz melhores condições para uma definição mais acertada, haja vista que em situações de crise, devido a decisões não tomadas em tempo adequado, é grande o risco de decisões com consequências e impactos não medidos ou somente observados a posteriori.

Desta forma, há razões técnicas, operacionais, financeiras e principalmente de cunho estratégico que motivam a elaboração deste estudo.

## 1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este estudo proposto possui as seguintes delimitações:

- Restringe-se à área de Coqueria da Arcelormittal Tubarão e a seus equipamentos eletrônicos, especificamente os CLPs.
- Utiliza, como base de dados, as informações coletadas no Sistema de Manutenção (SISMANA), e em entrevistas técnicas com mantenedores e operadores da Coqueria.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Uma pesquisa é classificada de quatro maneiras: procedimentos adotados, natureza, forma de abordagem e objetivos (SILVA E MENEZES, 2005).

Em relação à natureza, este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa básica, visando principalmente a aquisição de conhecimento para auxílio na tomada de decisão, não pretendendo ser um modelo definitivo a ser implantado.

Quanto aos objetivos, este trabalho apresenta-se como uma pesquisa exploratória, objetivando descobrir um tempo ótimo para a substituição de CLPs na Coqueria da Arcelormittal Tubarão.

No que se refere à forma de abordagem, esta pesquisa é classificada como quantitativa, visto que utilizaremos tanto dados numéricos, obtidos nos sistema de manutenção quanto dados financeiros.

Finalmente, quanto aos procedimentos, foi adotado o procedimento de levantamento, tanto de dados sistematizados quanto através de entrevistas com mantenedores e operadores.

A formatação aqui empregada segue as normas da Universidade Técnica Federal do Paraná (UTFPR) para trabalhos acadêmicos. As figuras cujas fontes não estejam citadas subentendem-se como do autor.

O trabalho será desenvolvido nas instalações da Coqueria da Arcelormittal Tubarão e serão analisados Controladores Lógico Programáveis (CLPs) neste site.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo inicial apresenta as premissas básicas do trabalho, seus objetivos (geral e específicos), a justificativa para sua realização, sua relevância, ganhos e fatores motivadores, os procedimentos metodológicos utilizados e a maneira como o trabalho está estruturado.

O capítulo 2 descreve o local de realização do trabalho e suas características, os CLPs utilizados na planta, seu impacto no processo e informações de falhas.

O capítulo 3 descreve o referencial teórico aplicado ao trabalho: análise de dados de vida (LDA – *Life Data Analysis*), custo de ciclo de vida de equipamentos (LCC – *Life Cost Cycle Analysis*) e Gestão de Ativos.

O capítulo 4 apresenta o desenvolvimento do trabalho, aplicando o referencial teórico: LDA, LCC e Gestão de Ativos ( capítulo 3) nos CLPs da Coqueria (objeto proposto no capítulo 2).

O capítulo 5 traz o resumo dos resultados alcançados, as barreiras e restrições encontradas, assim como as alternativas apontadas. Além disso, apresenta as conclusões resultantes do trabalho e os ganhos oriundos deste para a empresa e colaboradores.

## 2 ÁREA DE APLICAÇÃO

Este trabalho será realizado tomando como base e fonte de informação as instalações da Usina Siderúrgica Arcelormittal Tubarão S.A, localizada no município da Serra, ES. Desta forma, este capítulo apresenta a Arcelormittal Tubarão, suas unidades e os equipamentos de que tratam este trabalho.

### 2.1 ARCELORMITTAL TUBARÃO

A ArcelorMittal Tubarão é uma unidade de produção integrada de aços planos, localizada no município da Serra, região metropolitana da Grande Vitória (ES). Possui capacidade de produção anual de 7,5 milhões de toneladas de aço em placas e bobinas a quente e atende, junto com a unidade de Vega, instalada na Região Sul do Brasil, ao segmento de aços planos, produzindo placas, bobinas a quente, laminados a frio e galvanizados, comercializados para os mercados interno e externo. É um processo integrado que resulta em um amplo mix de aços (ArcelorMittal, 2017). Na Figura 2.1 podemos observar uma foto aérea das instalações da ArcelorMittal Tubarão.

Figura 2.1 - Foto das instalações da Arcelormittal Tubarão



Fonte: ArcelorMittal (2017).

A Arcelormittal Tubarão foi inaugurada oficialmente em 30 de novembro de 1983, na cerimônia de acendimento do Alto-Forno #1, resultado de um investimento da ordem de US\$ 3 bilhões. Desde sua inauguração a empresa vem se expandindo

e evoluindo em seus processos, com destaque para a entrada em operação do Alto forno #2 em 1998, a inauguração do LTQ em 2002 e a partida do Alto Forno # 3 em 2007. Sendo uma indústria integrada, seu processo engloba:

1. Recebimento, preparação e estocagem das matérias-primas;
2. Fabricação de sinter, coque e gusa;
3. Produção de aço líquido;
4. Transformação do aço líquido em placas e destas em bobinas a quente;
5. Embarque dos produtos acabados em sistema multimodal.

Além dos processos inerentes ao processo siderúrgico, a Arcelormittal Tubarão também realiza:

- 1 Geração e distribuição de energia e gases do ar;
- 2 Tratamento e distribuição de água;
- 3 Beneficiamento de resíduos industriais transformados em coprodutos;
- 4 Serviços de manutenção industrial, incluindo fabricação de peças;
- 5 Desenvolvimento de novos produtos;
- 6 Projetos de investimento de melhorias e ampliações.

Na Figura 2.2 podemos visualizar um diagrama simplificado representando os macro processo do fluxo de produção da empresa.

Figura 2.2 – Fluxo de Produção de Aço da Arcelormittal Tubarão



Fonte: Arcelormittal Tubarão (2017).

Através dos fluxos e informações descritos acima, pode-se ter uma visão geral da empresa, seus macro processos, fluxos de produção e principais equipamentos.

## 2.2 COQUERIA

Dentre as unidades responsáveis pelos diversos estágios do processo de produção de aço, será abrangida neste estudo a planta de Coqueria.

A Coqueria destina-se a transformar carvão mineral em coque: um produto oriundo da destilação de carvão nas baterias de coque. O coque é utilizado nos Alto Fornos para promover a redução dos óxidos de ferro e como material combustível no processo de produção de ferro gusa.

Além da função principal de produção coque, a Coqueria ainda possui outras funções importantes como a coleta e tratamento de gás de Coqueria (COG) e envio para as termelétricas da Arcelormittal Tubarão, manuseio e transporte de carvão mineral e tratamento de água amoniacal.

Todos estes processos compreendem mais de 250 cilindros, 300 válvulas de controle e outros inúmeros instrumentos de medição e atuadores.

Figura 2.3 – Visão aérea das baterias de coque, CDQ e Tratamento de Gás



Fonte: ArcelorMittal (2017).

A Coqueria, portanto, representa uma importante parte do processo de produção de aço e impacta nos resultados globais da empresa.

### 2.2.1. Baterias de Coque

A Bateria de coque é o equipamento central da Coqueria. É nela que o processo de destilação do carvão se realiza.

A Coqueria da Arcelormittal Tubarão possui 3 baterias de coque, cada uma possuindo 49 fornos (com 6,5 m de altura e volume útil de 39,5 m<sup>3</sup>) perfazendo um total de 147 fornos. Para realizar as funções de carregamento do carvão e retirada do coque, são necessários equipamentos. Estes equipamentos são denominados Máquinas Móveis de Bateria. Na Coqueria da ArcelorMittal Tubarão, existem 13 máquinas, sendo elas: 4 carros de carregamento, 3 locomotivas, 3 guias de coque e 3 máquinas desenformadoras.

A seguir será realizada uma breve descrição de cada um destes equipamentos.

Na Figura 2.4 pode-se observar o carro de carregamento, equipamento que tem a função de carregar os fornos com coque mineral, para posterior processo de coqueificação

Figura 2.4 – Carro de Carregamento da Arcelormittal Tubarão



Fonte: ArcelorMittal (2017).

OS carros de carregamento são equipamentos compostos de 5 silos, onde o carvão é abastecido nas torres de carvão e posteriormente é injetado nos fornos das baterias. Possui também um sistema de translação (motores elétricos, redutores, rodas e outros componentes) para realizar transferência das torres para cada forno da bateria.

As máquinas desenformadoras têm a função de extrair o coque do forno, através de um êmbolo. Desta forma o coque é retirado do forno e depositado em caçambas que são movimentadas através de locomotivas. A figura 2.5 mostra a máquina desenformadora.



Figura 2.5 – Máquina Desenformadora

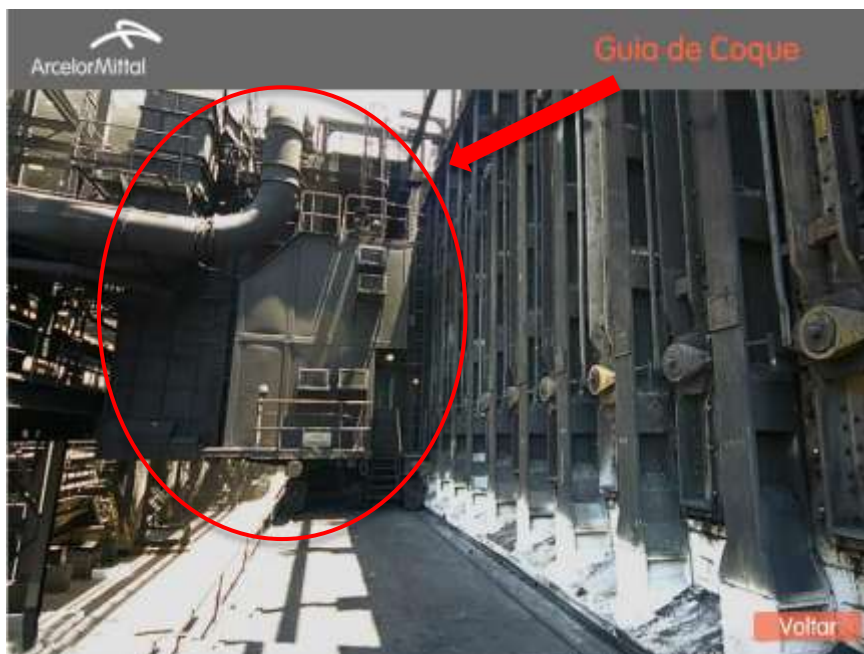


Fonte: ArcelorMittal (2017).

As máquinas desenformadoras possuem funções de avanço e recuo do embolo: responsável direto pelo desenformamento, funções de aberturas de portas dos fornos, funções de nivelamento de carvões nos fornos além de funções de translação e outras funções auxiliares. Todas estas funções são controladas por PLC.

Para evitar que o coque, ao ser retirado do forno, provoque danos nos pisos, passarelas e outras adjacentes, um equipamento é utilizado para “guiar” o coque até a caçamba sem possibilitar vazamentos. O equipamento responsável por esta função é a Guia de Coque, ilustrada na Figura 2.6.

Figura 2.6 – Guia de Coque



Fonte: ArcelorMittal (2017).

As guias de coque também apresentam funções como abertura de portas dos fornos, funções de translação e outras funções auxiliares.

Desta forma, foram apresentados os principais equipamentos móveis, controlados por CLPs, que operam nas baterias de coque.

### 2.2.2. Área de Tratamento de Gás de Coqueria

A Área de tratamento de gás tem a função de coletar, tratar e enviar às centrais termoelétricas o gás de coqueria COG gerado no processo de coqueificação. Além do COG, é tratado também o licor amoniacal oriundo da coqueificação. Os principais produtos removidos são: sólidos suspensos, amônia, naftaleno, enxofre, cianeto e fenol.

### 2.2.3. Pátios de Carvão

A Área de Pátios de carvão é composta por 5 máquinas para realizar o empilhamento e recuperação de carvões, correias transportadoras, calhas de

transferência, amostradores e outros equipamentos que compõem o sistema de recebimento e recuperação de carvão. Na figura 2.7 é apresentado o Pátio de Carvão.

Figura 2.7 – Pátio de Carvão da ArcelorMittal Tubarão



Fonte: ArcelorMittal (2017).

O objetivo desta área é receber, armazenar e distribuir carvão para as áreas de Alto Forno e baterias de coque. Cada um dos sub-processos do Pátio de carvão possui uma finalidade específica ( receber, armazenar, distribuir) e impactam diretamente nos outros sub-processos.

#### 2.2.4. Apagamento a seco de Coque (CDQ)

O CDQ é constituído por 5 unidades de apagamento que tem a função de reduzir a temperatura do coque incandescente, proveniente das baterias, para poder enviar este coque aos alto fornos. No processo de apagamento, o calor gerado é reaproveitado em caldeiras de recuperação, gerando vapor. Na figura 2.8 podem ser observadas 2 unidades do CDQ.

Figura 2.8 – Unidades de Apagamento a Seco ( CDQ)



Fonte: ArcelorMittal (2017).

As áreas e equipamentos apresentados acima possuem relevante importância no processo de fabricação de coque e, conseqüentemente, produção de aço. Além disso, todas as áreas e equipamentos acima apontados possuem sistemas de controle (CLPs) que monitoram e atuam dispositivos intrínsecos a cada área e equipamento. Estes CLPs serão o alvo dos estudos deste trabalho.

### 2.3 SISTEMAS DE CONTROLE DA COQUERIA

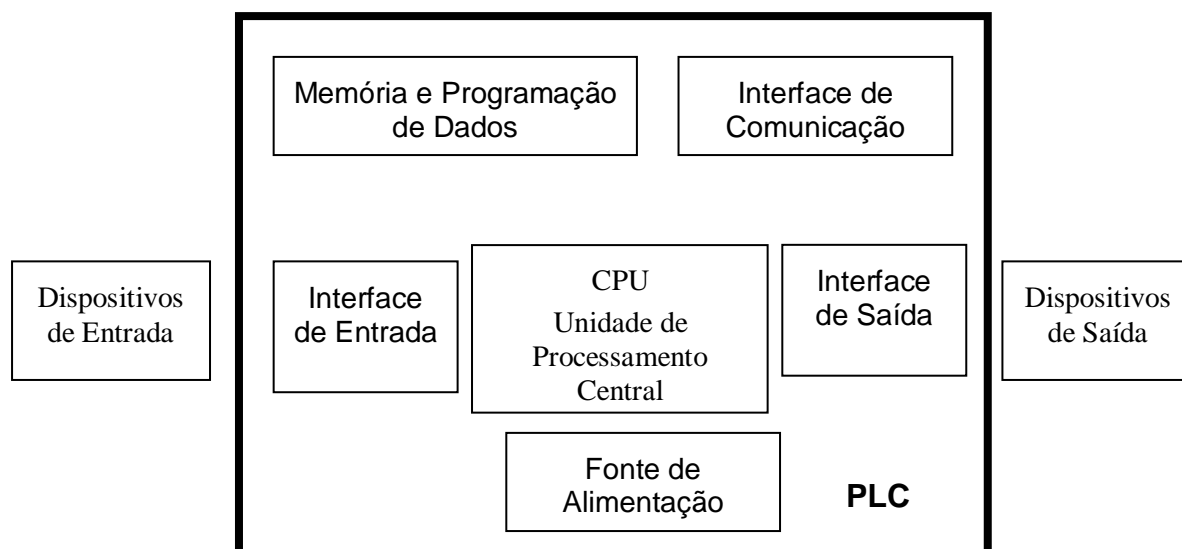
Para a correta operação dos diversos processos e equipamentos da Coqueria, são necessários dispositivos de controle que auxiliem e realizem tarefas críticas e de apoio. Dentre estes dispositivos, o objeto de estudo deste trabalho será o controlador lógico programável (CLP).

O CLP é um equipamento eletrônico digital, baseado em microcontroladores, que utiliza memórias programáveis para a aquisição de dados, armazenamento de instruções e realizam funções como operações lógicas, sequenciamentos,

temporizações, contagens e operações aritméticas com os objetivos de monitorar e controlar máquinas e processos (BOLTON, 2015).

O CLP é constituído basicamente de uma unidade de processamento, memória, fonte de alimentação, dispositivos de interface de entrada e saída, interface de comunicação e dispositivo de programação, conforme ilustrado na Figura 2.9.

Figura 2.9 - Diagrama Básico de um CLP



Fonte: Bolton (2015).

Na Coqueria são utilizados CLPs de diversos fabricantes: Yokogawa, General Electric, Siemes e Rockwell. Cada CLP desempenha papel fundamental em seu respectivo processo de atuação, e sua falha traz enormes consequências no processo controlado. Estas consequências vão desde erros em procedimentos e tarefas, gerando atuações não conformes, até a completa interrupção do processo e comprometimento do ativo envolvido. No Quadro 2.1 abaixo são listados todos os CLPs da Coqueria, seus fabricantes e modelos, assim como suas respectivas áreas de atuação.

Quadro 2.1 – CLPS da Coqueria e áreas de aplicação

Área	Fabricante	Modelo	QUANTIDADE
Pátio de Carvão	Rockwell	SLC-500	4
Pátio de Carvão	Rockwell	CLP5	2
Pátio de Carvão	GE	9030	3
Pátio de Carvão	GE	PAC MICRO	2
CDQ	GE	9030	19
Trat. de Coque	GE	9030	2
Baterias de Coque	Yokogawa	CENTUM CS3000	6
Baterias de Coque	GE	9030	20
Baterias de Coque	SIEMENS	S7-400	3
Tratamento de Gás	Yokogawa	CENTUM CS3000	6
Tratamento de Gás	SIEMENS	S7-400	2
Tratamento de Gás	GE	9030	2

Os CLPS em geral são submetidos a modos de falhas que comprometem seu funcionamento. Estes modos de falha foram listados por usuários e fornecedores em encontros para estabelecimentos de padrões da *International Society of Automation* (ISA) (GOBLE, 2010), conforme descrito a seguir:

1. Humidade
2. Temperatura
3. Falhas/Flutuações de alimentação de energia
4. Descargas Eletrostáticas
5. Falha em fiações
6. Corrosão
7. Falhas aleatórias de componentes
8. Falhas humanas (parametrização, carregamento de software, programação)
9. Aterramento
10. Interferência de Rádio- frequência
11. Vibração

Na Arcelormittal Tubarão, as falhas são reportadas no sistema de gerenciamento de manutenção computadorizado (CMMS). Este sistema é uma das fontes de dados para estudo da confiabilidade dos CLPs.

## 2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados a empresa onde é aplicado este estudo, suas áreas e subáreas, os CLPs utilizados nestas subáreas, os modos de falhas destes CLPs e formas de registro destas falhas. Objetivou-se, com isso, contextualizar o leitor com a realidade prática da área de aplicação do estudo.

As informações expostas neste capítulo servem como material fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Através destas informações, identifica-se a criticidade e o impacto destes equipamentos nas subáreas, áreas e na empresa.

Neste capítulo também foram apresentados elementos que constituem os CLPs e seus modos de falha, que serão abordados no capítulo 4, através de ferramentas de análise de dados de vida, apresentados no capítulo 3.

No capítulo 3 será explorado o referencial teórico: análise de dados de vida e análise de custos de ciclo de vida, que serão aplicados nos equipamentos (CLPs) expostos no capítulo 2.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será tratado o referencial teórico, que consiste em conceitos e fundamentos de confiabilidade, análise de custos de vida e gerenciamento de ativos.

Em cada item será fornecida uma breve apresentação destes conceitos.

#### 3.1 CONFIABILIDADE E ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

De acordo com a Norma NBR 5462, confiabilidade é a “capacidade de um item desempenhar uma função requerida, sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo” (p. ). Esta capacidade pode ser interpretada, em linguagem matemática, como probabilidade. Considerando esta definição, vemos que a confiabilidade se apoia em um embasamento estatístico.

Desta forma, pode-se definir confiabilidade como a probabilidade de um equipamento desempenhar com sucesso sua função durante um intervalo de tempo  $t$ . Suponha-se, então,  $n$  unidades idênticas submetidas a teste em dadas condições estabelecidas. Considerando que, após um intervalo de tempo  $t$ ,  $n_s(t)$  unidades sobreviveram e  $n_f(t)$  falharam, de tal forma que  $n_s(t) + n_f(t) = n$ . A função de confiabilidade  $R(t)$  é (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009):

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = \frac{n_s(t)}{n} \quad (1)$$

Onde :

$n$  = Numero de unidades idênticas

$t$  = intervalor de tempo

$R(t)$  = função de confiabilidade

Considerando  $T$  uma variável aleatória, distribuída continuamente, que represente o  $T$  até a falha, a função confiabilidade pode ser expressa como:

$$R(t) = P(T > t) \quad (2)$$



A probabilidade de falha pode então ser expressa como:

$$F(t) = P(T < t) = \int_0^t f(u) du, t > 0 \quad (3)$$

onde  $f(t)$ , representa a função densidade de probabilidade falha.

Esta função pode ser obtida então a partir da probabilidade acumulada de falha:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lim_{Dt \rightarrow 0} \frac{F(t+Dt) - F(t)}{Dt} = \lim_{Dt \rightarrow 0} \frac{P(t < T < t+Dt)}{Dt} \quad (4)$$

Onde  $F(t)$  representa a função probabilidade acumulada de falha,  $f(t)$  a função densidade de probabilidade e  $P(t)$  a probabilidade de uma falha ocorrer em um instante  $T$ .

Outra importante função utilizada nos estudos de engenharia de confiabilidade é a função risco. Esta função, também conhecida como taxa de falha ou taxa de risco, é utilizada como base de comparação entre unidades com características distintas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

A função de risco é desenvolvida a partir dos conceitos de probabilidade condicional. Considerando-se uma probabilidade de falha no intervalo  $t$  e  $t+\Delta t$ ,

$$P(t \leq T \leq t+Dt) = \int_t^{t+Dt} f_u du = F(t+Dt) - F(t) \quad (5)$$

onde  $P(T)$  representa a probabilidade de ocorrência de uma falha no intervalo  $T$ .

Condicional o evento de a unidade estar operando no tempo  $t$ , tem-se a expressão:

$$P(t \leq T \leq t+Dt / T \geq t) = \frac{P(t \leq T \leq t+Dt)}{P(T \geq t)} = \frac{F(t+Dt) - F(t)}{R(t)} \quad (6)$$

A taxa de falha instantânea é então:

$$h(t) = \lim_{Dt \rightarrow 0} \frac{F(t+Dt) - F(t)}{R(t)Dt} = \frac{f(t)}{R(t)}, t \geq 0 \quad (7)$$

A unidade utilizada na função de risco é geralmente expressa em falhas por unidade de tempo. Esta função nos mostra um indicativo do padrão de envelhecimento de uma unidade ou equipamento.

Há basicamente três classificações para a função de risco:

- a) Crescente (Taxa de risco aumenta com o tempo)
- b) Constante (Taxa de risco permanece igual com o tempo)
- c) Decrescente (Taxa de risco reduz com o tempo)

Utilizando-se das análises que definem distribuições de probabilidade teóricas, pode-se derivar expressões para funções de risco:

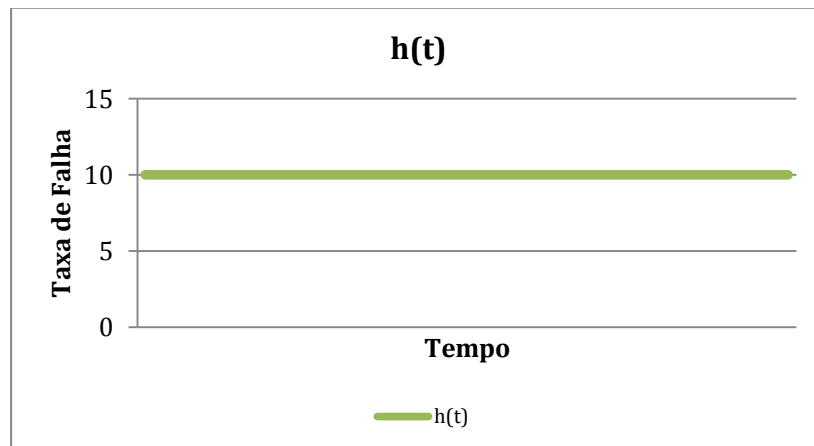
#### Distribuição Exponencial

Esta distribuição possui taxa de falha constante ou

$$h(t) = \frac{1}{\lambda} \quad (8)$$

A interpretação para esta distribuição é que a taxa de falhas é constante ao longo do tempo. Esta distribuição segue um processo de *Poisson*, ou seja, o processo é homogêneo no tempo e a ocorrência de eventos aleatórios é independente do passado destas ocorrências. Além disso, a probabilidade da ocorrência de um evento aleatório em um intervalo de tempo é proporcional ao tamanho deste intervalo.

Figura 3.1 – Taxa de Falha Constante



A taxa de falha constante é observada em vários tipos de equipamentos, principalmente os eletrônicos. Esta distribuição será amplamente utilizada ao longo deste trabalho.

### Distribuição Normal

A distribuição normal é definida como segue:

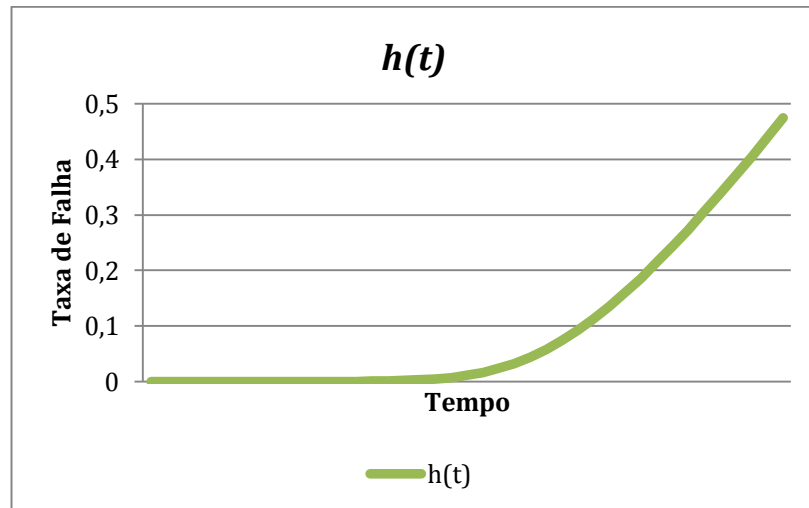
$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (9)$$

Sua taxa de falha é dada por

$$h(t) = \frac{\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\int_i^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt} \quad (10)$$

e o formato de sua curva pode ser visto na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Taxa de Falha Crescente



A distribuição normal representa o comportamento de itens que sofrem degradação, ou seja, a taxa de falha é incrementada com o tempo e utilização. Desta forma, itens que estão sujeitos a corrosão, desgaste, abrasão ou a processos de degradação similares podem ser representados por esta distribuição.

#### Distribuição Logonormal

A distribuição normal é definida como segue:

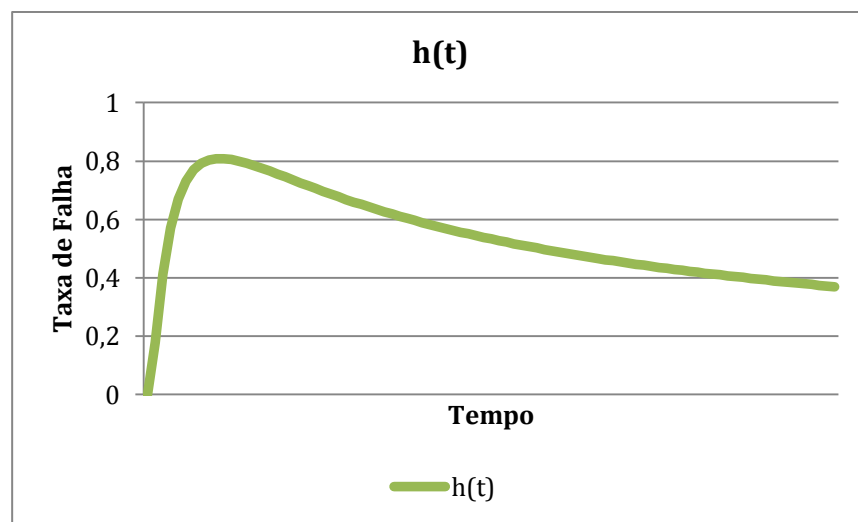
$$f(t) = \frac{1}{t \cdot s' \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(t) - m'}{s'} \right)^2} \quad (11)$$

Sua taxa de falha é dada por

$$h(t) = \frac{\frac{1}{t \cdot s' \sqrt{2\rho}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(t) - m'}{s'} \right)^2}}{\int_{\ln(t)}^{\infty} \frac{1}{t \cdot s' \sqrt{2\rho}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(t) - m'}{s'} \right)^2} dt} \quad (12)$$

e o formato de sua curva pode ser visto na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Taxa de Falha Decrescente



A distribuição lognormal representa o comportamento com taxas de falha maiores no início de operação, ou seja, a taxa de falha se reduz com o tempo e utilização. Este comportamento, interpretado como “mortalidade infantil” é atribuído a itens com projeto ainda não consolidado, falhas de aplicação ou reparos e intervenções realizados inadequadamente.

#### Distribuição de Weibull

Uma distribuição bastante útil na engenharia de confiabilidade é a distribuição de Weibull. Sua importância deve-se ao fato desta distribuição ser capaz de modelar taxas de falha crescentes, constantes ou decrescentes, de acordo com um de seus parâmetros. A distribuição de Weibull é definida como segue:

$$f(t) = \frac{b}{h} \left( \frac{t-g}{h} \right)^{b-1} e^{-\left( \frac{t-g}{h} \right)^b} \quad (13)$$

Sua taxa de falha é dada por

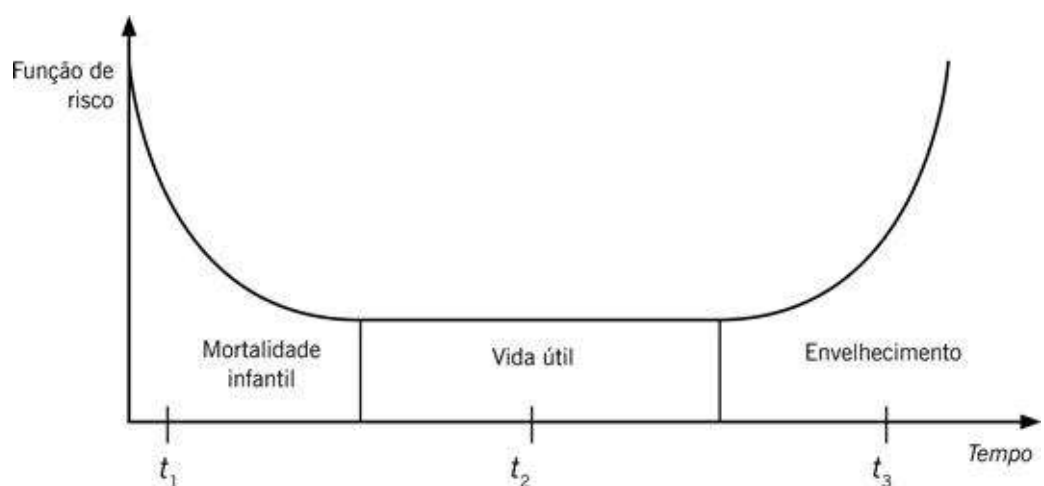
$$f(t) = \frac{b}{h} \left( \frac{t-g}{h} \right)^{b-1} \quad (14)$$

O valor de  $\beta$  determina a forma da distribuição e a forma da taxa de falha:

$\beta < 1$  resulta em uma função com taxa de falha decrescente;  $\beta=1$ , uma função com taxa de falha constante e  $\beta > 1$ , uma função com taxa de falha crescente.

A Figura 3.4 mostra uma curva comumente apresentada nos estudos de confiabilidade, conhecida como curva da banheira, onde estão apresentadas as três curvas da função de risco.

Figura 3.4 - Curva da Banheira



Fonte: Fogliatto; Ribeiro (2009).

### 3.2 ANÁLISE DE CUSTO DE CICLO DE VIDA

A confiabilidade permite a geração de informações e dá subsídios para a tomada de decisão em relação aos ativos, equipamentos e componentes. No entanto, as decisões corporativas tem um outro importante fator direcionador que é o fator financeiro. A relação entre confiabilidade e custos operacionais é o estudo tratado na análise de custo de ciclo de vida.

A análise de custos de ciclo de vida (*Lifecycle Costing Analysis – LCCA*) é uma técnica que encoraja os responsáveis pela definição e seleção do sistema a considerar todos os custos incididos na vida útil de um sistema e não somente seu custo de aquisição (GOBLE, 2010). De acordo com o *National Institute of Standards and Technology* (1995),

“A Análise do Custo do Ciclo de Vida (LCCA) é um método de avaliação econômica do projeto onde todos os custos decorrentes da operação, manutenção e, finalmente, descarte são considerados importantes para a decisão custo-benefício sobre seu desempenho” (p.1-1).

Podemos classificar os custos de um equipamento ou sistema em duas categorias (GOBLE, 2010):

- Custos de aquisição – Custos que englobam projeto, compra, treinamento inicial, instalação, *start up* e comissionamento;
- Custos operacionais – Custos das falhas (quantidade e impacto das falhas) incluindo perdas e lucro cessante, custo de manutenção e custos de consumo.

Do ponto de vista financeiro, estes custos devem ser tratados adequadamente no tempo, pois sofrem variações decorrentes de aspectos como inflação, riscos e liquidez.

A disciplina que estuda e trabalha com estes aspectos é a matemática financeira. Alguns conceitos da matemática financeira serão explorados a seguir:

Juros – Remuneração sobre o capital empregado durante período determinado;

Taxa de Juros – Razão entre o juro pago e o capital investido;

Valor Presente - Valor dos pagamentos efetuados em períodos diferentes, corrigidos, de acordo com as taxas de juros discriminadas, em valores na base inicial do desembolso ou instante zero;

Valor Futuro - Valor pagamentos efetuados em períodos diferentes, corrigidos, de acordo com as taxas de juros discriminadas, em valores na base final do desembolso ou instante final.

O valor presente pode ser convertido em valor futuro através da equação abaixo:

$$VF = VP(1 + i \cdot n) \quad (15)$$

para capitalização simples, ou

$$VF = VP(1 + i)^n \quad (16)$$

para capitalização composta, onde :

VF= Valor Futuro

VP=Valor presente

i = taxa de juros

n = número de períodos

Alguns outros conceitos de análise financeira merecem ser expostos:

1. Fluxo de Caixa – representação gráfica das entradas e saídas de recursos financeiros, em um período de tempo, de um determinado evento ou empresa.



2. *Payback* – Método de análise financeira que consiste no período de tempo necessário para recuperar o recurso financeiro empregado ou investimento
3. Valor Presente Líquido – Valor de cada evento do fluxo de caixa, corrigido pela taxa de juros informada a valores no período inicial do fluxo de caixa, descontado o investimento. Em termos matemáticos

$$VPL = \sum_{t=1}^n \left( \frac{FC_t}{(1+i)^t} \right) - FC_0 \quad (17)$$

Onde: VPL = Valor Presente Líquido

$FC_t$  = Entradas e saídas de recursos financeiros no tempo t

$FC_0$  = Investimento inicial, ou recursos investidos no tempo inicial 0

i = taxa de juros

n = número total de períodos

4. Taxa Interna de Retorno – Taxa na qual o valor presente líquido é zero. Em termos matemáticos

$$FC_0 = \sum_{t=1}^n \left( \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \right) \quad (18)$$

onde TIR = Taxa Interna de Retorno

$FC_t$  = Entradas e saídas de recursos financeiros no tempo t

$FC_0$  = Investimento inicial, ou recursos investidos no tempo inicial 0

i = taxa de juros

n = número total de períodos

### 3.3 GERENCIAMENTO DE ATIVOS

As análises de confiabilidade e custo de equipamentos e sistemas fornecem informações e subsídios para responder a perguntas como: “Estamos realmente extraindo o maior valor de nossos ativos?” (MONTEIRO, 2017, p. 6). A discussão gerada por questionamentos como esse levou o IAM ( *Institute of Asset Management*)

no Reino Unido ao desenvolvimento de documentos, entre eles o PAS 55, uma Especificação Disponível Publicamente para a Gestão Otimizada de Ativos Físicos. Podemos extrair do PAS 55 (apud RIBEIRO, 2017, p. 16) uma importante definição de gestão de ativos:

“A Gestão de Ativos são atividades, praticas sistemáticas e coordenadas pelos quais uma organização gerencia, de forma ótima e sustentável, seus ativos e/ou sistemas de ativos, seu desempenho associado, riscos e custos durante seus ciclos de vida com a finalidade de alcançar seu plano estratégico organizacional.”

No Brasil a gestão de ativos é abordada na família de normas NBR ISO 55.000:

ABNT NBR ISO 55000:2014 - Gestão de ativos — Visão geral, princípios e terminologia

ABNT NBR ISO 55001:2014 - Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Requisitos;

ABNT NBR ISO 55002:2014 - Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Diretrizes para a aplicação da ABNT NBR ISO 55001.

Segundo a norma ISO 55.000, podemos definir gestão de ativos como um conjunto de atividades coordenadas de uma organização para obter valor a partir dos ativos. Na Figura 3.5 o leitor poderá ter uma visão geral de um sistema de Gestão de Ativos.

Figura 3.5 - Visão Geral de um Sistema de Gestão de Ativos



Fonte: ReliaSoft, 2013 (apud Monteiro, 2017).

A gestão de ativos propicia elementos para o atingimento das metas organizacionais e possui como um de seus pilares a engenharia de confiabilidade. A Figura 3.5 representa o papel da engenharia de confiabilidade na gestão de ativos.

### 3.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste Capítulo apresentamos os principais elementos teóricos de análise de dados de vida, incluindo as principais distribuições de falha e seus parâmetros; elementos teóricos de análise de custo de ciclos de vida; e gestão de ativos.

Estes conceitos serão utilizados ao longo deste trabalho como base para a determinação dos parâmetros aplicados ao estudo em questão. O ferramental teórico também será utilizado como consulta futura pelo autor em trabalhos correlatos, servindo como material relevante de apoio.

No capítulo 4 será realizado o desenvolvimento do trabalho: coleta de dados, aplicação dos conceitos apresentados no capítulo 3 e no contexto informado no capítulo 2 e apresentação dos resultados.

## 4 DESENVOLVIMENTO

O tempo adequado de substituição ou atualização dos CLPs impacta diretamente no resultado da empresa, seja por menor risco de falhas, seja por melhor utilização do capital empenhado. Para o desenvolvimento do modelo, serão utilizados os dados coletados na coqueria da Arcelormittal Tubarão.

Para estabelecimento deste tempo “ótimo”, será necessária a utilização dos conceitos apresentados no capítulo 3 - REFERENCIAL TEÓRICO:

- Taxa de falhas dos CLPs
- Confiabilidade e Probabilidade de Falha Acumulada
- Valor presente, taxa de juros, fluxo de caixa e outros elementos de matemática financeira
- Gestão de ativos e atingimento de metas organizacionais

Ao longo deste capítulo iremos aprofundar a aplicação destes conceitos em CLPs da coqueria.

### 4.1 COLETA DE DADOS

#### 4.1.1 Dados de Confiabilidade

Os dados de confiabilidade utilizados neste estudo foram extraídos da base de dados do sistema de gerenciamento de manutenção computadorizado ( CMMS - *Computerized maintenance management system*) da Arcelormittal tubarão, denominado SISMANA, que foi desenvolvido pela própria empresa.

No SISMANA existem módulos de gestão de planos de serviços, cadastros de equipamentos, planos de inspeção e calibração de equipamentos e módulos de registro e gestão de anomalias, que serão utilizados na coleta dos dados deste estudo.

Apesar da amplitude de módulos e relatórios existentes no SISMANA, não existe uma consulta específica e simples que nos traga as informações de falhas em CLPs de áreas distintas. Desta forma a coleta de dados no SISMANA foi realizada

através de busca geral, no primeiro momento, e identificação em cada relatório diário de turno.

A Figura 4.1 mostra uma tela do SISMANA onde foram realizadas as consultas e coletas de dados.

Figura 4.1 - Tela de consulta de ocorrências/anomalias no SISMANA

The screenshot shows the SISMANA software interface. The title bar reads "SISMANA - Módulo de Registro de Anomalias de Manutenção Versão: 23/06/2017 - 12h47". The menu bar includes "Registro de Turno", "Registro de Anomalias", "Análise de Falha", "Causalidade de Perdas", "Plano de Ação", "Consultas Gerais", "Tabelas", "Administração", and "Manual". The main window is titled "Consulta Geral" and contains several search filters:

- Código:** Fields for "Nº REAM", "Nº Análise Falha", "Nº Relatório", and "Nº Plano de Ação".
- Filtro:** Fields for "Inicial" (30/05/2010) and "Final" (30/09/2017), "Origem" (Todos), "CDM" (Todos), and "EXIBIR CANCELADOS?".
- Localização:** Fields for "U.O." (01 COQUERIA), "A.O." (08 TRATAMENTO DE GÁS), "E.O." (238 SALA DE CONTROLE OPE), "S.F.", and "I.F.". A checkbox "Exibir todos os itens da estrutura?" is checked.
- Filtro:** Fields for "Tipo de Falha" (Nenhum), "Parâmetro de Controle Afetado" (Nenhum), and "Especialidade e Componente que falhou" (Nenhum).

Below the filters is a table with the following columns: REAM, Análise de Falha, Causalidade de Perdas, and Plano de Ação. The table shows 15 rows of data, with the last row highlighted:

REAM	Análise de Falha	Causalidade de Perdas	Plano de Ação
0110.2015.0029			
0110.2015.0030			
0110.2015.0031			
0170.2013.0057			
0170.2014.0001			
0170.2014.0008			
0170.2015.0001			
0170.2015.0003			
0170.2015.0013			
0170.2015.0014			
0170.2015.0015			
0170.2013.0057	FALHA NO CONVERSOR SERIAL PARA ETHERNET NO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ACG - GATEWAY		

The status bar at the bottom of the table shows "Total de Registros: 41".

Fonte: Arcelormittal, 2017

Além do SISMANA, uma importante fonte de informação é a experiência e registro da equipe de manutenção da área. Esta equipe, composta por técnicos de manutenção, eletricitas e engenheiros, é responsável pela inspeção, manutenção e tratamento de falhas dos equipamentos da coqueria. Desta forma, a memória “viva” oriunda da experiência desta equipe também é uma importante fonte de dados.

Através de pesquisas realizadas no SISMANA e entrevistas com equipe de manutenção, identificaram-se as falhas nos CLPs das áreas. De acordo com o número de falhas e número de equipamentos, é possível estabelecermos, numa aproximação simplista, a taxa de falhas de cada grupo de equipamentos. Esta taxa

de falhas  $\lambda$  é definida como o número de falhas pelo tempo de operação e número de equipamentos no grupo.

$$f = \frac{N_f}{N_E \cdot T_p} \quad / \quad f = \frac{N_f}{N_E \cdot T_p} \quad (19)$$

Onde :

$\lambda$  = taxa de falhas

$N_f$  = Número de falhas

$N_E$  = Número de equipamentos

$T_p$  = Tempo de Pesquisa

O Quadro 4.1 apresenta o panorama dos CLPs da coqueria, seus tempos de operação, número de falhas, número de equipamentos por grupo e taxa de falhas calculada.

Quadro 4.1 – Quadro do número de falhas em CLPs na coqueria

Área	Fabricante	Modelo	QUANT.	Número de falhas	Tempo de Operação (anos)	Taxa de Falhas ( $\lambda$ )
Pátio de Carvão	Rockwell	SLC-500	4	4	11,5	0,087
Pátio de Carvão	Rockwell	CLP5	2	3	20	0,075
Pátio de Carvão	GE	9030	3	2	10	0,067
Pátio de Carvão	GE	PAC MICRO	2	0	1	0,000
CDQ	GE	-	19	-	4	0,000
Trat. de Coque	GE	9030	2	2	10	0,100
Baterias de Coque	Yokogawa	CENTUM CS3000	6	1	10,5	0,016
Baterias de Coque	GE	9030	20	20	12,7	0,079
Baterias de Coque	SIEMENS	S7-400	3	4	10,0	0,133
Tratamento de Gás	Yokogawa	CENTUM CS3000	6	2	12	0,028
Tratamento de Gás	SIEMENS	S7-400	2	0	10	0,000
Tratamento de Gás	GE	9030	2	1	8	0,063

Observando o Quadro 4.1, podemos identificar que as taxas de falha são impactadas tanto pelo modelo do CLP quanto pela área de aplicação. Observa-se que um mesmo fabricante e modelo possuem taxas de falha diferentes, de acordo com a área onde é aplicado.

Esta constatação vai ao encontro do que foi apresentado no capítulo 2 onde são apresentados modos de falha (GOBLE, 2010). Percebe-se que os modos de falhas são profundamente influenciados pelo ambiente. No caso da coqueria, aspectos como condição de vedação das salas elétricas, humidade, exposição a agentes corrosivos e vibração podem variar substancialmente entre um equipamento e outro. Conclui-se então que a taxa de falhas deve ser estudada e classificada não somente quanto ao fornecedor e modelo, mas também quanto à localização e aplicação.

#### 4.1.2 Dados de custo de ciclo de vida

Outro aspecto importante para o desenvolvimento deste estudo são os dados de custo referentes aos CLPs e as áreas em questão. Os dados considerados neste estudo serão os dados de custo dos CLPs, impacto da falha dos CLPs em suas respectivas áreas, custo da atualização/substituição dos CLPs e risco da obsolescência.

A coleta destes dados foi realizada através do sistema integrado de gestão empresarial (SAP) utilizado na Arcelormittal Tubarão, através da consulta a fornecedores, presencial e sites de internet, além da experiência da equipe de manutenção (oriunda de contratações anteriores). Os dados referentes aos custo dos CLPs são apresentados no Quadro 4.2

Quadro 4.2 – Quadro dos dados de custo dos CLPs

Área	Fabricante	Modelo	Preço da CPU
Pátio de Carvão	Rockwell	SLC-500	R\$ 13.517,60
Pátio de Carvão	Rockwell	CLP5	R\$ 55.000,00
Pátio de Carvão	GE	9030	R\$ 18.061,14
Pátio de Carvão	GE	PAC MICRO	R\$ 11.396,87
Baterias de Coque	Yokogawa	CENTUM CS3000	R\$ 25.622,23
Baterias de Coque	SIEMENS	S7-400	R\$ 50.000,00

Quanto aos impactos gerados pela perda da função dos CLPs, cabe ressaltar que, apesar da falha do CLP provocar uma interrupção da função do sistema em questão, estes impactos não são equivalentes ou de mesma proporção. Assim, podemos classificar estas interrupções das funções como de alto, médio ou de baixo impacto.

Neste estudo, o critério adotado para a classificação do grau de impacto é como segue:

**ALTO IMPACTO** – Perdas com lucro cessante e danos a equipamentos maiores que USD 1.000.000,00 ou Riscos elevados à segurança ou ambientais.

**MÉDIO IMPACTO** – Perdas com lucro cessante e danos a equipamentos entre USD 100.000,00 e USD 1.000.000,00 ou Riscos baixos à segurança ou ambientais.

**BAIXO IMPACTO** – Perdas com lucro cessante e danos a equipamentos MENORES QUE USD 100.000,00.

Apresentamos no Quadro 4.3 a avaliação dos impactos da falha do CLP de acordo com a área de aplicação.



Quadro 4.3 – Classificação do Impacto de acordo com a área de aplicação

Área	Fabricante	Modelo	IMPACTO
Pátio de Carvão	Rockwell	SLC-500	MÉDIO
Pátio de Carvão	Rockwell	CLP5	ALTO
CDQ	GE	9030	ALTO
Trat. de Coque	GE	9030	ALTO
Baterias de Coque (REVERSÃO)	Yokogawa	CENTUM CS3000	ALTO
Baterias de Coque (MÁQUINAS MÓVEIS)	GE	9030	MÉDIO
Baterias de Coque (SISTEMA SEGURANÇA)	SIEMENS	S7-400	ALTO
Tratamento de Gás	Yokogawa	CENTUM CS3000	ALTO
Tratamento de Gás ( CALDEIRA)	SIEMENS	S7-400	MÉDIO
Tratamento de Gás	GE	9030	BAIXO

Devemos também estabelecer critérios para substituição ou atualização de equipamentos baseados em sua condição de obsolescência tecnológica. A obsolescência apresenta-se tanto como tecnologia defasada em relação a equipamentos mais modernos, que possuem maior confiabilidade, rendimento, adequação às normas de segurança e meio-ambiente, quanto na ausência de sobressalentes, peças e suporte técnico para reposição dos equipamentos.

Neste estudo, definiu-se o seguinte critério quanto à classificação do nível de obsolescência:

**ALTO GRAU DE OBSOLESCÊNCIA** – Equipamentos já descontinuados pelo fornecedor a mais de um ano, com alto grau de dificuldade de reposição de peças e assistência técnica.

**MÉDIO GRAU DE OBSOLESCÊNCIA** – Equipamentos descontinuados a menos de um ano, ou com previsão de serem descontinuados em até 2 anos.

**BAIXO GRAU DE OBSOLESCÊNCIA** – Equipamentos em produção, com previsão de serem descontinuados em mais de 2 anos.

As informações de descontinuidade de fabricação foram obtidas dos fornecedores de equipamentos, através dos sites da internet entrevistas com

representantes. O Quadro 4.4 retrata a condição dos CLPS da Coqueria em relação à obsolescência.

Quadro 4.4 – Quadro de CLPs classificados conforme grau de obsolescência.

Fabricante	Modelo	Grau de Obsolescência
Rockwell	SLC-500	MÉDIO GRAU DE OBSOLESCÊNCIA
Rockwell	CLP5	ALTO GRAU DE OBSOLESCÊNCIA
GE	9030	MÉDIO GRAU DE OBSOLESCÊNCIA
GE	PAC MICRO	BAIXO GRAU DE OBSOLESCÊNCIA
Yokogawa	CENTUM CS3000	MÉDIO GRAU DE OBSOLESCÊNCIA
SIEMENS	S7-400 ( FAILSAFE)	ALTO GRAU DE OBSOLESCÊNCIA

Finalmente, devem ser consideradas as situações de atualização / *revamp*, o que resulta em custos menores e situações de completa alteração do sistema, ou seja, mudança de fornecedor e modelo, com conseqüente mudança de plataforma, instalações, painéis, etc, o que resulta em um maior valor investido. A opção por uma alternativa ou outra advém de aspectos de confiabilidade, obsolescência e mercado.

Quadro 4.5 – Quadro de valores de atualização ou substituição de CLPs da Coqueria

Área	Fabricante	Modelo	Quant.	Tipo de Intervenção	Valor (10 <sup>6</sup> R\$)
Pátio de Carvão	Rockwell	SLC-500	4	Atualização (Controllogix)	0,26
Pátio de Carvão	Rockwell	CLP5	2	Atualização (Controllogix)	0,26
CDQ	GE	9030	19	Atualização (PACSYTEM)	1,0
Trat. de Coque	GE	9030	2	Atualização (PACSYTEM)	0,10
Baterias de Coque (REVERSÃO)	Yokogawa	CENTUM CS3000	6	Atualização (CENTUM VP)	0,3
Baterias de Coque (MÁQUINAS MÓVEIS)	GE	9030	20	Atualização (PACSYTEM)	1,0
Baterias de Coque (SISTEMA SEGURANÇA)	SIEMENS	S7-400	3	Substituição (PROSAFE)	1,5
Tratamento de Gás	Yokogawa	CENTUM CS3000	6	Atualização (CENTUM VP)	0,3
Tratamento de Gás (CALDEIRA)	SIEMENS	S7-400	2	Substituição (PROSAFE)	0,5
Tratamento de Gás	GE	9030	2	Atualização (PACSYTEM)	0,1

O Quadro 4.5 demonstra algumas estimativas de adequação ou alteração de sistemas, por equipamentos, baseadas em entrevista com os técnicos e engenheiros da área, de acordo com propostas já formuladas por fornecedores nos CLPs aqui tratadas. Estas adequações ou alterações consideram valores de substituição dos *hardwares* (CPUs, fontes, plataformas, software, engenharia e comissionamento).

#### 4.2 CONSIDERAÇÕES E SIMPLIFICAÇÕES

Na elaboração deste estudo, algumas simplificações e aproximações foram utilizadas em virtude de fatores diversos como limitação da base de dados, complexidade matemática, abrangência e especificidade de equipamentos e componentes e outros.

A seguir iremos listar as principais considerações, simplificações e aproximações adotadas:

- O modelo a ser desenvolvido tomou como base de dados os CLPs da Coqueria. Optou-se por agrupar os CLPs de acordo com fabricantes, modelos e áreas. Apesar de considerarmos esta aproximação satisfatória, entende-se que uma avaliação por subárea e equipamento poderá trazer maior informação e robustez ao modelo.

- Por limitação da base de dados e ausência de datas exatas de início e de falha das CPUs, considerou-se o MTBF (*Mean time Between failure*) como o número de falhas dividido pelo tempo de operação do item, taxa de falhas como sendo o inverso do MTBF e distribuição de falha seguindo o modelo exponencial (taxa de falhas constante). Apesar de uma visão simplificada, considerou-se adequada a utilização deste parâmetro, pois equipamentos eletrônicos em geral apresentam uma distribuição exponencial devido a sua característica inerente (falhas aleatórias). Esta premissa é suportada pela norma do departamento de defesa americano MIL-HDBK-217F (1991).

- Os dados referentes a falhas do CLP restringem-se a modo de falhas na CPU, tendo como consequência a substituição da mesma. Não foram consideradas as falhas em cartões de entrada e saída, rede, assim como não foram consideradas as falhas de *software* ou *firmware*, onde um simples *reset* da CPU restabeleceu a condição de funcionamento.

#### 4.3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Um modelo consiste em um conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou comportamento de um sistema físico pelo qual se procuram explicar ou prever as propriedades do sistema (FERREIRA, 1986). O objetivo de desenvolver um modelo, neste estudo, é otimizar os tempos de substituição de CLPs de tal sorte que, por um lado, não seja empenhado capital em excesso desnecessariamente, levando, desta forma, a um baixo retorno do capital empregado, ou, por outro lado, retardando

demasiadamente a troca do CLP, resultando em falha do mesmo e as consequências decorrentes desta falha.

O modelo proposto baseia-se em elementos qualitativos e quantitativos assim distribuídos:

Elementos quantitativos:

- Taxa de falha
- Custo do Investimento para atualização

Elementos Qualitativos:

- Impacto no processo
- Grau de Obsolescência

Para o desenvolvimento do modelo é fundamental a conceituação de risco. Pode-se definir risco em termos de uma probabilidade de um efeito danoso específico acontecer, ou como a relação entre a magnitude do efeito e sua probabilidade de ocorrência (SUTER, 1993). Desta forma, observa-se que o risco consiste em uma relação entre probabilidade de ocorrência do evento e o impacto / severidade do mesmo.

Assim, no caso aqui tratado, o risco referente a Falhas em CLP é definido com o:

$$R = P(t>T) \times \text{Impacto} \times \text{Obsolescência}$$

Onde:

R = Risco

$P(t>T)$  = Probabilidade de ocorrência de falha num período superior a T

Impacto = Gravidade do Impacto oriundo da falha, classificado como:

ALTO = 3

MÉDIO = 2

BAIXO = 1

Obsolescência = Grau de obsolescência do CLP, classificado como:

ALTO = 3

MÉDIO = 2

BAIXO = 1

Considerando as distribuições de falha aleatórias, ou seja, com distribuição exponencial, pode-se calcular a probabilidade de ocorrência de falha através da distribuição de Poisson:

$$P(x = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad (20)$$

Onde:

$P(X=k)$  = Probabilidade x falhas ocorrerem em um intervalo de tempo

$\lambda$ =taxa de falhas

A probabilidade de ZERO falha é então:

$$P(x = 0) = \frac{\lambda^0 e^{-\lambda}}{0!} = e^{-\lambda} \quad (21)$$

E a probabilidade de pelo menos uma falha ocorrer é:

$$P(x > 0) = 1 - e^{-\lambda} \quad (22)$$

Os resultados do Risco calculado podem ser classificados de acordo com o Quadro 4.6.

Quadro 4.6 – Classificação dos riscos

RISCO	VALOR DO RISCO	DESCRIÇÃO
ELEVADO	$R \geq 0,4$	Risco com alta probabilidade e/ou impacto e/ou grau de obsolescência
MÉDIO	$0,1 \leq R < 0,4$	Risco com média probabilidade e/ou impacto e/ou grau de obsolescência
BAIXO	$R < 0,1$	Risco com baixa probabilidade e/ou impacto e/ou grau de obsolescência

De acordo com o risco apurado, recomendam-se ações para tratativa ou não deste risco:

RISCO ELEVADO → Alta prioridade de mitigação ou contingência - Indicativo de ação imediata ou até o um ano de intervalo.

RISCO MÈDIO → Ação urgente – Demanda ações de mitigação ou contingência até 2 anos

RISCO BAIXO → Ações de monitoramento e avaliação periódica

De posse da classificação dos riscos, outro parâmetro para o modelo a ser considerado é a relação entre custo de investimento e mitigação do risco.

A redução do risco envolve, entre outras ações, a atualização do sistema por equipamentos menos obsoletos e com maior grau de confiabilidade. Considerando o investimento para a mitigação deste risco, pode-se definir uma taxa de custo para mitigação de risco como segue:

$$T_{MR} = \frac{C_i}{R} \quad (23)$$

Onde:

$T_{MR}$  = Taxa de custo de mitigação de risco

R = Risco

$C_i$  = Investimento para Mitigação do Risco

Após a conceituação do modelo, este foi aplicado utilizando-se a base de dados acima.

#### 4.4 APLICAÇÃO DO MODELO

Aplicando-se o modelo proposto obtém-se os resultados apontados no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Quadro de riscos conforme modelo proposto

Área	Fabricante	Modelo	Taxa de Falhas ( $\lambda$ )	IMPACTO	Obsolescência	Probabilidade de Falha em um ano	VALOR RISCO
Baterias de Coque	SIEMENS	S7-400	0,1330	ALTO	ALTO GRAU	12%	1,12
Pátio de Carvão	Rockwell	CLP5	0,0750	ALTO	ALTO GRAU	7%	0,65
Trat. de Coque	GE	9030	0,1000	ALTO	MÉDIO GRAU	10%	0,57
Pátio de Carvão	GE	9030	0,0670	ALTO	MÉDIO GRAU	6%	0,39
Pátio de Carvão	Rockwell	SLC-500	0,0870	MÉDIO	MÉDIO GRAU	8%	0,33
Baterias de Coque	GE	9030	0,0790	MÉDIO	MÉDIO GRAU	8%	0,30
Tratamento de Gás	Yokogawa	CENTUM CS3000	0,0280	ALTO	MÉDIO GRAU	3%	0,17
Tratamento de Gás	GE	9030	0,0630	BAIXO	MÉDIO GRAU	6%	0,12
Baterias de Coque	Yokogawa	CENTUM CS3000	0,0160	ALTO	MÉDIO GRAU	2%	0,10
CDQ	GE	9030	0,0000	ALTO	MÉDIO GRAU	0%	-
Tratamento de Gás	SIEMENS	S7-400	0,0000	MÉDIO	ALTO GRAU	0%	-
Pátio de Carvão	GE	PAC MICRO	0,0000	ALTO	BAIXO GRAU	0%	-

Fazendo a estratificação da tabela, é possível segmentar e priorizar os equipamentos conforme Risco:

**ALTO RISCO** – SIEMENS /S7-400 (Baterias de Coque); Rockwell /CLP5 (Pátio de Carvão); GE/9030 (Trat. de Coque)

**MÉDIO RISCO** – Yokogawa / CENTUM CS3000 (Tratamento de Gás e Baterias de Coque); GE /9030 (Pátio de Carvão e Baterias de Coque); Rockwell /SLC-500 (Pátio de Carvão)

**BAIXO RISCO** – GE /9030CDQ; SIEMENS / S7-400 (Tratamento de Gás); GE /PAC MICRO (Pátio de Carvão)

Outro critério para auxílio à tomada de decisão é a taxa de custo de mitigação de risco. O Quadro 4.8 apresenta a aplicação da taxa de mitigação de risco nos itens de Alto Risco.



Quadro 4.8 – Taxa de Mitigação de Risco para CLPs de Alto e Médio Risco

Área	Fabricante	Modelo	VALOR RISCO	Taxa de Mitigação de Risco
Baterias de Coque	SIEMENS	S7-400	1,12	R\$ 1.338.312,84
Pátio de Carvão	Rockwell	CLP5	0,65	R\$ 399.810,17
Trat. de Coque	GE	9030	0,57	R\$ 175.138,87
Pátio de Carvão	GE	9030	0,39	R\$ 385.773,90
Pátio de Carvão	Rockwell	SLC-500	0,33	R\$ 780.097,63
Baterias de Coque	GE	9030	0,30	R\$ 3.291.202,62
Tratamento de Gás	Yokogawa	CENTUM CS3000	0,17	R\$ 1.810.830,95
Tratamento de Gás	GE	9030	0,12	R\$ 818.913,28
Baterias de Coque	Yokogawa	CENTUM CS3000	0,10	R\$ 3.150.066,67

Observa-se no Quadro 4.8 que a taxa de mitigação de risco nos traz uma informação complementar. Este quadro proporciona a comparação de custos e riscos com o objetivo de serem identificadas oportunidades (baixo investimento para mitigação de risco) ou busca de alternativas em casos de alto investimento. Como demonstrado no Quadro 4.8, um ponto de priorização e oportunidade são os CLPs de Pátio de Carvão e Tratamento de Coque (GE/9030).

#### 4.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os procedimentos e recursos para a coleta de dados, os dados coletados, as simplificações e considerações adotadas, a proposta de um modelo para substituição / atualização de CLPs na Coqueria e a aplicação deste modelo com os dados coletados.

A ideia do modelo proposto é obter critérios que conduzam à tomada de decisão mais acertada do ponto de vista de retorno dos ativos, quanto à substituição

dos CLPs. Além de critérios envolvendo riscos, também foram considerados aspectos de custo do investimento.

No próximo capítulo serão apresentados os resultados oriundos do modelo proposto, as dificuldades e barreiras para a construção do trabalho, as soluções encontradas, a conclusão do trabalho, apontando os ganhos para a empresa e as oportunidades para trabalhos futuros.

## **5 CONCLUSÃO**

Este trabalho objetivou a criação de um modelo com informações qualitativas, quantitativas e estatísticas, que auxilie a alta direção à tomada de decisão do emprego dos recursos de investimento, aplicando estes recursos no momento mais adequado e do ponto de vista técnico, de gestão de riscos e financeiro. Neste modelo foram utilizados conceitos de engenharia de confiabilidade e gestão de ativos aplicados em CLPs pertencentes à planta de Coqueria da Arcelormittal Tubarão.

Como principal resultado obtido, foram elencados os CLPs da área da Coqueria, avaliados e priorizados, de acordo com parâmetros financeiros, de confiabilidade e gestão de ativos, dando suporte à direção para a tomada de decisão para alocação de recursos.

Os resultados alcançados nesta pesquisa permitiram, adicionalmente, o aprofundamento no conhecimento dos CLPs estudados, tanto em aspectos de confiabilidade - como taxas de falha, modos de falha e influência da área aplicada - como também a oportunidade de melhor entendimento do impacto do equipamento nos resultados da empresa, ou seja, uma visão alinhada à gestão de ativos.

O modelo aqui desenvolvido, aplicado aos CLPs da área de Coqueria, pode ser extrapolado, considerando-se as devidas adequações, para outros equipamentos que também possuam características de gravidade, impacto e custo e, por razões estratégicas, mereçam esta análise.

## 5.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS E SOLUÇÕES

No desenvolvimento desta pesquisa, alguns obstáculos foram encontrados. Eles serão apresentados visando contribuir com informação e aprendizado para futuros trabalhos.

- Base de dados – As informações contidas na base de dados, apesar de sua grande importância, foram insuficientes para um completo estudo de desenvolvimento das curvas de probabilidade e confiabilidade. Apesar de haver registros com informações de falhas, não existem dados precisos e informações detalhadas de substituições por componente. No entanto, apesar da carência de informações detalhas, foi possível levantar o número de itens e os tempos totais de operação, o que nos permitiu calcular a taxa de falhas. Foi assumida uma taxa de falha constante baseada na característica do componente (equipamento eletrônico – falhas aleatórias) suportada pela norma do departamento de defesa americano MIL-HDBK-217F.

- Ensaio Acelerado - Uma alternativa preliminar para o desenvolvimento das curvas de probabilidade de falha e confiabilidade seria a utilização de ensaios acelerados, porém, devido à inviabilidade técnico-financeira de ser desenvolvido um laboratório para tal fim, não foi realizada esta iniciativa.

- Custos – Os valores de custo obtidos foram baseados em dados históricos do sistema ERP da empresa (SAP) e de consulta a compras e aquisições históricas. A identificação destes custos demanda um enorme esforço em sua pesquisa e pode incorrer em variações, dependentes das situações de mercado. No entanto, os valores obtidos apresentam um grau de precisão satisfatório para os objetivos do estudo.

## 5.3 CONCLUSÕES

O mercado se apresenta cada vez mais competitivo e desafiador. A gestão dos ativos, suportando a geração de valor agregado, é uma das maiores vantagens

competitivas que as empresas detêm. Utilizar o ativo, empregando os recursos financeiros de forma mais otimizada possível, é o grande desafio a ser transposto.

Neste trabalho estabelecemos uma sugestão de modelo para substituição / atualização de CLPs, com o objetivo de suportar a direção na tomada de decisão da aplicação destes recursos no momento mais adequado.

O modelo proposto indica a situação corrente dos CLPs, o indicativo de substituição / atualização, uma priorização visando melhor emprego dos investimentos e indicadores que permitem observar oportunidades para mitigação de riscos.

A validação da aplicação deste modelo na Coqueria da Arcelormittal Tubarão foi realizada através de entrevistas com os engenheiros e técnicos do setor, demonstrando grande aderência às opiniões de corpo técnico.

#### 5.4 BENEFÍCIOS PARA EMPRESA

Os principais benefícios obtidos para a empresa, utilizando-se do modelo proposto neste estudo e no trabalho como um todo são:

- Indicativo do melhor momento para o emprego de recursos financeiros e investimentos, obtendo melhor retorno sobre investimento;
- Maior conhecimento dos equipamentos instalados, a confiabilidade de cada item e desta forma estabelecer um planejamento de utilização e substituição do mesmo;
- Maior entendimento dos riscos envolvidos nos processos, assim como elaboração de indicadores para priorização da mitigação dos mesmos;
- Consolidação dos conhecimentos de engenharia de confiabilidade pelo corpo técnico.

Todo o conhecimento adquirido pela equipe de manutenção da coqueria durante a elaboração deste trabalho resulta, além do retorno financeiro já descrito, em maior motivação e engajamento, benefícios indiretos de enorme importância na gestão de ativos da empresa.

## 5.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Várias oportunidades foram identificadas no desenvolvimento deste trabalho, porém não foram desenvolvidas, devido a restrições de prazo, recursos financeiros e humanos e outras limitações como base de dados e informações insuficientes. No entanto, estas oportunidades merecem ser apresentadas como sugestões para trabalhos futuros.

Conforme relatado, a base de dados utilizada não possui informação detalhada. Como sugestão, a construção de uma base de dados com informações precisas proporcionaria o conhecimento da curva de distribuição de probabilidade, o que traria informações valiosas sobre a confiabilidade dos equipamentos e predição, aumentando consideravelmente a robustez do modelo.

Este trabalho restringiu-se às falhas das CPUs dos CLPs. Como sugestão para trabalhos futuros, indica-se a análise dos cartões de entrada e saída, chassis, cartões de comunicação e modos de falha de software.

Finalmente, sugere-se o estudo dos modos de falha dos CLPs relacionados às condições de instalação (variação da tensão, número de desligamentos do CLP, humidade, agentes contaminantes das salas elétricas e vibração). Estudos aprofundados destes modos de falha assim como o desenvolvimento de experimentos de ensaios acelerados podem trazer contribuições relevantes para o aumento da confiabilidade destes equipamentos.

## REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL – disponível em <http://tubarao.arcelormittal.com/quem-somos/usina/fluxo-producao/index.asp>. Acesso em 26 de setembro de 2017.

ARCELORMITTAL – disponível em [http://tubarao.arcelormittal.com/usina/fluxo\\_producao/popfluxo.htm](http://tubarao.arcelormittal.com/usina/fluxo_producao/popfluxo.htm). Acesso em 26 de setembro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR ISO 55000, Gestão de ativos — Visão geral, princípios e terminologia, Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR ISO 55001 Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Requisitos, Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR ISO 55002, Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Diretrizes para a aplicação da ABNT NBR ISO 55001, Rio de Janeiro, 2014.

BOLTON, William. **Instrumentation and Control Systems**. MA: Newnes, 2015.

GOBLE, William M. **Control systems safety evaluation and reliability**. NC: International Society of Automation, 2010.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2009

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1986.

MILITARY HANDBOOK - RELIABILITY PREDICTION OF ELECTRONIC EQUIPMENT. **MIL-HDBK-217F**. Washington, DC: Department of Defense, 1991.

MONTEIRO, José Venancio. **Gestão de Ativos**. 2017. Aula apresentada ao curso de pós-graduação em engenharia de confiabilidade. UTFPR, 2017.

FULLER, Sieglinde K.; PETERSEN, Stephen R. **Life-Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program**. MD: NIST Handbook 135, 1996.

PAREDE, Ismael Moura; GOMES, Luiz Eduardo Lemes. **Eletrônica: automação industrial**. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011

RIBEIRO, Adelir Fortunato. **Gestão de ativos aplicada em disjuntores a gás sf6 de 145 kv.** 2016. Monografia. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Carlos. São Carlos, 2016.

SEGOVIA, Vanessa Romero; THEORIN, Alfred. **History of Control. History of PLC and DCS.** 2012

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** Florianópolis: UFSC, 2005.

SUTER, G. W., II. **Ecological Risk Assessment.** Lewis Pub.: Florida, 1993.