

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

CLAYTON CORONA MAGALHÃES

**ANÁLISE RAM APLICADA AOS EQUIPAMENTOS DE LIMPEZA DE
GÁS DE UM ALTO FORNO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

CLAYTON CORONA MAGALHÃES

**ANÁLISE RAM APLICADA AOS EQUIPAMENTOS DE LIMPEZA DE
GÁS DE UM ALTO FORNO**

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

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

CURITIBA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE RAM APLICADA AOS EQUIPAMENTOS DE LIMPEZA DE GÁS DE UM ALTO FORNO

por

CLAYTON CORONA MAGALHÃES

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(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

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

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

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

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

Dedico este trabalho aos meus filhos Felipe e Sofia, para quem continuarei tentando ser referência como ser-humano.

Dedico também aos meus pais que sempre me deram suporte na vida acadêmica e pessoal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Douglas Ruy a indicação para realizar essa Pós-Graduação em Engenharia de Confiabilidade, o que contribuiu para meu desenvolvimento profissional e abriu novas possibilidades de atuação com acesso a ferramentas por mim antes desconhecidas.

Agradeço aos colegas de trabalho Ricardo Sodré, Filipi Merçon, Alexandre Pelisson e Washington Loyola pelo compartilhamento das experiências.

Agradeço aos colegas de turma pelo companheirismo e generosidade no compartilhamento de informações nas atividades de classe e extra-classe.

RESUMO

MAGALHÃES, Clayton Corona. **Análise RAM Aplicada aos Equipamentos de Limpeza de Gás de um Alto Forno**. 2019. 54 páginas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Este estudo será aplicado aos equipamentos da limpeza de gás do alto forno 1, com o objetivo de apresentar uma análise estruturada de confiabilidade desta área após adoção de altas taxas de injeção de carvão em um alto forno de uma grande companhia siderúrgica, a partir de 2015, que fez com que os equipamentos trabalhassem sob condições mais severas devido a maior geração de particulado no gás de alto forno (BFG). Neste trabalho foram coletadas no sistema de gestão da manutenção (SISMANA), as informações de tempo até falha e tempo de reparo de diversos equipamentos complexos, sendo aplicadas ferramentas de análise de dados de vida, diagrama de blocos e análise RAM (*Reliability Availability Maintainability*). Como resultado deste trabalho conseguiu-se identificar os equipamentos com maior incidência de falhas e, com a aplicação das ferramentas da engenharia de confiabilidade, foi possível elevar o patamar de confiabilidade desta área.

Palavras-chave: Engenharia de Confiabilidade. Limpeza de Gás. Sistema de Gestão da Manutenção. Análise RAM.

ABSTRACT

MAGALHÃES, Clayton Corona. **Análise RAM Aplicada aos Equipamento de Limpeza de Gás de um Alto Forno**. 2019. 54 páginas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

This study will be applied to blast furnace 1 Gas Cleaning, with the objective of presenting a structured analysis of reliability of this area after adoption of high rates of coal injection in big steel company, from 2015, which caused the equipment to work under more severe conditions due to the higher generation of particulate in the blast furnace gas (BFG). In this work, the information of time to failure and time of repair of several complex equipments were collected in the maintenance management system (SISMANA), applying tools of life data analysis, block diagram and reliability availability maintenance (RAM). As a result of this work, it was possible to identify the equipment with the highest incidence of failures and, with the application of the tools of reliability engineering, it was possible to raise the level of reliability of this area.

Palavras-chave: Reliability Engineering. Gas Cleaning. Maintenance Management System. RAM analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Visão geral do processo de fabricação de aço	15
Figura 2.2 - Distribuição produção de aço no mundo	16
Figura 2.3 - Consumo aparente de aço per capita	16
Figura 2.4 - Rotas e matérias-primas siderúrgicas	17
Figura 2.5 - As zonas de um alto forno	18
Figura 2.6 - Entradas e saídas de um Alto Forno	19
Figura 2.7 - Perfil de temperatura no interior de um Alto Forno	20
Figura 2.8 - Sistema de carregamento do Alto Forno	21
Figura 2.9 - Sistema de carregamento do Alto Forno – Peneiramento	21
Figura 2.10 - Sistema de topo do Alto Forno	23
Figura 2.11 - Operação da máquina de perfuração	25
Figura 2.12 - Operação do canhão de lama	25
Figura 2.13 - Sistema dos regeneradores	26
Figura 2.14 - Sistema típico de lavagem de gás	28
Figura 4.1 - Relatório de turno diário	34
Figura 4.2 - Lançamento de dados de reparo do Balão de Pó no Weibull	36
Figura 4.3 - Diagrama de blocos da Limpeza de Gás	37
Figura 4.4 - Simulação do diagrama de blocos da Limpeza de Gás	37
Figura 4.5 - Resultados da simulação da Limpeza de Gás	38
Figura 4.6 - Transmissor de pressão diferencial PT502	39
Figura 4.7 – Colunas de nível e transmissores de nível	40
Figura 4.8 - Válvula de controle de vazão de água dos bicos spray do <i>Venturi Scrubber 1 (VS1)</i>	41
Figura 4.9 - Válvula de descarga de emergência do <i>Venturi Scrubber 1 (VS1)</i> ...	42
Figura 4.10 - Diagrama de blocos do <i>Venturi Scrubber 1 (VS1)</i>	43
Figura 4.11 - Simulação do diagrama de blocos do <i>Venturi Scrubber 1 (VS1)</i>	43
Figura 4.12 - Resultados da simulação do diagrama de blocos do <i>Venturi Scrubber 1 (VS1)</i>	44
Figura 4.13 - Plano de ação para aumento de confiabilidade do <i>Venturi Scrubber 1 (VS1)</i>	45
Figura 4.14 - Medidor de nível por radar (Modelo VEGAPLUS SR 68)	46
Figura 4.15 - Utilização de antena de 90° acoplada ao radar	47
Figura 4.16 - Conjunto radar-antena adquirido e flange montado na lateral do <i>Venturi Scrubber (VS1)</i>	48

LISTA DE SIGLAS

BFG	<i>Blast Furnace Gas</i> (Gás de Alto Forno)
COG	<i>Coke Gas</i> (Gás de Coqueria)
DCS	<i>Digital Control System</i> (Sistema de Controle Digital)
LDA	<i>Life Data Analysis</i> (Análises de Dados de Vida)
MC	Manutenção Corretiva
PCI	<i>Pulverized Coal Injection</i> (Injeção de Carvão Pulverizado)
PT	<i>Pressure Transmitter</i> (Transmissor de Pressão)
RAM	Reliability Availability Maintainability (Confiabilidade Disponibilidade Mantenabilidade)
SISMANA	Sistema de Gestão da Manutenção
TTF	<i>Time To Fail</i> (Tempo até Falha)
TTR	Time To Repair (Tempo até Reparo)
VS1	<i>Venturi Scrubber 1</i> (Lavador de Venturi 1)
VS2	<i>Venturi Scrubber 2</i> (Lavador de Venturi 2)
TRT	Turbina de Recuperação do Topo

SUMÁRIO

1.1	PREMISSAS E PROBLEMAS DE PESQUISA.....	9
1.2	OBJETIVOS	10
1.2.1	Objetivo Geral.....	10
1.2.2	Objetivos Específicos	10
1.3	JUSTIFICATIVA	11
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	11
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2.1	VISÃO GERAL DO PROCESSO SIDERÚRGICO.....	14
2.2	PROCESSO DO ALTO FORNO.....	17
2.3	PRINCIPAIS SISTEMAS DE UM ALTO FORNO	20
2.3.1	Carregamento do Alto Forno (<i>Blast Furnace Stock House</i>)	20
2.3.2	Topo do Alto Forno (<i>Blast Furnace Top</i>)	22
2.3.3	Casa de Corrida (<i>Casthouse</i>).....	24
2.3.4	Regeneradores (<i>Hot Stoves</i>).....	26
2.3.5	Sistema de Limpeza de Gás (<i>Gas Cleaning System</i>).....	27
2.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	29
3.1	ANÁLISE RAM	30
3.2	ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	31
3.2.1	Distribuição Exponencial	32
3.2.2	Distribuição de Weibull.....	33
4.1	PREPARANDO OS DADOS DE FALHA E REPARO.....	34
4.2	LANÇANDO OS DADOS NO SOFTWARE WEIBULL	35
4.3	MONTANDO O DIAGRAMA DE BLOCOS DA LIMPEZA DE GÁS	36
4.4	OBTENDO A ANÁLISE RAM A PARTIR DA SIMULAÇÃO NO BLOCKSIM.....	37
4.5	CONHECENDO OS PRINCIPAIS SUBSISTEMAS DO <i>VENTURI SCRUBBER</i>	39
4.5.1	Controle de Pressão Diferencial do <i>Venturi Scrubber</i>	39
4.5.2	Controle de Nível do <i>Venturi Scrubber</i>	40
4.5.3	Controle de Vazão de água da Lavagem de Gás do <i>Venturi Scrubber</i>	41
4.5.4	Controle de Descarga de Emergência do <i>Venturi Scrubber</i>	42
4.6	ANÁLISE RAM DO <i>VENTURI SCRUBBER 1 (VS1)</i>	43
4.7	TRATAMENTO PARA AS FALHAS MAIS RELEVANTES.....	44
4.7.1	PLANOS DE AÇÃO PARA CORREÇÃO DOS DESVIOS.....	45
4.7.1.1	Falhas Constantes na Indicação de Nível de Água do <i>Venturi Scrubber 1 (VS1)</i>	46
4.7.1.2	Falha de Travamento da Válvula de Descarga do <i>Venturi Scrubber 1 (VS1)</i>	48
4.7.1.3	Falha de Indicação de Posição (Aberto / Fechado) da Válvula de Descarga do <i>Venturi Scrubber 1 (VS1)</i>	49
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A busca incessante e incansável para atingir índices elevados de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos nas pequenas, médias e grandes empresas, requer dos profissionais de manutenção muita dedicação, conhecimento, aplicação de tecnologias e criatividade. As ferramentas da Engenharia de Confiabilidade têm papel fundamental no atingimento deste objetivo e sua utilização deve ser cada vez mais difundida nas empresas na busca da excelência dos seus processos. Sem falar que o uso das ferramentas da Engenharia de Confiabilidade contribui diretamente para a redução dos custos e gerenciamento de riscos, pilares na administração das empresas. De olho nestes conceitos, a gerência do Alto Forno 1 vem desafiando seus Especialistas de Confiabilidade a aplicarem tais ferramentas para obter maior estabilidade da planta, dentre outros ganhos.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMAS DE PESQUISA

Este estudo se limitará à área da limpeza de gás do alto forno de uma grande companhia siderúrgica, instalada em Serra no Espírito Santo. A área da limpeza de gás de um alto forno funciona como um filtro cujo objetivo é retirar do gás do alto forno, chamado de BFG (*Blast Furnace Gas*), todo o particulado gerado. Como o BFG é reutilizado tanto no alto Forno quanto em demais áreas da usina como combustível para queima, se a eficiência da limpeza de gás não tiver adequada, o particulado será carregado para vários equipamentos, trazendo inúmeros transtornos para todo o site.

O desafio então é manter a limpeza de gás com a melhor eficiência possível, considerando que as paradas programadas ocorrem a cada quatro meses.

Diante do grande número de equipamentos existentes na limpeza de gás e de ocorrências de parada e tempos de parada diversos, como determinar de forma assertiva os principais equipamentos com impacto na performance da área?

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral e específico do presente trabalho é apresentado a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é determinar os ativos que mais impactam no resultado de confiabilidade e disponibilidade da limpeza de gás através da aplicação de ferramentas de confiabilidade quantitativa.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para se atingir o objetivo geral, as seguintes etapas serão foram realizadas:

1. Levantar informações quantitativas de falhas e reparos dos ativos existentes na limpeza de gás, através do sistema de gestão da manutenção (SISMANA);
2. Modelar os dados em uma planilha para realização do cálculo dos tempos até falha e tempos de reparos;
3. Aplicar os dados obtidos acima no software Weibull++ para verificar a melhor distribuição de vida estatística que representa as curvas de confiabilidade dos ativos;
4. Construir o diagrama de blocos no BlockSim a fim de visualizar o modelo matemático que descreve a probabilidade de falha de todo sistema;
5. Utilizar a análise RAM para determinar quais os ativos que mais impactam na confiabilidade e disponibilidade da área;
6. Propor a aplicação de ferramentas de confiabilidade nos subsistemas selecionados.

1.3 JUSTIFICATIVA

No ano de 2015 foi formado um grupo de trabalho com o objetivo de aumentar a confiabilidade da Planta de PCI (*Pulverized Coal Injection*), a fim de elevar o nível de injeção de carvão nos Altos Fornos com vistas ao aumento da produtividade e redução do custo de produção.

O resultado foi o incremento do carvão injetado nos altos fornos, o que acarretou numa maior geração de particulado no alto forno, colocando a limpeza de gás em condições mais severas de operação, trazendo consequências também para os equipamentos.

Desde então, não foi feito nenhum trabalho mais dedicado à área da limpeza de gás de forma a identificar equipamentos com maior ocorrência de falhas, o que propõe este trabalho.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos utilizados neste estudo possuem as seguintes classificações:

Quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa quantitativa, uma vez que enfatiza a objetividade, a coleta e análise dos dados com ferramentas estatísticas;

Quanto à natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada, pois objetiva gerar tratativas para uma aplicação prática com problemas específicos da limpeza de gás;

Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa explicativa, devido buscar identificar os fatores que mais contribuem para impactar no resultado final da performance da área;

Quanto aos procedimentos, o projeto trata de uma pesquisa de campo, pois tem como base as investigações oriundas de coletas de dados históricos de falha para a posterior análise dos diferentes comportamentos nos equipamentos observados.

Primeiramente será realizada a coleta dos dados históricos do processo produtivo dos anos de 2017 e metade do ano de 2018, que será obtida através do sistema de gestão da manutenção (SISMANA) de paradas produtivas da empresa. Após a coleta dos dados, será feita uma organização de forma a considerar as paradas produtivas emergenciais sob responsabilidade da manutenção e operação, explicitando assim os equipamentos mais críticos, objeto deste trabalho.

Subsequentemente, estes dados serão preparados de forma a conter os tempos de parada e tempos de reparo de cada equipamento, estando prontos para serem utilizados no software Weibull++ e BlockSim da Reliasoft.

Testes de aderência, levantamento das melhores distribuições estatísticas, diagramas de blocos e análise RAM serão realizados para análise da confiabilidade. Finalmente, com a aplicação das ferramentas de análise quantitativa da confiabilidade, pretende-se, então evidenciar os resultados e propor ações que permitam direcionar esforços nos equipamentos que realmente estão impactando no resultado de performance da limpeza de gás

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Os capítulos iniciais apresentam informações de caráter geral do estudo proposto, caracterizando a real necessidade, assim como o local de aplicação, e ressaltando os objetivos gerais e específicos esperados, além dos motivos que justificam a realização deste estudo.

O Capítulo 2 apresenta informações sobre o processo e características do produto de saída com maior nível de detalhes, assim como a explicação dos principais subsistemas complexos de modo a proporcionar um melhor entendimento da abrangência e impacto do trabalho.

O Capítulo 3 contém um referencial teórico das principais ferramentas de confiabilidade utilizadas, como Análise de Dados de Vida, o diagrama de blocos (BlockSim) e a análise RAM, que suportam o desenvolvimento do trabalho para a obtenção do resultado desejado.

O Capítulo 4 apresenta o desenvolvimento do trabalho na sequência de realização, contendo: a forma de obtenção dos dados e tratamentos realizados, a aplicação das ferramentas de confiabilidade e os resultados obtidos com os fatos analisados.

O Capítulo 5 finaliza o trabalho comentando os resultados obtidos, as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento, a forma como estas dificuldades foram contornadas, a conclusão e os benefícios alcançados para o processo e para a empresa e sugestões para trabalhos futuros para ampliar ainda mais a confiabilidade da Limpeza de Gás.

2 FUNDAMENTOS DO PROCESSO SIDERÚRGICO

2.1 VISÃO GERAL DO PROCESSO SIDERÚRGICO

De acordo com a Associação Mundial do Aço (2017), o aço é uma liga de ferro e carbono contendo menos de 2% de carbono e 1% de manganês e pequenas quantidades de silício, fósforo, enxofre e oxigênio. O aço é o material de construção mais importante do mundo. É usado em todos os aspectos de nossas vidas como em nossos carros, casas, hospitais, navios, dentre outros. Segundo o Instituto Aço Brasil (2017), o ferro é extraído nos processos de mineração e é fortemente associado ao oxigênio e à sílica. O carbono é relativamente abundante na natureza e pode ser encontrado sob diversas formas.

No processo siderúrgico, utiliza-se como combustível o carvão mineral, e em fornos de menor capacidade de produção, o carvão vegetal. O carvão tem dupla função na fabricação do aço, sendo a primeira como combustível e a segunda como redutor, associando-se ao oxigênio que se desprende do minério com a alta temperatura, deixando livre o ferro. Este processo de redução se dá em um equipamento chamado alto forno. Segundo a Associação Mundial do Aço (2017), 75% da produção de ferro gusa se dá em altos fornos e o restante da produção em fornos de indução elétrica. Na área da sinterização, o minério é transformado em sinter e após este processo é destinado ao alto forno. Nas empresas pelletizadoras, o minério é transformado em pelotas e também são destinadas ao alto forno. Na área da coqueria, o carvão mineral é transformado em coque que é posteriormente levado ao Alto Forno para ser utilizado como combustível. Estas etapas de transformação do minério de ferro e o carvão são realizados com objetivo de aumentar o rendimento gerando economia no processo. No alto forno é gerado como produtos finais o ferro líquido que é chamado de ferro gusa ou ferro de primeira fusão além de impurezas como calcário e sílica que formam a escória, utilizada na fabricação de cimento. Após a obtenção do ferro gusa, o mesmo é transportado através de carros torpedos até a etapa seguinte do processo chamada de refino, onde será realizada a transformação do ferro em aço mediante queima de impurezas e adições. A área responsável por executar esta transformação é chamada de aciaria. O refino do aço pode ser realizado em fornos a oxigênio ou elétricos. A última etapa de fabricação do aço é a laminação.

O aço, em processo de solidificação, é deformado mecanicamente e transformado em produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de transformação, como chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados, barras etc. A figura 2.1 mostra de forma global o processo siderúrgico.

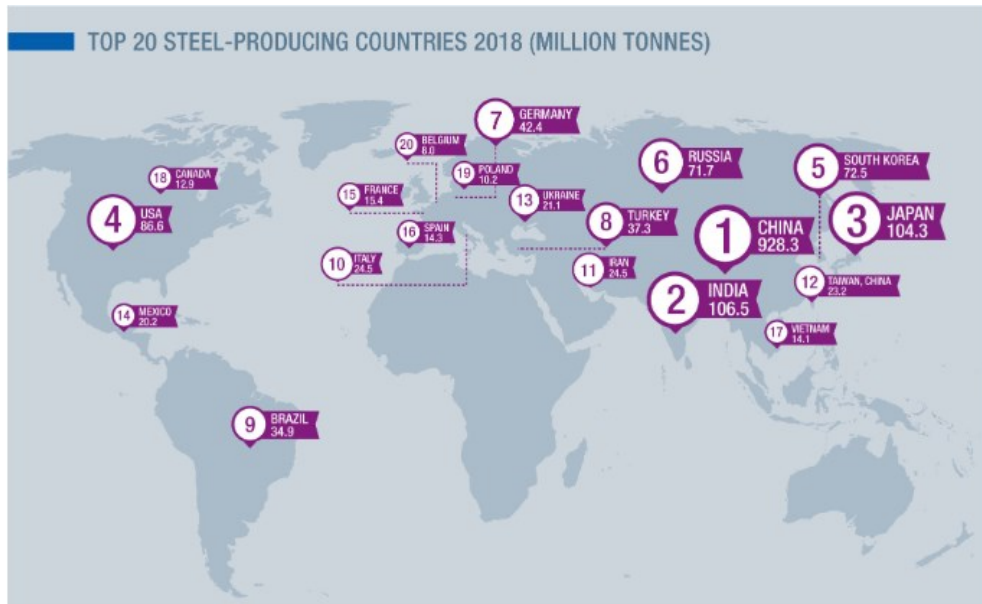
Figura 2.1 – Visão geral do processo de fabricação de aço



Fonte: Worldsteel Association (2019)

A figura 2.2 mostra os vinte países que mais produzem aço ao redor do planeta e a figura 2.3 mostra o consumo de aço per capita em vários países do mundo.

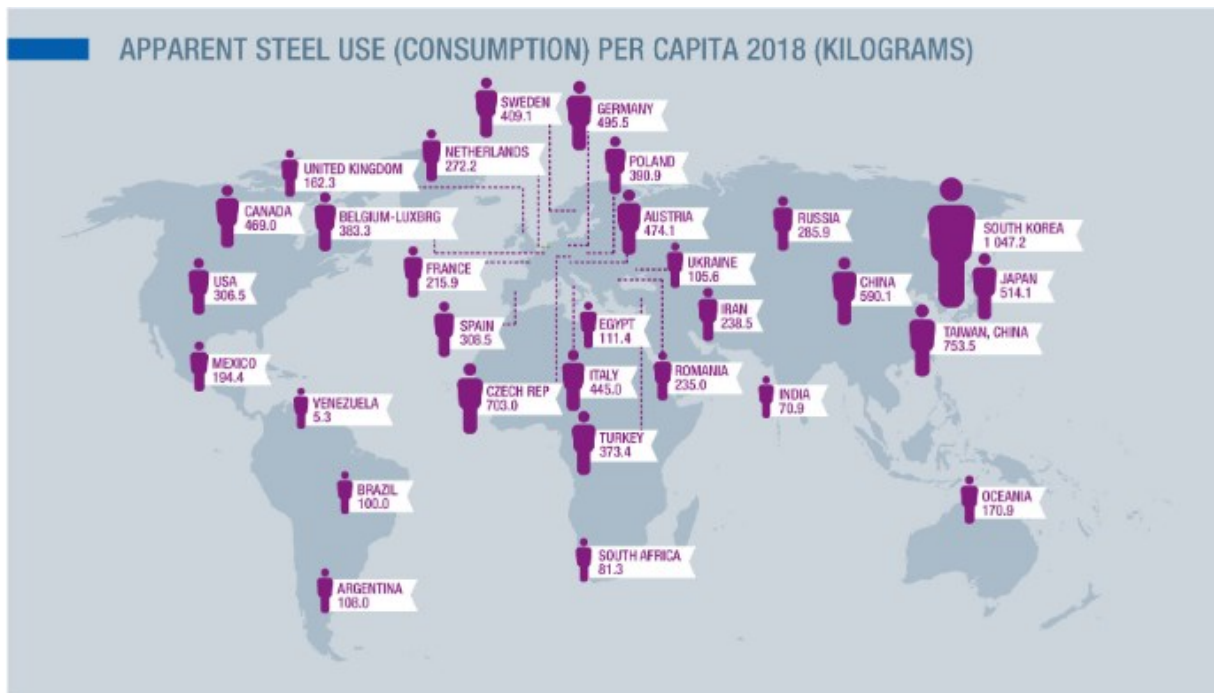
Figura 2.2 – Distribuição produção de aço no mundo



Fonte: Worldsteel Association (2019)

Analisando a figura 2.2 percebe-se que o Brasil ocupou no ano de 2016 o nono lugar no ranking mundial dos produtores de aço, ficando atrás de grandes produtores como a China, Japão, Índia e Estados Unidos.

Figura 2.3 – Consumo aparente de aço per capita

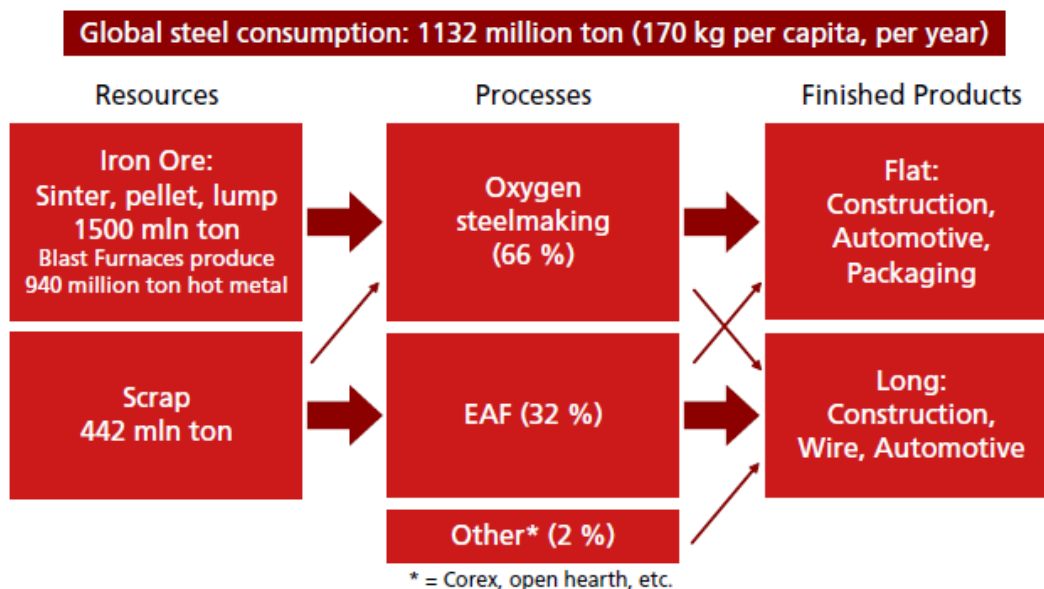


A figura 2.3. mostra que o Brasil ocupou em 2016 na América do Sul o segundo lugar no quesito consumo de aço per capita, ficando atrás da Argentina.

2.2 PROCESSO DO ALTO FORNO

Segundo Geerdes *et al.*, (2009) existem basicamente dois tipos de processos de produção de aço, um utilizando o alto forno e o outro utilizando fornos por indução elétrica. Esta diferença se dá pelo tipo de produto final que é desejado e por qual é a matéria-prima utilizada. Usinas que utilizam alto forno como equipamento de produção de ferro, geralmente produzem produtos planos enquanto as usinas que utilizam fornos a indução elétrica focam a produção em produtos longos. Altos fornos utilizam coque e carvão como agentes redutores e sinter, pelotas e minério como carga metálica enquanto fornos a indução elétrica utilizam energia elétrica para fundir a sucata. A figura 2.4 resume as duas formas de produção de aço e matérias-primas utilizadas em cada processo.

Figura 2.4 – Rotas e matérias-primas siderúrgicas



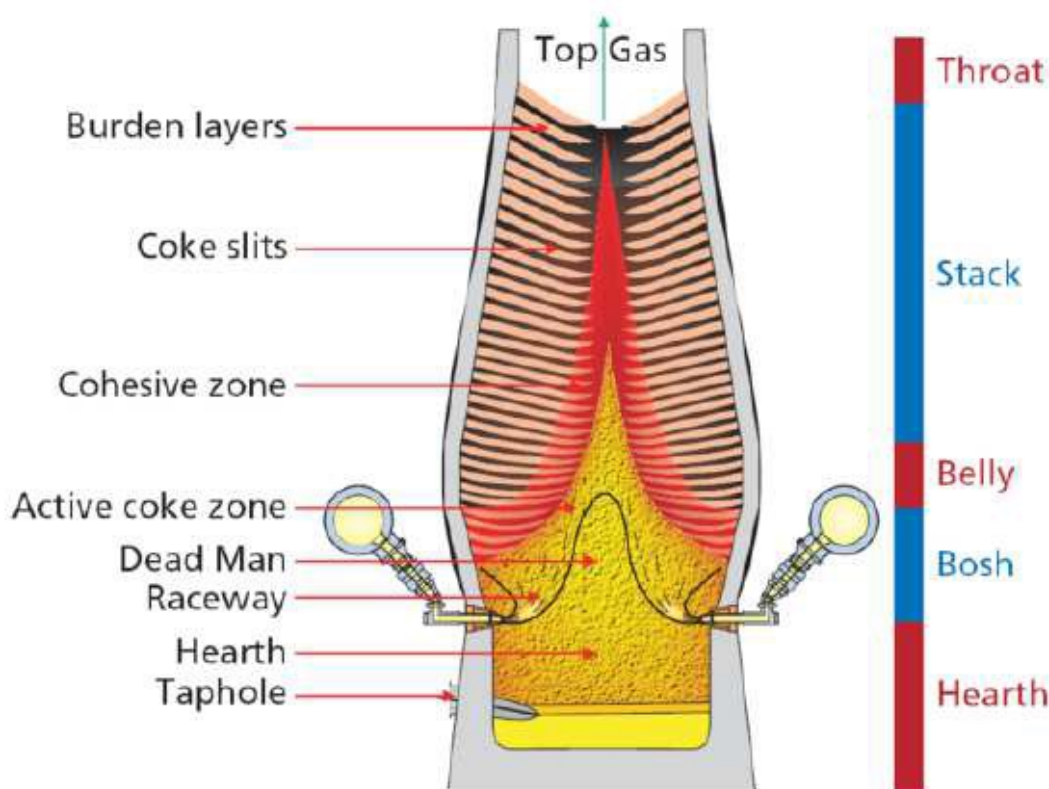
Fonte: Modern Blast Furnace an introduction (2009).

O alto-forno existe há quase 2.000 anos. O melhor entendimento do processo do alto-forno, a melhor preparação do minério e dos combustíveis, a maior confiabilidade e a longevidade das instalações têm contribuído para que este método ainda garanta o menor custo por tonelada de ferro gusa produzido.

De acordo com Mourão *et al.*, (2007) o processo mais utilizado para produção de ferro gusa líquido para produção de aço ainda é o alto forno, entretanto existem algumas desvantagens deste processo sendo estas a necessidade de unidades suplementares de preparação de matéria-prima como sinterização e coqueria, que implicam elevados investimentos adicionais, além de alguns problemas ambientais. Entretanto, devido a sua elevada eficiência energética, capacidade de produção, evolução tecnológica, e flexibilidade operacional, o Alto Forno entra neste novo século mais competitivo que nunca.

Segundo Geerdes *et al.*, (2009) o alto forno trata-se de uma estrutura de forma cônica, distribuída em zonas conforme a figura 2.5.

Figura 2.5 – As zonas de um Alto Forno

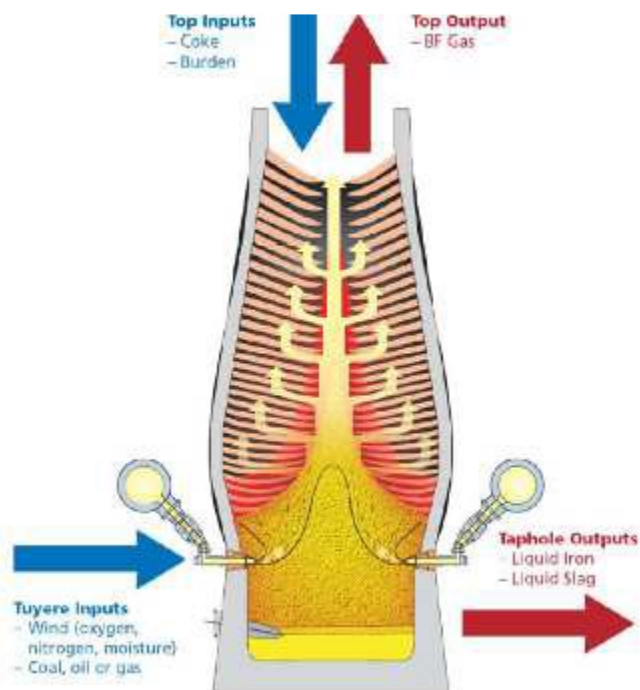


Fonte: Modern Blast Furnace an introduction (2009).

A goela ou *throat* é a zona onde a carga é introduzida; a cuba ou *stack* é onde o minério é aquecido e as reduções começam; o ventre ou *belly* e a rampa ou *bosch* são as zonas onde a redução do minério finaliza e o mesmo entra em estado de fusão; o cadinho ou *hearth* é onde o metal líquido é armazenado e retirado pelo furo de gusa.

Basicamente o alto forno é carregado com diferentes camadas de coque e carga metálica, ar quente a 1200 °C é soprado para dentro do forno através das ventaneiras gerando assim o aquecimento do coque e ativando as reações de redução do ferro. Após as reações de redução, o metal líquido goteja da zona ativa do coque até o cadinho. A figura 2.6 representa todas as entradas e saídas do Alto Forno.

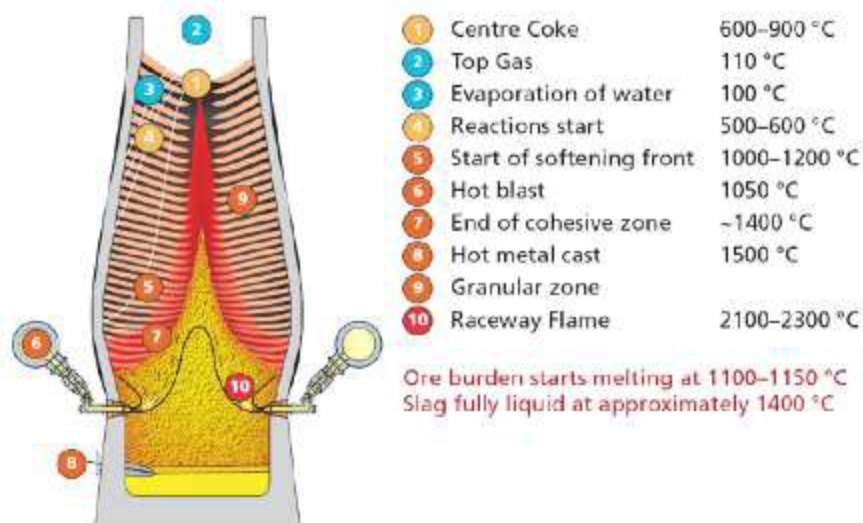
Figura 2.6 – Entradas e saídas de um Alto Forno



Fonte: Modern Blast Furnace an introduction (2009).

Um exemplo típico do perfil de temperatura no interior de um alto forno é mostrado na figura 2.7.

Figura 2.7 – Perfil de temperatura no interior de um Alto Forno



Fonte: Modern Blast Furnace an introduction (2009).

No próximo item será descrito com detalhes todos os sistemas que compõem o alto forno onde cada qual contribui para realizar uma função específica durante o processo de produção de ferro gusa.

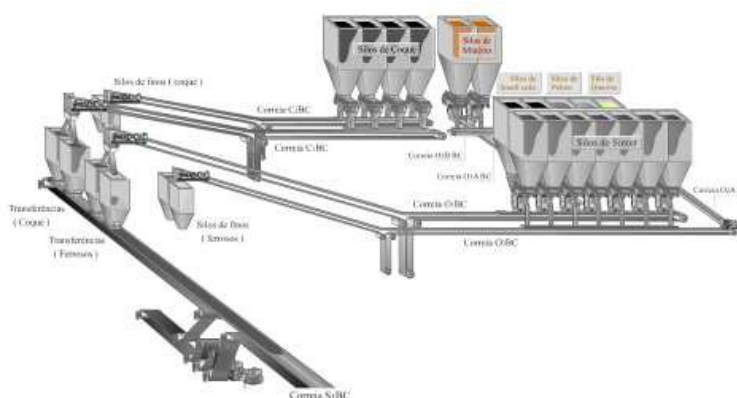
2.3 PRINCIPAIS SISTEMAS DE UM ALTO FORNO

2.3.1 Carregamento do Alto Forno (*Blast Furnace Stock House*)

Segundo Satyendra (2016), para produzir ferro gusa, um alto forno precisa ser alimentado por matérias-primas como o sinter, minério, pelota e fundentes e por combustíveis como o coque, carvão pulverizado e gás natural. Todas estas matérias-primas, exceto o carvão pulverizado e o gás natural que são injetados no forno através das ventaneiras, são manuseadas na área do carregamento do alto forno. A área de carregamento consiste em dois sistemas, sendo eles o de estocagem e o de transferência da matéria-prima até o topo do forno. O objetivo da área do Carregamento é garantir que a matéria-prima seja entregue no interior do forno de forma controlada com quantidade, granulometria e umidade adequada de acordo com a receita elaborada pela operação.

A configuração da área do carregamento mais utilizada nas usinas siderúrgicas atuais é composta por silos de estocagem que recebem os diferentes materiais através de transportadores de correia, sistemas de alimentadores vibratórios e peneiras individuais por silos, balanças para pesagem do material e sistema de retorno de finos utilizando transportadores de correia. Geralmente esta configuração é utilizada quando o transporte da matéria prima até o topo do forno é realizada através de um transportador de correia principal. A figura 2.8 mostra um esquema básico de uma área de carregamento de um alto forno, contendo todos os principais equipamentos explicitados anteriormente.

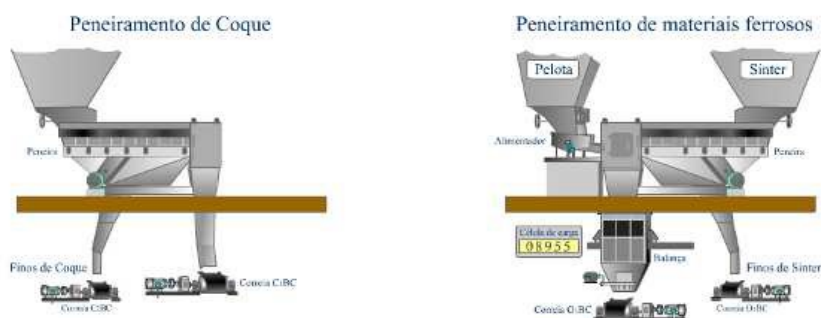
Figura 2.8 – Sistema de Carregamento do Alto Forno



Fonte: Gerdau Aço Minas (2006).

A figura 2.9 mostra com detalhes como é o princípio básico de peneiramento e descarga de material nas correias transportadoras de material fino e material grosso.

Figura 2.9 – Sistema de carregamento do Alto Forno – Peneiramento



Fonte: Gerdau Aço Minas (2006).

O próximo item explicará como é o funcionamento básico dos equipamentos que compõem do topo do Alto Forno.

2.3.2 Topo do Alto Forno (*Blast Furnace Top*)

A distribuição de carga metálica ou de coque no interior do alto forno é realizada pelos equipamentos que compõem o topo e deve ser realizada de forma radial, utilizando granulometria correta dos materiais a fim de favorecer o escoamento gasoso e assim garantir uma boa permeabilidade. Para que as trocas térmicas e as reações de redução da carga sejam eficientes, é necessário que a distribuição de carga seja realizada de forma correta.

Basicamente as usinas siderúrgicas utilizam dois tipos de sistemas de distribuição de carga no interior dos fornos. Esses sistemas são o topo duplo cone e o topo sem cone. Devido maior flexibilidade, desempenho e confiabilidade, a calha rotativa do topo sem cone é a mais utilizada nos altos fornos modernos. Este sistema permite descarregar a carga em qualquer região na direção radial, pois, além do movimento rotativo, esta tem movimento angular em relação ao eixo central do forno.

Para um fluxo gasoso central, é necessário que a carga de coque seja direcionada no centro do forno e para um fluxo gasoso menos centralizado é necessário que direcione a carga de coque nos periféricos do forno, como no caso de remoção de cascão agregado na parede (MOURÃO *et al.*, 2007).

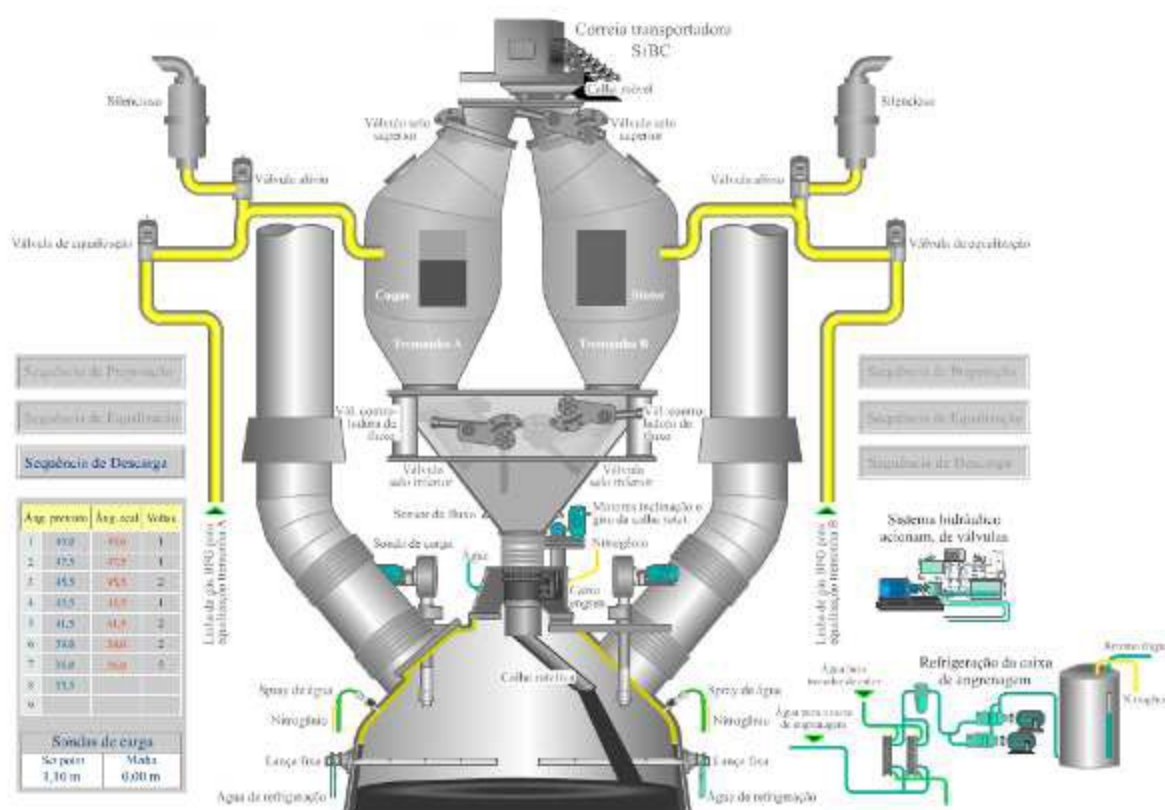
De acordo com Satyendra (2013), os principais componentes do sistema de descarga de material no interior do alto forno são: equipamento de distribuição de material para tremonhas (*tilt rocker*, carro distribuidor, calha rotativa), tremonhas de recebimento de material equipadas com válvulas de selagem e controle de material, *central feeding spout*, calha rotativa com flexibilidade de giro e inclinação, sistemas hidráulicos, sistemas de lubrificação, sistemas de refrigeração e sistema de controle.

Durante operação do alto forno, o transportador de correia leva os materiais até o equipamento de distribuição que descarrega em uma tremonha que depois de cheia de material, é pressurizada a uma pressão superior a pressão interna do alto forno.

Após pressurização da tremonha, a válvula de selagem inferior e a válvula de controle de material abrem, permitindo a passagem do material até a calha rotativa que por sua vez descarrega o material no interior do alto forno. A descarga nas tremonhas é realizada de forma alternada, pois enquanto uma está sendo carregada a outra está descarregando material.

A figura 2.10 representa um sistema básico com os equipamentos do topo de um alto forno.

Figura 2.10 – Sistema de topo do alto forno



Fonte: Gerdau Aço Minas (2006).

O próximo item explicará como é o funcionamento básico dos equipamentos que compõem a casa de corrida, área esta considerada uma das mais relevantes dentro do processo de produção de gusa.

2.3.3 Casa de Corrida (*Casthouse*)

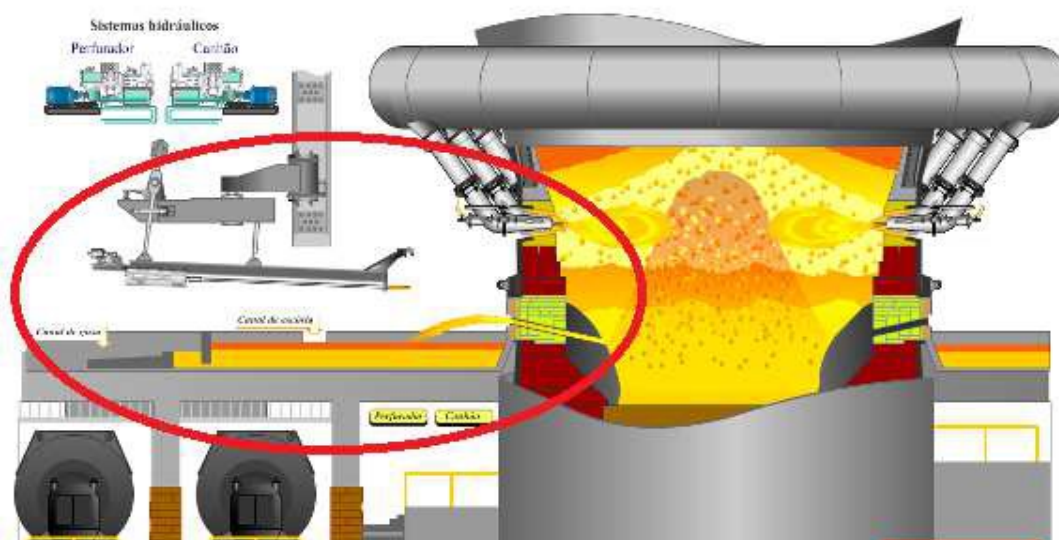
Segundo Geerdes *et al.*, (2009) uma boa operação da casa de corrida é extremamente importante para o alto forno e para tal é necessário que a remoção do ferro e escória líquida do interior do forno seja realizada a uma taxa que não permita que o nível do metal líquido dentro do cadinho se eleve, que seja realizado uma boa separação entre ferro e escória, que ocorra um bom direcionamento do ferro líquido para o carro torpedo e o direcionamento da escória líquida para o sistema de granulação.

Os produtos finais da produção do alto forno são o ferro gusa e escória líquida. As densidades dos dois líquidos são diferentes, a do ferro são 7.2 t/m^3 enquanto a da escória é 2.4 t/m^3 proporcionando uma boa separação de líquidos no canal. A retirada regular destes líquidos do cadinho é realizada através dos furos de gusa.

O número de furos de gusa depende do tamanho e capacidade do forno. A maioria dos altos fornos no mundo possuem 2 ou 4 furos de gusa. Em uma operação normal, o furo de gusa é aberto alternadamente, uma vez em uma casa de corrida e na vez subsequente na outra casa de corrida. Os equipamentos responsáveis pela abertura e fechamento dos furos de gusa são as máquinas de perfuração e o canhão de lama, respectivamente.

De acordo com Satyendra (2014), as máquinas de perfuração devem combinar a máxima flexibilidade com o alto desempenho dos martelos e brocas de perfuração, garantindo a abertura do furo de gusa de forma efetiva. A broca deve ser suficientemente poderosa e rígida capaz de perfurar com precisão. Segundo o mesmo autor, o fechamento do furo de gusa em qualquer situação operacional é requisito para um bom desempenho operacional. A figura 2.11 representa o procedimento de perfuração do furo de gusa.

Figura 2.11 – Operação da máquina de perfuração

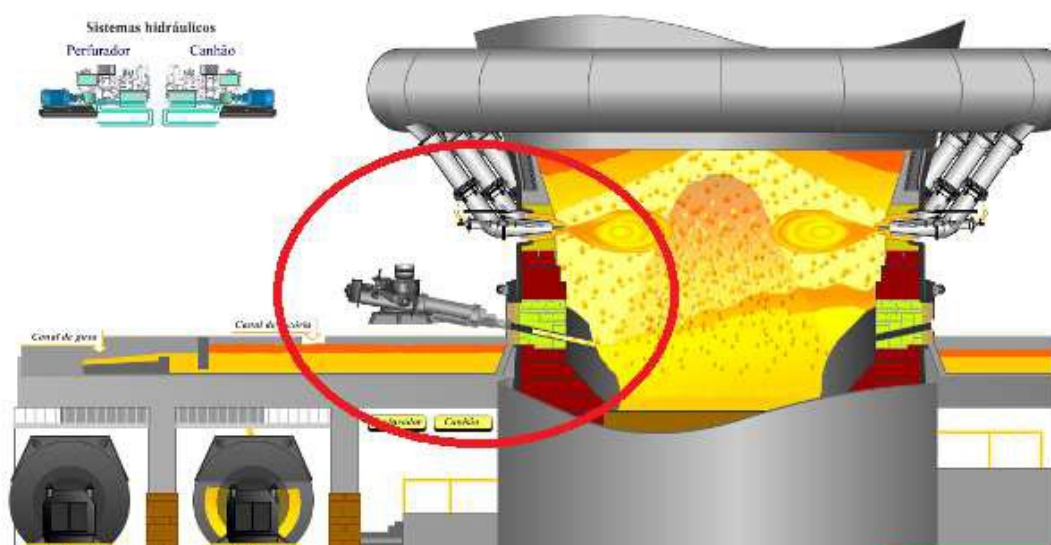


Fonte: Gerdau Aço Minas (2006).

O equipamento responsável pelo tamponamento do furo de gusa é chamado canhão de lama. Ele tem a função de injetar massa refratária no furo de gusa a uma pressão superior a pressão do alto forno. Ambos os equipamentos podem ser operados remotamente, sendo possível serem paralisados em qualquer ponto desejado pelo operador.

A figura 2.12 mostra a operação de tamponamento realizado pelo canhão de lama.

Figura 2.12 – Operação do canhão de lama



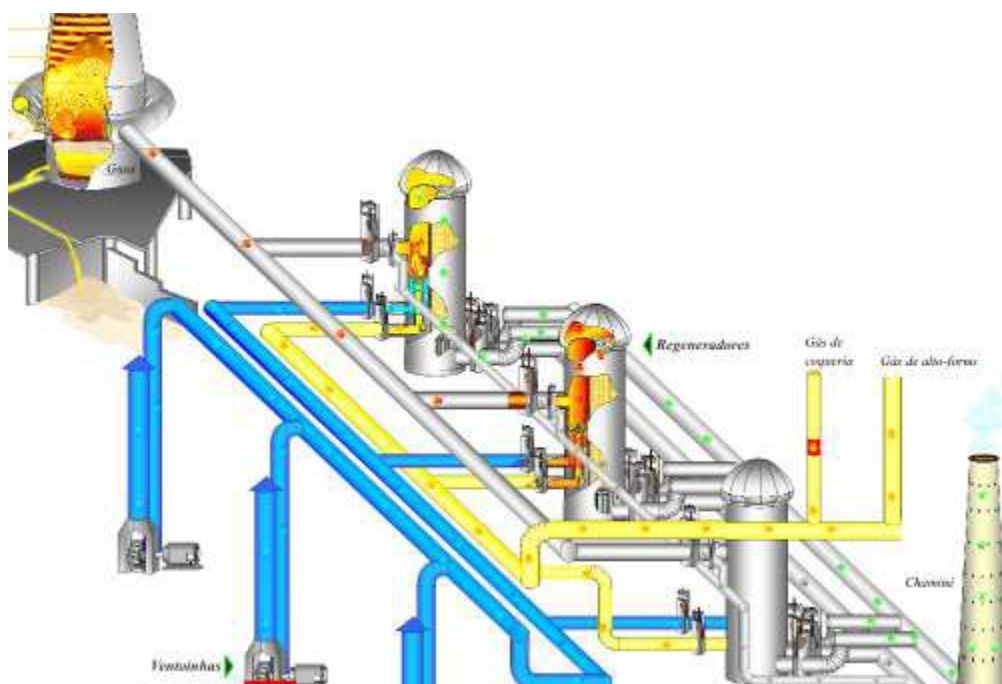
Fonte: Gerdau Aço Minas (2006).

O próximo item abordará como se dá o processo de aquecimento de ar soprado para o interior do alto forno, mais conhecido como a área dos regeneradores.

2.3.4 Regeneradores (*Hot Stoves*)

Segundo Mourão *et al.*, (2007) os regeneradores são grandes trocadores de calor e tem como função aquecer o ar que é injetado nas ventaneiras. Estes equipamentos recebem o ar frio a uma temperatura entre 150 °C a 200 °C proveniente de turbos sopradores e o eleva a uma temperatura entre 1000 °C e 1250 °C. A figura 2.13 mostra o sistema de regeneradores.

Figura 2.13 – Sistema dos regeneradores



Fonte: Gerdau Aço Minas (2006).

O gás misto composto de uma mistura de 88% a 95% de gás proveniente do próprio alto forno (BFG) e de 5% a 12% de gás de coqueria (COG) é o combustível utilizado para se obter o aquecimento dos regeneradores. Para a realização da queima destes combustíveis, ventoinhas suprem a câmara de combustão com ar da atmosfera na concentração adequada. Na câmara de combustão é realizada a queima total do gás misto, e esta tem altura e diâmetro suficiente para evitar o impacto da chama no domo.

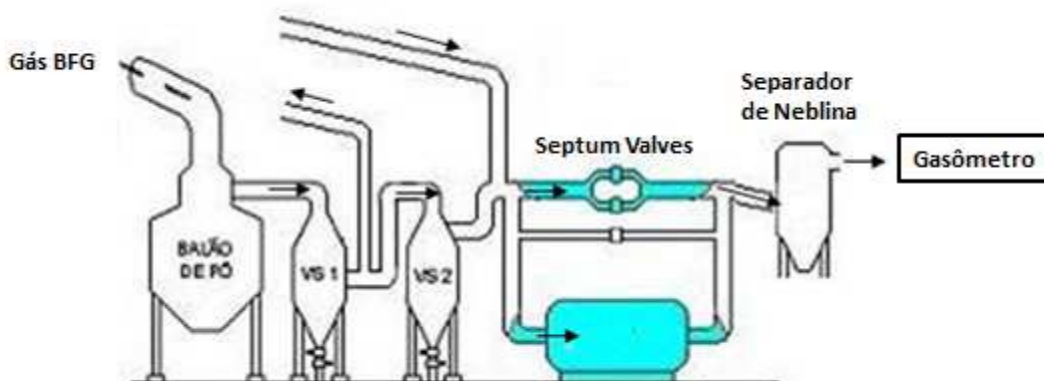
O domo é a parte superior do regenerador e sua função é inverter em 180° o sentido dos gases queimados e distribuí-los para o empilhamento de tijolos refratários que tem como função absorver o calor. Na etapa de sopro do regenerador, o sentido do ar quente é inverso. Os altos fornos geralmente utilizam conjunto de três a quatro regeneradores. Os regeneradores operam em ciclos, ou seja, enquanto um regenerador está em fase de combustão, os outros estão em fase de sopro. O próximo item explicará como ocorre a lavagem dos gases gerados no processo de produção de ferro gusa. A área responsável por este processo é chamada de Limpeza de Gás.

2.3.5 Sistema de Limpeza de Gás (*Gas Cleaning System*)

De acordo com Satyendra (2016), durante o processo de produção de ferro gusa é gerado um gás no topo do alto forno, um subproduto de grande importância em todo o processo, sendo utilizado no aquecimento dos regeneradores ou suprindo outras áreas da usina. Este gás se apresenta a uma pressão e temperatura similares as do topo do alto forno e são contaminados com partículas de pó e água. Desta maneira, é necessário que o mesmo seja passado por um processo de limpeza com objetivo de reduzir a concentração de partículas de pó.

Um sistema típico de limpeza de gás é constituído por um coletor de pó (Balão de Pó ou Ciclone), geralmente dois estágios de lavadores de gás (Venturis Scrubbers), válvulas de controle de pressão do topo do alto forno (Septum Valves), turbina a gás geradora de energia elétrica, e um desumidificador (separador de neblina). A figura 2.14 representa um sistema típico de lavagem de gás.

Figura 2.14 – Sistema típico de lavagem de gás



Fonte: Apostila Treinamento Alto Forno (Modificado)

No topo do alto forno estão localizadas tubulações chamadas de up takes, que são responsáveis por direcionar o gás gerado no interior do forno para uma tubulação principal de gás chamada de Downcommer, que é a responsável por direcionar o gás do topo do forno para o coletor de pó.

No coletor de pó as partículas mais grosseiras contidas no gás se depositam no fundo e são descarregadas em um poço através de válvulas de descarga.

Posteriormente o gás é direcionado através de uma tubulação até o primeiro estágio de lavagem do gás. Nesta etapa o gás é lavado no *Venturi Scrubber* a partir da introdução de água nos bicos injetores e as partículas mais finas são retiradas deste equipamento em forma de lama.

Em seguida o gás é direcionado através de uma tubulação para o segundo estágio de lavagem, onde novamente ocorre a lavagem através de bicos injetores. Após esta etapa em operação normal, o gás é direcionado até a turbina para que a mesma gere energia elétrica que abastece toda a usina.

Quando a turbina está fora de operação, as válvulas Septum são utilizadas para realizar o controle de pressão do topo do alto forno. Antes de o gás ser direcionado para os regeneradores ou para o gasômetro, deve-se cumprir a última etapa no desumidificador, sendo esta necessária para retirada de umidade do gás.

2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo traz uma visão geral de como se dá o processo siderúrgico, como este está inserido no contexto mundial, os principais subprocessos de uma usina integrada, quais são os produtos gerados e a importância dos mesmos no dia a dia das pessoas. Foi abordado com maior detalhamento sobre o processo de produção do ferro gusa, matéria-prima para fabricação do aço, através do processo do alto forno e quais são as funções de cada área que compõe este equipamento.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A partir da necessidade de melhorar a disponibilidade da limpeza de gás, pesquisou-se ferramentas de confiabilidade que pudessem atender esta demanda do gerente de manutenção do alto forno 1. Foram encontradas ferramentas qualitativas e quantitativas que pudessem trazer resultados práticos no indicador de indisponibilidade gerada por manutenção não planejada de equipamentos pertencentes à área em estudo. Após verificação das suas aplicações, selecionou-se como ferramentas quantitativas a análise de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (RAM) e a análise de dados de vida (LDA). Todas estas ferramentas classificadas como possíveis de serem aplicadas na realidade da empresa em estudo e com um potencial de retorno rápido de resultados práticos.

3.1 ANÁLISE RAM

Conforme Calixto (2005), o objetivo da análise RAM (confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade) é avaliar o desempenho de um equipamento ou sistema através da definição e melhoria dos equipamentos críticos, para que o sistema atinja a disponibilidade necessária.

O intuito da apresentação da análise RAM dentro do ambiente fabril se mostrou importante por significar uma análise quantitativa do desempenho de uma linha de produção. Muito comum em ambientes de produção como estes, prevalecer a opinião e “sentimento” de alguns especialistas presentes no chão de fábrica apontando este ou aquele equipamento como sendo “o mais crítico da linha” sem ter nenhum tipo de dado em mãos. Isso possibilita muitas vezes o gasto desnecessário de tempo e recursos com ações em equipamentos que não irão beneficiar a disponibilidade da linha de produção em estudo.

Em Alvarenga (2005), a técnica aplicada à análise RAM é a simulação de rede por eventos discretos. Trata-se de uma técnica quantitativa de análise de confiabilidade com grande desenvolvimento e aplicação nos anos recentes.

Como etapas de realização de uma análise RAM é importante citar como sendo a primeira a reunião de dados referentes a dados de falha e de reparos do sistema em análise. Em seguida vem a construção de um diagrama de blocos representativo deste sistema em questão onde deve-se atentar quanto à disposição de equipamentos e como eles se inter-relacionam (disposição em série ou paralelo).

É importante lembrar que nesta etapa deve-se realizar os carregamentos dos dados de falha e de reparo advindos do banco de dados existente em cada bloco montado representando o sistema. Uma vez carregadas estas informações, chega momento de rodar a simulação do sistema. O sistema então opera virtualmente e mede-se sua disponibilidade a partir dos mecanismos de falha e de reparo carregados. O sistema é capaz de demonstrar através de um relatório final a performance de cada equipamento que opera neste sistema. Demonstra-se ao usuário da simulação quais são os pontos críticos sob o ponto de vista da disponibilidade do sistema em análise.

Um relatório com este nível de detalhamento serve como instrumento de tomada de decisão para o uso de ferramentas quantitativas e qualitativas da confiabilidade.

Algumas delas serão apresentadas a seguir neste trabalho e também como foram implementadas no ativo crítico selecionado após a coleta dos resultados da análise RAM realizada.

3.2 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

Em situações em que há a necessidade de análise de dados de vida de componentes, cuja fonte de pesquisa é um banco de dados com razoável riqueza de informações e que possuam tratamento quanto sua consistência, o método de análise de dados de vida (LDA) mostra-se uma importante ferramenta da confiabilidade. Contudo, em situações em que há uma fonte de pesquisa com pouco dados para análise, a assertividade do resultado ficará comprometida. Outros momentos em que não há dados de falha e reparo, torna-se necessário o uso de tempo a mais em busca de informações, coleta de dados em campo, consulta a especialistas da operação e manutenção do equipamento em que o componente atua e também entrevistas e encontros com fabricantes e/ ou fornecedores de sobressalentes.

O ponto em comum dentre as situações listadas acima está a pesquisa. Em Scapin (2007) através do uso da análise de dados de vida (LDA), a pesquisa sobre o componente torna o trabalho mais assertivo e há ganho técnico das equipes que trabalham em torno deste aprofundamento.

O uso de dados de vida possibilitar ter em mãos os tempos até falha.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009) a probabilidade de sobrevivência até um tempo t de interesse é possível através da modelagem dos tempos até falha da unidade em estudo. Conhecendo-se a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta a estes tempos, é possível estimar a probabilidade de sobrevivência da unidade para qualquer tempo t , bem como outras medidas de confiabilidade tais como o seu tempo médio até falha. A modelagem dos tempos até falha é, portanto, central em estudos de confiabilidade.

São citadas, a seguir, as duas distribuições de probabilidade mais utilizadas pelos especialistas em confiabilidade.

3.2.1 Distribuição Exponencial

A equação 1 indica a Função de densidade de probabilidade sob uma distribuição exponencial.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \text{Eq. 1}$$

A equação 2 mostra a função de confiabilidade de acordo com uma distribuição exponencial.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{Eq. 2}$$

A equação 3 ilustra o tempo médio até a falha sob os moldes de uma distribuição exponencial.

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Eq. 3}$$

3.2.2 Distribuição de Weibull

A equação 4 indica a função de densidade de probabilidade sob uma distribuição de Weibull.

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} \cdot t^{\gamma-1} \cdot e^{-\frac{t^\gamma}{\theta}} \quad \text{Eq. 4}$$

A equação 5 mostra a função de confiabilidade de acordo com uma distribuição de Weibull.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma} \quad \text{Eq. 5}$$

A equação 6 ilustra o tempo médio até a falha sob os moldes de uma distribuição de Weibull.

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right) \quad \text{Eq. 6}$$

Será observada ao longo do trabalho a forma de aplicação de ambas as distribuições de maneira prática gerando resultados para os componentes do equipamento em estudo.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 PREPARANDO OS DADOS DE FALHA E REPARO

A base dos estudos de confiabilidade sempre serão os dados de falha. E foi com o levantamento destes dados que se iniciou o estudo da “ANÁLISE RAM APLICADA AOS EQUIPAMENTOS DE LIMPEZA DE GÁS DE UM ALTO FORNO”, título deste trabalho. Estes dados foram extraídos do Sistema de Gestão da Manutenção (SISMANA), com dados de falha da área Limpeza de Gás do Alto Forno 1. Estes dados são imputados no SISMANA pelos técnicos do Turno da Manutenção com informações de vários tipos de ocorrência, não exclusivamente de falhas. Por isso, através de análise minuciosa, ocorrências como rearmes de iluminação e tomadas, desligamentos de iluminação para melhor visualização de ventaneiras, bloqueios e desbloqueios de equipamentos, foram expurgadas do banco de dados de falhas. A figura 4.1 mostra o modelo de relatório de ocorrências gerado no SISMANA:

Figura 4.1 – Relatório de turno diário

ArcelorMittal		Relatório de Turno Diário		SISMANA					
SISMANA - REAM		RDT - IDG - 2018.10.29 - 06:00 às 18:00 - A - TURNO 1 - ELETROMECAÂNICO ALTOS FORNOS		Pág.: 1 de 6					
01 - Dados Gerais									
Orgão: IDG - IDG - GER GERAL PROD GUSA			Data: 29/10/2018						
Supervisor: JAIME VIEIRA LOCATELLI			Status: Encerrado						
Facilitador:									
02 - Boletim de Produção									
Produto	Produção						Produtividade		
	Diária			Mensal			UN	UN	
	Planejado	Realizado	Saldo	Planejado	Realizado	Saldo		Planejado	Realizado
03 - Ocorrências									
N.Rean:	ID Parada:	Data/Hora Início:	Data/Hora Encerramento:	Duração:	Origem:				
0300-2018-6706	Sem Parada	29/10/2018 08:00	29/10/2018 09:00	01:00	Manual				
Resp. Geração Anomalia:	OPERAÇÃO		Tipo Atendimento: IMPEDIMENTO						
CDM Resp:	0310 - Manut de Cont de Proc Alto Forno 1		Especialidade Resp: E - Eletrica						
Item de Cadastro:	Criticidade Item Cadastro:	Gestão Especial:	Nenhuma						
49.05.007	AA 208.00								
CANHÃO OBTURADOR Nº 04 CASAS DE CORRIDA ALTO FORNO 1									
Título da Ocorrência: IMPEDIMENTO ELÉTRICO DO CANHÃO 04 PARA MANUTENÇÃO									
Complemento: A OPERAÇÃO NOS ACIONOU, PARA REALIZAR O IMPEDIMENTO ELÉTRICO DO CANHÃO 04 PARA MANUTENÇÃO, FOI REALIZADO O IMPEDIMENTO.									
Parâmetros Afetados: EQUIPAMENTO									
Causas Imediatas: FISICA: PARADA MANUTENÇÃO PREVENTIVA									
Providências: IMPEDIMENTO EQUIPAMENTO									
Executantes: N10003-KLAYDSON MENDES GONCALVES, N16877-ROMILDO ROSA RAMOS, N25223-LEANDRO NONATO RODRIGUES									
Anexos:									
Produção Perda: Sem parada/perda de produção da UO/IAO			Tempo:						
Justificativa:									

Fonte: Sistema de gestão da manutenção da (SISMANA) (2019)

Os dados extraídos do SISMANA foram disponibilizados através da planilha “EXCEL” exemplificada no Apêndice A.

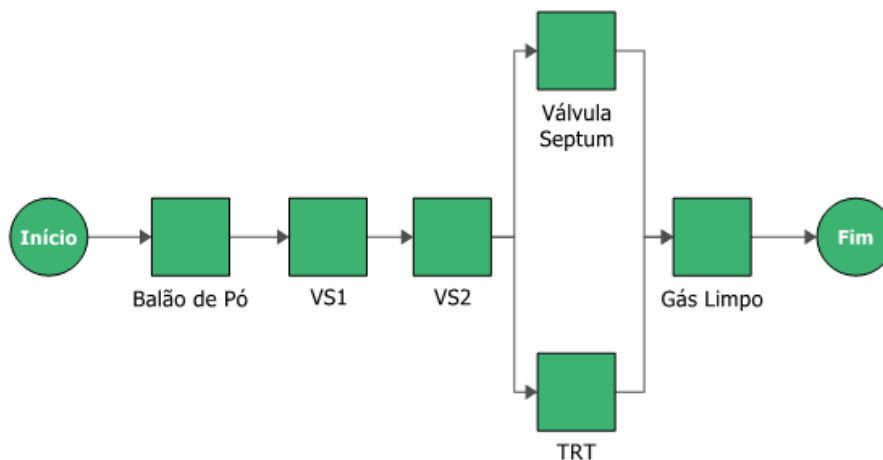
A planilha original contempla todos os dados armazenados no SISMANA (para o período que se quer analisar), em especial as informações de datas das anomalias (DtAnomalia) e duração de atendimento (Duração_Atend_Minutos) que possibilitaram levantar o TTF – Tempo até a Falha e TTR – Tempo para Reparo tachados em amarelo no Apêndice A, fundamentais para a análise de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade do sistema.

4.2 LANÇANDO OS DADOS NO SOFTWARE WEIBULL

De posse destas duas informações de cada equipamento destacadas em amarelo na planilha TTF e TTR (Apêndice A), realizou-se a exportação para o software Weibull, conforme a figura 4.2 exibida abaixo. Desta forma, foi possível levantar curvas de confiabilidade e curvas de tempo de reparo individuais.

No total foram levantadas curvas para 6 (seis) equipamentos que compõem a Limpeza de Gás, quais sejam: Balão de Pó, *Venturi Scrubber 1 (VS1)*, *Venturi Scrubber 2 (VS2)*, Válvulas Septum, Turbina de Recuperação do Topo (TRT) e Cromatógrafos (Gás Limpo).

Figura 4.3 – Diagrama de Blocos da Limpeza de Gás

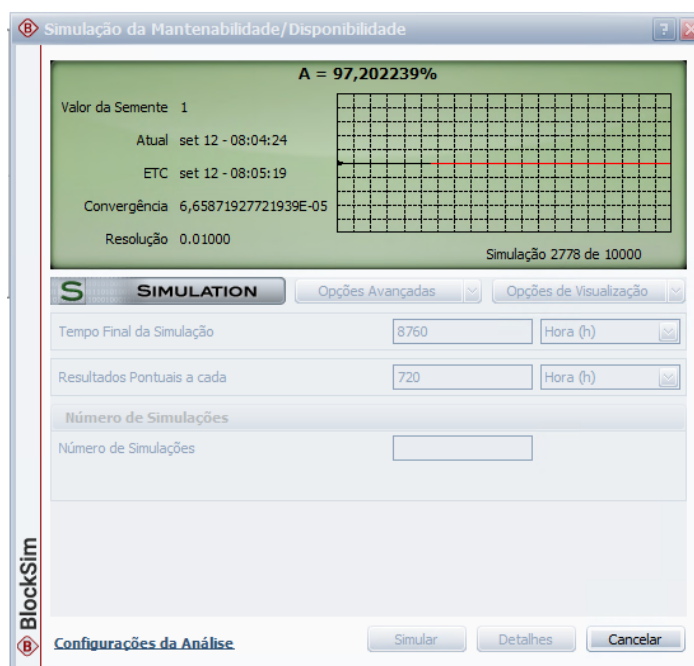


Fonte: Software BlockSim. (2019).

4.4 OBTENDO A ANÁLISE RAM A PARTIR DA SIMULAÇÃO NO BLOCKSIM

Após inserir as distribuições de tempos até falha (TTF) e tempo para reparo (TTR) produzidas no software Weibull em cada bloco, foi realizada a simulação do diagrama de blocos da figura 2.18. Esta simulação está ilustrada na figura 4.4:

Figura 4.4 – Simulação do Diagrama de Blocos da Limpeza de Gás



Fonte: Software BlockSim. (2019).

Foi considerado um tempo de análise de 8760 horas equivalente a 01 ano de operação da limpeza de gás.

Finalmente, tem-se o resultado da análise de manutenibilidade, confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade – Análise RAM, de acordo com a figura 4.5. É importante a observação e análise dos seguintes resultados:

- Número esperado de falhas;
- Tempo indisponível do bloco;
- Quantidade e tempo indisponível por MC – manutenção corretiva.

Figura 4.5 – Resultados da Simulação da Limpeza de Gás

Nome do Bloco	RS FCI	RS DECI	RS DTICI	Disp. Média (Todos Eventos)	Disp. Média (sem MP, OC e IP)	# Esperado Falhas	Eventos de Parada do Sistema	Tempo Indisponível do Bloco (h)	Tempo Disponível do Bloco (h)	Quantidade de MCs	Tempo Indisponível da MC (h)
Balão de Pó	31,35%	30,95%	31,18%	0,991269	0,991269	55,7444	53,6429	76,484391	8683,515609	55,7444	76,484391
VS1	41,62%	41,80%	44,56%	0,987522	0,987522	73,9977	72,4566	109,307033	8650,692967	73,9977	109,307033
VS2	22,70%	22,82%	20,12%	0,994365	0,994365	40,3614	39,5532	49,363443	8710,636557	40,3614	49,363443
Válvula Septum	0,01%	0,01%	0,00%	0,995505	0,995505	19,4681	0,0127	39,373574	8720,626426	19,4681	39,373574
TRT	0,01%	0,01%	0,01%	0,999387	0,999387	5,7173	0,0254	5,369017	8754,630983	5,7173	5,369017
Gás Limpo	4,30%	4,41%	4,12%	0,998846	0,998846	7,651	7,651	10,11331	8749,88669	7,651	10,11331

Fonte: Software BlockSim. (2019).

Legenda das Siglas exibidas na figura 4.5.

- RS FCI – Índice da Reliasoft para mensurar a criticidade da falha;
- RS DECI – Índice da Reliasoft para mensurar a criticidade dos eventos que provocam indisponibilidade;
- RS DTICI – *Reliasoft's Downtime Criticality Index* – Índice de criticidade de indisponibilidade

Baseado nos resultados da Análise RAM, podemos afirmar que o equipamento que diminui a confiabilidade da Limpeza de Gás é o *Venturi Scrubber 1*. A fim de identificar quais dos subsistemas do *Venturi Scrubber 1* mais contribuem para este resultado negativo, foi realizada um Análise RAM para este equipamento.

4.5 CONHECENDO OS PRINCIPAIS SUBSISTEMAS DO *VENTURI SCRUBBER*

Para melhor entendimento, é válido descrever as funções de cada sistema:

4.5.1 Controle de Pressão Diferencial do *Venturi Scrubber*

Função: regular a velocidade de passagem do gás através do controle da pressão diferencial, visando otimizar a limpeza do gás.

Funcionalidade: existem instaladas na garganta do Venturi (passagem mais estreita do Venturi) dois flaps tipo borboleta. Cada flap possui acionamento com motor elétrico tipo FLP, logo, cada Venturi possui dois motores elétricos para acionamento dos flaps.

O percentual de abertura dos flaps e a pressão diferencial entre entrada e saída da garganta são monitorados através da tela de operação.

A figura 4.6 mostra o transmissor diferencial de pressão (PT502) integrante do sistema de controle diferencial de pressão do *Venturi Scrubber 1*:

Figura 4.6 – Transmissor de pressão diferencial PT502



Fonte: Autoria Própria (2019)

4.5.2 Controle de Nível do *Venturi Scrubber*

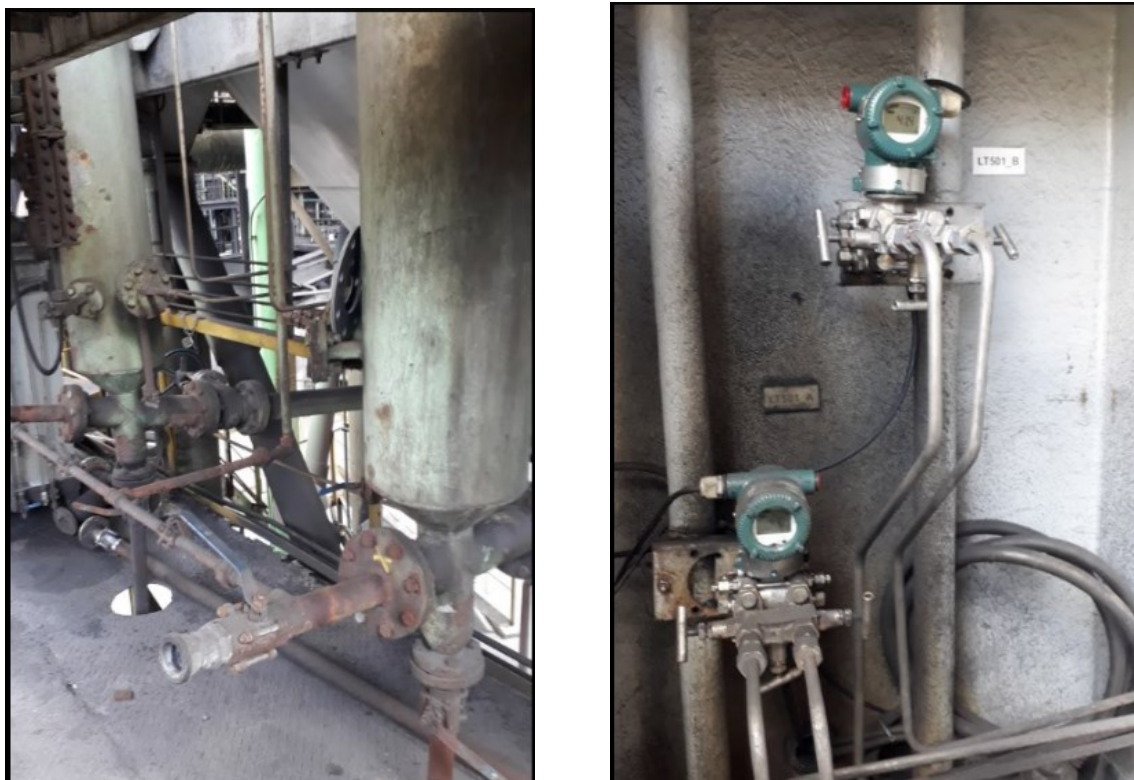
Função: manter o nível de água proveniente dos sprays instalados no topo do Venturi, em torno do valor previamente estabelecido pela operação.

Funcionalidade: O nível no Venturi é monitorado através de dois transmissores de nível e controlado automaticamente por uma válvula de controle hidráulica.

Além dos transmissores de nível, existem instaladas quatro chaves de nível que atuam em paralelo com os transmissores, abrindo ou fechando as válvulas de escape e fechamento de emergência, acionadas pneumaticamente.

A figura 4.7 mostra a colunas de nível do sistema de controle de nível do *Venturi Scrubber 1*:

Figura 4.7 – Colunas de nível e transmissores de nível



Fonte: Autoria Própria (2019)

4.5.3 Controle de Vazão de água da Lavagem de Gás do *Venturi Scrubber*

Função: possibilitar o operador manipular a válvula de controle de vazão de água do spray do Venturi, visando manter a vazão em torno do valor desejado.

Funcionalidade: o *Venturi Scrubber* possui uma válvula de controle de vazão de água do spray. A temperatura, a pressão e a vazão de água do spray do Venturi são monitorados e indicados na tela do DCS.

O operador ajusta o percentual de abertura da válvula de controle de vazão, visando manter a vazão em torno do valor desejado

A figura 4.8 mostra a válvula de controle de vazão de água dos bicos spray do *Venturi Scrubber* 1:

Figura 4.8 – Válvula de controle de vazão de água dos bicos spray do *Venturi Scrubber* 1 (VS1)



Fonte: Autoria Própria (2019)

4.5.4 Controle de Descarga de Emergência do *Venturi Scrubber*.

Função: em caso de nível muito alto no Venturi, ocasionado por uma variação brusca no volume de gás gerado no Alto Forno ou na vazão de água do spray, o sistema de descarga de emergência possibilita a redução rápida do nível do Venturi até um valor seguro.

Funcionalidade: existe instalada no Venturi uma válvula de descarga de emergência, com acionamento pneumático. Este acionamento é composto por um cilindro pneumático e um solenóide (115VCA).

A válvula de descarga de emergência trabalha normalmente fechada. No modo automático, caso a chave de nível alto e muito alto estejam atuadas ou o nível maior que 850 mm (e não exista diferença entre transmissores maior que 200 mmH₂O), a válvula de descarga de emergência abrirá automaticamente, caso a situação permaneça verdadeira por um período maior que 3 segundos. A válvula fechará automaticamente caso as chaves de nível alto e muito alto estejam desativadas e o nível abaixo de 550 mm.

A figura 4.9 mostra a válvula de descarga de emergência do *Venturi Scrubber* 1:

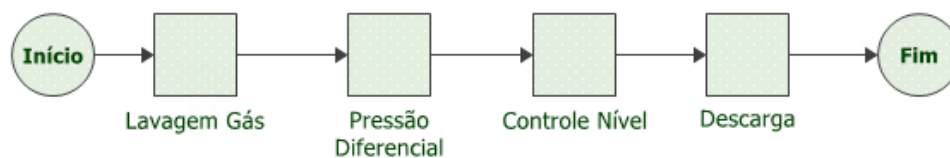
Figura 4.9 – Válvula de descarga de emergência do *Venturi Scrubber* 1 (VS1)



4.6 ANÁLISE RAM DO VENTURI SCRUBBER 1 (VS1)

Assim como na Análise RAM da Limpeza de Gás, foram imputadas as distribuições de Análise de Dados de Vida (LDA) para Tempo até Falha (TTF) e Tempo para Reparo (TTR) nos blocos dos 4 subsistemas descritos no item 4.5, quais sejam: Lavagem de Gás, Pressão Diferencial, Controle de Nível e Descarga. Na figura 4.10 é apresentado o diagrama de blocos do *Venturi Scrubber 1 (VS1)*:

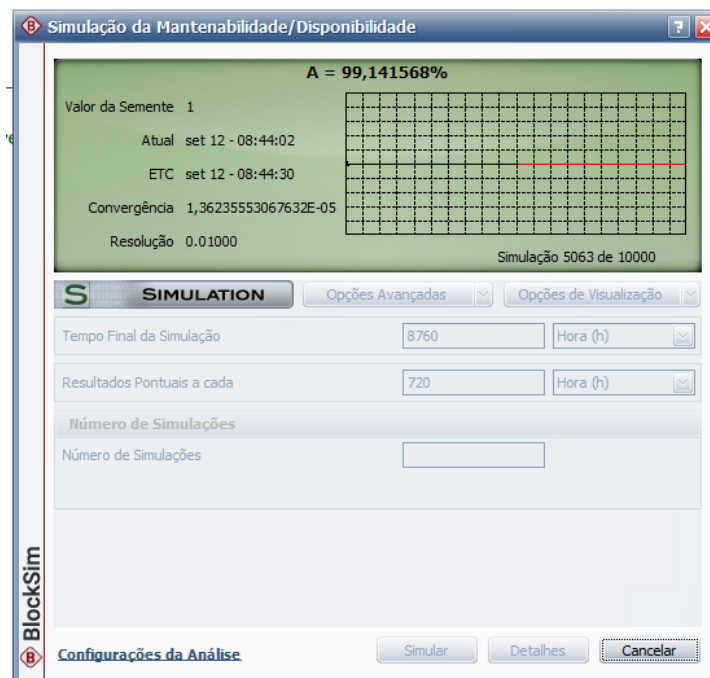
Figura 4.10 – Diagrama de blocos do *Venturi Scrubber 1 (VS1)*



Fonte: Software BlockSim. (2019).

O próximo passo foi rodar a simulação do diagrama de blocos do *Venturi Scrubber 1 (VS1)* conforme apresentado na figura 4.11:

Figura 4.11 – Simulação do diagrama de blocos do *Venturi Scrubber 1 (VS1)*



Fonte: Software BlockSim. (2019).

São apresentados na figura 4.12 abaixo os resultados da simulação do diagrama de blocos do *Venturi Scrubber 1*:

Figura 4.12 – Resultados da simulação do diagrama de blocos do *Venturi Scrubber 1* (VS1)

Nome do Bloco	RS FCI	RS DECI	RS DTCT	Disp. Média (Todos Eventos)	Disp. Média (sem MP, OC e IP)	# Esperado Falhas	Eventos de Parada do Sistema	Tempo Indisponível do Bloco (h)	Tempo Disponível do Bloco (h)	Quantidade de MCs	Tempo Indisponível da MC (h)
Lavagem Gás	9,03%	9,16%	11,02%	0,999054	0,999054	4,9701	4,9701	8,287384	8751,712616	4,9701	8,287384
Pressão Diferencial	30,31%	30,73%	23,05%	0,998021	0,998021	16,6758	16,6758	17,334395	8742,665605	16,6758	17,334395
Controle Nível	30,38%	30,81%	33,39%	0,997133	0,997133	16,7166	16,7166	25,11617	8734,88383	16,7166	25,11617
Descarga	30,27%	29,30%	32,54%	0,997206	0,997206	17,4235	15,9017	24,478532	8735,521468	17,4235	24,478532

Fonte: Autoria Própria (2019).

Analisando os resultados do Reliasoft's Downtime Criticality Index – DTCT identificou-se que os subsistemas mais críticos em relação a indisponibilidade são: Controle de Nível e Controle de Descarga de Emergência.

4.7 TRATAMENTO PARA AS FALHAS MAIS RELEVANTES

Com a utilização das ferramentas da Engenharia da Confiabilidade conseguiu-se identificar os subsistemas da Limpeza de Gás que mais contribuem para sua indisponibilidade e conseqüentemente para o aumento dos recursos gastos com os referidos reparos.

Após identificar os subsistemas da Limpeza de Gás com menor confiabilidade, conseguiu-se focar as ações nos “*Bad Actors*”, ou seja, os equipamentos que mais contribuem para reduzir a confiabilidade da limpeza de gás.

Nas próximas páginas serão apresentados estes equipamentos e as ações que foram propostas para reduzir a ocorrência de falhas.

4.7.1 PLANOS DE AÇÃO PARA CORREÇÃO DOS DESVIOS

Para desenvolver os planos de ação para melhorar a confiabilidade dos “Bad Actors”, dos subsistemas Controle de Nível e Controle de Descarga de Emergência do *Venturi Scrubber 1* (VS1), foram reunidos profissionais da manutenção, incluindo engenheiros e técnicos, eletricitas e mecânicos, numa reunião de “Brainstorm”.

Avaliando o histórico de ocorrências de falhas extraído do Sistema de Gerenciamento da Manutenção (SISMANA), foram identificados os eventos de falha mais recorrentes e propostas as ações relacionadas na figura 4.13, a fim de mitigar e/ou eliminar novas recorrências:

Figura 4.13 – Plano de ação para aumento de confiabilidade do *Venturi Scrubber 1* (VS1).

TACTICAL IMPLEMENTATION PLAN							
Problema:	Aumento de Confiabilidade do Venturi Scrubber 1 (VS1) da Limpeza de Gás do AF01 - Data 08/07/2019						
Id	Oportunidade / Problema	Causas Básicas principais	Prioridade da solução	Solução Proposta - Macro ações	Responsável	Data de conclusão	Progresso
1	Falhas constantes na indicação de nível de água do VS1.	Aumento na geração de particulado no gás do forno devido "high Injection".	Média	Instalar medidor de nível tipo radar.	Clayton / Washington	20/out	
2	Falha de travamento da válvula de descarga do VS1.	Falha de projeto do sistema de selagem da válvula (gaxetas), ocasionando a contaminação dos componentes do cilindro pneumático de acionamento.	Alta	Modificar projeto do sistema de selagem aumentando o compartimento de caixa de gaxeta da selagem, saindo de 2 cordões para 5 cordões de gaxeta.	Pelisson	30/ago	
3	Falha de indicação de aberto/fechado da válvula de descarga do VS1.	Atuador dos sensores de posição da válvula de descarga do VS1 sem robustez, com eventos de quebras e empenamentos, impedindo sua correta atuação.	Média	Desenvolver projeto e troca do atuador dos sensores de posição da válvula de descarga do VS1 por atuador mais robusto.	Clayton / Fernando Monteiro	30/ago	

TOTAL

Não iniciado (1)
 No prazo (2)
 Em atraso (3)
 Concluído (4)

Fonte: Autoria Própria (2019).

Apesar do plano de ação de ação para aumento da confiabilidade do *Venturi Scrubber 1* (VS1) contemplar maior número de itens, este estudo se limitará a descrever mais detalhadamente as ações relacionadas na figura 4.13.

4.7.1.1 Falhas Constantes na Indicação de Nível de Água do *Venturi Scrubber* 1 (VS1)

Conforme citado no subitem 1.3 deste estudo, a partir de 2015 a Planta de PCI (*Pulverized Coal Injection*) passou a operar com níveis de injeção de carvão mais elevados, causando aumento na ocorrência de particulado misturado à água que fica depositada no fundo do *Venturi Scrubber* 1 (VS1).

Como a medição de nível atualmente é feita pelo princípio do diferencial de pressão entre as tomadas de alta e baixa dos transmissores LT501_A e LT501_B e o aumento do particulado na água passou a provocar reiterados entupimentos nas tomadas de alta pressão dos transmissores, fez-se necessário buscar nova solução para medição de nível.

Devido as condições operacionais do *Venturi Scrubber*, que possui internamente uma atmosfera totalmente úmida com ocorrência de particulado, conjuntamente com a engenharia foi escolhida como tecnologia mais adequada para esta aplicação a medição de nível por radar, que teoricamente sofre menor interferência das intempéries do processo.

Diante disso, 03 (três) fabricantes da tecnologia de medição de nível por radar foram convidados para propor uma solução para medição de nível do VS1.

A solução escolhida foi do modelo VEGAPLUS SR 68 da figura 4.14:

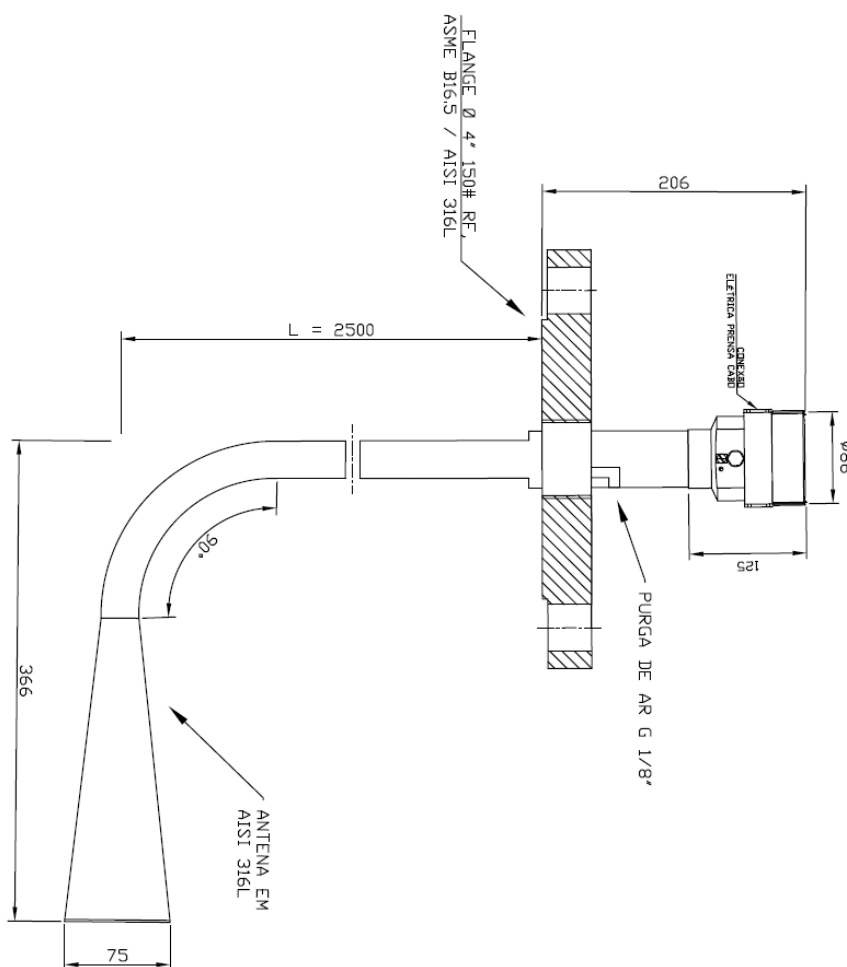
Figura 4.14 – Medidor de nível por radar (Modelo VEGAPLUS SR 68)



Fonte: Autoria Própria (2019).

Outra dificuldade encontrada foi o ponto mais adequado para instalação do radar uma vez que as estruturadas internas do *Venturi Scrubber* poderiam interferir no sinal do instrumento. Diante disso, foi necessário projetar uma antena de 90° que recebesse a reflexão do sinal do radar com o instrumento sendo instalado na lateral do *Venturi Scrubber*. Na figura 4.15 é apresentada a solução proposta:

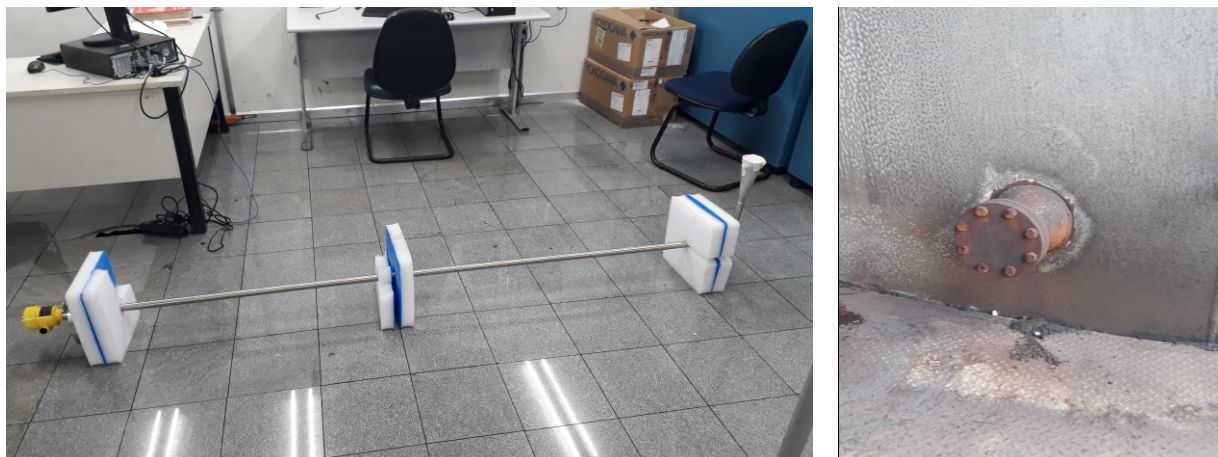
Figura 4.15 – Utilização de antena de 90° acoplada ao radar.



Fonte: Croqui encaminhado pelo fornecedor do radar (2019).

Na figura 4.16 é apresentado foto do radar já adquirido e do flange que irá recebê-lo já devidamente instalado na lateral do VS1:

Figura 4.16 – Conjunto radar-antena adquirido e flange montado na lateral do VS1



Fonte: Autoria Própria (2019).

Como os recursos se encontram disponíveis, a instalação do medidor de nível por radar no VS1 está programada para ser realizada na próxima Parada Programada do Alto Forno, prevista para outubro de 2019.

4.7.1.2 Falha de Travamento da Válvula de Descarga do *Venturi Scrubber 1* (VS1)

Ao analisar mais detalhadamente o travamento da válvula de descarga do VS1 verificou-se, após sua abertura na oficina de manutenção, que os componentes internos do cilindro pneumático apresentavam elevado nível de contaminação por material particulado.

Ao acionar a assistência técnica do fabricante da válvula, foi verificado que o projeto do sistema de selagem da válvula (gaxetas) estava subdimensionado para a condição de aumento do particulado no gás de alto forno, advinda da maior injeção de PCI no Alto Forno 1 a partir de 2015.

Novo projeto foi desenvolvido pelo fabricante da válvula, que propôs uma modificação no sistema de selagem aumentando o compartimento de caixa de gaxetas, passando de 2 (dois) cordões para 5 (cinco) cordões de gaxetas. Esta solução continua sendo monitorada, mas desde sua implantação não ocorreram mais travamentos na válvula de descarga do VS1.

4.7.1.3 Falha de Indicação de Posição (Aberto / Fechado) da Válvula de Descarga do *Venturi Scrubber 1* (VS1)

Ao analisar mais detalhadamente o problema verificou-se que a causa principal das falhas eram devidas ao atuador que se apresentava muito esbelto para a aplicação. Isto ocasionava frequentes empenamentos, fazendo com que não atuasse os sensores indutivos de posição de aberto / fechado.

Aproveitando o envio da válvula para corrigir a falha de travamento descrita no subitem 4.7.1.2 acima, solicitou-se ao fabricante uma revisão do projeto do atuador de forma a deixá-lo mais robusto e evitar novas ocorrências de falha de indicação de posição da válvula de descarga do VS1. Esta solução continua sendo monitorada, mas desde sua implantação não ocorreram mais registros de falhas de indicação de posição na válvula de descarga do VS1.

Apesar de até a conclusão dessa dissertação não ter sido implementadas todas as ações propostas para melhoria da confiabilidade do *Venturi Scrubber 1* (VS1), para as ações já executadas não foram percebidas recorrência de eventos, podendo-se admitir que as soluções até o momento foram efetivas. Com a conclusão da implementação completa do plano de ação espera-se drástica redução nas ocorrências de falhas no *Venturi Scrubber 1*.

5 CONCLUSÃO

O estudo sobre **ANÁLISE RAM APLICADA AO AUMENTO DE CONFIABILIDADE NA LIMPEZA DE GÁS DE UM ALTO FORNO**, que teve como finalidade determinar os ativos que mais impactam no resultado de confiabilidade e disponibilidade da Limpeza de Gás através da aplicação de ferramentas de confiabilidade quantitativa, pode concluir que:

- O equipamento “*Bad Actor*” da Limpeza de Gás do Alto Forno 1 é o *Venturi Scrubber 1* (VS1) com índice RS DTCl (*Reliasoft’s Downtime Criticality Index*) de 44,56%, bem superior se comparado ao segundo colocado (Balão de Pó com 31,18%).
- Considerando-se o universo da Limpeza de Gás, os subsistemas de controle de nível e descarga de emergência do *Venturi Scrubber 1* (VS1), são os que mais contribuem para redução da confiabilidade e conseqüente aumento da indisponibilidade do equipamento.
- As ações propostas para correção dos desvios encontrados nas análises das falhas são de baixa ou média complexidade, não sendo necessário grandes dispêndios de verba para solução.
- Quando aplicada a análise RAM ao sistema é possível identificar e atuar de forma mais assertiva nas falhas, produzindo um rápido aumento de sua confiabilidade.
- Não foi possível implementar todas as ações propostas de correção de desvios para aumento da confiabilidade do sistema dentro do período de elaboração desta dissertação, não sendo possível dimensionar o aumento de confiabilidade pós-implementação, podendo ser objeto de estudo para trabalhos futuros.

No desenvolvimento do estudo percebeu-se como maior dificuldade o tratamento dos dados a serem inseridos nos softwares de análise de confiabilidade tendo em vista que o banco de dados de falhas (que deste caso foi o Sistema de Gerenciamento da Manutenção - SISMANA) está sempre “contaminado” com informações que não tratam especificamente de falhas.

No banco de dados utilizado neste trabalho constavam informações sobre rearmes em circuitos de iluminação e tomadas solicitadas pela operação que não se caracterizam por falhas. Outro exemplo são manobras para bloqueio e desbloqueio de equipamentos que também “contaminavam” o banco de dados de falhas. Por último, manobras de desligamento de iluminação para melhor visualização de ventaneiras também tiveram que ser expurgados das informações sobre falhas. Isto requereu esforço considerável para depuração do banco de dados haja visto o longo período de observação de 04/10/2017 a 17/02/2019. Esta análise foi facilitada porque as planilhas importadas do SISMANA contemplavam colunas que permitiam filtro de algumas informações de bloqueio / desbloqueio de equipamentos, por exemplo.

Outra atividade que demandou muito esforço na depuração dos dados de falhas foi eliminar os registros em duplicidade entre as equipes de controle de processo e mecânica do Turno de Manutenção, demandando entrevistas com os profissionais para adequação das informações. Nesta avaliação foi necessária a avaliação de falha por falha, o que demandou tempo demasiado para uma correta classificação.

Os prazos para implementação das ações de correção dos desvios foram impactados pela impossibilidade de implementação com os equipamentos operando, somente sendo possível a realização nas paradas programadas de manutenção. Foi o caso da implementação do medidor de nível por radar que demandou 2 (duas) paradas programadas para ser implementado. Na primeira parada programada de manutenção foi instalado o flange, mostrado na figura 4.16, para fixação do instrumento e numa segunda parada será instalado o medidor de nível por radar propriamente dito.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Pelo fato de algumas ações de correção dos desvios não ter sido implementadas durante o período de elaboração desta monografia, por razões já comentadas anteriormente, uma proposta de trabalho futuro seria refazer a análise RAM para, comparativamente, atestar o aumento de confiabilidade após a implementação de todas as ações de correção.

Além disso, seria interessante inserir nas análises os custos referentes a mão de obra e materiais para se obter informação dos ganhos monetários obtidos com a aplicação das ferramentas da confiabilidade.

E por fim, este estudo poderia ser estendido ao subsistema Controle Diferencial, cujo DTCl (Reliasoft's Downtime Criticality Index) encontrado foi de 23,05%.

6 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, T. V. **Metodologia de Análise de RAM (Reliability, Availability and Maintainability) por Simulação Baseada em Eventos Discretos Aplicada à Indústria Offshore como Suporte à Decisão Gerencial**, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFF, Rio de Janeiro, 2005.

CALIXTO, Eduardo, SCHIMITT, William. **Análise Ram do Projeto Cenpes II**. Petrobrás. Rio de Janeiro, 2005.

FOGLIATTO, Flávio Sanson, DUARTE, José Luis. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**, Editora Elsevier, Rio de Janeiro, 2009.

GEERDES, M., TOXOPEUS, H., VLIET, C.V.D., **Modern Blast Furnace Ironmaking an Introduction**. 2^a. ed. Amsterdam: 2009.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Disponível em: www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html.

MOURÃO, B. M., YOKOJI, A., MALYNOWSKYJ, A., **Introdução à Siderurgia**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007.

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

SATYENDRA. 2013. Disponível em: <<http://ispatguru.com/blast-furnace-topcharging-systems/>>

SATYENDRA. 2014. Disponível em: <http://ispatguru.com/blast-furnace-cast-houseand-its-operation/>

SATYENDRA. 2016. Disponível em: <http://ispatguru.com/blast-furnace-stockhouse/>

SATYENDRA. 2016. Disponível em: <http://ispatguru.com/cleaning-of-blast-furnacegas/>

Worldsteel Association. Disponível em: www.worldsteel.org/publications/infographics.html. Acesso em: 16 julho 2019.

APÊNDICE A - Planilha TTF e TTR

Exemplo de planilha de dados de tempo até falha (TTF) e tempo para reparo (TTR) extraídos do SISMANA (em amarelo):

AB1	A	B	C	F	G	P	Z	AB	AH	AI	AK
cd_crec	Sorresp	Mnoma	Anomalia	TTF	Description	Duração em Minutos	TTR	Localizacao	Localizacao	DescLocalizacaoCompleta	
1	846877	0300 - Ilanud. Mec. Ate Forno 1	0300-2017-6310	05/10/2017	24	OCCORRÊNCIA: AVALIAR TRAVAMENTO DA VÁLVULA AO COMANDO PARA ABRIR. CAUSA: POSSÍVEL PASSAGEM INTERNA ENTRE CÂMARA DO CILINDRO DE ACOMODAMENTO. PROVIDÊNCIAS: FOI OBSERVADO QUE A DIRECIONAL ESTÁ ALIVANADO CONSTANTEMENTE EM AMBAS AS POSIÇÕES. FATO QUE SUGERE PASSAGEM ENTRE AS CÂMARA DO CILINDRO. TODAVIA, COMO A CONDIÇÃO DE ABERTURA ENDEU JÁ ESPORADICAMENTE A DESLAPAGEM DO ELEMENTO À SEDE, OCORRE A FALHA. FOI INSERIDO O LEO NO ATUADOR COM INTUO DE INDIAR A PERDA DE PRESSÃO. PORÉM SEM SUCESSO. O SISTEMA SEGUE SENDO OPERADO EM MANUTENÇÃO. AS ANÁLISES POSSÍVEIS: OPELA-LO VIA DIRECIONAL. LIOVIMENTANDO-A REPEITIVAMENTE. PALATIVO QUE FOI DEMONSTRADO A OPERAÇÃO.	70	1,16666667	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1
3	898735	0310 - Ilanud de Cont de Proc Ato Forno 1	0300-2017-6456	12/10/2017	168	Tomos acionados pela sala de controle para verificar falha de sinal da válvula descarg inferior vs1, foi encontrado o sensor com desajustado e flogado, realizado o ajuste e o respetto do mesmo. Testado e liberado para operação.	65	1,08333333	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1
4	897895	0300 - Ilanud. Mec. Ato Forno 1	0300-2017-2774	21/11/2017	860	CAUSA: OSCILAÇÃO DO ATUADOR DO SENSOR DURANTE O CURSO DE FECHAMENTO DA VÁLVULA. PROVIDÊNCIAS: FOI FABRICADO E INSTALADO UM ATUADOR COM A ÁREA DE ATUAÇÃO COM DIÂMETRO MAIOR QUE O DO ATUADOR ORIGINAL. O EQUIPAMENTO FOI TESTADO E LIBERADO.	140	2,33333333	LIMITE VALV. DESCARGA VS1 (XV505)	LIMITE VALV. DESCARGA VS1 (XV505) VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
5	898381	0300 - Ilanud. Mec. Ato Forno 1	0300-2017-7301	23/11/2017	48	FOI REPERISSIONADO O BATERITE NO LOCAL. APERTADO O MIESIO E FEITO TESTES DA VALVULA JUNTO COM A OPERAÇÃO OBS.SERVIO EXECUTADO COM APOIO DO MECANICO ZAMER.	50	0,83333333	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
6	898597	0300 - Ilanud. Mec. Ato Forno 1	0300-2017-7320	24/11/2017	24	CONFORME SOLICITAÇÃO DA OPERAÇÃO JUNTO COM A ELÉTRICA: FOI FIXADO E AJUSTADO LIMITE DA VALVULA DESCARGA INFERIOR DO VSM1 TESTADO E LIBERADO	145	2,41666667	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
7	100375	0310 - Ilanud de Cont de Proc Ato Forno 1	0300-2017-7715	08/12/2017	338	Fomos acionados pela Operação para verificarmos a falha de sinal na válvula inferior em verificação local, observamos que o atuador do sensor estava com sua fixação avariada, devendo o atuador balancear quando a válvula fecha, com o dabo do atuador, o sensor era atingido e por consequência enviava sua base de fixação tremas um ajuste no sensor e a Operação realizou algumas aberturas da válvula e o sensor foi senta afastado pelo atuador gradativamente Repressamos a informação para Operação e para manutenção mecânica. Aguardando a mecânica reparar o atuador.	30	0,5	COMPELETRICOS VALV. DESCARGA VS1	COMPELETRICOS VALV. DESCARGA VS1 VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
8	1003819	0310 - Ilanud de Cont de Proc Ato Forno 1	0300-2017-7738	10/12/2017	48	VERIFICADO FALHA NO SENSOR DE POSIÇÃO DA VALV. DESCARGA VS1. NO LOCAL O ATUADOR ENCONTRA-SE QUEBRADO E O SUPORTE DO SENSOR EM ESTADO AVANÇADO DE CORROÇÃO SEM CONDIÇÃO DE REPOSIICIONAR O SENSOR OBS. INFORMADO A MECÂNICA E SEGUE EM AVALIAÇÃO.	90	1,5	COMPELETRICOS VALV. DESCARGA VS1	COMPELETRICOS VALV. DESCARGA VS1 VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
9	1005211	0300 - Ilanud. Mec. Ato Forno 1	0300-2017-7841	14/12/2017	86	FOI INFORMADO PELA OPERAÇÃO FALHA NA OPERAÇÃO DA VÁLVULA. REALIZAMOS INSPEÇÃO E CONSTATADO QUE O ATUADOR MECANICO DO SENSOR DE FECHAMENTO ENCONTRA-SE QUEBRADO IMPOSSIBILITANDO ATUAÇÃO DO SINAL. EM SEGUIDA REPERISSIONADO ATUADOR E TRAVADO O MIESIO COM SOLDA. NORMALIZANDO FUNCIONAMENTO. REALIZADO VÁRIOS TESTES NÃO VOLTADO A APRESENTAR FALHAS OBS: ATIVIDADE REALIZADA COM APOIO DO MECANICO PAULO EQUIPE OPE.	160	2,66666667	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
10	1005565	0300 - Ilanud. Mec. Ato Forno 1	0300-2017-7888	16/12/2017	48	Segundo a equipe de elétrica, de 20 vinte dias pra cá. A válvula inferior de descarg do vs 01, apresenta a mesma falha. Fomos ao local junto com a equipe de elétrica. E os mesmos nos pediram para substituir o suporte do sensor indabno, pois esse suporte estava muito oxidado. Fzamos o suporte e junto com a equipe de elétrica, fizemos contato com a operação. Soluamos o suporte, testamos e liberamos para operação.	100	1,66666667	LIMITE VALV. DESCARGA VS1 (XV505)	LIMITE VALV. DESCARGA VS1 (XV505) VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
11	1008146	0300 - Ilanud. Mec. Ato Forno 1	0300-2017-7966	18/12/2017	48	FOI TROCADO O PARAFUSO DE FIXAÇÃO DO ATUADOR. TRAVANDO O MIESIO NA POSIÇÃO. TESTADO E LIBERADO PARA OPERAÇÃO.	65	1,08333333	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
12	1007895	0300 - Ilanud. Mec. Ato Forno 1	0300-2017-8027	23/12/2017	120	CAUSA: QUEBRA DA SOLDA DE FIXAÇÃO DO ATUADOR DO SENSOR AO SEU RESPECTIVO SUPORTE. PROVIDÊNCIAS: APÓS RETIRAR O SUPORTE DO EIXO DO CILINDRO DE ACOMODAMENTO DA VÁLVULA E PREPARADO REINICIAÇÃO DA SOLDA ORIGINAL. FOI RESSOLDADO O ATUADOR. O SUPORTE COM O ATUADOR FOI REINICIADO. A VÁLVULA FOI TESTADA E LIBERADA.	85	1,41666667	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
13	1010321	0300 - Ilanud. Mec. Ato Forno 1	0300-2018-22	02/01/2018	240	CAUSA: AGARRAMENTO DO ELEMENTO DA VÁLVULA A RESPECTIVA SEDE DE FECHADO. PROVIDÊNCIAS: FOI DESTRAVADA A VÁLVULA UTILIZANDO O VOLANTE DE ACOMODAMENTO MANUAL. A VÁLVULA FOI TESTADA E LIBERADA. OBS: INSPEÇÃO FAVOR MONITORAR.	60	1	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
14	1011786	0300 - Ilanud. Mec. Ato Forno 1	0300-2018-140	06/01/2018	96	CAUSA: RASGO NO CORPO DO MANGOTE DE ALIMENTAÇÃO DO RETORNO DO CILINDRO. LADO RESPONSÁVEL PELA ABERTURA DA VÁLVULA. PROVIDÊNCIAS: FOI SUBSTITUÍDO O MANGOTE AVARIADO. A VÁLVULA FOI TESTADA E ABRU NORMALMENTE. OBS: COMO NÃO FOI ENCONTRADO UM SOBRESSALENTE DENTRO DO ORIGINAL. FOI UTILIZADO UM MANGOTE COM COMPRIMENTO MAIOR. INSPEÇÃO FAVOR AVALIAR.	90	1,5	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
15	1039421	0310 - Ilanud de Cont de Proc Ato Forno 1	0300-2018-2378	11/04/2018	2280	OPERAÇÃO SOLTOU AO TURBO ELÉTRICO QUE VERIFICASSE A FALHA NO FUNCIONAMENTO DA VÁLVULA DE DESCARGA DO VS NP1 AF-01 CHEGANDO AO LOCAL FOI VERIFICADO QUE O ATUADOR E O SENSOR DE FECHADO DA VÁLVULA DE DESCARGA ESTAVAM FROUXOS, OCASIONANDO ASSIM, A NÃO ATUAÇÃO CORRETA DO SENSOR, E POR CONSEQUÊNCIA, A FALHA NO FUNCIONAMENTO DA VÁLVULA DE DESCARGA. FEITO REPERITO NAS CONEÇÕES DE FIXAÇÃO DO ATUADOR E DO SENSOR DE VÁLVULA FECHADA. CONFIRMADO A INDICAÇÃO DE SINAL COM A SALA DE CONTROLE. REALIZADO TESTES DE FUNCIONAMENTO E LIBERADO O EQUIPAMENTO PARA OPERAÇÃO.	60	1	VALVULA DE DESCARGA VS NP1	VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
16	1044899	0300 - Ilanud. Mec. Ato Forno 1	0300-2018-2805	29/04/2018	432	OPERAÇÃO ACONTEU A MECÂNICA DEBDO TRAVAMENTO DA VÁLVULA DE DESCARGA INFERIOR VSI FOI REALIZADO DESTRAVAMENTO DA MIESIA E LIBERADO PARA OPERAÇÃO.	60	1	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI	VALVULA DESCARGA INFERIOR VSI VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	
17	1044897	0300 - Ilanud. Mec. Ato Forno 1	0300-2018-2818	30/04/2018	24	FOI LOCALIZADO TURBO MECANICO PARA AVALIAR O AUMENTO NA TUBILICAÇÃO DE ÁGUA DO VENTURIO 01. FOI AVALIADO E	50	0,83333333	TUBILICAÇÕES E ACESSÓRIOS	TUBILICAÇÕES E ACESSÓRIOS VALVULA DE DESCARGA VS NP1 VENTURIO 01 LIMPEZA DE GAS LIMPEZA DE GAS ALTO FORNIO 1	

Fonte: Sistema de gestão da manutenção (SISMANA) (2019)