

MARCO AURÉLIO VALINI DE BARROS

**ANÁLISE DE RISCO NO PROCESSO LD UTILIZANDO FMEA (FAILURE MODE
AND EFFECT ANALYSIS)**

**Trabalho de Formatura apresentado ao Curso
de Engenharia Metalúrgica, Escola Politécnica,
Universidade de São Paulo.**

**Orientador: Prof. Dr. Guilherme Frederico
Bernardo Lenz e Silva**

SÃO PAULO

2019

MARCO AURÉLIO VALINI DE BARROS

ANÁLISE DE RISCO NO PROCESSO LD UTILIZANDO FMEA

**Trabalho de Formatura apresentado ao Curso
de Engenharia Metalúrgica, Escola Politécnica,
Universidade de São Paulo.**

**Orientador: Prof. Dr. Guilherme Frederico
Bernardo Lenz e Silva**

SÃO PAULO

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Barros, Marco Aurélio Valini de Barros

Análise de Risco no Processo LD utilizando FMEA / M. A. V. B. Barros –
Lenz e Silva, Guilherme F. B. (Orientador) São Paulo, 2019.
65 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

1.Siderurgia 2.FMEA 3.Risco 4.Aciaria a Oxigênio I.Universidade de São
Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de
Materiais II.t.

AO MEU AMOR, ARIELLA, QUE FAZ A VIDA VALER A PENA...
AOS MEUS PAIS, SILVANA E IVAN QUE ME ENSINARAM A VIVER...
AO PROF. DR. GUILHERME LENZ, UM EXEMPLO DE PROFESSOR E AMIGO...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Guilherme F. B. Lenz e Silva pela orientação e apoio para elaboração deste trabalho.

Agradeço à minha esposa Ariella por tudo e por sempre estar ao meu lado.

Agradeço aos meus pais Silvana e Ivan pelo suporte, carinho e incentivo.

Agradeço aos professores, em especial ao prof. Dr. Samuel Toffoli, e funcionários da Escola Politécnica pela contribuição direta ou indireta à minha formação acadêmica.

Agradeço aos meus grandes amigos.

“A mente que se abre a uma ideia nova jamais voltará a seu tamanho original. “

Albert Einstein

RESUMO

ANÁLISE DE RISCO NO PROCESSO LD/BOS ATRAVÉS DO PROCESSO FMEA

O mercado siderúrgico é um dos maiores na indústria de base e seu estudo é constantemente necessário para sua contínua evolução e crescimento. Hoje, mais de 60% do aço produzido no mundo provém de usinas integradas e aciaria LD. Portanto, dada sua importância no cenário mundial, esse texto pretende avaliar todo o processo de refino primário de aço no forno LD por meio do processo FMEA de avaliação de riscos. É um processo consagrado de análise de riscos que, por meio de análise de três parâmetros principais, Frequência, Severidade e Detecção, visa indicar quais são os maiores riscos de um processo e sugerir melhorias para tentar mitigar esses riscos. Após o apontamento dos riscos no processo, é considerada sua exposição e, finalmente, o ranqueamento dos riscos onde pode-se concluir as maiores exposições. Os resultados indicam que as maiores exposições a risco estão nos processos que envolvem manejo do metal líquido juntamente com alguma possível fonte de água, como vapor ou a água de resfriamento das lanças durante o sopro.

ABSTRACT

RISK ASSESSMENT ON LD/BOS PROCESS USING FMEA

The ironmaking market is one of the largest on base industry and study it is often necessary for its continuous evolution and growth. Today, more than 60% of steel manufactured globally come from integrated process and BOS steelmaking. Therefore, given its importance to the global scenario, this text aims assess all the process BOS via FMEA. FMEA is a well-known process to assess risks that, using three main factors: Severity, Occurrence and Detection, can indicate the largest risks for a process and propose betterments to mitigate the found risks. After the risks on each process being detected, the exposure is calculated to, then, being ranked to identify the higher exposures. The results show the largest exposures as the processes involving hot metal and the possibility of contact with water, as vapor or cooling water inside the lances during oxygen blow.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ESTRUTURA DO PROCESSO FMEA.....	21
FIGURA 2 - FORMULÁRIO FMEA GENÉRICO	23
FIGURA 2-3 - A USINA INTEGRADA	29
FIGURA 4 – MÉTODOS DE INTRODUIR OXIGÊNIO E OUTROS GASES NO CONVERSOR	38
FIGURA 5 - ESQUEMA DA OPERAÇÃO DE UM CONVERSOR LD	40
FIGURA 6 - ESTRUTURA DO PROCESSO FMEA.....	42
FIGURA 7 - TABELA FMEA.....	44
FIGURA 8 - VALORES DE RPN PARA MODOS DE FALHA NA CHEGADA DO CARRO TORPEDO À PESAGEM.....	46
FIGURA 9 - VALORES DE RPN PARA MODOS DE FALHA NA DESSULFURAÇÃO	47
FIGURA 10 - VALORES DE RPN PARA MODOS DE FALHA NA TRANSNSFERÊNCIA DO GUSA DO CARRO TORPEDO PARA A PAINEL DE GUSA.....	47
FIGURA 11 - VALORES DE RPN PARA MODOS DE FALHA NA RETIRADA DE AMOSTRA DO LABORATÓRIO	48
FIGURA 12 - VALORES DE RPN PARA MODOS DE FALHA NA TRANSFERÊNCIA DA PAINEL DE GUSA PARA A ACIARIA	48
FIGURA 13 - VALORES DE RPN PARA MODOS DE FALHA NA INJEÇÃO DE CAO E AL VIA LANÇA	48
FIGURA 14 - VALORES DE RPN PARA MODOS DE FALHA NA ESCUMAÇÃO	49
FIGURA 15 - VALORES DE RPN PARA MODOS DE FALHA NA TRANSFERÊNCIA DA PAINEL ATÉ O FORNO LD	50
FIGURA 16 - VALORES DE RPN PARA MODOS DE FALHA NO CARREGAMENTO DO CONVERSOR LD COM SUCATA	50
FIGURA 17 - VALORES DE RPN PARA MODOS DE FALHA NO VAZAMENTO DE GUSA TRATADO NO FORNO LD.....	51
FIGURA 18 - VALORES DE RPN PARA MODOS DE FALHA NO CARREGAMENTO DE ESCORIFICANTES E SOPRO DE O ₂	51
FIGURA 19 - VALORES DE RPN PARA MODOS DE FALHA NO VAZAMENTO DO AÇO PARA O FORNO PAINEL E PAINEL DE ESCÓRIA.....	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCO	18
TABELA 2 - TABELA DE SEVERIDADE	43
TABELA 3 - TABELA DE OCORRÊNCIA	43
TABELA 4 - TABELA DE DETECÇÃO	44
TABELA 5 - RANKING DE MAIORES RISCOS	53

SUMÁRIO

Resumo	viii
Abstract	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
1 Introdução	14
2 Revisão de literatura	15
2.1 Definição de risco	15
2.2 Análise de risco	16
2.3 Técnicas de análise de risco	17
2.3.1 Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA)	19
2.3.1.1 Introdução e Histórico.....	19
2.3.1.2 Os Tipos de FMEA	20
2.3.1.3 A Estrutura	20
2.3.1.4 A Metodologia.....	21
2.3.1.4.1 Severidade.....	22
2.3.1.4.2 Ocorrência	22
2.3.1.4.3 Detecção.....	22
2.3.1.5 Formulário.....	22
2.3.1.6 Benefícios do FMEA	23
2.3.1.7 Problemas e Melhorias do FMEA.....	24
2.4 Acidentes no setor de Aciaria.....	24
2.4.1 Maiores exposições	24
2.4.2 Maiores acidentes	27
2.5 Siderurgia e a Aciaria LD	28
2.5.1 História	29
2.5.2 As Variantes do Processo	30
2.5.3 As Matérias Primas.....	30
2.5.3.1 Gusa líquido	30
2.5.3.2 Sucata.....	30
2.5.3.3 Cal.....	31

2.5.3.4	Fluorita	31
2.5.3.5	Minério de Ferro	31
2.5.3.6	Outros aditivos	32
2.5.3.6.1	Ligas	32
2.5.3.6.2	Refrigerantes	32
2.5.3.6.3	Escorificantes	32
2.5.3.6.4	Solventes	32
2.5.3.7	Oxigênio	33
2.5.4	Os Principais Equipamentos	33
2.5.4.1	Carcaça do conversor	33
2.5.4.2	Lança de oxigênio.....	33
2.5.4.3	Refratários.....	34
2.5.5	A operação.....	35
2.5.5.1	Transporte de Gusa pelo carro torpedo.....	35
2.5.5.2	Carregamento de carga sólida	35
2.5.5.3	Carregamento do gusa líquido.....	36
2.5.5.4	Sopro	36
2.5.5.5	Medição de temperatura e retirada de amostras.....	38
2.5.5.6	Vazamento do aço.....	38
2.5.5.7	Vazamento de escória.....	39
3	Material e Método	41
3.1	O processo de aciaria LD	41
3.2	FMEA	41
3.2.1	O Processo	42
3.2.2	Planilha	44
3.2.3	Riscos Avaliados.....	44
3.2.4	P riorização	45
4	RESULTADOS e discussão	46
5	CONsiderações finais	54
6	Bibliografia	55

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, a produção de aço sempre foi um processo perigoso do ponto de vista de segurança e acidentes sempre foram inevitáveis. No entanto, as companhias produtoras de aço, hoje, reconhecem que essa premissa não é mais válida tendo em vista a modernização e avanço técnico da Siderurgia.

De fato, não há processos à prova de acidentes, portanto, segurança e saúde devem ser um compromisso constante das companhias, mais do que isso, deve ser prioridade máxima. As empresas siderúrgicas tem melhorado seu desempenho em segurança, com muitas empresas passando muitos anos sem acidentes graves ou afastamentos. Houve redução de 78,67% na taxa de acidentes por horas trabalhadas de 2006 a 2017. A melhora em qualidade e em segurança aumenta também a produtividade da companhia e, conseqüentemente, o lucro e valor de mercado (Wordsteel Association, 2018).

Afim de promover a melhora na segurança do trabalho, um dos métodos preventivos é a análise de riscos. Por meio de ferramentas, é possível quantificar a exposição a determinado risco e propor medidas para mitigá-lo aumentando a segurança do processo. Uma das ferramentas é o Método de Análise de Modo de Falha (FMEA na sigla em inglês), escolhido nesse trabalho por se adequar bem à indústria siderúrgica e, tendo em vista a complexidade e elevada quantidade de processos em toda cadeia da indústria integrada, esse trabalho focará apenas na etapa de refino primário Linz-Donawitz.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Definição de risco

Segundo (Damodaran, 2009), ao longo da maior parte da história da civilização, risco e sobrevivência andaram juntos. Desde riscos como se expor a perigos de natureza física diante de animais ferozes e péssimas condições climáticas até milhares de anos depois, a guerras e as doenças, navegar ao desconhecido durante as Grandes Navegações e mesmo se arriscar ao saltar de paraquedas ou esquiar nas montanhas. Os riscos estão em todos os lugares e provém de várias fontes tais quais: crime, acidentes, mudança de clima, finanças, etc. Enfrentamos risco em novas tecnologias (energia nuclear) e antigas (barragens, escadas), na medicina moderna, nos relacionamentos pessoais e familiares, a inflação de um país, entre tantos outros (Fischhoff & Kadvany, 2011). De acordo com (Rausand, 2011), risco é sempre relacionado com eventos futuros. A possibilidade de eventos prejudiciais é parte inerente da vida. Estes eventos podem ser causados por falhas técnicas e falhas humanas, ou por forças naturais como alagamentos e terremotos. Alguns eventos desses podem ser previstos, enquanto outros são totalmente imprevisíveis, chegando de forma inesperada.

Dada a onipresença do risco, é estranho não haver uma, mas a definição da palavra “risco” é, desde sempre, nebulosa. Há quem defina como chance, possibilidade, enquanto também pode-se apresentar como perigo, ameaça. Em 1921, Frank Knight resumiu a diferença entre risco e incerteza: “...A incerteza precisa ser considerada com um sentido radicalmente distinto da noção comumente aceita de Risco, da qual nunca foi adequadamente separada...O aspecto essencial está no fato de “Risco” significa, em alguns casos, uma variável passível de ser medida, enquanto em outros o termo não aceita esse atributo; além disso, há enormes e cruciais diferenças nas consequências desses fenômenos, dependendo de qual dos dois esteja realmente presente e operante...Está claro que uma incerteza mensurável, ou o risco propriamente dito, na acepção que utilizaremos, é tão diferente de uma incerteza não-mensurável, que não se trata, de forma alguma, de uma incerteza.”

Já em 1996, Stan Kaplan, um grande pesquisador da área de riscos, abriu a discussão sobre a criação de uma definição oficial para a palavra e, depois de 4 anos

de trabalho, no seu relatório final, ele disse que o melhor era não definir “risco”. Na língua chinesa, por exemplo, o ideograma que representa o termo “risco” é a combinação dos termos “perigo” e oportunidade”

2.2 Análise de risco

Análise de Risco é comumente definida como: o uso sistemático de informação disponível para identificar perigos e estimar riscos para indivíduos, propriedade e para o meio ambiente (Rausand, 2011). Segundo ele, a análise de risco sempre possui uma abordagem proativa no sentido que ela lida exclusivamente com acidentes potenciais, ou seja, ela não está ligada com análise de acidentes já ocorridos.

Como diz (Dumbar, 2014), é errado pensar em análise de risco relacionando diretamente com seguro ou indenização. Análise de risco é algo que as pessoas fazem o tempo inteiro, desde analisar as condições de uma estrada ou mesmo analisar a previsão do tempo para saber se deve ou não sair para jogar golfe. Como é impossível eliminar todos os riscos, o que há para fazer é eliminar e/ou controlar os perigos os diminuindo até o menor risco factível.

Segundo (Kaplan e Garrick, 1981), uma análise de riscos é feita para fornecer respostas para três perguntas principais:

- a) O que pode dar errado?
- b) Qual a probabilidade de isso acontecer?
- c) Quais são as consequências?

Essas três perguntas podem ser transformadas em definições e, independentemente da complexidade, todo risco contém seis passos principais.

Toda análise de risco contém, independentemente da complexidade, seis passos principais:

- 1- Identificação do perigo
Identificação do risco associado
- 2- Análise do risco
- 3- Controle do risco

- 4- Documentação do processo
- 5- Monitoramento e revisão do processo.

Em muitos sistemas, várias proteções são instaladas para prevenir eventos ou mitigar suas consequências. A análise de risco é usada para identificar as causas dos eventos prejudiciais, para determinar as possíveis consequências desses riscos, para identificar barreiras e formar uma base para que o sistema se torne tolerável (Rausand, 2011).

O primeiro passo é entender os objetos, isso significa entender os valores dos “stakeholders”. Logo depois, identificar os riscos após analisá-los e medi-los, formular estratégias e implementá-las, monitorando-as e comunicando de forma a proporcionar alertas antecipados

Já no campo de vista corporativo, (Zhang, 2011) expõe que a CAS Casualty Actuarial Society considera ERM (Enterprise Risk Management) como a atividade no qual uma companhia analisa, controla e monitora riscos provenientes de todas as fontes para gerar valor aos acionistas.

Segundo (Curtis & Carey, 2012), valor é uma função de risco e retorno. Toda decisão aumenta, preserva ou destrói valor. Dado que risco é parte integral de um processo e é impossível eliminá-lo por completo, não é isso que as empresas buscam, mas, sim, gerenciá-los de maneira eficiente para a organização.

Por isso a análise de risco é importante. É o caminho no qual empresas conseguem manejar quão grande é cada risco e quanto ele interfere em suas metas. Em seguida, veremos alguns dos principais métodos de análise de risco na indústria.

2.3 Técnicas de análise de risco

Existem diversas ferramentas e metodologias de análise de riscos que podem ser utilizadas para esses propósitos. Dentre elas é possível citar a Análise da Árvore de Falhas (FTA – Fault Tree Analysis), Análise de Efeitos e Consequências (AQR), Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA - Failure Mode and Effect Analysis), Análise Preliminar de Perigos (APP), Análise Preliminar de Riscos (APR), Análise SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats), Árvore de Decisão, Avaliação do Nível de Integridade e Segurança (SIL), Estudo do Perigo e da

Operabilidade (HAZOP – Hazard and Operability Study), HACCP – Hazard Analysis of Critical Control Points, HAZID – Hazard Identification Study, Matriz Probabilidade-Impacto, What-if, entre outras (Duarte Júnior, 2011).

As técnicas exemplificadas são amplamente empregadas na indústria e são escolhidas dependendo do processo ou projeto estudado. (Saxer, 2015) mostra que as técnicas de análise de risco podem ser caracterizadas como dedutivas ou indutivas e essas subdivididas em qualitativas e quantitativas. As técnicas dedutivas partem do perigo, aspecto ambiental ou desvio de processo em direção às causas e consequências com o objetivo de propor ações mitigantes enquanto as indutivas fazem o contrário: investigam os efeitos de um evento desejado partindo de um desvio de processo para avaliar as causas e consequências e propor ações mitigantes. Em suas subdivisões, as técnicas qualitativas são baseadas no conhecimento e experiência dos indivíduos do time enquanto as quantitativas utilizam modelos matemáticos, simuladores e outros dados para quantificar determinado risco. A Tabela 1 abaixo mostra os diversos métodos citados e como estão classificados.

Tabela 1 - Técnicas de Análise de Risco

Técnicas de Análise de Risco			
Qualitativa		Quantitativa	
Indutiva	Dedutiva	Indutiva	Dedutiva
FMEA	APR	AQR	FTA
HAZOP	-	SIL	-
HAZID	-	-	-
WHAT IF	-	-	-

A escolha pelo método neste trabalho foi seu elevado uso na indústria siderúrgica e, como dizem (Ebrahimzadih, Halvani, Shahmoradi, & Giah, 2014), o FMEA é um dos poucos modos de se identificar, analisar e controlar riscos num mesmo processo.

2.3.1 Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA)

2.3.1.1 Introdução e Histórico

Segundo (Ebrahemzadih, Halvani, Shahmoradi, & Giahi, 2014), Análise de modo e efeito de falha (FMEA em inglês) é comumente definido como “um processo sistemático para identificar potenciais falhas de design e projeto antes que eles ocorram, com intenção de eliminá-los ou minimizar o risco associado a eles”.

A origem do método não é consensual. (Carlson, 2014) diz que foi em 1949 que ela foi devidamente formalizada. rapidamente propagada quando então foi utilizada para avaliar a segurança do Concorde and Airbus aircraft na América e na França respectivamente, mas seu uso só foi documentado no início da década de 1960 quando foi desenvolvido nos EUA pela Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) como forma de abordar uma maneira de melhorar a segurança do equipamento militar.

Hoje, segundo (Rodrigues), o FMEA tem sido utilizado nas mais diversas áreas, como por exemplo, equipamentos de semicondutores, circuitos elétricos, na indústria siderúrgica, etc. Apesar de, na indústria, o método requerer um time de pessoas qualificadas, em geral, de quatro a seis, idealmente uma de cada área da empresa envolvida em determinado processo, (McDermott, Mikulak, & Beauregard, 2009) salientam de forma positiva que, ao contrário de outros processos, FMEA não precisa de estatísticas complicadas para trazer economias significativas para uma empresa.

(Carlson, 2014) aponta que o método foi criado para identificar e compreender os modos de potencial falha e suas causas, analisar o risco associado a elas e priorizá-los para ações corretivas e, finalmente, identificar e proporcionar ações corretivas para endereçar as maiores preocupações.

O método é conduzido pelo líder da equipe que recebe da empresa todos os parâmetros que poderão ser utilizados no processo como, por exemplo, qual o orçamento disponível, o prazo, as responsabilidades do time: apenas analisar ou também implementar as melhorias.

Segundo os autores (Ambekar, Edlabadkar, & Shrouty, 2013), além de identificar problemas nos processos e no desenho de produtos, o processo FMEA serve para:

- Identificar o equipamento ou subsistema, modo de operação e o equipamento
- Identificar os modos de falha potencial e suas causas
- Avaliar os efeitos de cada modo de falha
- Identificar maneiras de eliminar ou reduzir os riscos associados
- Identificar provas e testes necessários para provar as conclusões
- Prover informação aos operadores para que entendam as limitações do sistema e melhorem o desempenho do processo ou produto.

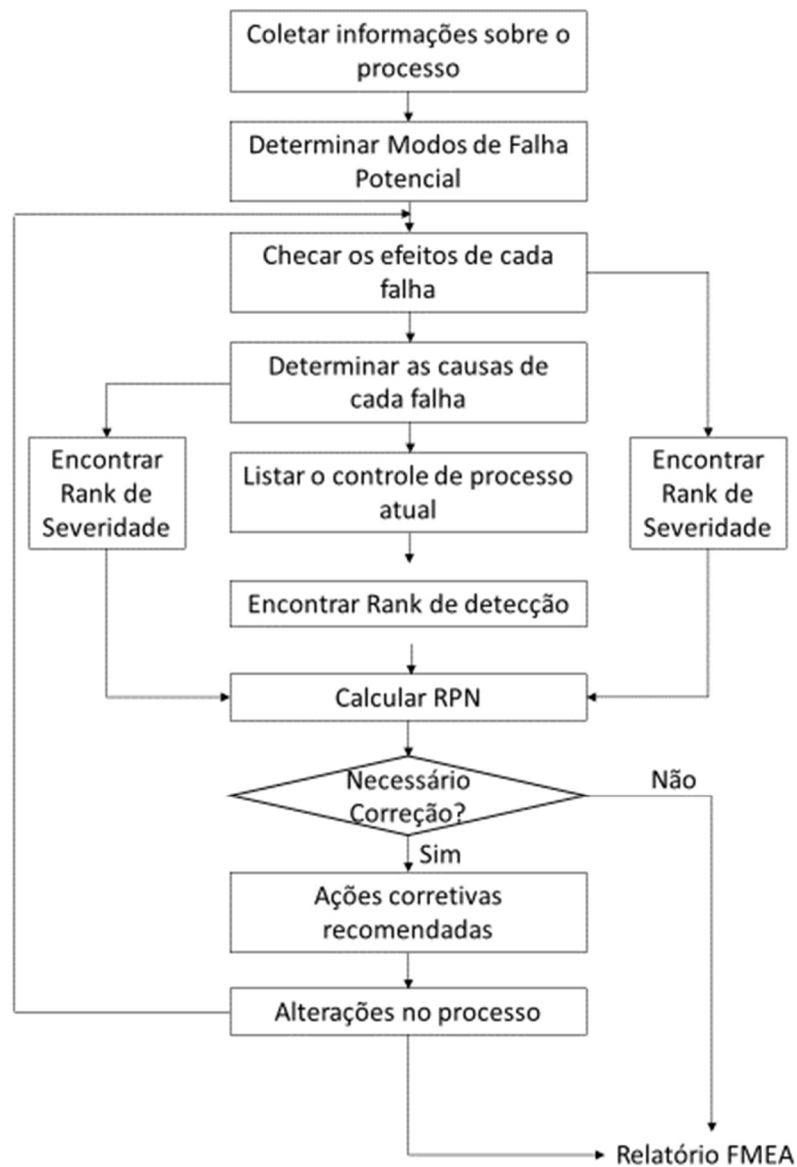
2.3.1.2 Os Tipos de FMEA

De acordo artigo de (Stamatis, 1995), existem quatro tipos principais de FMEA: Sistema, para analisar sistemas e subsistemas no começo de um projeto, Produto, para analisar produtos durante sua fase de desenvolvimento, Processo, para analisar problemas durante um processo de fabricação ou montagem e Serviço, para analisar os serviços

2.3.1.3 A Estrutura

O fluxograma abaixo, adaptado de (Teng & Ho, 1995), mostra a estrutura do método FMEA de processo. Apesar de haver, hoje, várias variações do FMEA tradicional, todas elas mantêm a estrutura básica abaixo, conforme Figura 1.

Figura 1 - Estrutura do Processo FMEA



Fonte: Adaptado de (Teng & Ho, 1995)

2.3.1.4 A Metodologia

O processo do FMEA, segundo (McDermott, Mikulak, & Beauregard, 2009), é basicamente analisar três fatores: Severidade, Ocorrência e Detecção, e com eles, determinar o Número de Prioridade de Risco (RPN em inglês) que consiste na multiplicação dos três fatores. Como os fatores variam, individualmente, de 1 a 10, o

RPN, então, poderá ter valores desde 1 ($1 \times 1 \times 1 = 1$) para o risco mais baixo até 1.000 ($10 \times 10 \times 10 = 1.000$) para o risco mais alto.

2.3.1.4.1 Severidade

De acordo com (Suresh, Sathyanathan, Visagavel, & Rajesh Kumar, 2014), Severidade é a gravidade do efeito de um modo de falha potencial. Se a Severidade é alta, (Filip) diz que a extensão do dano também será alta e ela não pode ser reduzida por melhorias no processo. É medida em uma escala de 1 a 10, sendo 1 a menor severidade e 10 a maior.

2.3.1.4.2 Ocorrência

(Filip) diz que se a Ocorrência é alta, os processos não são robustos ou a performance é fraca. Isso leva a problemas com prazos, custos e gastos elevados com inspeção. É medida em uma escala de 1 a 10, sendo 1 a menor taxa de ocorrência e 10 a maior.

2.3.1.4.3 Detecção

De acordo com (Filip), se a Detecção é baixa, os métodos de inspeção e procedimento usados não são particularmente adequados. Métodos de inspeção adicionais ou diferentes devem ser implementados, mas podem ser custosos e não melhorar o processo, por isso, se a nota geral do risco for baixa, ações adicionais podem ser dispensadas não importando muito o valor de (D). É medida em uma escala de 1 a 10, sendo 1 a detecção certa e 10 não existir detecção.

2.3.1.5 Formulário

Muitos autores consultados exemplificam planilhas FMEA com diferentes graus de complexidade e que variam de acordo com a necessidade do estudo. Um bom exemplo é o da Figura 2 que mostra um exemplo de planilha FMEA genérica que ilustra os principais campos a serem abordados durante a análise e que serão escopo do estudo desse trabalho, conforme figura abaixo.

FMEA																		
<input type="checkbox"/> FMEA de Produto <input type="checkbox"/> Sistema <input type="checkbox"/> Sub-sistema <input type="checkbox"/> Componente		<input type="checkbox"/> FMEA de Processo		Responsável projeto		Responsável FMEA		FMEA No										
Preparado por				Data		Aprovado por				Data								
Membros do time						Nome do produto				Código								
Item / Função	Modos de falha potencial	Efeitos potenciais	S	Causas potenciais	Controle atual de projeto				RPN	Ações recomendadas	Responsáveis e data alvo de finalização	Resultado das ações						
					Prevenção	O	Deteção	D				Ações implementadas	S	O	D	Novo RPN		

Busca por todos os possíveis/potenciais modos de falha

Busca por todos os possíveis/potenciais efeitos de falha

Busca por todas as possíveis/potenciais causas de falha

Definição/determinação de todos os controles existentes

Proposição de soluções e ações de redução de risco

Registro e avaliação dos resultados

FMEA de projeto
 Nome do componente e sua sua função
 FMEA de processo
 Nome da operação e sua sua função

Figura 2 - Formulário FMEA Genérico

Fonte: (Dalosto, 2015)

2.3.1.6 Benefícios do FMEA

Vários autores concordam que utilizar o método de maneira preventiva é a fórmula do sucesso. Dessa forma, a ferramenta pode trazer benefícios como:

- Melhorar a qualidade, confiabilidade e segurança dos processos
- Reduzir a variabilidade do processo
- Melhorar a competitividade da empresa
- Promover atividades preventivas do ponto de vista de qualidade
- Ajudar a alcançar e superar a expectativa dos clientes
- Documentar e acompanhar as ações com objetivo de reduzir riscos

Com a utilização do método, é possível conhecer melhor um determinado processo e seus respectivos riscos e atuar de forma preventiva melhorando o gerenciamento de risco e qualidade na entrega do produto ao cliente, seja ele interno ou externo.

2.3.1.7 Problemas e Melhorias do FMEA

Apesar de toda sua funcionalidade, a metodologia possui alguns problemas, como citam (Saxer, 2015), (Sheng-Hsien & Shin-Yann, 1995) e (Dalosto, 2015). Dentre eles, pode-se mencionar, por exemplo, a falta de termos bem definidos, problemas em identificar falhas, problemas em definir precisamente o RPN, o elevado tempo que se dedica para realização do método, sua falta de integração com outros métodos de segurança, necessidade de um time variado e experiente, entre outros. Porém, unanimidade em toda literatura é a grande subjetividade do método, dado sua característica qualitativa.

2.4 Acidentes no setor de Aciaria

De acordo com (Khan & Abbasi, 1999), para entender os mecanismos de acidentes e desenvolver estratégias de controle, é essencial aprender com os acidentes do passado.

2.4.1 Maiores exposições

Abaixo, encontram-se as maiores exposições na siderurgia em geral, mas principalmente na Aciaria LD (Willberg, Aastroem, Henry, & Schütz, 2005).

1) Riscos relativos ao desenho da planta

- Explosões e incêndios podem espalhar de uma unidade na planta para outra.
- Espalhamento de aço líquido para equipamentos

Prevenção: Tanques, fornos e vasos com potencial para grandes explosões ou incêndios devem estar localizados a uma distância segura um do outro.

2) Riscos relativos a prédios

- Prédios na siderurgia podem ser muito altos e muito extensos. Portanto, incêndios, uma vez ocorridos, podem ser muito difíceis de controlar. Chuvas e ventos fortes também podem causar bastante dano às estruturas.

Prevenção: Uso de materiais não combustíveis. Grandes áreas de telhado devem ser divididas em áreas menores. Os prédios devem estar protegidos de entrada de água de chuva ou pelo vento. Telhados devem ser sempre vistoriados para evitar respingo de águas para dentro do prédio.

3) Risco relativo à disponibilidade de energia elétrica

- A disponibilidade de energia é crucial. Uma parada completa no fornecimento pode causar falhas estruturais e períodos prolongados de start-ups.

Prevenção: As linhas de suprimento de energia devem ser dimensionadas pelo dobro do mínimo, pelo menos. Partes sobressalentes dos transformadores mais importantes devem estar disponíveis. Inspeções periódicas devem ser realizadas nos principais equipamentos.

4) Riscos relativos às salas de controle

- Os equipamentos são sensíveis à fumaça, calor e umidade. Falha no sistema de controle pode levar à pausa na produção.

Prevenção: Equipamentos delicados devem ser acomodados em salas separadas. Detectores de fumaça e umidade e extintores de incêndio devem ser instalados.

5) Riscos envolvendo transporte interno

- Devido à grande necessidade de diferentes matérias primas, as plantas siderúrgicas necessitam grande infraestrutura de transporte como esteiras transportadoras, pontes rolantes e carros-trem.

Prevenção: As esteiras devem ser de material não combustível e ter controle de alinhamento próprio. As pontes rolantes e os carros-trem devem ser constantemente

submetidos a inspeções periódicas. Ter materiais sobressalentes pode ser uma vantagem.

6) Riscos relativos a corrosão e trincas

- Apesar dos materiais serem projetados para longa vida útil, corrosão e trincas ocorrem em vários setores de uma indústria siderúrgica e devem ser alvo de atenção.

Prevenção: Monitoramento constante da corrosão e do esforço mecânico dos materiais com ensaios não destrutivos. Manutenção preventiva deve ser altamente aplicada através de diversos sistemas de manutenção que seguem protocolos internacionais bem estabelecidos.

7) Riscos relativos às paredes de refratários

- Dano material e físico consequente de vazamento de material líquido dos reatores

Prevenção: Monitoramento dos parâmetros de operação e inspeções regulares são vitais. Partes sobressalentes devem estar disponíveis.

8) Riscos relativos à catastrofes naturais

- Usinas siderúrgicas estão muitas vezes localizadas à margem de rios e do mar por conta do fornecimento de água de resfriamento e por aspectos logísticos. Portanto existe exposição a alagamento. Apesar de raros no Brasil, terremotos e furações também são válidos de mencionar como risco.

Prevenção: Antes de escolher-se o lugar onde será instalada a usina, esses riscos devem ser tomados em conta na hora do projeto.

9) Riscos específicos da aciaria a oxigênio

(Hofmann, Astrom, Schütz, Van Hecke, & Willberg, Risk exposure and claims experience part 1, 2004) elencam as maiores exposições a risco na Aciaria a oxigênio:

- A presença de aço líquido e a circulação de água refrigerante em alguns componentes do processo como as lanças de oxigênio, uma vez que água em contato com aço quente gera um processo extremamente exotérmico e explosivo. A maior

parte dos acidentes ligado à reação da água com o metal líquido provém da queda de lança no forno, vazamento de água de refrigeração e de água ou gelo presos, escondidos, na sucata.

- A caldeira de saída de gás está exposta a falhas mecânicas que podem gerar trincas e dano mecânico ao equipamento devido ao seu modo de operação cíclico.
- O sistema de limpeza usa grandes filtros em “bag” para separar a poeira. Eles representam risco de incêndio e falha do equipamento.
- A linha de refratários está sujeita ao desgaste. A falta de manutenção pode ocasionar em vazamento do material para fora do forno.
- Pode haver derrame de aço líquido durante a passagem de material de um recipiente a outro e também durante o transporte.
- Incêndios podem ocorrer caso o sistema de distribuição e fornecimento de oxigênio não for corretamente mantido.

Prevenção: Manter as lanças com um sistema de segurança para evitar a queda no banho e manutenção constante das mesmas. Manter um fluxo controlado de água de refrigeração. Manter um procedimento de emergência que pare o vertimento de metal líquido em caso de vazamento de água. Deve haver uma base específica para conter os respingos de metal líquido. A sucata deve ser bem cuidada para que não haja água nem gelo armazenados. O ideal é manter pedaços menores de sucata e deixá-la em local coberto protegido da chuva, neve ou qualquer outra fonte de água.

2.4.2 Maiores acidentes

- 1) Explosão causada pela exaustão de gases do conversor devido à falha na operação de uma válvula no sistema de limpeza
- 2) Devido à falha no refratário de uma lança, o gusa líquido entrou em contato com a água e a explosão causou derrame do gusa e incêndios subsequentes. A sala de controle foi completamente destruída, além de que o metal líquido danificou uma tubulação de gás natural gerando vazamento. A planta foi paralisada por 3 meses.

3) Um sensor de temperatura refrigerado a água cai no conversor e causa a explosão de todo o sistema

4) Faíscas danificaram os filtros da unidade de limpeza (Hofmann, Astrom, Schütz, Van Hecke, & Willberg, Risk exposure and claims experience part 1, 2004)

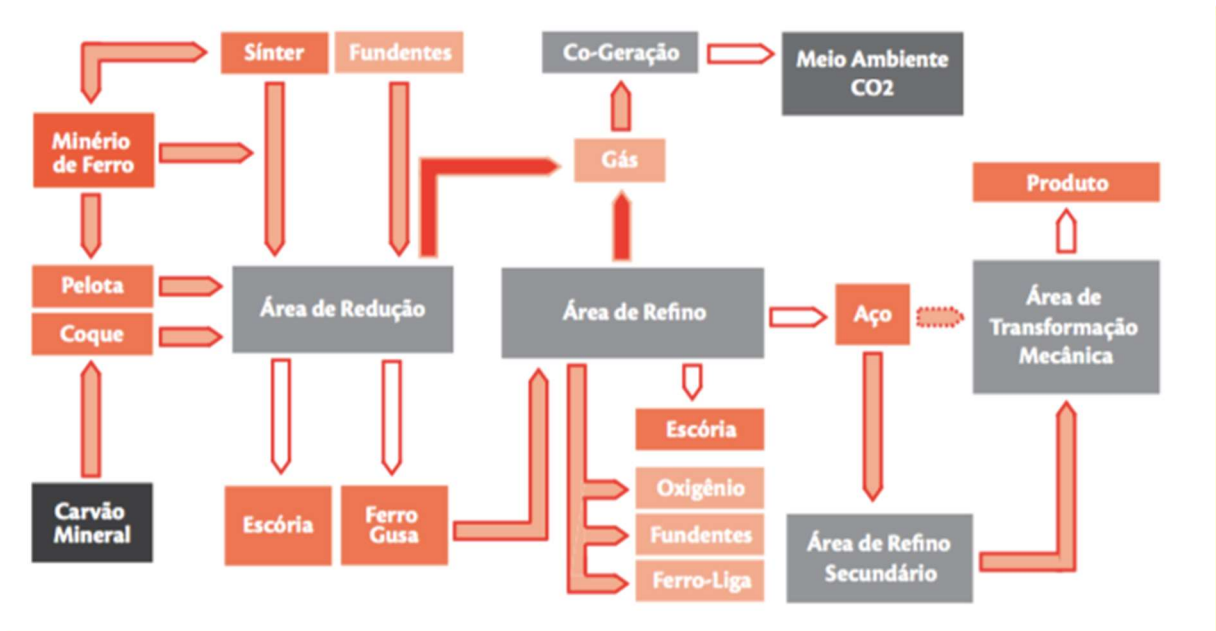
2.5 Siderurgia e a Aciaria LD

Segundo (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) , 2010), a Siderurgia é protagonista em termos do esforço de modernização tecnológica e adoção de melhores práticas de gerenciamento ambiental. O ferro representa 93% da quantidade de metais usado (Babich, Senk, & Gudenau, 2008), sendo a produção de ferro gusa no Alto Forno o principal processo de fabricação de ferro não só porque tem alta taxa de produção mas também pelo grande grau de calor atingido pelo forno. (Biswas, 1981)

Já no refino primário, ou aciaria, a maioria do aço é produzida pela rota Alto forno- BOF, também chamada de usina integrada a LD, que representa mais de 60% da produção de aço. 35% é feita via arco elétrico (Babich, Senk, & Gudenau, 2008)

O (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) , 2010) menciona que nas usinas integradas a coque, as áreas de transformações do minério de ferro e do aço encontram-se presentes em uma única unidade industrial. Seguindo o processo, partindo-se do minério de ferro (ou de seus produtos, sinter e pelota), coque e escorificantes, alcança-se o ferro-gusa, no alto-forno, que, posteriormente, é convertido em aço na aciaria. Após transformação mecânica o aço é comercializado no mercado sob a forma de produtos planos (chapas e bobinas) e longos (vergalhões, barras e perfis). A Figura 2-3 mostra um fluxograma de uma usina integrada.

Figura 2-3 - A USINA INTEGRADA



Fonte: (Mourão, 2007)

2.5.1 História

O BOS(BOF) pode ser chamado de “o filho do Bessemer”, processo criado em 1856 (Stubbs). Nessa época não havia oxigênio disponível comercialmente então esse processo utilizava ar como oxidante. Como o ar possui 80% de nitrogênio, o processo deveria contar com quase sua totalidade de gusa líquido, um processo bastante ineficiente.

Após mais de cem anos, surge a primeira operação com oxigênio puro. Foi em 1958 na Linz and Donawitz na Áustria, utilizando o ferro-gusa local, rico em manganês e pobre em fósforo, um ferro que não servia nem para o processo por ácido nem para sopro de fundo (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2010). Por isso, esse processo foi apelidado de LD, nome ainda predominante na Europa enquanto nos EUA, utiliza-se BOS (Basic Oxygen Steelmaking) ou também BOF (Basic Oxygen Furnace) ou até mesmo BOP (Basic Oxygen Process), porém todos tratam do mesmo processo. (Turkdogan, 2010). Em tempo, (Shepard, 2004) explica que o processo é chamado de ‘básico’ devido a natureza do revestimento refratário e

da escória utilizada para ajudar a refinar a fundição. O termo “básico” se refere ao nível de pH da escória.

Segundo (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) , 2010), o conversor básico a oxigênio (basic oxygen furnace, BOF) é o tipo de aciaria mais utilizada na siderurgia mundial. (Mourão, 2007) mostra que, até 2005, o processo LD foi responsável por 77% da produção de aço no Brasil tendo seu início em território nacional em 1957, através da Cia. Siderúrgica Belgo Mineira.

2.5.2 As Variantes do Processo

(Mourão, 2007) aponta que, comparado com os outros processos, é possível dizer que o processo LD é relativamente novo e muitas variantes foram criadas ao longo do tempo como o LD-AC que injeta cal pulverizada juntamente com o oxigênio, processo que forma escória com melhores condições, o processo AOD (Argon Oxygen Decarburization) que usa uma mistura Argônio-Oxigênio na injeção, o processo OBM (Oxygen Bottom Blowing Max-Hütte) onde o oxigênio é soprado pelo fundo do forno, juntamente com hidrocarboneto gasoso levando à obtenção de aços com elevado grau de limpeza, entre outros.

2.5.3 As Matérias Primas

2.5.3.1 Gusa Líquido

(Stubbles) mostra que o ferro gusa é ferro líquido vindo do alto forno saturado com até 4.3% de carbono e contendo 1% ou menos de silício, Si. É transportado para a aciaria em carros torpedos ou em colheres de fundição apresentando, de acordo com (Mourão, 2007), características físico-químicas adequadas para maior produtividade do processo, como, por exemplo, temperaturas maiores que 1.230 °C e teor de Si entre 0,1% e 0,9%

2.5.3.2 Sucata

Segundo (Mourão, 2007), a sucata de aço constitui a maior parte da carga sólida do conversor LD. Devido ao seu maior teor de ferro em comparação ao gusa,

utilizar esse material é extremamente vantajoso. (Turkdogan, 2010) mostra que a sucata utilizada é proveniente tanto de processos internos da usina quanto comprada de mercados externos à ela.

As dimensões da sucata devem permitir sua fusão completa de maneira que não cause danos ao revestimento do convensor. (Stubbles) aponta que pedaços muito grandes demoram para fundir e seu peso pode danificar o recipiente durante o carregamento. Além disso, os autores salientam que a sucata deve ser o mais limpa possível, livre de óleos e outros componentes que podem causar explosões no processo.

2.5.3.3 Cal

A cal é necessária para escorificar a sílica formada durante a oxidação da carga metálica e também para remover fósforo e enxofre do processo e, em excesso, ajuda a diminuir o ataque do refratário pela sílica, diz (Mourão, 2007).

O autor comenta que a qualidade da cal empregada é determinante na qualidade da operação metalúrgica

2.5.3.4 Fluorita

(Machado, Sobrinho, & Arrivabene, 2003) mostram que a fluorita é, basicamente, constituída por fluoreto de cálcio e utilizada como fundente para acelerar a dissolução de cal e aumentar a fluidez de escórias muito viscosas. Seu consumo varia da ordem de 100kg a 200kg por corrida de 160 toneladas.

2.5.3.5 Minério de Ferro

(Mourão, 2007) mostra que o minério de ferro pode ter duas funções no processo: acelerador da dissolução de cal e/ou agente refrigerante. No entanto, sua utilização deve ser controlada pois o minério aumenta o volume de escória que pode levar a projeções. Não raramente, utiliza-se carepa de laminação no lugar do minério pois é mais barata e não carrega consigo ganga de minério.

2.5.3.6 Outros aditivos

2.5.3.6.1 Ligas

As ligas são adicionadas na panela para diversos fins. Segundo (Stubbles), as ligas mais comuns são ferro-manganês (80%Mn, 6%C), sílica-manganês (66%Mn, 16%Si, 2%C), e ferro-silício (75% Si). Alumínio também pode ser adicionado como formas e/ou injetados. Enxofre, carbono, cálcio, e elementos especiais como boro e titânio são alimentados no forno panela como pós revestidos com um invólucro de aço macio de cerca de ½ polegada de diâmetro.

2.5.3.6.2 Refrigerantes

Calcário, sucata e esponjas de ferro são refrigerantes potenciais que podem ser adicionados a um aquecedor que esteja excessivamente quente. As instalações de economia e manuseio ditam a seleção em cada fábrica, diz (Stubbles).

2.5.3.6.3 Escorificantes

Segundo o autor (Stubbles), escorificantes servem para dois importantes propósitos. Primeiro eles combinam com o SiO₂ que é oxidado da gusa líquido para formar uma escória básica que é fluída nas temperaturas de fabricação do aço. Essa escória absorve e retém o enxofre e o fósforo do gusa líquido.

2.5.3.6.4 Solventes

Solventes são minerais adicionados no início do sopro de oxigênio para controlar o enxofre e o fósforo e para controlar a erosão do revestimento refratário do forno. As variações do processo de entrada tal como o analítico e medição de pesagem e temperatura contribuem para a variação química, térmica e de tempo do processo, segundo mostra (AISE Steel Foundation, 1998)

2.5.3.7 Oxigênio

No processo LD, de acordo com (Mourão, 2007), o oxigênio utilizado é o de pureza maior que 99% pois dessa maneira, evita-se altos teores de nitrogênio no aço.

2.5.4 Os Principais Equipamentos

2.5.4.1 Carcaça do conversor

(Machado, Sobrinho, & Arrivabene, 2003) mostra que o conversor tem a forma de um barril sendo basculado para carga ou vazamento, em torno de um eixo horizontal, acionado por conjuntos de motores e redutores. (Institute for Prospective Technological Studies, 2010) comenta que o conversor é um reator e não um forno, uma vez que não existe fonte de calor. Para a chaparia, é utilizado um aço baixa liga ao cromo-molibdênio. A parte exterior, de acordo com (Shepard, 2004), é construída em aço e o forno é mantido elevado por dois pinhões gigantes responsáveis por girar o forno para vazamento e carregamento.

Logo junto à carcaça metálica, em aço resistente ao envelhecimento, com 35 a 75 mm de espessura, é colocada uma camada de tijolos de magnésia calcinada, como revestimento permanente, seguindo-se uma camada de magnésia apisoada, como separação e uma camada de desgaste, em blocos de dolomita calcinada impregnada com alcatrão.

O fundo é de chapa metálica reforçada, seguindo-se várias fileiras de tijolos de magnésia, até a camada de desgaste, em blocos de magnésia calcinada e impregnada, como detalhado por (Machado, Sobrinho, & Arrivabene, 2003)

2.5.4.2 Lança de oxigênio

A lança consiste de 3 tubos concêntricos, de aço sem costura, terminando num bocal de cobre eletrolítico; no interno, flui o oxigênio; o intermediário é para a alimentação da água de resfriamento e o externo, para o retomo da água aquecida. A ponta da lança contém 3 a 5 dutos em forma de venturi, para obter a velocidade do gás. Um sistema de talha elétrica, comandado da plataforma do conversor, continua (Machado, Sobrinho, & Arrivabene, 2003) , suspende ou abaixa a lança. Um

dispositivo de segurança impede a sua queda, no caso de ruptura do cabo de sustentação; a duração média de uma lança é de algumas centenas de corridas.

Através dessa lança, oxigênio puro (>99 %) de uma instalação de separação de ar é soprado no ferro gusa líquido, diz (Institute for Prospective Technological Studies, 2010)

Colocado na posição vertical, introduz-se a lança de oxigênio até a altura pré-determinada (1,0 a 1,5m distante do banho). A pressão de oxigênio varia de 10,5 a 12,6 atmosferas, de acordo com (Machado, Sobrinho, & Arrivabene, 2003)

De acordo com (AISE Steel Foundation, 1998), variando o tipo e a taxa de fluxo do gás de fundo, ambos durante e depois do sopro de oxigênio, específicas reações metalúrgicas podem ser controladas para se obterem composições e temperaturas de aço desejadas. Atualmente, existem muitos processos de sopro combinados diferentes, que diferem no tipo de gás de fundo utilizado, as taxas de fluxo do gás de fundo que podem ser atingidas, e os equipamentos utilizados para introduzir o gás de fundo no forno. Todos os processos, em algum grau, têm vantagens similares.

2.5.4.3 Refratários

Tipicamente é usado linhas de tijolos de magnésio. Após várias corridas, obviamente, o material é consumido lentamente. A escória do processo não apenas remove as impurezas como também prolonga a vida dos refratários, segundo (Shepard, 2004). Após uma corrida, um processo chamado *slag splashing* (cobertura de escória pode ser realizado visando produzir uma cobertura de escória com composição química adequada, visando a diminuição do desgaste do revestimento refratário. O convertedor é então girado na posição vertical e nitrogênio é lançado na escória para haver mais espirro nas paredes. Esse passo adicional faz com que a linha de refratários ganhe mais longevidade.

A base para a maioria dos tijolos refratários nos fornos de aciaria a oxigênio é MgO que, segundo (Stubbles), pode ser obtida de minérios ou da água do mar. Além da adição de carbono, um dado importante é que quanto menor o teor de Óxido de boro na composição, menor será o nível de impurezas.

2.5.5 A operação

O objetivo geral desse processo, como mostra (AISE Steel Foundation, 1998), é reduzir o carbono a partir de cerca de 4% para menos do que 1% (geralmente menos de 0,1%), para reduzir ou controlar o enxofre e fósforo, e, finalmente, para elevar a temperatura do aço líquido feitas a partir de sucata e ferro-gusa líquido para cerca de 1635 ° C. Uma configuração típica é a de produzir um calor 250 tonelada (tonelada métrica 220) a cada 45 minutos, a gama é de cerca de 30 a 65 minutos. (AISE Steel Foundation, 1998)

(Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) , 2010) diz que as aciarias LD demandam maiores quantidades de ferro-gusa líquido, cuja qualidade, por sua vez, depende da qualidade do minério de ferro empregado. Por exemplo, o minério de ferro de baixo fósforo possibilita a produção de um ferro-gusa de baixo fósforo, o que reduz o custo de produção da aciaria LD que “é feita por bateladas chamadas corridas” (AISE Steel Foundation, 1998).

2.5.5.1 Transporte de Gusa pelo carro torpedo

Após o vazamento do alto-forno, a temperatura do gusa que entra no carro torpedo é de 1480°C a 1510°C pois haverá perda durante o transporte. Esse transporte é realizado pelo carro torpedo a uma velocidade aproximada de 4 a 8 km/h, trazendo ferro gusa para a aciaria na temperatura aproximada de 1400°C.

2.5.5.2 Carregamento de carga sólida

Segundo (Stubbles) uma corrida começa quando o conversor BOF é inclinado cerca de 45 graus em direção ao corredor de carga e a sucata (cerca de 25 a 30% do peso) é despejada a sucata por uma calha ou por um vagão basculador. Segundo apontado por (Mourão, 2007), logo após o carregamento de sucata, o conversor volta à posição vertical e oscila para o assentamento da sucata. Ele comenta que a disposição da sucata na calha é feita de maneira otimizada, com a sucata mais fina nas bordas e a sucata mais pesada no fundo da calha de maneira a proteger o refratário pois a sucata mais fina amortece o impacto da sucata pesada. Então,

novamente é basculado para o carregamento de gusa líquido que fora previamente pesado, medido sua temperatura e retirado amostra para análise

2.5.5.3 Carregamento do gusa líquido

(Machado, Sobrinho, & Arrivabene, 2003) diz que o gusa líquido é vertido diretamente sobre a sucata. Fumos e faíscas de grafite são emitidos pelo bocal do recipiente e coletados pelo sistema de controle de poluição. O carregamento demora alguns minutos. Então o recipiente é girado de volta à posição vertical e os escorificantes de dolomita/cal são lançados sobre a carga. Em seguida, o carregamento é efetuado.

2.5.5.4 Sopro

(Mourão, 2007) mostra que, terminado o carregamento de gusa líquido, o conversor volta novamente à posição vertical e a lança de oxigênio é baixada e o sopro iniciado. O processo gera uma chama que inicia as reações de refino. A duração do sopro, que “varia entre 17 a 18 minutos” segundo (Machado, Sobrinho, & Arrivabene, 2003), é controlada com avaliação da temperatura e do teor de carbono pelo operador do processo.

Em paralelo, são adicionados cal e fundentes enquanto a lança se movimenta verticalmente de acordo com o padrão de sopragem previamente estabelecido para a corrida enquanto posteriores adições de minério de ferro podem ser necessárias para controlar a temperatura final do processo.

Durante o sopro, a escória, reação de gases e aço (como minúsculas gotículas) fazem uma emulsão espumosa. A grande área de superfície das gotículas de aço, em contato com a escória, em altas temperaturas e agitação vigorosa, permitem reações rápidas e rápida transferência de massa de elementos das fases de metal e gás para a fase de escória. Quando o sopro termina, a escória flutua no topo do banho de aço (AISE Steel Foundation, 1998).

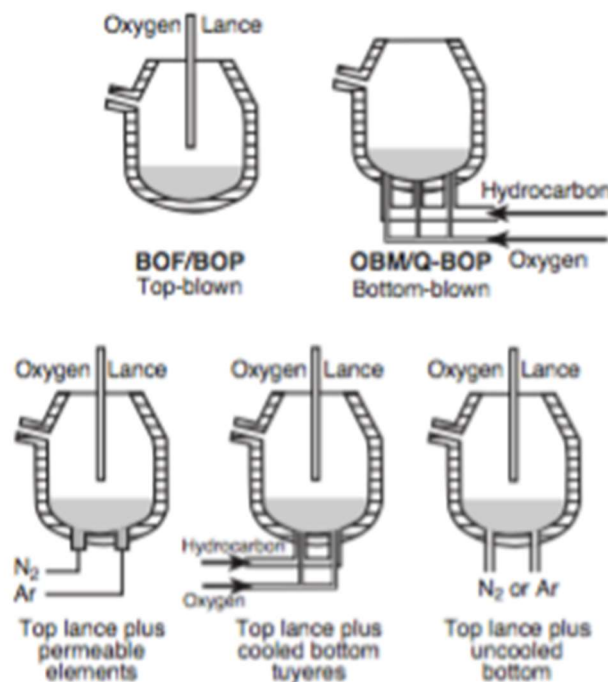
O mesmo autor mostra que há basicamente três variações de introdução de gás oxigênio no banho líquido, mostradas esquematicamente na

Figura 4. A configuração mais comum é o conversor sopro por cima (BOF), onde todo o oxigênio é introduzido via lanceta resfriada pela água. No sopro superior, a agitação criada por estes jatos supersônicos focalizados faz com que a emulsão de escória necessária se forme e mantém fluxos de banho vigorosos para sustentar as reações rápidas. A lanceta é suspensa acima do forno e abaixada. O Oxigênio é acionado conforme a lanceta se move em direção ao forno. Os fluxos de formação de escória são adicionados por cima do forno através de uma calha exaustor.

Nos conversores de fundo (OBM ou Q-BOP), o oxigênio é introduzido através de várias ventaneiras instaladas no fundo do recipiente Fig. 9.2. Cada tuyere consiste em dois tubos concêntricos com o oxigênio passando através do tubo central e um hidrocarboneto refrigerante passando através do anel entre os tubos. O refrigerante é geralmente o metano (gás natural) ou propano. O refrigerante se decompõe quimicamente quando introduzido em altas temperaturas e absorve calor na vizinhança, portanto protege o tuyere de superaquecimento. No sopro de fundo, todo o oxigênio é introduzido através do fundo, e passa através do banho e da escória, criando assim uma agitação vigorosa formando então uma emulsão de escória. Escorificantes em pó são introduzidos no banho através de tuyeres localizadas no fundo do forno.

O rendimento em aço produzido, em relação aos materiais carregados, é da ordem de 90%. O consumo de oxigênio a 99,5% de pureza é, aproximadamente, de 57 Nm³ por tonelada de aço, segundo (Machado, Sobrinho, & Arrivabene, 2003).

Figura 4 – Métodos de introduzir oxigênio e outros gases no conversor



Fonte: (AISE Steel Foundation, 1998)

2.5.5.5 Medição de temperatura e retirada de amostras

Durante todo o processo, o progresso é medido pegando amostras do metal fundido, diz (Shepard, 2004). Em plantas modernas, a amostragem é realizada sem interromper o sopro de oxigênio usando uma sub-lança. O mesmo resultado é obtido padronizando os procedimentos do processo e/ou utilizando modelagem dinâmica e monitoramento adequados. Essas práticas sustentam a qualidade, a produtividade e reduzem as emissões de gases durante o antigo conversor de inclinação. Quando a qualidade do aço atende a demanda, o sopro de oxigênio é interrompido o aço bruto é drenado do conversor.

2.5.5.6 Vazamento do aço

Uma vez que o líquido está pronto, o recipiente é inclinado para a área de vazamento, e o aço emerge do buraco da torneira na seção “cone” superior do recipiente. O furo de corrida é geralmente plugado com materiais que impedem que a escória entre na colher de fundição conforme o recipiente vira para baixo. Para

minimizar a quantidade de escória carregada para a panela, há vários sistemas que inibem isso pois caso ocorra, há reversão no teor de fósforo, há prejuízo na dessulfuração gerando um aço contaminado, de acordo com (Mourão, 2007).

Tanto as altas temperaturas do ferro gusa líquido quanto a intensa agitação fornecida quando o jato de oxigênio é introduzido, contribuem para a alta oxidação destes elementos e grande liberação de energia. De acordo com (AISE Steel Foundation, 1998), Silício, manganês, ferro e fósforo formam óxidos que em combinação com os escorificantes, criam uma escória líquida.

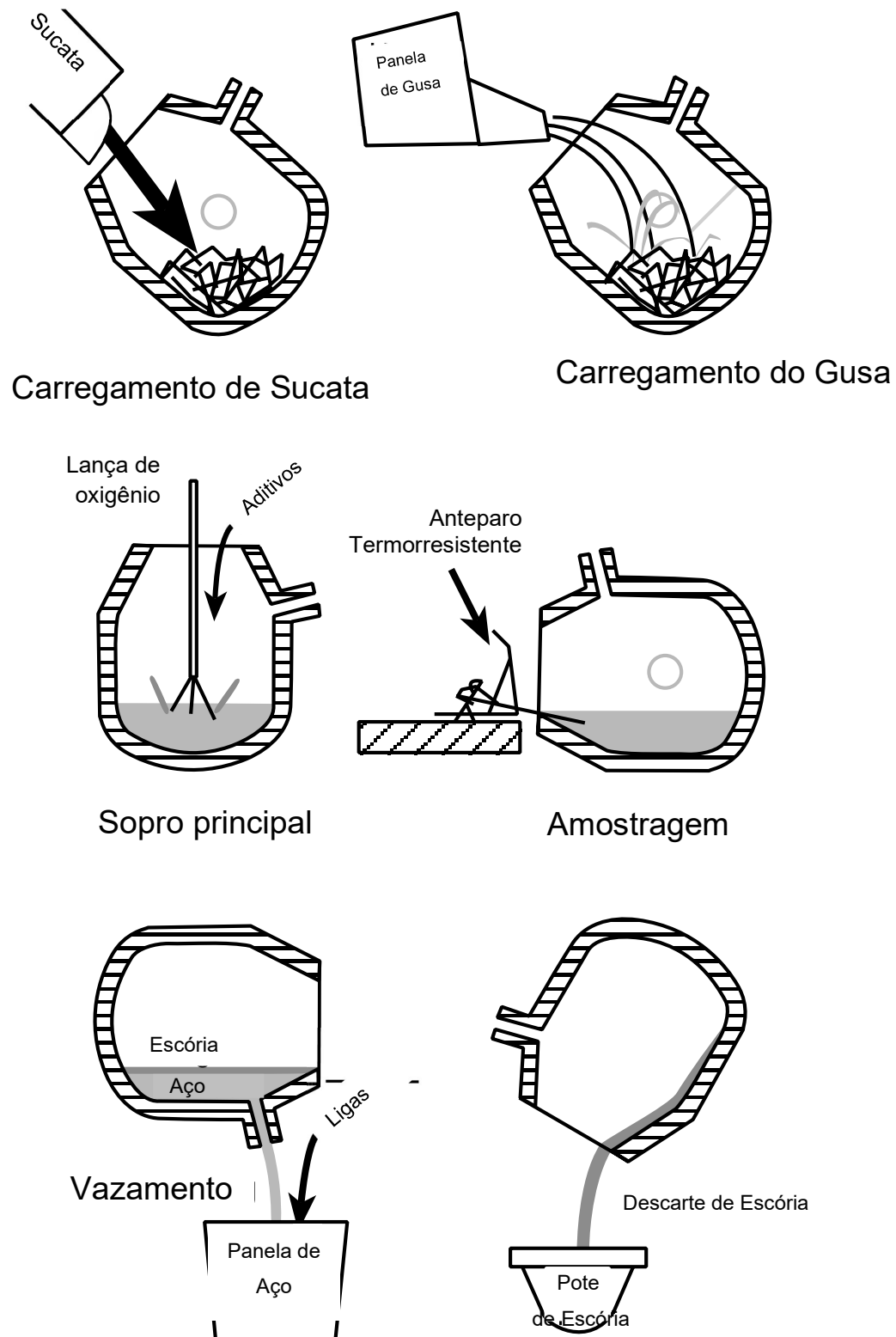
Outras adições de liga podem ocorrer no jato, durante o vazamento da escória (Machado, Sobrinho, & Arrivabene, 2003).

2.5.5.7 Vazamento de escória

(Mourão, 2007) comenta que, após o vazamento de aço, a escória é vazada no pote de escória pela boca do conversor, voltando à posição inicial dando fim à corrida e início da próxima ou, eventualmente, manutenção nos refratários para que o conversor esteja pronto para a próxima corrida.

De acordo com (Stubbles), em alguns processos, há sopro de nitrogênio na escória, um processo conhecido como *slag splashing*. Após isso, há a manutenção do forno vazio, eventualmente com manutenção também nos refratários para que, após seu fim, o forno esteja pronto para a próxima corrida diz.

Figura 5 - Esquema da operação de um conversor LD



Fonte: (AISE Steel Foundation, 1998)

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 O processo de aciaria LD

O estudo foi realizado, de maneira descritiva, utilizando o método FMEA focado no processo de obtenção de aço pelo processo LD, ou seja, desde a chegada do carro torpedo até o vazamento de aço para o forno panela, passando-se pelas principais etapas:

- 1) Transporte de metal líquido – Chegada do carro torpedo à pesagem
- 2) Dessulfuração
- 3) Transferência do gusa do carro torpedo para a panela de gusa
- 4) Retirada de amostra para o laboratório
- 5) Transferência da panela de gusa para a Aciaria
- 6) Escumação e remoção de escória
- 7) Transferência da panela até o forno LD
- 8) Carregamento do forno LD com sucata
- 9) Vazamento do gusa tratado no forno LD
- 10) Carregamento de escorificantes e Sopro de Oxigênio
- 11) Vazamento do Aço para o forno panela e panela de escória

3.2 FMEA

Seguindo as etapas propostas no capítulo 3.1, foram identificados os principais elementos de cada etapa e respectivos modos de falha, efeitos no sistema, causas e controle.

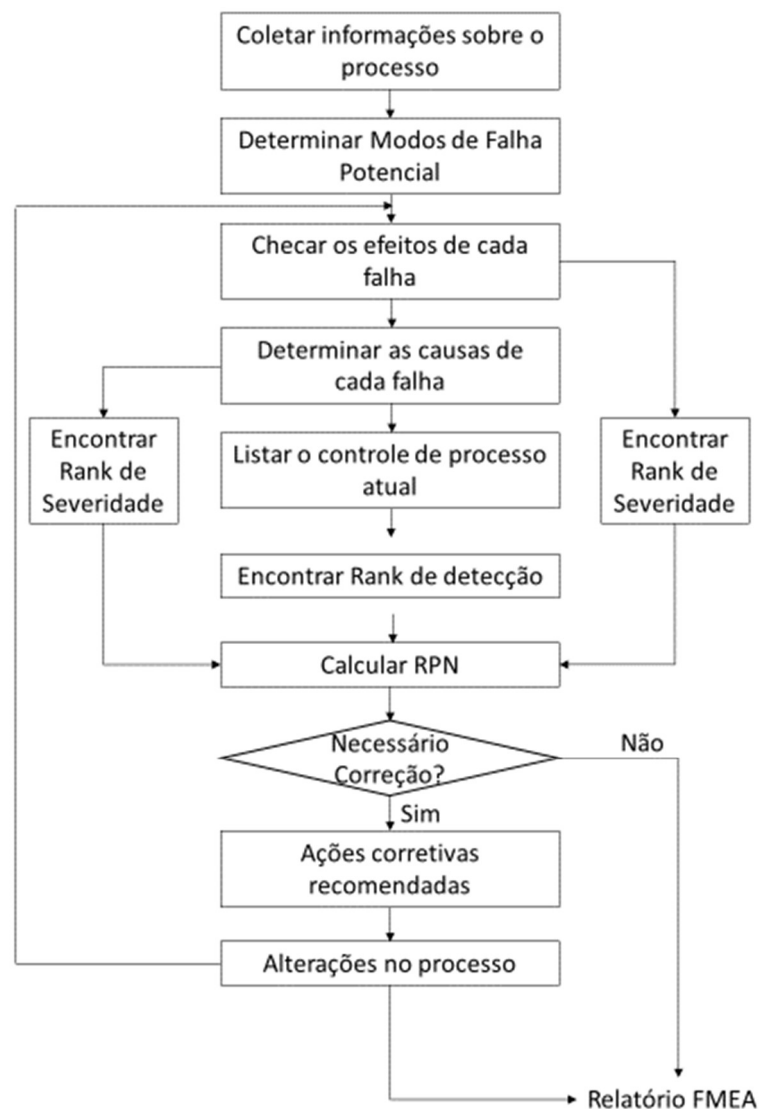
Posteriormente, para cada modo de falha, são definidos os respectivos valores para Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) e, finalmente, o valor RPN.

Obviamente, pelas características intrínsecas ao método, os valores encontrados nesse estudo podem diferir de outras análises similares, acadêmicas ou da própria indústria. Portanto, o objetivo, aqui, é ilustrar o método tomando em conta a literatura consultada e reuniões com o orientador desse trabalho, profissional com vasta experiência em aciaria LD.

3.2.1 O Processo

O método utilizado nesse estudo será tal qual é mostrado na Figura 6. Para cada processo listado no item 3.1 até o passo CALCULAR RPN. As ações corretivas e alterações no processo fazem parte de um estudo mais avançado que não serão discutidos nesse trabalho.

Figura 6 - Estrutura do Processo FMEA



Fonte: Adaptado de (Teng & Ho, 1995)

Para guiar esse estudo, tomou-se em consideração as tabelas de severidade, detecção e ocorrência de (Ebrahemzadih, Halvani, Shahmoradi, & Giahi, 2014) conforme tabelas abaixo:

Índice	Efeito para a manufatura
1	Nenhum efeito ou pequenos inconvenientes para o operador.
2	Sistema operando com interferência mínima
3	Sistema operando com alguma diminuição do desempenho
4	Diminuição do desempenho
5	Sistema inoperante sem dano
6	Sistema inoperante com dano pequeno
7	Sistema inoperante com dano material
8	Falha destrutiva sem segurança
9	Extrema severidade com aviso
10	Extrema severidade sem aviso

Tabela 2 - Tabela de severidade

Fonte: (Suresh, Sathyanathan, Visagavel, & Rajesh Kumar, 2014)

Índice	Probabilidade	Probabilidade de falha
1	Remota: a falha é improvável de ocorrer	Falhas eliminadas através de controles preventivos
2	Baixa: poucas falhas	1 em 1.000.000
3		1 em 100.000
4		1 em 10.000
5	Moderada: falhas ocasionais	1 em 2.000
6		1 em 500
7		1 em 100
8	Alta: muitas falhas	1 em 50
9		1 em 20
10		1 em 10
	Muito alta: a falha é quase inevitável	

Tabela 3 - Tabela de ocorrência

Fonte: (Saxer, 2015)

Índice	Critério
1	O controle irá detectar
2	É quase certeza que o controle irá detectar
3	O controle tem alta probabilidade de detectar
4	O controle tem probabilidade moderada alta de detectar
5	O controle tem probabilidade moderada de detectar
6	O controle tem probabilidade baixa de detectar
7	O controle tem probabilidade muito baixa de detectar
8	O controle tem uma chance remota de detecção
9	O controle provavelmente não irá detectar
10	Absoluta certeza de não detecção

Tabela 4 - Tabela de detecção

Fonte: (Saxer, 2015)

3.2.2 Planilha

Todos os autores consultados exemplificam planilhas FMEA com diferentes graus de complexidade, e, abaixo, a que esse trabalho usará. Ela ilustra os principais campos a serem abordados durante a análise, conforme figura abaixo:

Figura 7 - Tabela FMEA

Processo	Modo de Falha	Efeito	Causa	Controle	S	O	D	RPN

Fonte: o autor

3.2.3 Riscos Avaliados

Os riscos avaliados para cada processo, foram, de maneira geral, centrados em danos físicos à pessoa e danos materiais considerando as principais exposições, mostradas no item 2.4.1.

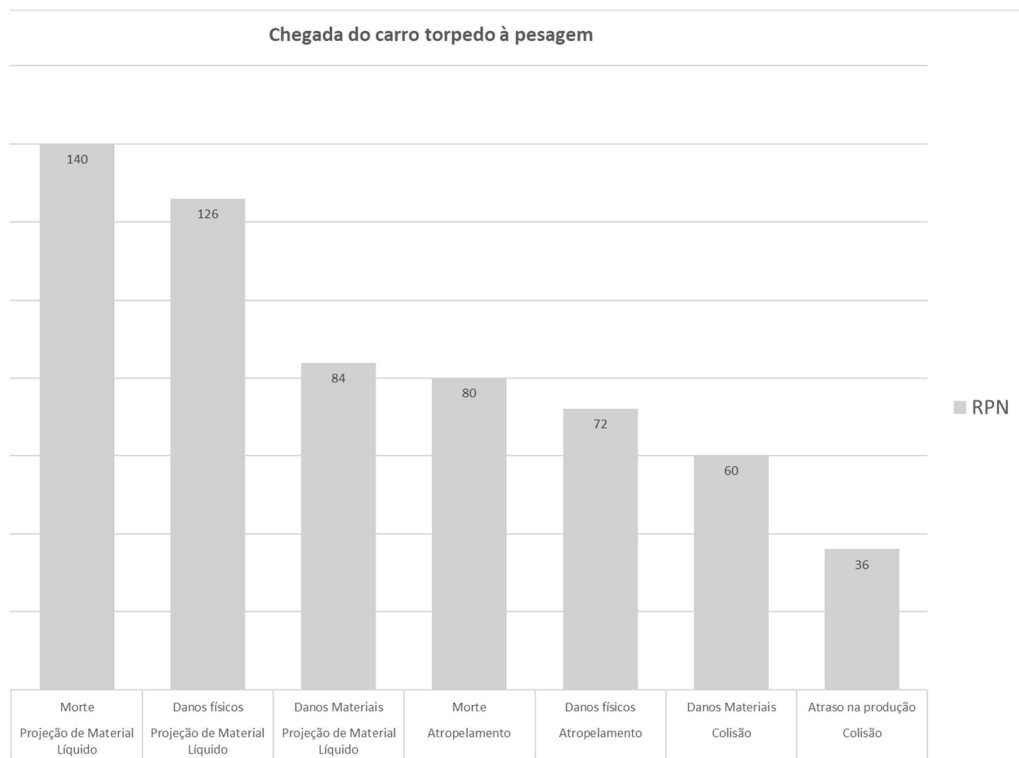
3.2.4 Priorização

Ao final de toda análise, seguindo a linha de raciocínio proposta, cada processo foi classificado tomando em conta os respectivos valores de RPN. Dessa forma, os riscos foram elencados do maior para o menor, detalhando-se os 10 primeiros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

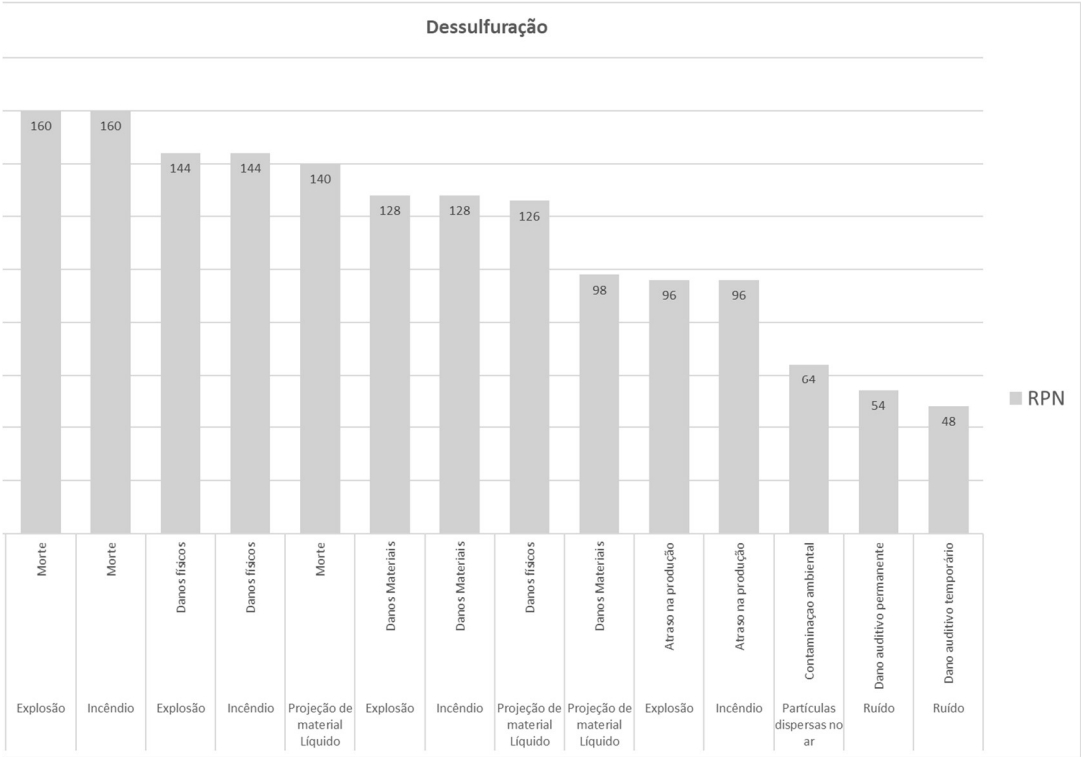
Após a aplicação do método FMEA para encontrar as falhas potenciais em cada processo nomeado no item 3.1, obteve-se os resultados expostos no ANEXO 1 e gráficos das figuras 8 a 19 extraídos a partir deles, conforme segue.

Figura 8 - Valores de RPN para modos de falha na chegada do carro torpedo à pesagem



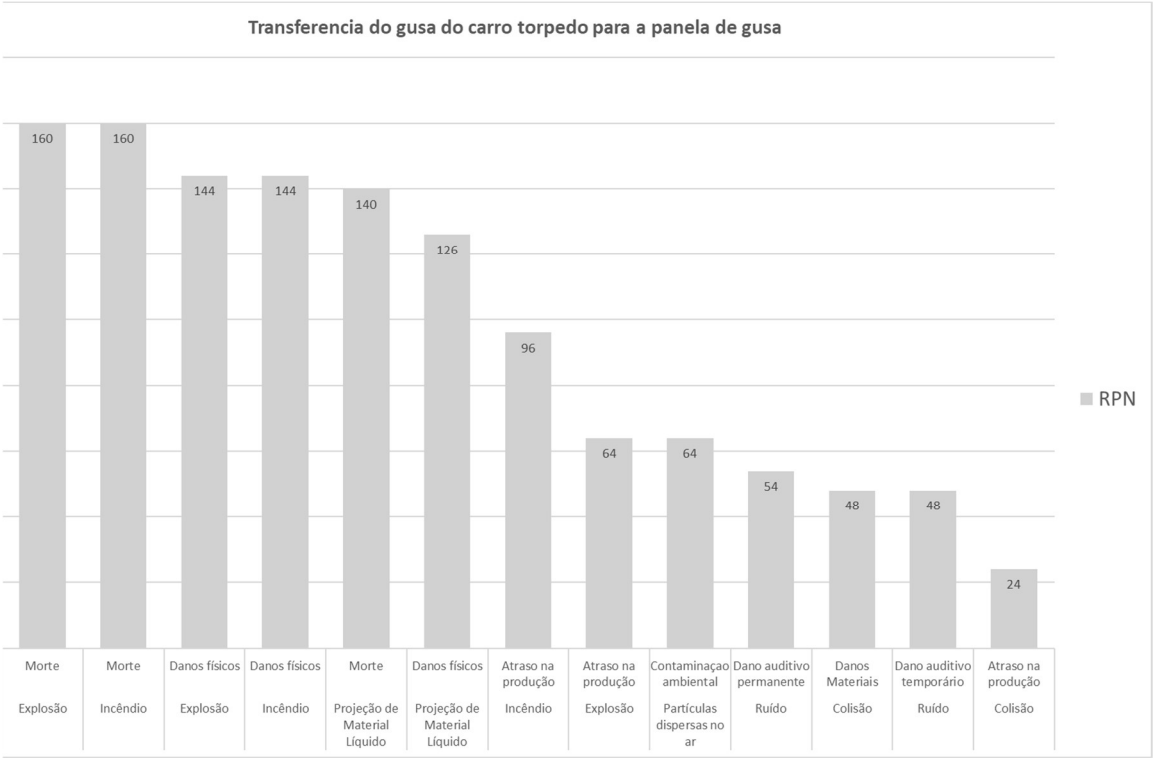
Fonte: o autor

Figura 9 - Valores de RPN para modos de falha na Dessulfuração



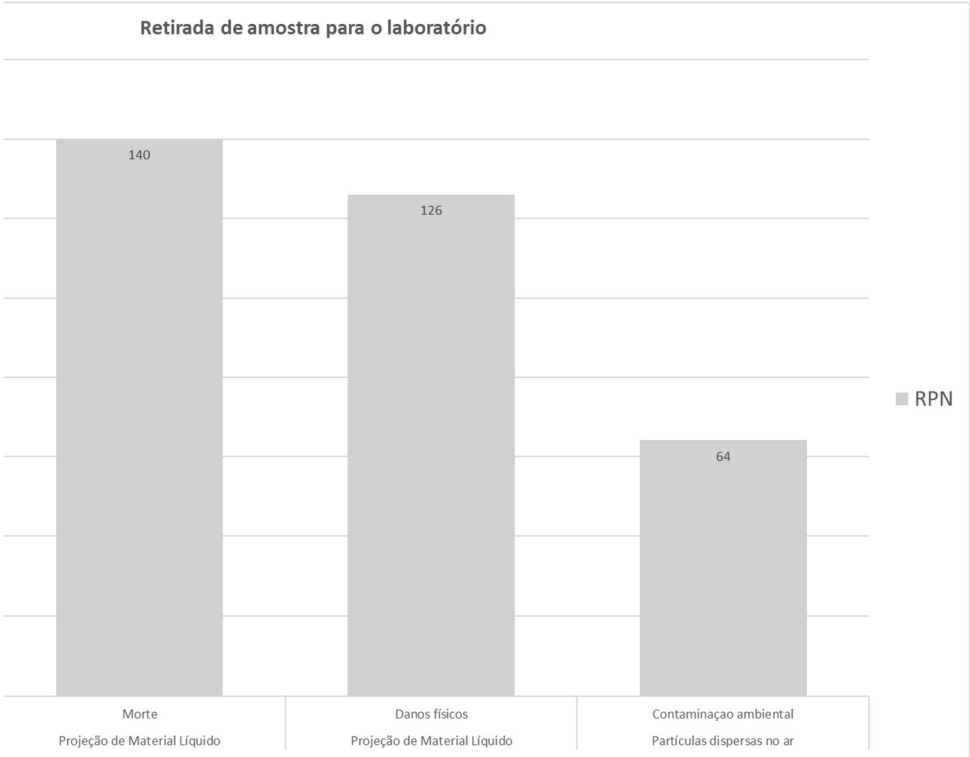
Fonte: o autor

Figura 10 - Valores de RPN para modos de falha na Transnsferência do gusa do carro torpedo para a
painela de gusa



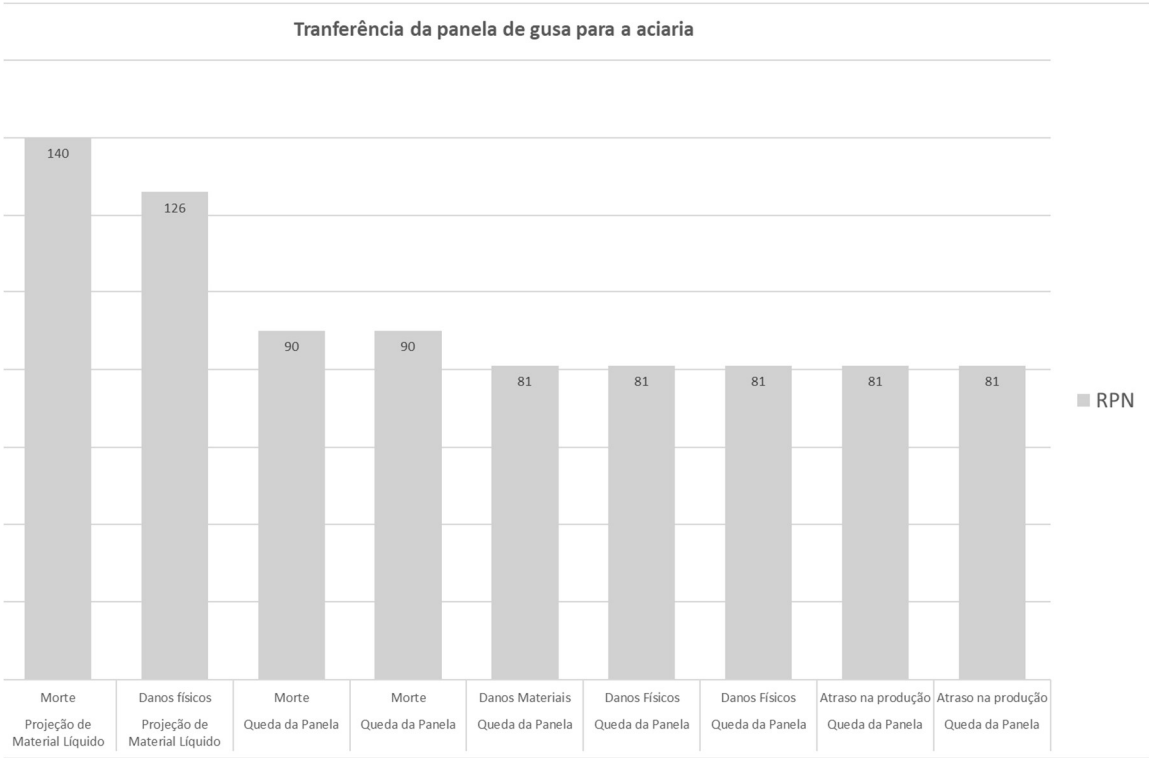
Fonte: o autor

Figura 11 - Valores de RPN para modos de falha na Retirada de amostra do laboratório



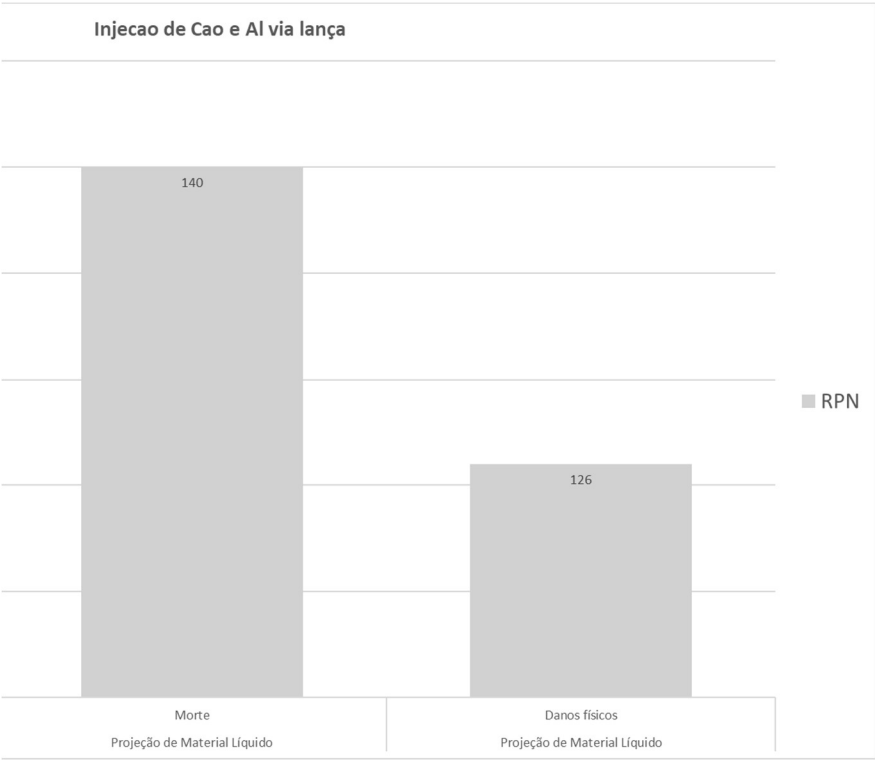
Fonte: o autor

Figura 12 - Valores de RPN para modos de falha na Transferência da panela de gusa para a aciaria



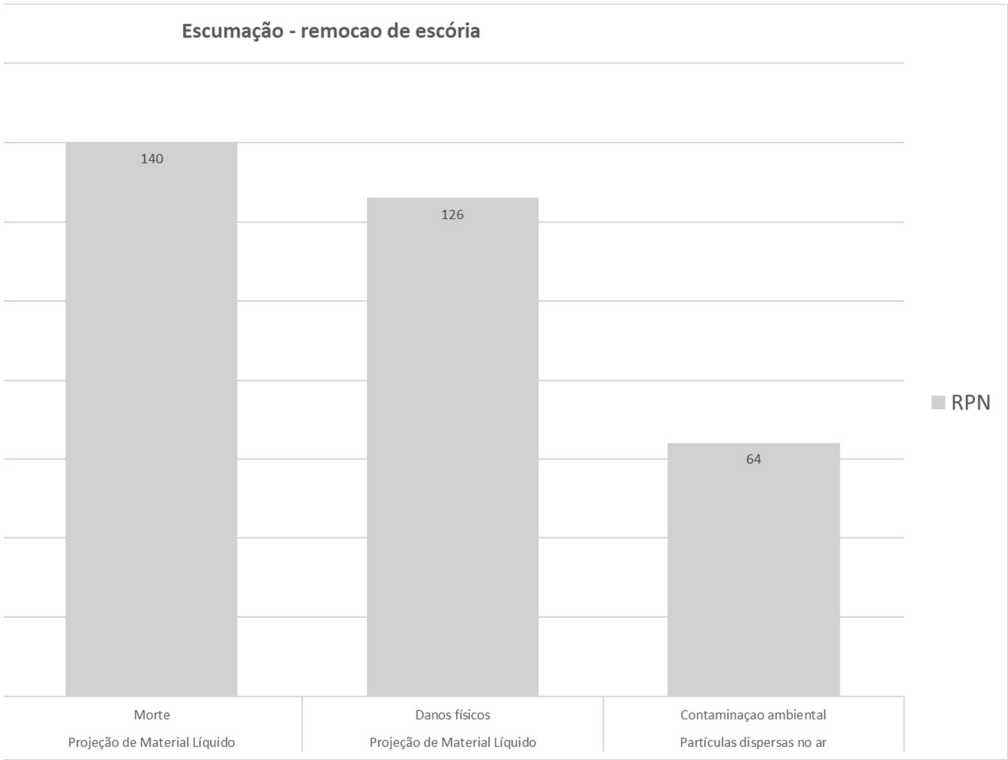
Fonte: o autor

Figura 13 - Valores de RPN para modos de falha na Injeção de CaO e Al via lança



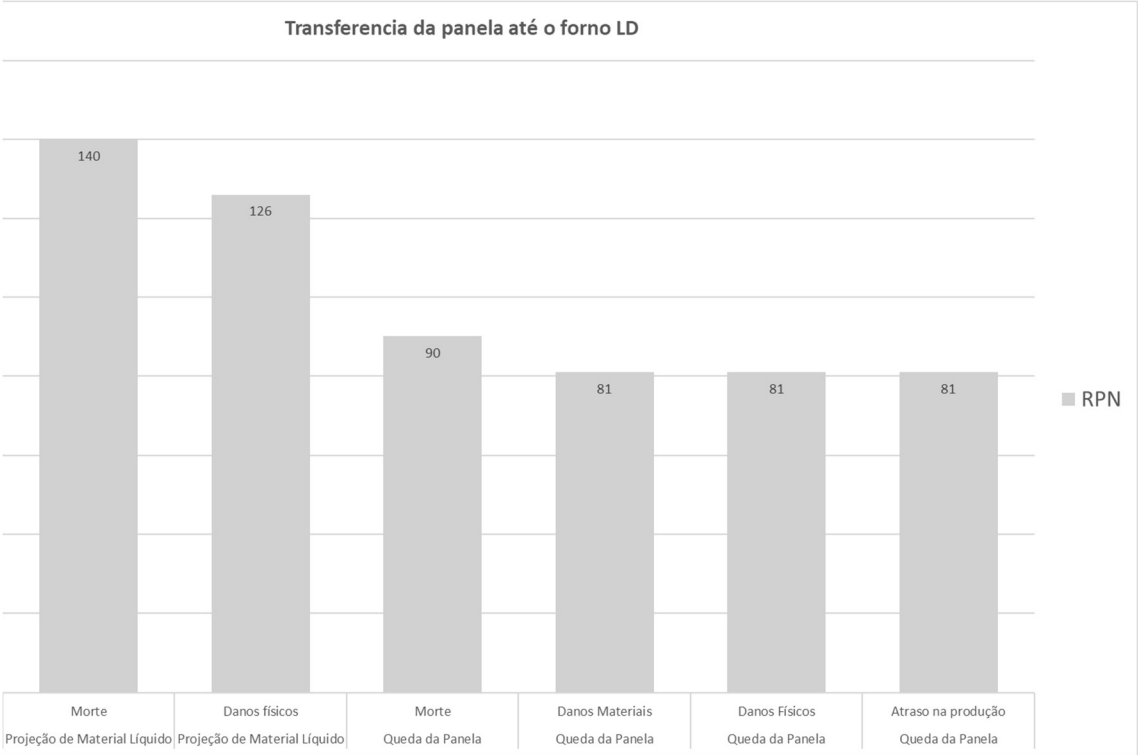
Fonte: o autor

Figura 14 - Valores de RPN para modos de falha na Escumação



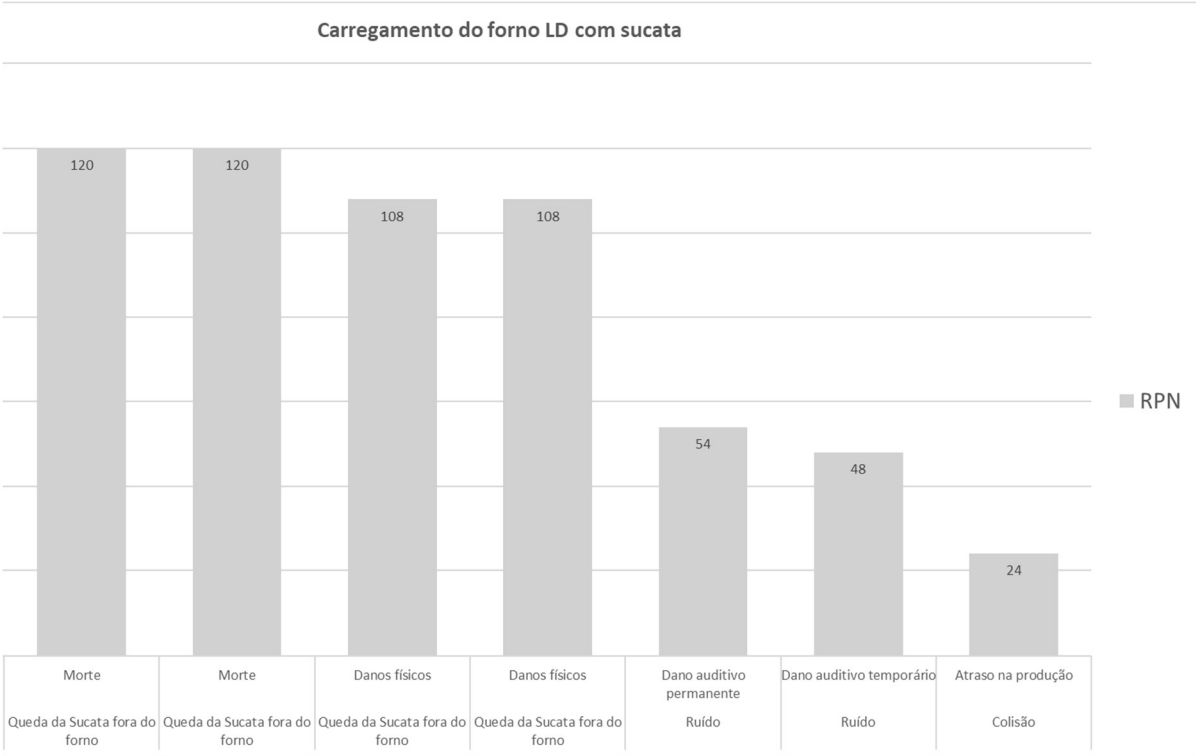
Fonte: o autor

Figura 15 - Valores de RPN para modos de falha na transferência da panela até o forno LD



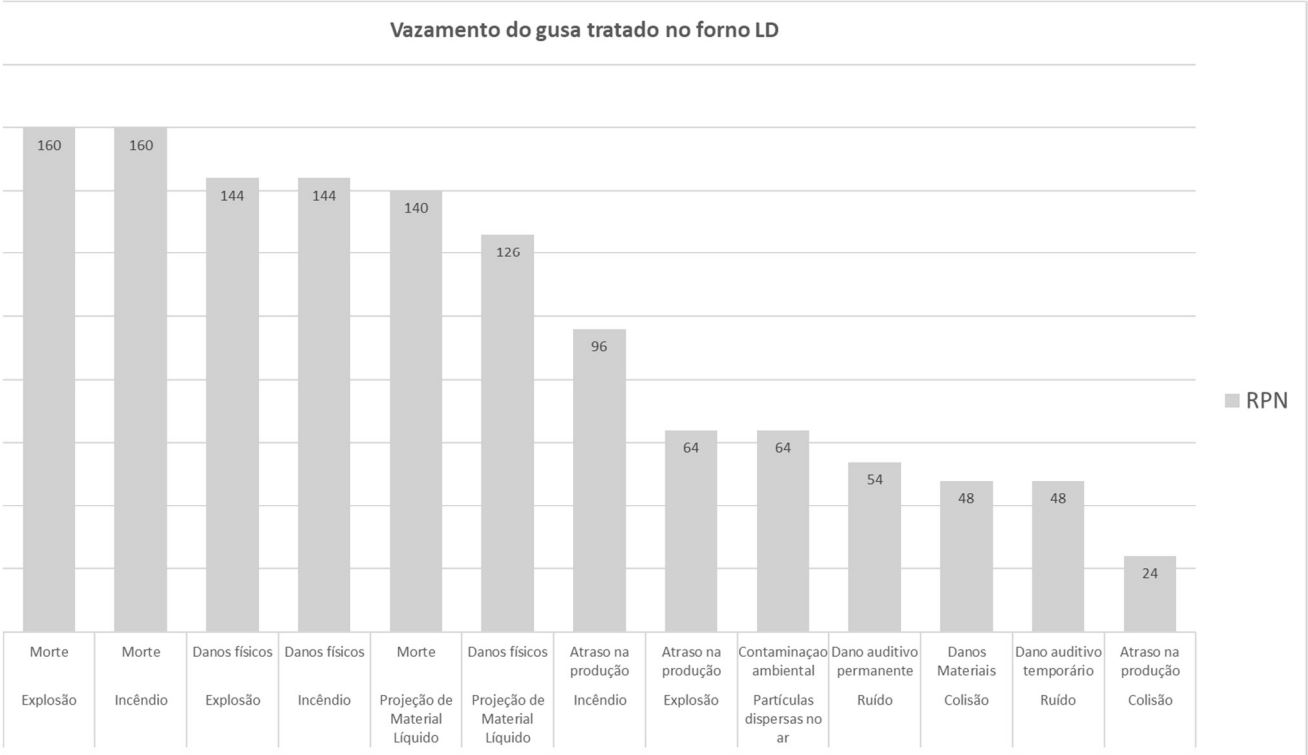
Fonte: o autor

Figura 16 - Valores de RPN para modos de falha no carregamento do conversor LD com sucata



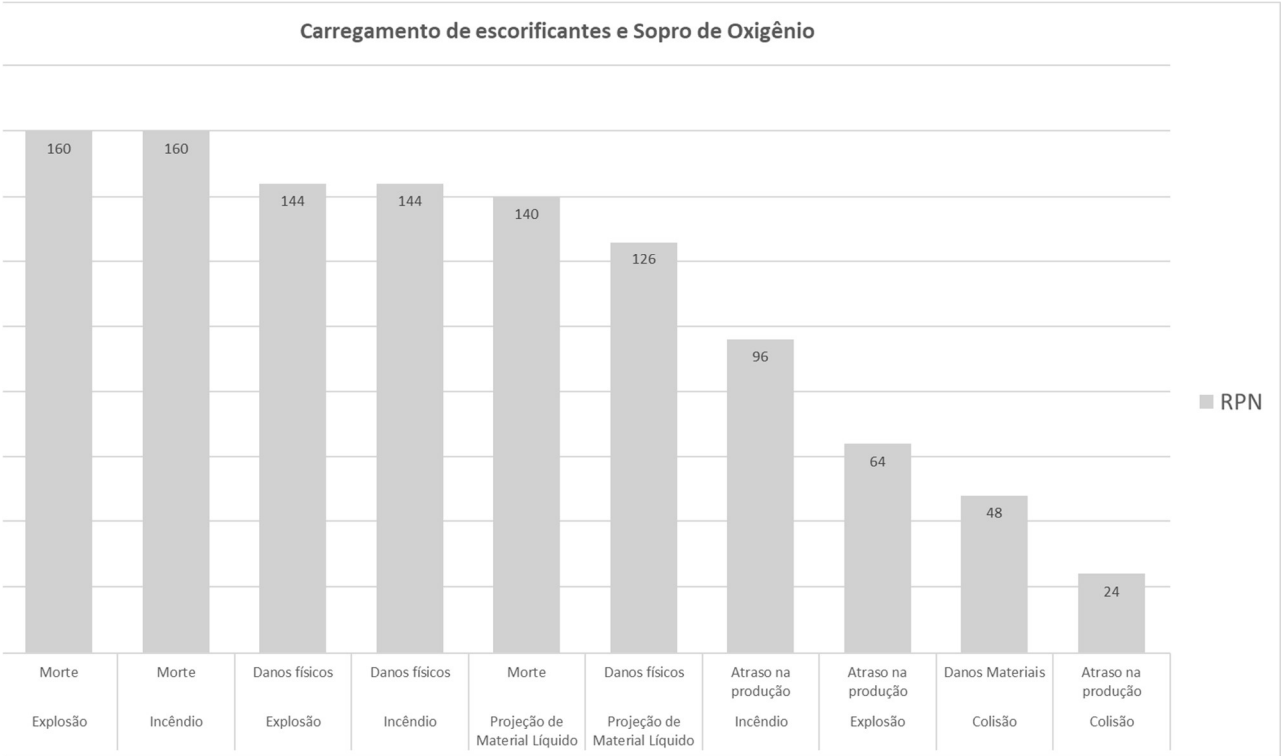
Fonte: o autor

Figura 17 - Valores de RPN para modos de falha no vazamento de gusa tratado no forno LD



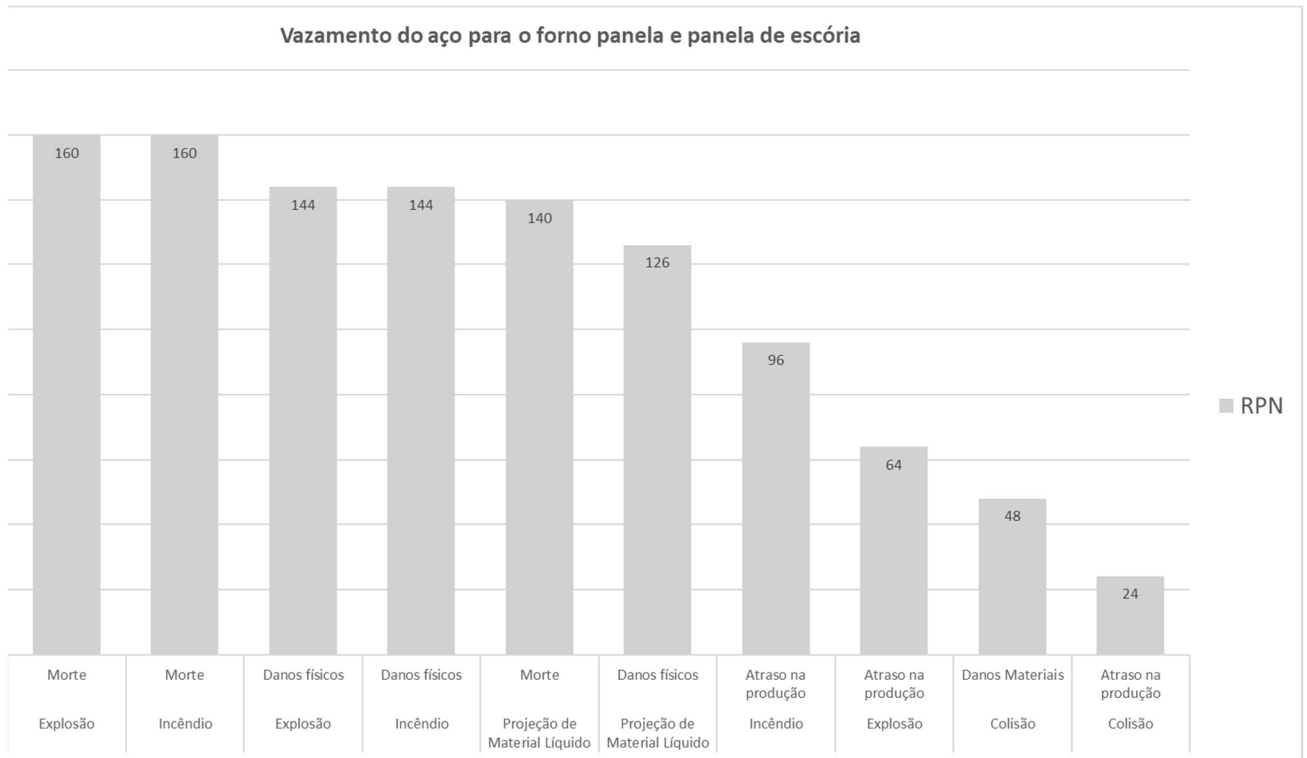
Fonte: o autor

Figura 18 - Valores de RPN para modos de falha no carregamento de escorificantes e sopro de O₂



Fonte: o autor

Figura 19 - Valores de RPN para modos de falha no vazamento do aço para o forno panela e panela de escória



Fonte: o autor

Somadas todas as exposições, se pôde elencar os 10 maiores riscos, de acordo com a metodologia, como mostra a Tabela 5, abaixo. Os resultados mostram os maiores riscos como aqueles relacionados a morte e danos físicos (à pessoa) provocados por incêndio, explosão ou projeção de material líquido para fora do ambiente de contenção desse líquido.

Esse resultado era bastante esperado tomando-se em conta a literatura que aponta os maiores acidentes ligados a explosões devido ao contato da água com o metal quente, uma reação extremamente exotérmica.

Apesar de a literatura não mencionar, esse trabalho encontrou como elevado o risco de queda de sucata para fora do conversor durante o carregamento. É um evento que é rotineiro e uma má operação do processo ou erros na manutenção dos equipamentos podem levar desde o atraso na produção até a morte de funcionário.

Posição	RPN	Modo	Efeito	Causa	Controle
1	160	Explosão	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI
2	160	Incêndio	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI
3	144	Explosão	Danos Físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI
4	144	Incêndio	Danos Físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI
5	140	Projeção de Material Líquido	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI
6	128	Explosão	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas
7	126	Projeção de Material Líquido	Danos físicos	Não seguir Normas	Treinamento / Uso de EPI
8	120	Queda de sucata do forno	Morte	Falha mecânica	Manutenção Adequada
9	108	Queda de sucata	Dano Material	Falha mecânica	Manutenção Adequada
10	96	Incêndio	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas

Tabela 5 - Ranking de maiores riscos

Fonte: o autor

A maioria dos eventos tem como causa o não seguimento de normas de operação e falhas de equipamentos, o que mostra que as principais formas de prevenção ou mitigação do risco, nesse caso, são o treinamento constante de funcionários para seguirem as normas de operação, uso de EPI adequado para cada tipo de processo e manutenção preventiva nos equipamentos para evitar as falhas mecânicas durante a execução do processo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio desse trabalho, foram avaliados os principais riscos durante o processo de produção de aço via LD e também como elaborar e preencher um formulário FMEA, elencando os principais processos, seus modos de falha, graus de severidade, ocorrência e detecção, respectivos RPNs

Diante disso, teve-se como objetivo geral, classificar os processos de acordo com seu valor RPN identificando quais apresentam maior risco à fabricação de aço pelo método LD. O trabalho teve como objetivo apresentar a elaboração e preenchimento de um formulário FMEA mostrando como mitigar os principais modos de falha do processo, apresentando ações corretivas e preventivas, trazendo mais produtividade e redução de custos à empresa e satisfação do cliente final.

Considerando os resultados apresentados, pode-se identificar que o objetivo geral foi atendido pois, efetivamente, o trabalho conseguiu identificar os maiores riscos da aciaria LD e eles, não surpreendentemente, concordam com o histórico de acidentes dessa indústria.

A literatura mostrou acidentes como incêndios e explosões como os maiores riscos desse processo e assim o fez esse trabalho. A maior causa desses eventos é a indesejada presença de água em contato com o metal líquido que gera reações extremamente exotérmicas no processo, sendo necessários treinamento dos funcionários e manutenção preventiva adequada nos equipamentos.

Esse trabalho quis mostrar a importância de realizar uma adequada análise de riscos em um processo robusto como a fabricação de aço. Haverá quem discorde, de alguma maneira, dos números aqui expostos, mas a intenção do trabalho não foi definir números finais para este caso uma vez que o próprio método de análise está longe de ser exato, ele prevê a discussão dos seus inúmeros elementos e é, na indústria, realizado por um time de profissionais multidisciplinar que, por meio de reuniões, tentam elencar os riscos, mitigações e particularidades de cada modo de falha.

Como sugestão para trabalhos futuros, poderão ser realizadas análises FMEA para outras áreas da siderurgia ou mesmo focar na mitigação ou controle dos riscos aqui expostos por meio da implementação de ações corretivas detalhadas.

6 BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, L. A. (s.d.). Metodologias de Análise de Riscos - APP & HAZOP. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.
- AISE Steel Foundation. (1998). *The Making, Shaping and Treating of Steel* (Vol. 11). Pittsburg, Pennsylvania, EUA.
- Ambekar, S., Edlabadkar, A., & Shrouty, V. (02 de 2013). A Review: Implementation of Failure Mode and Effect Analysis. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*.
- Babich, A., Senk, D., & Gudenau, W. (2008). *Ironmaking*. Aachen: RWTH Aachen Univers.
- Biswas, A. K. (1981). *Principles of Blast Furnace Ironmaking*. Brisbane, Australia: Cootha Publishing House.
- Carlson, C. S. (2014). *Understanding and Applying the Fundamentals of FMEAs*.
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) . (2010). *Siderurgia no Brasil 2010-2025; subsídios para tomada de decisão*. Brasília.
- Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. (2008). *Potential Failure Mode and Effects Analysis*.
- Curtis, P., & Carey, M. (10 de 2012). Risk Assessment in Practice. *Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission* .
- Dalosto, D. N. (2015). *ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA DO FMEA: UMA ABORDAGEM QUANTITATIVA À UMA FERRAMENTA QUALITATIVA*. Itajubá.
- Damodaran, A. (2009). *Gestão Estratégica do Risco*. Porto Alegre: Bookman.
- DET NORSKE VERITAS. (2006). *Técnicas de Identificação de Perigos: HAZOP*.
- Duarte Júnior, N. (Outubro de 2011). A Gestão de Riscos do Ponto de Vista da Complexidade. *Banas Qualidade*.
- Dumbar, M. (Maio de 2014). Hazard Identification and Risk Assessment. *Safety First*.
- Ebrahemzadih, M., Halvani, G., Shahmoradi, B., & Giahi, O. (2014). Assessment and Risk Management of Potential Hazards by Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) Method in Yazd Steel Complex. *Open Journal of Safety Science and Technology*.
- Ericsson, C. A. (1999). Fault tree analysis - A History. *17th International System Safety Conference*. Seattle.

- Fenelon, P., & Hebbbron, B. (s.d.). *Applying HAZOP to Software Engineering Models*.
- Filip, F.-C. (s.d.). Theoretical Research on the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Method and Structure. *Recent Advances in Manufacturing Engineering*.
- Fischhoff, B., & Kadwany, J. (2011). *Risk - A very short introduction*. New York: Oxford University.
- Hofmann, G., Astrom, T., Schütz, D., van Hecke, G., & Willberg, L.-E. (2004). Risk Exposure and claims experience.
- Hofmann, G., Astrom, T., Schütz, D., Van Hecke, G., & Willberg, L.-E. (2004). *Risk exposure and claims experience part 1*. Fonte: Site do IMIA: www.imia.com
- Institute for Prospective Technological Studies. (2010). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)*.
- Jackson, K., Aries, E., Fisher, R., Anderson, D., & Parris, A. (2012). Assessment of Exposure to PCDD/F, PCB, and PAH at a Basic Oxygen Steelmaking (BOS) and an Iron Ore Sintering Plant in the UK. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 56, No. 1, pp. 37–48, 2012.
- Jiun-Horng, T., Kuo-Hsiung, L., Chih-Yu, C., Jian-Yuan, D., Ching-Guan, C., & Hung-Lung, C. (2007). Chemical constituents in particulate emissions from an integrated iron and steel facility. *Journal of Hazardous Material*, pp. 111-119.
- Khan, F. I., & Abbasi, S. (1999). Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. *Journal of Loss Prevention in the process industries*.
- King, R. (1998). *King's Safety in the Process Industries*. Londres.
- Lange, K., Leggett, S., & Baker, B. (2001). *POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA)*. DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation.
- Laurenti, R., Villari, B., & Rozenfeld, H. (2012). Problemas e melhorias do método FME: uma revisão sistemática da literatura. *P&D em Engenharia de Produção*, 10(1), pp. 29-70.
- Machado, M. L., Sobrinho, V. d., & Arrivabene, L. F. (2003). *Siderurgia para nao siderurgistas*. Vitoria, Espirito Santo.
- McDermott, R., Mikulak, R., & Beauregard, M. (2009). *The Basics of FMEA*. Nova Iorque.

- Mourão, M. B. (2007). *Introdução à Siderurgia*. São Paulo.
- Rausand, M. (2011). *Risk Assessment: Theory, Methods and Applications*. Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Rodrigues, M. (s.d.). FMEA –Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos.
- Saxer, P. (2015). *APLICAÇÃO DA FMEA PARA ANÁLISE DE RISCOS NA QUALIDADE DO PROCESSO DE EMBALAGENS EM UMA MULTINACIONAL DE AGROQUÍMICOS*. Lorena.
- Sheng-Hsien, T., & Shin-Yann, H. (1995). *Failure mode and effects analysis An integrated approach for product design and process control*.
- Shepard, R. R. (2004). *Steel's Workhorse: The Basic Oxygen Furnace*.
- Silvianita, M., Faris, K., & John, K. (2011). Critical Review of a Risk Assessment Method and its Applications. *2011 International Conference on Financial Management and Economics*.
- Stamatis, D. (1995). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*.
- Stubbles, J. (s.d.). *The Basic Oxygen Steelmaking (BOS) Process*.
- Suresh, R., Sathyanathan, M., Visagavel, K., & Rajesh Kumar, M. (2014). Risk Assessment for Blast Furnace Using FMEA.
- Teng, S.-H., & Ho, S.-Y. (1995). FMEA An integrated approach for product.
- Toledo, J. C., & Amaral, D. C. (s.d.). *FMEA - Análise do Tipo e Efeito de Falha*.
- Tsarouhas, P. H., & Arampatzaki, D. (s.d.). Application of Failure MOdes and Effects Analysis of a Ceramic Tiles Manufacturing Plant.
- Turkdogan, E. (2010). *Fundamentals of Steelmaking*. Hannover Walk: Maney Publishing.
- Waghmare, S., Raut, D., Mahajan, D., & Bhamare, D. (07 de 2014). Failure Mode Effect Analysis and Total Productive Maintenance: A Review. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*.
- Weibull.com. (28 de 08 de 2015). *Weibull.com*. Fonte: <https://www.weibull.com/basics/fmea.htm>
- Wikipedia. (11 de 11 de 2013). *Risk Assessment*. Fonte: Wikipédia: http://en.wikipedia.org/wiki/Risk_assessment
- Wilberg, L.-E., Aastroem, T., Henry, J.-C., & Schütz, D. (s.d.). *Steel Plants - Loss Prevention Aspects*. 2005.

- Willberg, L.-E., Aastroem, T., Henry, J.-C., & Schütz, D. (2005). *Loss Prevention Aspects*. Fonte: www.imia.com
- Wordsteel Association. (2018). *SAFETY AND HEALTH IN THE STEEL INDUSTRY*.
- Zhang, J. (2011). Risks and Risk Management in Chinese Iron and Steel Enterprises. *Advanced Materials Research*, 201-203, pp. 1061-1065.

ANEXO 1

PROCESSO	FALHA				S	O	D	RPN
	Modo	Efeito	Causa	Controle				
Chegada do carro torpedado à pesagem	Atropelamento	Danos físicos	Falta de atenção/sinalização	Melhora da sinalização / Treinamento	9	2	4	72
	Atropelamento	Morte	Falta de atenção/sinalização	Melhora da sinalização / Treinamento	10	2	4	80
	Projeção de Material Líquido	Danos físicos	Não seguir Normas	Treinamento / Uso de EPI	9	7	2	126
	Projeção de Material Líquido	Morte	Não seguir Normas	Treinamento / Uso de EPI	10	7	2	140
	Projeção de Material Líquido	Danos Materiais	Não seguir Normas	Treinamento	6	7	2	84
	Colisão	Atraso na produção	Não seguir distância segura	Melhora da sinalização / Treinamento	3	4	3	36
	Colisão	Danos Materiais	Não seguir distância segura	Melhora da sinalização / Treinamento	5	4	3	60
Dessulfuração	Projeção de material Líquido	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	7	2	126
	Projeção de material Líquido	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	7	2	140
	Projeção de material Líquido	Danos Materiais	Não seguir Normas	Seguir Normas	7	7	2	98
	Explosão	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	4	4	144
	Explosão	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	4	4	160
	Explosão	Danos Materiais	Não seguir Normas	Seguir Normas	8	4	4	128

	Explosão	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	6	4	4	96
	Incêndio	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	4	4	144
	Incêndio	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	4	4	160
	Incêndio	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	6	4	4	96
	Incêndio	Danos Materiais	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	8	4	4	128
	Ruído	Dano auditivo temporário	Não seguir Normas	Uso de EPI	8	6	1	48
	Ruído	Dano auditivo permanente	Não seguir Normas	Uso de EPI	9	6	1	54
	Partículas dispersas no ar	Contaminação ambiental	Não seguir Normas	Seguir Normas	4	4	4	64
Transferencia do gusa do carro torpedo para a panela de gusa	Projeção de Material Líquido	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	7	2	126
	Projeção de Material Líquido	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	7	2	140
	Colisão	Danos Materiais	Erro de operação	Melhora da sinalização / Treinamento	8	3	2	48
	Colisão	Atraso na produção	erro de operação	Melhora da sinalização / Treinamento	4	3	2	24
	Explosão	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	4	4	4	64
	Explosão	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	4	4	144

	Explosão	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	4	4	160
	Incêndio	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	4	4	144
	Incêndio	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	4	4	160
	Incêndio	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	6	4	4	96
	Ruído	Dano auditivo temporário	Não seguir Normas	Uso de EPI	8	6	1	48
	Ruído	Dano auditivo permanente	Não seguir Normas	Uso de EPI	9	6	1	54
	Partículas dispersas no ar	Contaminação ambiental	Não seguir Normas	Seguir Normas	4	4	4	64
Retirada de amostra para o laboratório	Projeção de Material Líquido	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	7	2	126
	Projeção de Material Líquido	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	7	2	140
	Partículas dispersas no ar	Contaminação ambiental	Não seguir Normas	Seguir Normas	4	4	4	64
Transferência da panela de gusa para a aciaria	Queda da Panela	Danos Materiais	Erro de operação	Seguir Normas	9	3	3	81
	Queda da Panela	Danos Físicos	Falha mecânica	Manutenção Adequada	9	3	3	81
	Queda da Panela	Danos Físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas	9	3	3	81
	Queda da Panela	Morte	Falha mecânica	Manutenção Adequada	10	3	3	90
	Queda da Panela	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas	10	3	3	90
	Queda da Panela	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas	9	3	3	81
	Queda da Panela	Atraso na produção	Falha mecânica	Manutenção Adequada	9	3	3	81

	Projeção de Material Líquido	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	7	2	126
	Projeção de Material Líquido	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	7	2	140
Injecao de Cao e AI via lança	Projeção de Material Líquido	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	7	2	126
	Projeção de Material Líquido	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	7	2	140
Escumacao - remocao de escoria	Projeção de Material Líquido	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	7	2	126
	Projeção de Material Líquido	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	7	2	140
	Partículas dispersas no ar	Contaminação ambiental	Não seguir Normas	Seguir Normas	4	4	4	64
Transferencia da panela até o forno LD	Queda da Panela	Danos Materiais	Erro de operação	Seguir Normas	9	3	3	81
	Queda da Panela	Danos Físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas	9	3	3	81
	Queda da Panela	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas	10	3	3	90
	Queda da Panela	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas	9	3	3	81
	Projeção de Material Líquido	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	7	2	126
	Projeção de Material Líquido	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	7	2	140
Carregamento do forno LD com sucata	Queda da Sucata fora do forno	Danos físicos	Erro de operação	Treinamento / Uso de EPI	9	4	3	108
	Queda da Sucata fora do forno	Morte	Erro de operação	Treinamento / Uso de EPI	10	4	3	120
	Queda da Sucata fora do forno	Danos físicos	Falha mecânica	Manutenção Adequada	9	4	3	108

	Queda da Sucata fora do forno	Morte	falha mecânica	Manutenção Adequada	10	4	3	120
	Colisão	Atraso na produção	Não seguir Normas	Uso de EPI	4	3	2	24
	Ruído	Dano auditivo temporário	Não seguir Normas	Uso de EPI	8	6	1	48
	Ruído	Dano auditivo permanente	Não seguir Normas	Uso de EPI	9	6	1	54
Vazamento do gusa tratado no forno LD	Projeção de Material Líquido	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	7	2	126
	Projeção de Material Líquido	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	7	2	140
	Colisão	Danos Materiais	Erro de operação	Melhora da sinalização / Treinamento	8	3	2	48
	Colisão	Atraso na produção	erro de operação	Melhora da sinalização / Treinamento	4	3	2	24
	Explosão	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	4	4	4	64
	Explosão	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	4	4	144
	Explosão	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	4	4	160
	Incêndio	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	4	4	144
	Incêndio	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	4	4	160
	Incêndio	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	6	4	4	96
	Ruído	Dano auditivo temporário	Não seguir Normas	Uso de EPI	8	6	1	48

	Ruído	Dano auditivo permanente	Não seguir Normas	Uso de EPI	9	6	1	54
	Partículas dispersas no ar	Contaminação ambiental	Não seguir Normas	Seguir Normas	4	4	4	64
Carregamento de escorificantes e Sopro de Oxigenio	Projeção de Material Líquido	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	7	2	126
	Projeção de Material Líquido	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	7	2	140
	Colisão	Danos Materiais	Erro de operação	Melhora da sinalização / Treinamento	8	3	2	48
	Colisão	Atraso na produção	erro de operação	Melhora da sinalização / Treinamento	4	3	2	24
	Explosão	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	4	4	4	64
	Explosão	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	4	4	144
	Explosão	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	4	4	160
	Incêndio	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	4	4	144
	Incêndio	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	4	4	160
	Incêndio	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	6	4	4	96
	Projeção de Material Líquido	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	7	2	126
Vazamento do aço para o forno panela e panela de	Projeção de Material Líquido	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	7	2	140

Colisão	Danos Materiais	Erro de operação	Melhora da sinalização / Treinamento	8	3	2	48
Colisão	Atraso na produção	erro de operação	Melhora da sinalização / Treinamento	4	3	2	24
Explosão	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	4	4	4	64
Explosão	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	4	4	144
Explosão	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	4	4	160
Incêndio	Danos físicos	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	9	4	4	144
Incêndio	Morte	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	10	4	4	160
Incêndio	Atraso na produção	Não seguir Normas	Seguir Normas / Uso de EPI	6	4	4	96