



UFBA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

MESTRADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

CARINE NOGUEIRA SANTINO

METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DAS
PERDAS EM UM PROCESSO DE FUNDIÇÃO,
COM APLICAÇÃO DA ESCALA LIKERT
E DA LÓGICA FUZZY



SALVADOR
2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
ENGENHARIA INDUSTRIAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL (PEI)

CARINE NOGUEIRA SANTINO

**Metodologia para mapeamento das perdas em um
processo de fundição, com aplicação da Escala Likert
e da Lógica *fuzzy***

DISSERTAÇÃO

**Salvador
2018**

CARINE NOGUEIRA SANTINO

**Metodologia para mapeamento das perdas em um
processo de fundição, com aplicação da Escala Likert
e da Lógica *fuzzy***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial (PEI), Escola Politécnica, da Universidade Federal da Bahia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Robson da Silva Magalhães

Coorientador: Prof. Dr. Salvador Ávila Filho
e Prof. Dr. Jorge Laureano Moya Rodríguez

Salvador
2018

Santino, Carine Nogueira

Metodologia para mapeamento das perdas em um processo de fundição, com aplicação da Escala Likert e da Lógica fuzzy. / Carine Nogueira Santino. – Salvador, 2018.

111 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Robson da Silva Magalhães.

Coorientador: Prof. Dr. Salvador Ávila Filho.

Prof. Dr. Jorge Laureano Moya Rodríguez.

Dissertação (Mestrado - Engenharia Industrial) -- Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia, 2018.

1. ferroligas. 2. análise da tarefa. 3. perdas de processo. 4. análise da falha. I. Magalhães, Robson da Silva. II. Filho, Salvador Ávila. III. Rodríguez, Jorge Laureano Moya. IV. Título.

METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DAS PERDAS EM UM PROCESSO DE FUNDIÇÃO, COM APLICAÇÃO DA ESCALA LIKERT E DA LÓGICA FUZZY

CARINE NOGUEIRA SANTINO

Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Prof. Dr. Salvador Ávila Filho 
Doutor em Engenharia Química, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2010

Prof. Dr. Jorge Laureano Moya Rodríguez 
Doutor em Projeto de Máquinas pelo Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, 1994

Prof. Dr. Cristiano Hora de Oliveira Fontes 
Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2001

Prof. Dr. Marcelo Santana Silva 
Doutor em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2015

Salvador, BA - BRASIL
Setembro/2018

Dedico este trabalho à memória de minha avó, Célia Santino, pois mesmo não estando mais presente em vida, sempre esteve presente no meu coração nessa jornada.

Agradecimentos

Meu maior agradecimento e toda minha gratidão ao meu Deus! Obrigada Deus por toda sabedoria, paciência e força que obtive enquanto percorria essa jornada.

Agradeço imensamente a minha família, principalmente aos meus pais, Antonia e João Paulo, meus irmãos, Emili e Jonatas, e meu cunhado, Paulo Ruyther, por sempre me apoiarem e compreenderem a minha ausência em alguns momentos.

Agradeço ao meu companheiro, Vinicius, por todo o amor, dedicação e paciência ao longo dessa árdua jornada. Agradeço também a minha sogra, Jaide, por todo apoio recebido e pelas palavras de incentivo.

Agradeço ao professor Dr. Robson da Silva Magalhães pelas fundamentais explicações, pela paciência e auxílio na pesquisa.

Agradeço ao professor Dr. Salvador Ávila por todo o conhecimento compartilhado durante esses anos, pela orientação e direcionamento da pesquisa e pelo apoio nos momentos de decisões.

Agradeço ao professor Dr. Jorge Laureano Moya por toda orientação e ajuda recebida, e pelas recomendações que foram fundamentais para melhoria e finalização deste trabalho.

Agradeço a empresa parceira pelo desenvolvimento deste trabalho, permitindo as visitas técnicas e administrativas e disponibilizando tempo dos funcionários. Gostaria de agradecer, principalmente, Arthur, que sempre se mostrou solícito e disposto a contribuir para este trabalho, sem medir esforços.

Agradeço aos meus colegas do Grupo de Risco Operacional Dinâmico (GRODyn), pela parceria durante esses anos, pelo conhecimento compartilhado e pelos momentos de descontração, em especial a Euclides e Michel por todos os ensinamentos e contribuições para pesquisa; a Carla, Alana, Ivone e Carol pela amizade sempre presente, com conselhos e providências nas horas difíceis. Agradeço ao meu amigo Tadeu pelas longas conversas de motivação para finalização deste trabalho. Agradeço também aos meus amigos que estão fora da academia, por toda amizade e compreensão da minha ausência.

Agradeço ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Industrial (PEI) pela oportunidade de realizar a pesquisa. Agradeço a FAPESB (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia) pelo auxílio financeiro concedido.

Resumo

As constantes mudanças ocorridas em um processo industrial são consequências das demandas da sociedade. Os surgimentos de novas demandas requisitam esforços para que a indústria se mantenha com competitividade. A redução das falhas e o controle de custos são uns dos requisitos que possibilitam a permanência sustentável da indústria em um mercado. Torna-se então, emergente a necessidade de aprimorar os processos com: redefinição das atividades de baixa eficiência; identificação das falhas na tarefa, e redução das perdas no processo. O presente trabalho foi baseado em um estudo de caso em uma indústria de grande porte do setor metalúrgico brasileiro, com produção de ferroligas. Esta pesquisa apresenta o mapeamento das perdas de um processo de fundição, com a avaliação das variáveis que influem na principal perda (perda crítica). Para alcançar tal objetivo, a metodologia do trabalho foi dividida em cinco etapas: análise do processo geral; coleta de dados; análise do sistema operacional; desenvolvimento do modelo e validação dos resultados. Essa metodologia combina ferramentas da qualidade como o mapeamento e o diagrama de causa e efeito, com ferramentas da estatística e da área computacional como a escala Likert e a lógica *fuzzy*. Por fim, os resultados apresentaram significativa importância, uma vez que, permitiram identificar as variáveis críticas que contribuem para ocorrência da falha na tarefa, e que, conseqüentemente, ocasionam as perdas no processo estudado.

Palavras-chave: ferroligas, análise da tarefa, perdas de processo, análise da falha.

Abstract

The constant changes in an industrial process are consequences of the demands of society. The emergence of new demands require efforts to keep the industry competitive. Reducing failures and controlling costs are one of the requirements that enable the industry to remain sustainable in a market. Thus, is need to improve the processes, redefining low-efficiency activities, identifying task failures, and reducing of process losses. The present work was based on a case study in a large industry of the Brazilian metallurgical sector, with ferroalloy production. This research presents the mapping of the losses of a casting process, with the evaluation of the variables that influence the main loss (critical loss). To achieve this goal, the methodology of the work was divided into five stages: analysis of the general process; data collect; analysis of the operating system; model development and validation of results. This methodology combines quality tools such as mapping and cause and effect diagram with statistical and computational tools such as the Likert scale and fuzzy logic. Finally, the results presented significant importance, since they allowed to identify the critical variables that contribute to the occurrence of the task failure, and that, consequently, cause the losses in the studied process

Keywords: ferroalloy, task analysis, process losses, fault analysis.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Ferroligas	19
Figura 2 – Relevância econômica da indústria de ferroligas e silício metálico por municípios entre 2009-2011.	21
Figura 3 – Fluxograma típico da produção de ferroligas pelo processo carbotérmico.	23
Figura 4 – Forno elétrico de redução.	24
Figura 5 – Disposição dos eletrodos no forno elétrico de redução.	25
Figura 6 – Liga de ferro e a escória.	28
Figura 7 – Projeto de sistema Homem – Máquina	38
Figura 8 – Modelo de Diagrama de Causa e Efeito	44
Figura 9 – Sistema de Inferência Fuzzy	48
Figura 10 – Gráfico da função de pertinência triangular	51
Figura 11 – Metodologia de trabalho na indústria Alfa	57
Figura 12 – Fluxo da área em geral	68
Figura 13 – Fluxo de materias e perdas no processo de fundição	71
Figura 14 – Simulação do balanço de Massa Geral da área operacional	71
Figura 15 – Área de produção geral	73
Figura 16 – Esquema do posto de trabalho	75
Figura 17 – Sequenciamento da Tarefa “Vazamento do forno”	76
Figura 18 – Diagrama de Causa e Efeito	79
Figura 19 – Tela inicial e de configuração básica do <i>Fuzzy Logical Toolbox</i> do MATLAB : Sistema Fuzzy indústria ferroligas	83
Figura 20 – Definição do domínio e escolha das funções de pertinência das variáveis de entrada do sistema fuzzy	84
Figura 21 – Definição do domínio e escolha da função de pertinência da variável de saída do sistema fuzzy	85
Figura 22 – Base de regras	86
Figura 23 – Variáveis de entrada e de saída com seus respectivos valores numéricos de saída	89
Figura 24 – Variáveis de entradas conforme significado do valor de saída resultante do Excel: a) Rotina da tarefa; b) Gestão e tecnologia; c) Desempenho Operacional	90
Figura 25 – Variável de saída conforme significado do valor de saída: Índice de Falha na Tarefa (<i>IFT</i>)	91
Figura 26 – Modelo final de representação do Índice de Falha na Tarefa (<i>IFT</i>)	91
Figura 27 – Questões abordadas na entrevista de conhecimento do processo geral	106
Figura 28 – Questões abordadas na entrevista para o balanço de massa	107

Figura 29 – Questões abordadas na entrevista para conhecimento do posto de trabalho	108
Figura 30 – Modelo do questionário aplicado na metodologia escala likert: Bloco Rotina da Tarefa	109
Figura 31 – Modelo do questionário aplicado na metodologia escala likert: Bloco Gestão e Tecnologia	110
Figura 32 – Modelo do questionário aplicado na metodologia escala likert: Bloco Desempenho Operacional	111
Figura 33 – Resultados do questionário- metodologia escala likert	111

Lista de quadros

Quadro 1 – Modelo de Mapeamento de Perdas	59
Quadro 2 – Pontuação para a escala de Mensuração do estudo de caso	62
Quadro 3 – Mapeamento de perdas	69
Quadro 4 – Classificação e análise da influência nas atividades da tarefa “vazamento do forno”	78
Quadro 5 – Resumo das variáveis linguísticas e dos termos linguísticos	84

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Superfície de resposta para o sistema fuzzy ferroligas (Rotina da Tarefa = Não adequada)	87
Gráfico 2 – Superfície de resposta para o sistema fuzzy ferroligas (Rotina da Tarefa = Média)	87
Gráfico 3 – Superfície de resposta para o sistema fuzzy ferroligas (Rotina da Tarefa = Adequada)	88

Lista de tabelas

Tabela 1 – Avaliação das perdas	37
Tabela 2 – Resumo dos resultados do questionário na metodologia da escala Likert	81
Tabela 3 – Resumo das variáveis e dos valores adotados para a simulação do sistema fuzzy	82

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	MOTIVAÇÃO E IMPORTÂNCIA	13
1.2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	14
1.3	OBJETIVOS DA PESQUISA	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos	14
1.4	METODOLOGIA DA PESQUISA	15
1.5	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	INTRODUÇÃO	17
2.2	A PRODUÇÃO DE FERROLIGAS NA METALURGIA	18
2.2.1	Ferroligas	18
2.2.2	Aplicações	22
2.2.3	Métodos tradicionais de fabricação de ferroligas	22
2.3	PERDAS NO PROCESSO INDUSTRIAL	28
2.3.1	Principais perdas na produção de ferroligas	30
2.4	FERRAMENTAS PARA INVESTIGAÇÃO DE ANORMALIDADES INDUSTRIAIS	34
2.4.1	Fluxograma de processo	35
2.4.2	Mapeamento de perdas	36
2.4.3	Análise da Tarefa: Interação Homem-Máquina	38
2.4.4	Diagrama de Causa e Efeito	43
2.5	FERRAMENTAS PARA DESENVOLVIMENTO DO MODELO	44
2.5.1	Escala de Mensuração	44
2.5.1.1	Escala Likert	45
2.5.2	Lógica fuzzy	46
2.5.2.1	Sistemas de Inferência Fuzzy	47
2.5.2.2	Variáveis linguísticas	50
2.5.2.3	Funções de pertinência	50
2.5.2.4	Base de Conhecimento: Regras	52
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
3	MATERIAIS E MÉTODOS	55
3.1	INTRODUÇÃO	55
3.2	ESTUDO DE CASO: CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA	56
3.3	METODOLOGIA DO TRABALHO	57
3.3.1	Análise do processo geral	57

3.3.2	Coleta de dados	58
3.3.3	Análise do sistema operacional	59
3.3.4	Desenvolvimento do modelo	61
3.3.5	Validação dos Resultados	66
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
4	RESULTADOS	67
4.1	INTRODUÇÃO	67
4.2	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	67
4.2.1	Etapa 1- Análise geral do processo	67
4.2.2	Etapa 2- Coleta de dados	68
4.2.3	Etapa 3- Análise do sistema operacional	70
4.2.4	Etapa 4- Desenvolvimento do modelo	79
4.2.5	Etapa 5 - Validação dos resultados	92
5	CONCLUSÃO	94
5.1	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	95
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	95
	Referências	96
	APÊNDICES	105

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO E IMPORTÂNCIA

A competitividade industrial não admite mais falhas em processos que, conseqüentemente, provocam perdas e geram altos custos. A redução de falhas e o controle de custos nos processos são uns dos principais objetivos almejados pelas indústrias. Esses objetivos possibilitam que as industriais se mantenham competitivas frente ao mercado. Uma das maneiras para se alcançar esses objetivos é através da redução de perdas de processo. As perdas de processos estão diretamente relacionadas com o controle das operações e requerem métodos e técnicas apropriadas para a identificação da sua causa-raiz. Cada método de processo envolve uma tecnologia, uma mão de obra e uma gestão. Por isso, esses aspectos devem ser entendidos e conhecidos antes de qualquer investigação.

As operações de rotina industriais causam um grande impacto no meio ambiente, alertando que, muitas vezes, a proporção desse impacto é maior do que se apresenta na literatura. As perdas de processo é um assunto que vem se tornando cada vez mais necessário nas discussões de sustentabilidade e na visão econômica das indústrias. No ambiente industrial cada perda gerada envolve um custo, um impacto no meio ambiente e possíveis conflitos na equipe (SARTAL et al., 2017).

Existem vários conceitos sobre as perdas de processos, desde a teoria tradicional das sete perdas (SHINGO, 1996) até a teoria que envolve os impactos técnico-econômicos (ÁVILA et al., 2008). As perdas podem ser consideradas como ações, custos, tempo e produtos utilizados desnecessariamente. Por isso, as perdas que são geradas em um processo industrial, devem ser tratadas por ordem de criticidade do processo (perda crítica).

A investigação e o estudo das perdas de processo são fundamentais nas indústrias, não só, pela redução do impacto na natureza, mas também na redução dos custos desnecessários como: retrabalho, matéria-prima e energia (ÁVILA et al., 2008). Além disso, a falta de controle das perdas e a falta de identificação das variáveis que influenciam nessa ocorrência, podem encadear maiores conseqüências, como a não aceitação do produto no mercado. Essa rejeição do produto pode surgir de questões de qualidade do produto, ou referente a “imagem ruim” da empresa no mercado consumidor (impacto ambiental).

Nesta pesquisa são investigadas perdas de processo em uma indústria metalúrgica com produção de ferroligas. Esta pesquisa tem como objetivo mapear a perda crítica em um processo, avaliando as variáveis que influenciam na sua maior geração. Nesse processo industrial, sabe-se que o indivíduo que atua como operador é peça fundamental no processo, tanto para erros como para acertos, com isso, surge a

questão: Será que este operador tem competências para atuar no perfil da tarefa? O que pode influenciar no seu desempenho? O seu posto de trabalho, ou o procedimento é propício a erros ou acertos? A tecnologia facilita ou dificulta a tarefa? Algumas dessas questões são discutidas ao longo desta pesquisa.

A aplicação da metodologia consistiu em uma investigação nos principais processos da indústria, tendo como diferencial a observação das três dimensões do sistema de produção: equipamento, tarefa e operador. Para compor a metodologia do trabalho foram utilizadas ferramentas da qualidade, da estatística e da computação, tais como: Diagrama de causa e efeito; Mapeamento de Perdas; Escala Likert e Lógica Fuzzy. Essa pesquisa resultou na identificação do índice de falha na tarefa de produção de ferroligas. As recomendações do trabalho foram direcionadas à variável crítica do processo de produção de ferroligas, intencionando a melhoria do processo e, conseqüente redução da falha.

1.2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

As perdas que ocorrem em um processo de fundição podem acarretar prejuízos sociais, econômicos e ambientais. Na empresa do estudo, a quantificação e o controle dessas perdas não são práticas conhecidas. Essa falta de controle contribui para que os resíduos e desperdícios se tornem maiores a cada dia. As perdas não devem se tornar algo frequente no processo de produção. Por isso, deve-se identificar, controlar e tratar as perdas por prioridade.

O problema a ser discutido neste trabalho é a falta de procedimento para avaliar as perdas, relacionando-as com os problemas do processo. A ausência de um procedimento para identificar e avaliar as perdas, as suas causas e seus problemas no processo de fundição podem resultar no descontrole da geração de perdas. Por isso, a identificação, quantificação, qualificação e priorização das perdas são fundamentais no controle do processo.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.3.1 Objetivo Geral

Mapear a perda crítica em um processo de fundição, avaliando os fatores que influem nessa perda.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral foram identificados requisitos e etapas decisivas para o sucesso do projeto, como:

- Identificar as perdas nos processos da área industrial do estudo, conforme necessidade e criticidade do processo;
- Indicar a perda crítica, conforme: frequência, impacto e urgência de ação;
- Avaliar o posto de trabalho onde é gerado a perda crítica, identificando as variáveis críticas do ambiente
- Desenvolver e validar um modelo para avaliar o índice de falha na tarefa, associado as variáveis críticas
- Sugerir recomendações para a principal variável crítica

1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

O método científico utilizado nesta pesquisa se caracteriza em um estudo de caso, com pesquisa descritiva-exploratória. O estudo de caso é um estudo de natureza empírica que investiga um determinado fenômeno, dentro de um contexto real de vida (CAUCHICK MIGUEL, 2007). O método do estudo de caso é indicado quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto em que ele se insere não são claramente definidas. Esse método visa estimular a compreensão, sugerir hipóteses e questões ou desenvolver a teoria (MATTAR, 1996; CAUCHICK MIGUEL, 2007).

O estudo de caso com a pesquisa descritiva-exploratória, tem o objetivo de conhecer a realidade, uma vez que se tem a pretensão de descrever com exatidão os fatos e fenômenos relacionados a esta realidade (YIN, 2017). Para este estudo de caso utilizou-se etapas como: a revisão bibliográfica por meio de artigos, teses, dissertação; relatórios técnicos; a coleta de dados e análise dos dados foram baseadas em questionários e entrevistas e; a validação dos resultados foram através da aplicação de ferramentas computacionais.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em capítulos, de forma que os assuntos se complementam e evoluem na abordagem para o estudo de caso. Entretanto, também são independentes na escrita, tendo introdução e considerações para cada capítulo.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica através de relatórios, artigos e trabalhos acadêmicos. A revisão bibliográfica inicia com a caracterização da indústria metalúrgica na produção de ferroligas, abrangendo seus produtos e sua aplicabilidade no mercado consumidor. Logo após, são abordados os conceitos de perdas em processos industriais, identificando as principais perdas em um processo de produção de

ferroligas. E por fim, são apresentadas algumas ferramentas para a investigação do estudo de caso, sendo elas: ferramentas da qualidade, da estatística e computacional.

No Capítulo 3 são apresentados os materiais e os métodos utilizados no trabalho. O ambiente do estudo de caso é contextualizado de forma discreta, devido ao acordo de confidencialidade firmado entre as partes. A metodologia geral do trabalho foi composta de cinco etapas. As etapas dessa metodologia se apresentam desde a análise do processo (1) até validação dos resultados (5).

No Capítulo 4 são demonstrados e discutidos os resultados após aplicação da metodologia. O trabalho é finalizado no Capítulo 5 com apresentação da conclusão, limitações e sugestões para o desenvolvimento de projetos posteriores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a expansão do segmento industrial resultou em um surgimento de novos processos e produtos voltados ao mercado de consumo. A partir dessa expansão tendo em vista a globalização e a entrada de novas tecnologias, a competitividade se tornou mais acirrada no cenário empresarial. Com isso, surgiu como um diferencial a utilização de processos mais limpos, com o destaque para a questão do impacto ambiental e a exigência por mais qualidade nos produtos. Esses fatores foram decisivos para a busca de melhorias no combate as perdas em processos, e na conquista da preferência do cliente.

Nesse capítulo a revisão bibliográfica foi dividida em quatro partes: A produção de ferroligas na Metalurgia; Perdas de processo nas indústrias e Ferramentas para a investigação e Ferramentas para validação dos resultados.

A primeira parte teve o objetivo de apresentar a indústria de ferroligas, o produto ferroligas e suas aplicações no mercado. Nesse bloco foi relatado algumas oportunidades que poderiam ser mais exploradas pela indústria de ferroligas, tais como: a questão da disponibilidade dos minérios, a disponibilidade de mão de obra e uma maior exploração da tecnologia dominada pelos fabricantes brasileiros. Entretanto, sabe-se que existem fatores que dificultam este desenvolvimento nas áreas, como a questão dos custos na energia elétrica, do minério, da mão de obra e do material redutor. Desse modo, a competitividade brasileira acaba dependendo da ocorrência de vantagens comparativas observadas nesses quatro principais recursos. Por isso, é necessário identificar oportunidades em outras direções para a redução de custos, como a redução de perdas nos processos industriais.

Na segunda parte foram abordadas as teorias sobre as perdas e desperdícios, e também foi apresentado as principais perdas em um processo de produção de ferroligas. A investigação de perdas em um processo é umas das alternativas para se ter um diferencial competitivo na redução de custos internos. O gerenciamento do processo produtivo é essencial para reconhecimento de melhorias, que muitas vezes são simples, mas geram grandes oportunidades nos processos. A identificação dos principais problemas nesta pesquisa foram relacionados à perdas que influenciam no desempenho (produtividade), na elevação dos custos e nos impactos ambientais.

Por fim, na terceira e quarta parte foram apresentadas as ferramentas que podem auxiliar no processo de investigação das perdas e na validação dos resultados. A investigação das perdas em um processo envolve diversas questões que podem estar “camufladas” nas consequências de outras falhas. Com o objetivo de identificar as perdas que devem ser priorizadas e tratadas, foram citadas as ferramentas: fluxograma

de processo; mapeamento de perdas; diagrama de Ishikawa; análise da tarefa; escala Likert e a lógica *fuzzy*.

2.2 A PRODUÇÃO DE FERROLIGAS NA METALURGIA

A partir do século XVIII, com o início da revolução industrial, as indústrias começaram a passar por uma fase de modernização. A partir desta fase, o desenvolvimento ocorreu de forma acelerada. O homem passou a utilizar todos os recursos tecnológicos disponíveis para a expansão do mercado industrial, o que levou também a ocorrência de perdas e a poluição do meio ambiente (MORO et al., 2015). Surge a necessidade da reestruturação dos setores de produção e de gestão, priorizando-se as questões ambientais e econômicas com foco na redução das perdas em processos.

A indústria metalúrgica faz uso de uma quantidade expressiva de energia, e envolve grande quantidade de materiais em um processamento de baixo rendimento, tornando-se um objeto de estudo dentre os diversos segmentos. O setor metalúrgico é essencial para o desenvolvimento da sociedade, já que alimenta a cadeia de produção relacionada à transformação de metais. Este setor é composto pelas indústrias de transformação, cujo o principal objetivo é a produção de componentes e equipamentos. Os produtos da indústria de transformação são os principais elementos utilizados para a fabricação de bens de consumos, e dão suporte para aplicação de novas tecnologias (CARDOSO, 2015).

O Setor Metalúrgico está incluído na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) do IBGE, na Seção C (Indústrias de Transformação), Divisão 24 (Metalurgia), sendo dividido em cinco grupos: Produção de Ferro-Gusa e de Ferroligas; Siderurgia; Produção de Tubos de Aço, exceto sem costura; Metalurgia dos metais não ferrosos e Fundição (BRASIL, MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL, 2012). O Setor apresenta expressiva importância no cenário econômico brasileiro, com vasta cadeia produtiva dos segmentos ligados à metalurgia, usinagem e produção de manufaturados metálicos, sendo a base de outras atividades relevantes para o país, como a indústria automobilística, construção civil e bens de capital. A indústria de ferroligas é de extrema importância para a economia do Brasil, sendo esta considerada matéria-prima fundamental para diversas indústrias, como a siderurgia.

2.2.1 Ferroligas

O segmento industrial de produção de ferroligas é um dos mais importantes do setor metalúrgico. O aumento de produção desse segmento está associado ao crescimento das indústrias siderúrgicas. O segmento de ferroligas fornece as principais matérias-primas para a indústria siderúrgica, ou seja, as ferroligas de diversos tipos.

Dongare e Muley (2016) definem as ferroligas como ligas de ferro que contêm outros elementos químicos. A proporção de cada elemento químico deve ser ajustada para cada tipo de aplicação industrial, sendo até mesmo possível a introdução de novos elementos na própria liga (Figura 1) (SORIA FERNANDEZ, 2010).

Figura 1 – Ferroligas



Fernandez, 2010

Para Dongare e Muley (2016), as ferroligas se classificam nos seguintes grupos:

- **GRUPO 01: Ligas de ferro a granel.** Esse grupo é composto pelas ligas de ferro que utilizam elementos, como o manganês, o cromo, o silício e o níquel. Esses elementos são utilizados na produção das ligas de ferro manganês, ferro cromado, ferro silício, silício manganês e outros. As ferroligas a granel são usadas na fabricação de aço ou ferro.
- **GRUPO 02: Ligas de ferro nobres.** Esse grupo é composto por ligas de ferro com adição de vanádio, molibdênio, tungstênio, zircônio etc.

Segundo Leite, Bajay e Gorla (2010) as ferroligas também podem ser classificadas como: ligas convencionais (assemelhadas ao GRUPO 01) e ligas não convencionais ou especiais (assemelhadas ao GRUPO 02) (GREGUREK et al., 2017). Devido à expansão da produção do aço comum e dos especiais, as ligas convencionais são as ligas mais utilizadas. As ligas não convencionais são utilizadas na composição dos aços especiais, tais como o ferro-níquel, o ferro-molibdênio, o ferro-titânio e o ferro-nióbio.

As ligas não convencionais se destinam à produção de superligas aeronáuticas e os supercondutores.

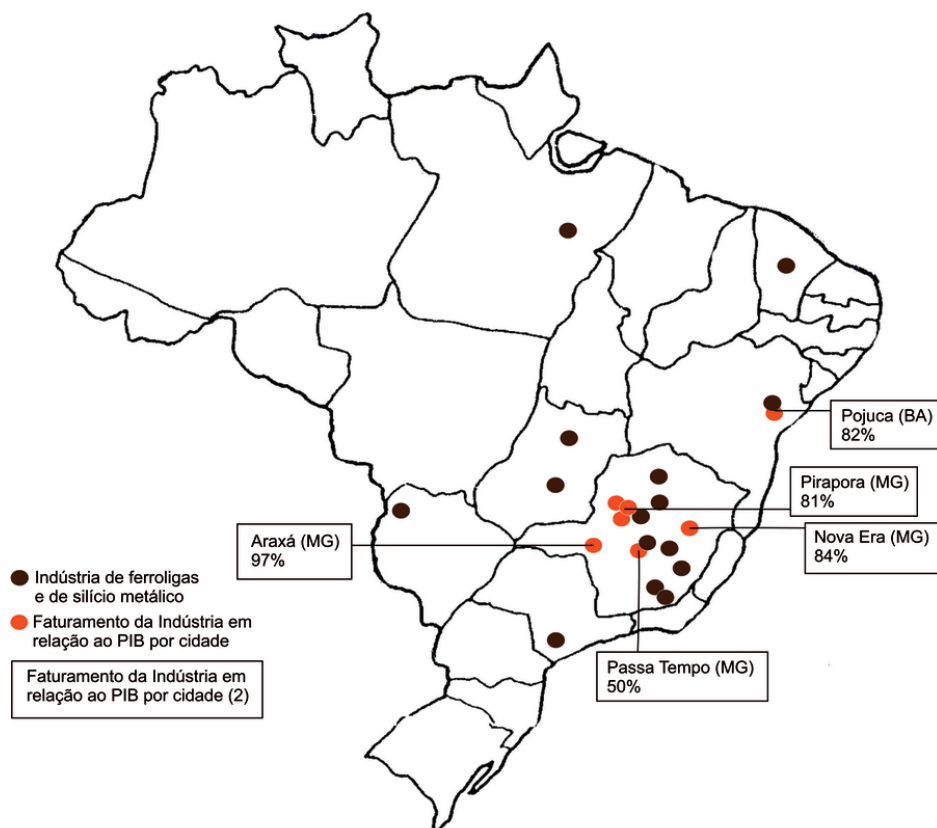
A produção de ferroligas consiste em um processo com uma utilização expressiva de materiais e energia, gerando vários impactos negativos para o meio ambiente. Santino, Magalhães e Ávila (2016) indicam, a partir de um estudo de caso, as principais perdas em um processo de produção de ferroligas. Essas perdas se caracterizam pelos resíduos sólidos, pelas emissões fugitivas e pelos efluentes. Os autores estabelecem a importância da identificação das perdas em um processo, destacando-se o reconhecimento dos seus possíveis impactos. A indicação da severidade para as perdas em uma indústria é necessária para a realização de uma gestão sustentável e econômica no processo de produção. A análise da gestão também está associada aos fatores internos e externos de uma indústria, influenciando nos custos e na viabilidade do funcionamento do negócio.

Uma boa gestão deve levar em consideração os preços de seu produto no mercado e a disponibilidade de energia elétrica, além das restrições ambientais, da qualidade e reserva de minério e da mão de obra disponível (LEITE; BAJAY; GORLA, 2010). Contudo, esses fatores podem influenciar de forma positiva para a competitividade das empresas no mercado, impulsionando-as na busca de soluções para a redução dos seus custos e na identificação de pontos de melhorias em seus processos.

O mercado interno de vendas de ferroligas no Brasil é demandado basicamente pelas indústrias siderúrgicas, em média 85%, e pelas indústrias de fundição, em 15%. O setor brasileiro de ferroligas é representado pelas produções de ferro-níobio, ferro-manganês, ferro-cromo, ferro-níquel e ferrosilício, destacando-se as ligas de manganês e as ligas de cromo (BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015). Esse documento também informa que o estado de Minas Gerais é o principal produtor de ferroligas no Brasil, sendo responsável por 50% da produção nacional de ferroligas.

Segundo a ABRAFE- Associação Brasileira dos Produtores de Ferroligas e de Silício Metálico (2017), a instalação deste tipo de indústria desenvolve a economia de uma região, trazendo benefícios para a comunidade, tais como a geração de emprego. A ABRAFE informa que existe a geração de mais de 80 mil empregos, diretos e indiretos, além de, melhorar o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios em que essas indústrias atuam. Possui uma arrecadação de impostos e tributos totalizando mais de R\$ 1,4 bilhão/ano. As localidades que possuem as indústrias de ferroligas se constituem em parcela significativa das riquezas geradas e o seu faturamento representa em média 34% do Produto Interno Bruto (PIB) da região (aproximadamente a R\$ 8 bilhões/ano), podendo alcançar até 97% para algumas cidades, conforme mostra mapa (Figura 2).

Figura 2 – Relevância econômica da indústria de ferroligas e silício metálico por municípios entre 2009-2011.



Fonte: Site da ABRAFE, pesquisa realizada no período de 2009-2011 (Acesso em 12 agosto de 2017).

A produção de ferroligas tem grande destaque também no mercado externo. O Brasil é considerado o principal fornecedor mundial de ligas com nióbio, sendo responsável por mais de 90% da comercialização desta liga (BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011). Considerando-se a produção industrial brasileira, o segmento industrial de produção de ferroligas se destaca como o sexto segmento mais superavitário dos últimos quatro anos, representando 7% da balança comercial, com exportações que totalizam cerca de US\$ 2,3 bilhões. Entre as ligas exportadas, ressaltam-se o ferro-nióbio com 68,6 mil toneladas (equivalentes a US\$ 1,5 bilhão), o ferro-níquel com 150,3 mil toneladas (equivalentes a US\$ 500,2 milhões) e o ferrosilício com 59,1 mil toneladas (equivalentes a US\$ 118,8 milhões). As importações de ferroligas do Brasil são pouco representativas, totalizaram, em 2015, US\$ 242 milhões. Dentre as ligas importadas, destaca-se o ferro-molibdênio. Parte do suprimento global dessa liga é oriundo da China, Estados Unidos, Rússia e Chile (BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016).

2.2.2 Aplicações

No setor metalúrgico, cada tipo de liga tem uma aplicação e uma função específica, que dependerão do elemento inserido durante a sua produção (GREGUREK et al., 2017; BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016). As principais ferroligas produzidas no Brasil são:

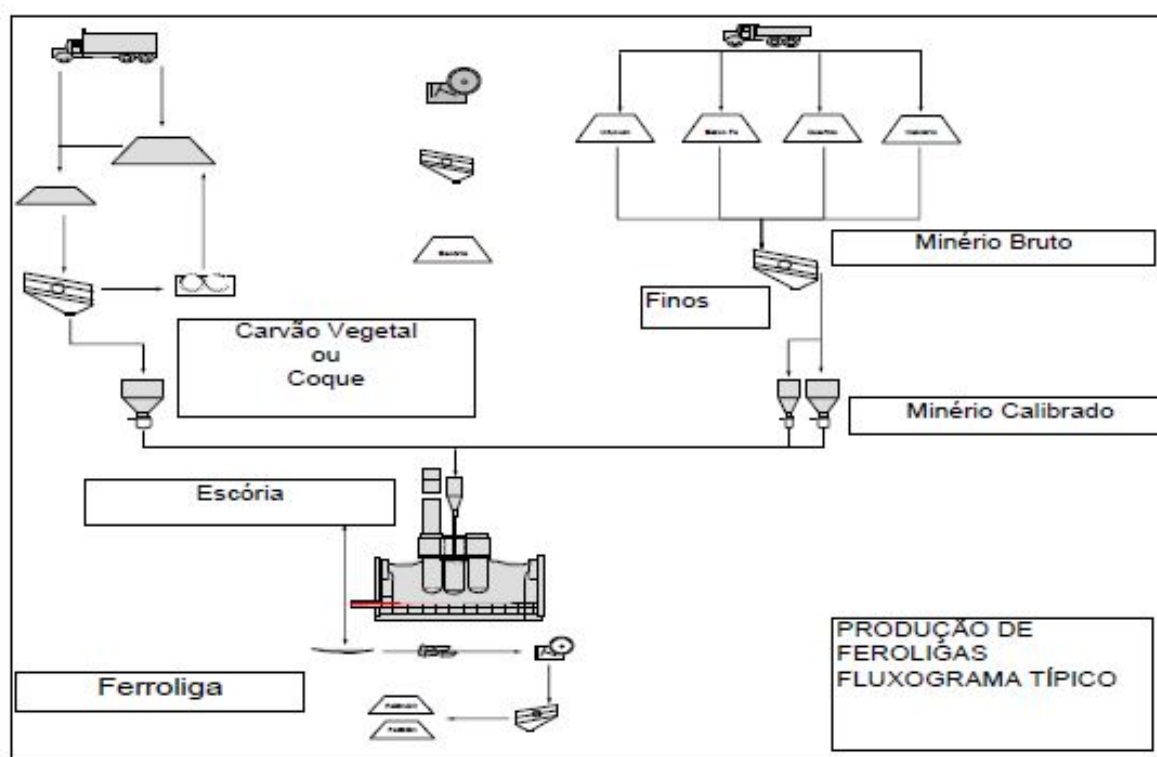
- Ferroligas de manganês: utilizadas na fabricação de quase todos os aços e ferro fundido. Possui o componente manganês. O manganês neutraliza os efeitos nocivos do enxofre na produção de praticamente todos os aços e ferro fundido, tendo a função principal de dessulfurização.
- Ferroligas de silício: aplicadas em aços comuns, esta liga possui o componente silício. O silício funciona como desoxidante na produção do aço, e age como um elemento de liga na produção do ferro fundido.
- Ferroligas de cromo: utilizadas na produção de aços especiais, sendo a principal matéria-prima para produção do aço inoxidável. Essa liga possui o componente cromo. O cromo fornece resistência à corrosão aos aços inoxidáveis.
- Ferroligas de níquel: as ligas de níquel foram desenvolvidas para a fabricação de estruturas, tais como: motores a jato e turbinas a gás. Esse material também é encontrado em aquecedores, resistências, geradores de energia e componentes de um forno.
- Ferroligas de nióbio: utilizadas na produção das superligas aeronáuticas, dos cerâmicos para optoeletrônica e de supercondutores. Essa liga possui o componente nióbio. O nióbio agrega resistência às alterações de temperatura. Elas são ligas de alto ponto de fusão. São suas principais características: densidade pouco superior a densidade do ferro, elevada resistência ao ataque por certos ácidos e metais líquidos, baixa resistência à oxidação e supercondutividade em temperaturas muito baixas.

2.2.3 Métodos tradicionais de fabricação de ferroligas

A diversidade dos tipos de ferroligas se dá em função do componente que será inserido em seu processo de fabricação, e do método de fabricação dessa ferroliga. Devido às poucas etapas que se realizam para a obtenção de uma ferroliga, o processo de produção das ferroligas não é considerado um processo complexo. Entretanto, é considerado um processo crítico, perigoso e insalubre. A produção de ferroligas envolve altas temperaturas, material particulado e operação de equipamentos pesados, como, por exemplo: pontes rolantes, caçambas e caminhões.

O processo de fabricação de ferroligas se realiza através da fusão redutora dos óxidos do elemento de liga em presença do ferro. São identificados três processos redutores: (a) carbotérmico, (b) silicotérmico e (c) aluminotérmico. O principal processo redutor é o que utiliza o componente carbono (processo carbotérmico), tanto pela sua eficiência, quanto por seu menor custo e disponibilidade. A aplicação do carbono só é descartada, quando o próprio carbono for prejudicial ao processo usado. Nesse caso, o carbono é substituído pelo silício (processo silicotérmico). Quando o poder redutor do silício for insuficiente, utiliza-se o componente alumínio (processo aluminotérmico) (KRUGER, 2009). Esta pesquisa destaca o estudo da redução carbotérmica (Figura 3). O processo carbotérmico se caracteriza pela absorção de calor, exigindo-se que ele seja realizado com aporte de calor externo, sendo a energia elétrica a maior fonte para esse aporte.

Figura 3 – Fluxograma típico da produção de ferroligas pelo processo carbotérmico.



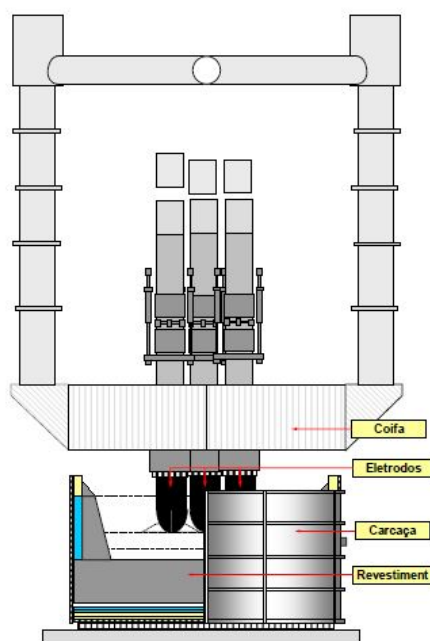
Fonte: Kruger (2009).

No Brasil, a tecnologia de fabricação mais utilizada no processo carbotérmico é a que utiliza um forno elétrico de arco submerso. Segundo Kruger (2009) dos 15 processos de produção de ligas identificados em seu trabalho, 60% utilizam o forno elétrico de arco submerso, e cerca de 53% utilizam como redutor o componente carbono (processo carbotérmico). Com base nesses dados, se conclui que a tecnologia de forno elétrico de arco submerso é a mais utilizada, e a mais comum na produção de ferroligas, no Brasil.

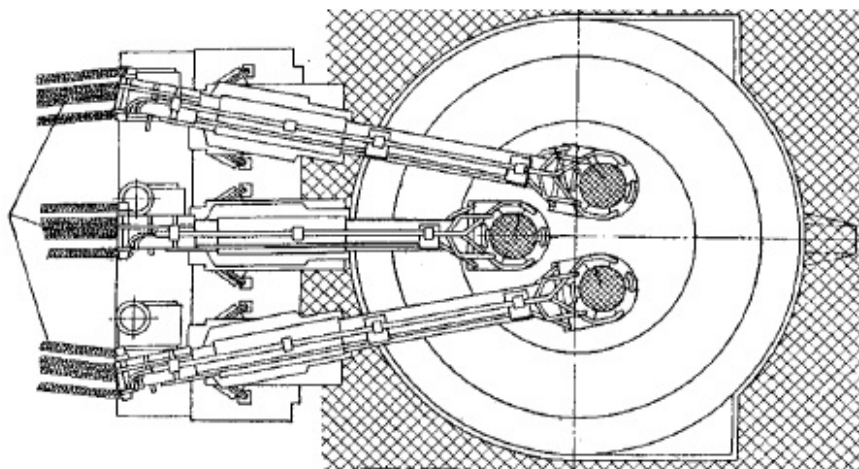
Forno elétrico de arco submerso

No Brasil, o forno elétrico de arco submerso aberto é o mais utilizado nos processos de produção de ferroligas (Figura 4). Esse forno é constituído de uma carcaça de aço (forma cilíndrica), sendo o interior dessa carcaça revestido com duas ou mais camadas de bloco de carbono (KRUGER, 2009). A carcaça é resfriada com água, evitando-se o sobreaquecimento do forno e dando maior tempo de vida ao refratário. A água de resfriamento e o coletor de fumos estão sobre o topo do forno (ZAMBRANO et al., 2009). Os gases que são gerados no processo são exauridos via coifa. São utilizados três eletrodos de carbono montados em um arranjo de seção triangular (Figura 5). Esse arranjo de seção triangular está inscrito em um círculo cujo diâmetro, denominado “diâmetro do círculo positivo”, é preestabelecido em função da ferroliga que se deseja produzir. Dentre outros fatores, esse diâmetro é um parâmetro importante para o dimensionamento do projeto do forno (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE- FEAM, 2010).

Figura 4 – Forno elétrico de redução.



Fonte: Kruger (2009).

Figura 5 – Disposição dos eletrodos no forno elétrico de redução.

Fonte: FEAM (2010).

O aquecimento do material e a manutenção da zona de alta temperatura são necessários para que ocorra a fusão. Já a redução é feita pela passagem da corrente elétrica, fornecida ao forno por meio dos três eletrodos de carbono (sistema trifásico), que estão conectados ao transformador do forno. O processo que ocorre dentro do forno é um processo contínuo. A carga, que é constituída pelo minério e pelo redutor, é introduzida na parte superior do forno. O processo é realizado pelas etapas de aquecimento, fusão e redução, gerando a liga e a escória, que são vazadas pela parte inferior do forno. À medida que a carga é extraída do forno, uma nova remessa de matéria prima é adicionada, tornando o processo contínuo (KRUGER, 2009).

Os fornos elétricos de arco submerso podem ser do tipo aberto, fechado e semi-aberto. Entretanto, para aplicação deste trabalho, será estudado os fornos do tipo aberto. Os fornos de arco submerso aberto possuem um sistema de exaustão, que está posicionado em até um metro acima do topo do forno (coifa). Painéis móveis ou telas podem ser utilizados para reduzir o espaço aberto entre o forno e o exaustor, melhorando a exaustão das emissões de gases e particulados. Esses gases devem ser filtrados, o que requer a utilização de um sistema padrão de filtros de manga. Mesmo com a utilização de um sistema padrão de filtros de manga, o excessivo volume de gás, resíduos do processo, tem como consequência a emissão de material particulado para o meio ambiente (GREGUREK et al., 2017; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE- FEAM, 2010) .

Conforme o relatório técnico elaborado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (2010), em um forno de arco submerso equipado com três eletrodos, as principais ferroligas produzidas são: FeC (Ferro-Cromo); FeMn (Ferro-Manganês); SiMn

(Silício Manganês); FeSi (Ferro-Silício); FeNi (Ferro-Níquel) e Silício Metálico. Esse relatório também informa as principais vantagens em utilizar esse tipo de forno, tais como: design simples; baixo investimento; baixo custo de manutenção e flexibilidade na produção. As principais desvantagens em se utilizar esse tipo de forno são: o alto consumo de energia elétrica; a perda de calor, exceto quando o calor residual é utilizado para aquecimento de água; e o alto impacto ambiental em virtude do volume dos gases de saída e do aquecimento do ar ambiente de trabalho.

Entre vantagens e desvantagens, antes que se tome a decisão sobre o uso de um determinado tipo de forno, é importante que se faça uma análise do perfil econômico de cada empresa. Deve-se verificar as condições e tamanho da área de produção, e o tipo de ferroligas que serão produzidos. Ao escolher um tipo de forno, é importante que se realize algumas ações preventivas para o bom funcionamento e aumento de produtividade. A realização do balanço do carbono, a regulação da altura do eletrodo, a verificação da composição da escória, a realização do controle do refratário e a realização da limpeza do gás são ações que tornam a operação do forno arco submerso mais efetiva (ZAMBRANO et al., 2009).

Processamento no Forno Elétrico Arco Submerso

Segundo Zambrano et al. (2009) o forno elétrico de arco elétrico submerso produz ferroligas, podendo também produzir um produto intermediário. Dentre outras coisas, esse produto intermediário é utilizado para produção de aço inox através da realização de métodos de processamento específicos. O processamento da matéria-prima dentro de um forno de arco submerso é definido como uma operação de fundição por redução. Os reagentes dessa redução são constituídos por minérios metálicos (óxidos ferrosos, óxidos de silício, óxidos de manganês, óxidos de cromo, dentre outros), e por um agente redutor composto de uma fonte de carbono (coque, carvão ou aparas de madeira). O calcário também pode ser adicionado como material de fluxo na realização do processo. As matérias-primas utilizadas no processamento são prensadas (esmagadas), redimensionadas e, em alguns casos, passam por um processo de secagem. Elas são transportadas para pesagem e mistura. Esse material é utilizado para alimentação direta do forno. Essa alimentação se dá por gravidade, através de uma calha de alimentação.

A fundição em um forno elétrico de arco submerso é realizada por conversão da energia elétrica em calor. Uma tensão alternada é aplicada aos eletrodos, abrindo-se um arco elétrico entre as pontas dos eletrodos. Nesse processo, o arco está submerso na carga e passa entre o eletrodo de carbono e o material da carga (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE- FEAM, 2010). O efeito disso é a criação de uma “zona de reação” com temperaturas de até 2000 °C (3632 °F). Nessa “zona de reação”, o carbono reage com o oxigênio contido nos óxidos metálicos da carga e os reduz a

metais básico. As extremidades inferiores dos eletrodos são mantidas a cerca de 0,9 a 1,5 metros (3 a 5 pés) abaixo da superfície da carga liquefeita. Garante-se uma carga elétrica uniforme, variando-se continuamente a profundidade do eletrodo através de meios mecânicos ou hidráulicos. A superfície da carga liquefeita no forno, é mantida no nível de projeto do forno. Ocorre também nesse procesamento a reação *boundourvard*. A reação *boundourvard* é uma reação que envolve a gaseificação do carbono presente no carvão vegetal ou coque. Essa reação resulta na geração de um gás, que ajuda no processo de redução, o monóxido de carbono (CO) (ZAMBRANO et al., 2009).

O metal fundido e a escória são removidos através de um ou mais buracos (estilo uma torneira), que se estendem por meio do invólucro da fornalha ao nível do forno. A separação do metal e da escória ocorre pela densidade dos produtos, o metal e a escória são removidos em intervalos de uma a cinco horas por meio dos orifícios.

Materiais produzidos: a liga e a escória

Os processos tradicionais de produção de ferroligas utilizam muito a fusão redutora para a separação entre a liga e escória. A fusão redutora é uma reação que facilita a separação entre metal e a escória através de densidade desses produtos (FARIA et al., 2008). Essa reação resulta em um processo com um tempo de redução mais longo e um maior consumo de energia elétrica (ZAMBRANO et al., 2009). Para cada tipo de ferroliga produzida será gerada um tipo de escória, com uma composição, viscosidade e basicidade específicas.

Santos (2007) informa que a escória funciona como um filtro, retendo as impurezas que comprometem a qualidade da liga (Figura 6). A falta de controle no processo pode ocasionar um arraste da liga para a escória, tornando-a rica no produto. O controle do processo é a prática ideal para reduzir perdas de produto. Entretanto, a maioria das indústrias de ferroligas adotam práticas de reciclagem e reaproveitamento de escória como solução na recuperação do metal de liga. Essas práticas exigem novos custos no processo, como também acabam gerando desperdícios de materiais durante o processo de recuperação, por exemplo o material particulado que é gerado durante esse processo de recuperação (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2010).

Figura 6 – Liga de ferro e a escória.



Fonte: Adaptado do site: <http://pt.cnzircon.com/foundry-auxiliary-materials/slag-remover/high-effective-foundry-slag-remover-and-dregs-remo.html>.

A escória granulada podem ser: descartada em aterros sanitários - provocando impacto ambiental; vendida como material de construção e para construção de rodovias; utilizada como areia de jateamento e na produção de concretos refratários, e; usada como matéria-prima em um forno ou em uma concha de reação para produzir um produto quimicamente relacionado (GREGUREK et al., 2017; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE- FEAM, 2010). A liga, após o aquecimento e solidificação, forma grandes peças que podem ser quebradas através de martelos ou “pesos de queda”. As peças de ferroligas quebradas são esmagadas, blindadas (redimensionadas) e armazenadas em caixas até o embarque. Em alguns casos, as ligas são armazenadas na área de estoque, antes do dimensionamento para o transporte.

2.3 PERDAS NO PROCESSO INDUSTRIAL

A escassez de recursos naturais e o aumento da poluição nos processos de produção revelam os limites da indústria. Os desafios ambientais provocam um movimento social, potencializado pela presença da mídia, exigindo-se que as empresas integrem as questões ambientais em suas orientações estratégicas. Para atender a essas questões, e permanecerem competitivas, as organizações buscam realizar estratégias que combinam o desempenho na produção e o respeito ao meio ambiente. A revisão dos processos internos, a identificação das perdas e dos impactos negativos ao ambiente são exemplos de ações a serem realizadas para se ter um sistema sustentável, e se manter competitiva no mercado.

A teoria das sete perdas foi elaborada por meio de um sistema de produção desenvolvido pela Toyota no final dos anos 1940, no Japão (SHAY, 2015). Essa teoria classifica as perdas em perdas de superprodução, perdas de transporte, perdas de processamento do produto, perdas de fabricação de produtos defeituosos, perdas de movimento interno, perdas de espera e perdas de estoque. Entretanto, daquela época até hoje, os conceitos e as dimensões sobre as perdas de processos foram se atualizando, e se tornando mais abrangentes. Outros setores industriais e o setor de serviços utilizaram o conceito Toyota das sete perdas para aspectos específicos em cada tipo de indústria, adequando a teoria para a identificação de outras perdas.

Sartal et al. (2017) informam que, para fabricar um produto é necessário a utilização de recursos disponíveis em uma organização, tais como: material, mão de obra, máquinas, tempo, etc. A perda pode ser considerada como uma parcela de recursos utilizados de forma não necessária, ou como tudo o que não agrega valor ao produto, e gera custo, desde materiais e produtos defeituosos, até as atividades não produtivas (CABRAL, 2017). Contudo, nem todas as atividades não produtivas podem ser completamente eliminadas. Como exemplo se tem os serviços de logística e movimentação de materiais, que são essenciais para a produção e podem ser otimizados (ALVARENGA; RODRIGUEZ, 2018).

Por muitas vezes, as perdas e os desperdícios são derivados de atividades que não agregam valor, resultando em consumo de recursos, energia e tempo. Em uma análise financeira, Martins (2006) cita que a perda é um bem ou serviço consumido de forma anormal e involuntária. O seu trabalho ressalta que não se deve confundir a perda com um tipo de despesa, exatamente por causa da sua anormalidade e involuntariedade, pois não surge de uma ação necessária e com a intenção de obtenção de receita. Entretanto, quando se avalia a questão da perda na produção, pode-se perceber a ligação direta dessa com as despesas e os custos.

As atividades que não acrescentam valor são as que podem ser suprimidas, sem que ocorra uma degradação no desempenho da organização (custo, função, qualidade e valor agregado) (SOUZA, 2011). Desse modo, para reduzir os desperdícios é relevante considerar todas as atividades e tarefas executadas no contexto do processo, suprimindo-se àquelas que não agregam valor à produção, ao produto e ao cliente.

Ávila et al. (2008) consideram outras abordagens sobre as perdas. Esses autores ressaltam que a identificação das perdas faz parte de um sistema dinâmico, destacando-se a necessidade de identificação das perdas que dependem das variáveis do ambiente de processo, desde os resíduos, até os impactos técnico-econômicos. As perdas em materiais (resíduos), perdas em patrimônio, perdas de tempo (acidente), perdas na qualidade do produto, perdas de imagem da empresa e perdas no faturamento são alguns exemplos de perdas de processo, conforme a percepção dada pelos

autores a um sistema dinâmico (ÁVILA et al., 2008).

Esse trabalho investiga os fatores influenciadores para geração das perdas de uma forma ampla, unindo a versão clássica da definição de perdas e desperdícios (CHIARINI; BACCARANI; MASCHERPA, 2018) e a teoria das perdas em um sistema dinâmico (ÁVILA et al., 2008). Essa integração dos conteúdos, possibilita o conhecimento de novos modos de perdas, incluindo as questões sociais, tecnológicas, econômicas, ambientais e de comportamento. A identificação das perdas nesta pesquisa é discutida e investigada baseando-se nos principais problemas da área da produção de ferroligas.

2.3.1 Principais perdas na produção de ferroligas

As indústrias estão se movimentando em busca de novas fontes de energia, e de novas tecnologias para o reuso de materiais e água. As perdas em um processo industrial, em grande parte, são relacionadas ao tratamento dos desperdícios e redução dos resíduos. A possibilidade de reduzir os custos e a preocupação dos impactos ambientais nos processos, incentivaram os segmentos industriais a colocarem em prática planos de gestão ambiental e práticas ambientalmente mais corretas (KURDVE et al., 2015). Essas ações foram cobradas pelo governo, e pela sociedade que estava preocupada com o desgaste que o ambiente estava sofrendo. Além disso, a sociedade passou a exigir cada vez mais produtos com melhor qualidade e que fossem mais sustentáveis. Esses fatores associados à uma rigorosa legislação ambiental, foram os principais impulsionadores pela busca de formas para racionalizar o uso de recursos naturais e minimizar a geração de resíduos pelas empresas (ZBONTAR; GLAVIC, 2000).

A maioria dos empresários já entendem que a redução no consumo de materiais e de energia está diretamente ligada com benefícios financeiros, além da redução dos impactos ambientais (MEINDERS; MEUFFELS, 2001). Segundo a Resolução CONAMA nº 001/86 (BRASIL, 1986, p. 01), a legislação brasileira expressa e considera impacto ambiental como: [...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V - a qualidade dos recursos ambientais.

A redução de custo de produção, atrelada ao ganho ambiental e ao progresso tecnológico tem sido cada vez mais internalizada pelas empresas como uma questão de competitividade e de perpetuidade. Mayolo e Perini (2012) destacam que a busca por reduzir os impactos ambientais é voltada para ações de como tornar os métodos

de produção mais eficazes. Esses autores citam como principais ações: a redução do consumo de matéria-prima; o gerenciamento dos resíduos sólidos produzidos no processo, buscando segregar, acondicionar e dar destinação correta e; controlar as emissões atmosféricas.

Para este trabalho foram classificados dois tipos de perdas, as Perdas de Materiais (1) e Perdas de Energia (2), no entanto foi inserida também a questão das Emissões fulgitivas (3) para conhecimento dos gases que são considerados influenciadores na contaminação ambiental nessa indústria.

1) **PERDAS DE MATERIAIS**

Resíduos sólidos

De acordo com a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), “resíduos sólidos” são todos os resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos que resultam de atividades da comunidade e de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Consideram-se, também, resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e de esgotos e, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.

Conforme Fundação Estadual de Proteção Ambiental- FEPAM (2010), foi identificado no inventário sobre resíduos sólidos industriais que, os setores de couro, mecânico e metalúrgico tem as atividades com maior potencial de geração de resíduos perigosos (Classe I). Nesse inventário também foram identificados os setores de alimentos, metalúrgico e químico como os setores que mais geram resíduos sólidos industriais não perigosos (Classe II). Portanto, as indústrias metalúrgicas foram responsáveis pela geração de 10,9% dos resíduos perigosos e 13,63% dos resíduos não perigosos, indicando que esse setor é um grande gerador de resíduos.

O lançamento indiscriminado de resíduos sólidos no ambiente implica em problemas ambientais e desperdício de energia referente ao trabalho já realizado (VASHI; DESAI, 2018). A produção de ferroligas, que está relacionada ao setor metalúrgico, possui coprodutos e resíduos sólidos derivados dos seus processos. Dependendo do material que compõe o resíduo e o seu valor econômico, esse resíduo pode ser comercializado como coproduto, reaproveitado no processo, ou então, se o resíduo não apresenta nenhum valor econômico, é encaminhado para aterros com licença ambiental. Os principais resíduos de processos de uma produção de ferroligas são a poeira dos filtros, lama dos lavadores de gás, escória do processo de fundição, e o revestimento do interior dos fornos (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2010).

Carlos (2002) enfatiza a questão da destinação correta desses resíduos, principalmente os perigosos, como exemplo: alguns tipos de escória. Esse autor também sinaliza que a prática de enterrar ou armazenar resíduos em um local do terreno da própria empresa, sem o devido controle, pode disseminar no território autênticas “bombas” de efeito retardado. A contaminação desse terreno pode resultar no comprometimento geral da área, tornando um quadro irreversível de recuperação.

Mantovani e Tauchen (2009) informa que, muitas vezes, a falta de atenção das empresas sobre os impactos ambientais, pode ser decorrente da falta de informações sobre as possibilidades de adequar e implantar as melhorias nos processos industriais, como por exemplo: a coleta seletiva e a redução do consumo de matéria-prima. Entretanto, o gerenciamento dos resíduos sólidos através do controle de processo e da identificação de melhorias no processo ainda são considerados como a melhor opção. O gerenciamento de resíduos sólidos evita custos desnecessários de produção e custos desnecessário com processos adicionais de tratamento.

Resíduos líquidos

Segundo Giordano (2004), a água passa por várias contaminações nos processos industriais, seja através dos resíduos do processo ou da energia térmica. A poluição térmica da água na indústria ocorre devido aos processos de resfriamento ou reações exotérmicas. O controle para esse tipo de poluição da água ocorre medindo a temperatura do efluente. As características sensoriais dos efluentes como odor e cor podem alertar sobre os desvios dos parâmetros da água. O odor pode ser causado por reações de fermentação de matérias orgânicas ou inorgânicas. Já a cor dos efluentes pode ser alterada devido a presença de substância dissolvidas (natural ou artificial) ou coloidais (turbidez).

Na indústria de ferroligas o principal resíduo líquido é o efluente líquido, derivado da água de refrigeração que é circulada durante o processo. As possíveis fontes de efluentes líquidos nas indústria de produção de ferroligas são: sistemas de lavagem de gás, dos britadores de escória, sistemas de resfriamento de contato direto e indireto da produção, sistemas de escoamentos de águas superficiais e de drenagem e processos hidrometalúrgicos (como lixiviação e extração líquido-líquido) (NDLOVU; SIMATE; MATINDE, 2017). Outra possibilidade de contaminação da água seria por meio das águas de chuva, que escoam superficialmente no terreno do empreendimento. A contaminação da água de chuva se daria ao carregar algum material na área de estocagem, ou óleo e poeira que se encontram no chão para o sistema de drenagem. Essa água, após um tratamento físico-químico, pode ser reutilizada no processo, por exemplo, como água de resfriamento ou apenas para reduzir a emissão de poeira, que é gerada pelo tráfego de veículos (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2010).

Os principais poluentes dessas águas são partículas suspensas e compostos metálicos. Alguns metais, mesmo em baixas concentrações, são muito tóxicos (CAO; HE, 2016). De uma forma geral, o efluente líquido é encaminhado para um espessador ou para uma bacia de sedimentação para retirar as partículas suspensas, podendo ser necessária a adição de um agente floculante para auxiliar no processo, caso estejam presentes partículas muito finas. Após esse tratamento, a água pode atingir uma concentração de partículas sólidas inferior a 20 mg/L, o que permite sua reutilização em algumas etapas do processo (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE-FEAM, 2010).

O reúso direto é usado quando é feito de forma planejada sendo o efluente tratado usado para fins de irrigação, reposição em torres de resfriamento, recarga de aquíferos, produção de água potável, e dentre outros. A reciclagem é o reúso da água internamente em uma indústria por exemplo, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição (SANTOS, 2014a). Os tratamentos mais utilizados na indústria de ferroligas são a neutralização; precipitação e clarificação; Eletrólise; Sedimentação e Filtração (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE- FEAM, 2010).

2) PERDAS DE ENERGIA

O consumo de energia para a produção de ferroligas depende de vários fatores, tais como: a liga produzida, características físicas, químicas e metalúrgicas da carga, do projeto do forno elétrico e dos procedimentos operacionais. Neste sentido, o consumo específico pode variar em um amplo espectro, desde o valor de 2.100 kWh/t para produção da liga FeMnAC até 14.000 kWh/t para a produção de ligas especiais (TOLMASQUIM, M. T. AND SZKLO, A. S, 2000).

Para uma análise mais detalhada sobre o consumo de energia a ser utilizado na produção de ferroligas é necessário identificar a quantidade de calor que este processo envolve; a energia dispensada em fenômenos colaterais; as impurezas e as perdas envolvidas. As perdas envolvidas nesse processo de consumo, podem ser: perdas térmicas através das paredes do forno, por calor irradiado da superfície superior da carga; perdas de materiais por vaporização; perdas elétricas nos transformadores, condutores secundários e contatos.

3) EMISSÕES FUGITIVAS

Uma das preocupações mais recentes das indústrias de ferroligas é em relação à captura e à não emissão de CO_2 (dióxido de carbono) para a atmosfera. Com isso, as indústrias cada vez mais tem feito uso da estratégia do reflorestamento (via plantio de eucalipto) para atender as suas necessidades de carvão vegetal. O reflorestamento

propicia uma redução de CO_2 da atmosfera, e com base no Protocolo de Quioto, este benefício ambiental poderá gerar créditos de carbono comercializáveis no mercado internacional (LEITE; BAJAY; GORLA, 2010) .

Os gases liberados pelo processamento ocorrido dentro do forno não são considerados, nesse estudo, como perdas de processo, pois não agregam valor para a empresa o seu reuso (valor econômico), mas como trazem altos impactos ao ambiente, vale ressaltá-los como um item crítico do processo.

As emissões atmosféricas se constituem uma das principais fontes poluidora da indústria de ferroligas. Essas emissões são compostas, de modo geral, por material particulado e gases. Para reter o material particulado contido nestas emissões utiliza-se, normalmente, o filtro de manga. Filtros de mangas são os sistemas mais comuns no controle de emissões. Podem conter nesses gases o dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NOx), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), hidrocarbonetos aromáticos e metais pesados (HAQUE; NORGATE, 2013). A emissão dos gases contendo esses componentes, podem escapar tanto pelas chaminés quanto por emissões fugitivas, dependendo da idade da planta e da tecnologia utilizada. As quantidades relativas de cada gás dependem do tipo e da quantidade do redutor utilizado e do tipo de processo de ferroligas.

Nos processos carbotérmicos, onde o carbono é utilizado como agente redutor, são geradas cinzas e, em grande proporção os hidrocarbonetos gasosos. Esses hidrocarbonetos deixam o forno junto com os óxidos de carbono (quando em fornos fechados) ou podem queimar perto da superfície (quando em fornos abertos e semiabertos). O monóxido de carbono (CO) produzido, queima na área entre a superfície da carga e o coletor, resultando no escapamento via o topo do forno, no qual se oxida formando CO_2 em uma reação exotérmica (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2010).

Os fornos elétricos à arco submerso do tipo aberto possuem um volume de gás na saída da chaminé cerca de 50 vezes superior aos valores do forno do tipo fechado. A composição do gás é praticamente similar à do ar, porém com concentrações de 0,6% de CO_2 e 0,2 a 0,4% de CO , e a temperatura média varia entre 100 e 150 °C, podendo atingir um valor máximo de até 280 °C (em chama). A concentração da poeira varia de 0,2 a 4,6 g/Nm³ nas emissões lançadas (STEENKAMP; HOCKADAY; GOUS, 2017; CHEN et al., 2018).

2.4 FERRAMENTAS PARA INVESTIGAÇÃO DE ANORMALIDADES INDUSTRIAIS

As ferramentas da qualidade são muito utilizadas em investigações de anormalidades industriais. Cada ferramenta tem um propósito em uma investigação. Os

mapas, as tabelas, os gráficos e os relatórios resultantes das aplicações das ferramentas servem para sistematizar os controles advindos dessa investigação. Em uma investigação é necessário utilizar as ferramentas, ou criar modelos para conduzir de forma assertiva as recomendações do problema. O uso de ferramentas possibilita a disposição de informações, facilitando a identificação de falhas, das perdas e de gargalos no processo.

A investigação neste trabalho tem a pretensão de revelar oportunidades em um processo de produção de ferroligas, relacionando-o com as perdas que ocorrem nesse processo. A indústria de ferroligas abrange um cenário com diferentes processos que envolvem equipamentos, movimentação de carga e ambientes com fatores críticos (temperatura). A identificação de oportunidades entre as etapas da produção pode resultar na prevenção de perdas. Por isso, é importante revisar e qualificar os processos, quantificar as perdas já existentes, identificar as áreas de riscos e identificar o perfil adequado de uma equipe para a tarefa.

O objetivo desse tópico é dissertar sobre as ferramentas da qualidade, com referências de autores e pesquisadores da área da qualidade. A organização dessas ferramentas nesse tópico surge de forma dinâmica, facilitando o entendimento da sua aplicação na fase da metodologia de trabalho, Capítulo 3. Para investigação de anormalidades, como o caso das perdas em um processo, foram utilizadas algumas ferramentas, tais como: fluxograma de processo; mapeamento de perdas; Diagrama de causa e efeito e análise da tarefa.

2.4.1 Fluxograma de processo

Segundo Mello e Salgado (2005), para se gerenciar um processo e representar as diversas tarefas é necessário, primeiramente, visualizá-lo. O fluxograma é realizado para identificar e organizar as tarefas que são necessárias. Damelio (2016) cita que o Fluxograma de processo, além de representar graficamente todos os passos e suas inter-relações, também auxilia na identificação de problemas relacionando o fluxograma atual ao de etapas a serem seguidas.

Para Fonseca, Lima e Silva (2015) o uso de fluxogramas é destinado à formalização dos processos, tanto em momentos de análise quanto para melhoria. O autor cita que os fluxogramas são indicados quando: se busca a padronização; para evitar a sobreposição de papéis; para diminuir registros e controles excessivos; na análise do valor agregado; na redução do tempo de ciclo e; e na eliminação das variações do processo.

O fluxograma consegue sequenciar as etapas ou áreas de um processo, apresentando no final, as fragilidades e oportunidades de um processo ou tarefa. No entanto,

para a identificação das perdas, é necessário o auxílio de outra ferramenta. Dentre as ferramentas, foi sugerida para esse trabalho o mapeamento de perdas. Essa ferramenta tem a função de realizar o levantamento das informações necessárias sobre localização, frequência e priorização das perdas.

2.4.2 Mapeamento de perdas

Mapear um processo é fazer um desenho inicial, observando como uma sucessão de atividades são executadas e inter-relacionadas (KIPPER et al., 2011). Segundo Pinho, Leal e Almeida (2006), essa visão ampla do processo permite a identificação mais objetiva das falhas, gerando um entendimento mais claro das atividades de um processo. Esse entendimento do desencadeamento das atividades de um processo fornece à empresa uma compreensão mais clara das tarefas executadas no negócio. Kipper et al. (2011) relatam que a coleta das informações para construção de um mapeamento pode ser feita através de entrevistas com os responsáveis pelo processo na organização.

Para este estudo de caso é proposto um estilo de mapeamento diferente do tradicional, neste caso, se tem o objetivo de mapear as perdas dos processos de uma área operacional. Esse mapeamento de perdas se assemelha a um mapeamento de fluxo de resíduos (KURDVE et al., 2015), entretanto, este será relacionado com outros aspectos, tais como: comunicação; processo e tipo de perda, localização e problemas relacionados a perda do processo (KURDVE et al., 2015). Os aspectos que se destacam, neste mapeamento, para a priorização da perda (P_i) são:

- Frequência (F), que avalia a frequência de ocorrência da perda ou falha, em um determinado cenário
- Impacto (I), que avalia o impacto social, econômico e ambiental que esta perda/falha causa no processo, para este item será utilizado como nota final a soma dos três tipos de impactos dividido por 3 (três)
- Urgência (U), que avalia a urgência na tomada de ação

Vale ressaltar, que o impacto da perda em um processo, considera três tipos de análise: o impacto social; impacto econômico e o impacto ambiental. O impacto social (PRENZEL; VANCLAY, 2014) envolve a análise do risco que a perda pode apresentar para o operador durante sua geração, ou os seus possíveis riscos e acidentes que podem ocorrer. O impacto econômico envolve os custos que a geração dessa perda pode agregar no processo. O impacto ambiental analisa os riscos da perda em comprometer o ambiente fabril e o meio ambiente.

Para cada aspecto são atribuídos critérios de níveis quantitativos e qualitativos, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Avaliação das perdas

Valor	Frequência	Valor	Impacto	Valor	Urgência
3	Diariamente ou mais de 3 vezes na semana (Constante)	3	Alto impacto	3	Urgência alta - a perda não tem programas de ação, põe em risco a vida do operador ou agrega custos desnecessários para a empresa
2	Mais de 1 vez, ou até três vezes na semana	2	Médio impacto	2	Urgência Moderada - a perda já tem algumas ações projetadas ou em andamento
1	Até 4 vezes no mês	1	Baixo impacto	1	Sem urgência - A perda não traz danos morais ou econômicos, ou já existe um plano de ação.

Fonte: Autor (2017)

A priorização da perda é o resultado do produto desses três aspectos. O resultado da priorização sugere que quanto maior for o valor, maior a prioridade, conforme equação:

$$P_i = F \times I \times U \quad (2.1)$$

A equação da priorização resultará na indicação da perda crítica. Essa perda crítica deve ser investigada no sentido de prevenir, eliminar, ou minimizar. Vale ressaltar que esta análise ocorrerá conjuntamente, observando tanto a necessidade da empresa quanto a criticidade da perda.

O resultado do mapeamento de perdas indica a prioridade de investigação. Os problemas indicados no mapeamento serão os principais precursores para uma maior

geração da perda. Com isso, entende-se que para reduzir ou buscar alternativas para a minimização de perdas, deve-se entender as variáveis que influenciam negativamente nesse problema.

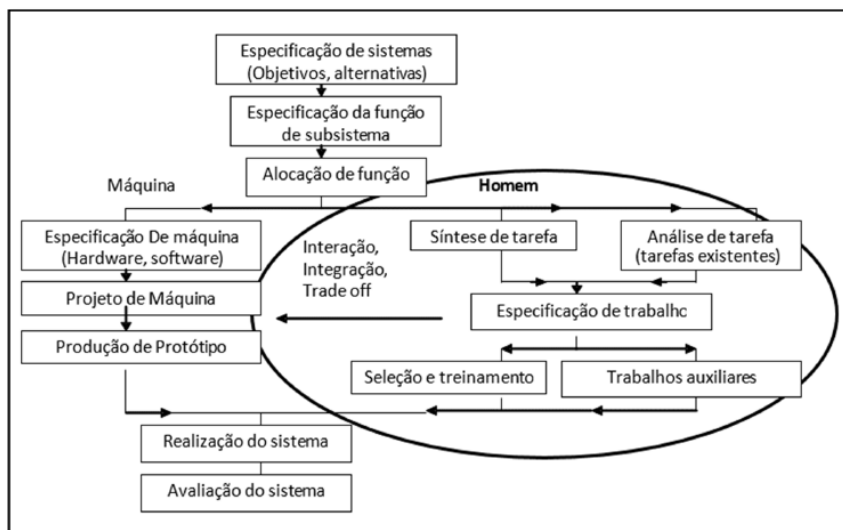
Para identificar as variáveis que influenciam no problema, foram sugeridos a análise da tarefa e a utilização da ferramenta Diagrama de causa e efeito.

2.4.3 Análise da Tarefa: Interação Homem-Máquina

Lees (1996) propôs critérios para o projeto da máquina em conjunto com o projeto do homem no seu posto de trabalho, uma vez que no controle de processo contínuo, o operador é o principal responsável pelas operações. Situações ligadas ao controle do processo também devem ser analisadas ainda no projeto da planta, por exemplo: vínculo entre indicadores e variáveis, cálculo estimativo de variáveis importantes, leitura de instrumentos e conhecimento incompleto ou atrasado sobre os resultados de desempenho dos sistemas, e dificuldade de visualizar o processo como um todo.

Conforme apresentado na Figura 7, o papel do operador está relacionado com a ergonomia tanto física quanto cognitiva. Portanto, é necessário que haja integração entre especificação de trabalho (demandas da análise da tarefa) e o projeto da máquina e do processo.

Figura 7 – Projeto de sistema Homem – Máquina



Fonte: Lees (1996)

O ambiente industrial possui, na sua rotina operacional, um elevado estresse psicológico derivado da “velocidade” de produção, da complexidade das atividades e

da pressão por resultados econômicos (ÁVILA; COSTA, 2015). A alta frequência desses fatores causam falhas cognitivas. A investigação sobre estas falhas, na maioria das vezes, indica a presença de comportamento com excesso de autoconfiança nas ações programadas, fazendo com que se realize de forma diferente ao procedimento escrito.

O estresse térmico também é um aspecto a ser considerado nessa pesquisa. Para cada uma das variáveis ambientais existem características que podem prejudicar a tarefa. O clima, principalmente a temperatura e a umidade ambiental, influi diretamente no desempenho do trabalhador, podendo causar um alto nível de estresse (IIDA, 2005). Por isso é necessário que o projetista, ou a gestão conheça as limitações dessas variáveis, podendo assim, tomar as medidas cabíveis para melhorar o ambiente de trabalho.

A urgência que se tem para iniciar uma atividade, pode acabar resultando na falta de planejamento no sistema operacional. Essa falta de planejamento pode resultar no descontrole do processo. Toda atividade planejada é descrita através de cadeias de processo, por isso, cada etapa deve receber o devido cuidado. Ávila (2004) informa que é comum surgir problemas no estabelecimento das rotinas. Esse autor classificou esses problemas em: estruturais - depende da tecnologia; metodológicos – depende do modo de trabalho; gerencial - depende de diretrizes ou decisões estabelecidas; e de fornecimento - variações nas quantidades e qualidade da matéria-prima e, também, do serviço recebido. A sintonia destes três componentes é decisiva para o bom desempenho da produção. O processo equilibrado é o estado ideal para corresponder o desempenho que a empresa tanto requer da produção na rotina de trabalho.

O estudo sobre análise das tarefas permite a elaboração de procedimentos mais detalhados e treinamentos mais eficazes que, por sua vez, permitirão aumentar a assertividade da tomada de decisão e do diagnóstico de falhas e perdas. A padronização da tarefa (1), os procedimentos operacionais (2) e a competência adequada (3), fazem parte desse estudo da análise da tarefa. A interação que ocorre entre o homem, a máquina e processo tem que ser conhecido entre todos que executam a atividade.

(1) Padronização da tarefa

Segundo Ungan (2006), o sistema de qualidade através da repetição de atividades e dos padrões estabelecidos possibilita a melhoria contínua e o melhor atendimento das necessidades dos clientes. A padronização garante a manutenção do domínio tecnológico da empresa, “tirando-a das cabeças das pessoas” e trazendo para conhecimento de “todos” (FLORÊNCIO; MACEDO, 2012). Pelo fato de contribuir para a diminuição da variabilidade dos processos de produção, a padronização desempenha importante papel no controle e na melhoria da qualidade nas empresas (POLO-REDONDO; CAMBRA-FIERRO, 2008). A padronização dos processos também complementa o mapeamento das atividades, fornecendo os detalhes a respeito da

operacionalização de cada atividade, definindo quem, onde, como, quando, por que e como (DRAGO; ARAÚJO, 2016).

Segundo Androniceanu (2017) a padronização não se limita ao estabelecimento do padrão, mas inclui também a forma com que é utilizado. A padronização de um procedimento operacional deve ser de forma clara, em uma linguagem na qual os usuários entendam os jargões da área e até mesmo gírias, quando for o caso (MELLO, 2002). É imprescindível a participação de quem realiza a tarefa a ser padronizada, uma vez que agindo desta forma, o colaborador se sentirá dono do processo, comprometendo-se com o processo e apagando a imagem de que a implantação do sistema de gestão da qualidade é uma imposição. Depois de analisados criticamente e aprovados, os usuários dos padrões devem ser treinados para assegurar sua utilização adequada (FLORÊNCIO; MACEDO, 2012).

Finalmente, para avaliar se os padrões estão sendo seguidos, devem ser programadas auditorias de qualidade, a fim de corrigir eventuais falhas ou aperfeiçoar o processo. Segundo Cerqueira (2006), dentro do projeto de implementação, manutenção e aprimoramento de um sistema de gestão, a atividade de auditoria é uma ferramenta fundamental. É por meio dela que se consegue avaliar se o sistema está conforme aos requisitos especificados. A padronização dos procedimentos assegura que processos de trabalhos iguais sejam realizados da mesma maneira, o que não quer dizer que devem ser feitos de igual modo indefinidamente (DRAGO; ARAÚJO, 2016; ANDRONICEANU, 2017).

(2) Procedimentos Operacionais

A qualidade de processos, produtos e serviços tem sido considerada elemento fundamental para a competitividade empresarial. As organizações devem concentrar esforços para atender as necessidades e tentar superar as expectativas consideradas importantes pelos clientes e garantir a conformidade com especificações em suas operações (ROSS, 2017).

Um Procedimento Operacional Padrão (POP) é um conjunto de instruções escritas que documentam uma atividade de rotina ou repetitiva seguida por uma organização. O desenvolvimento e uso de procedimentos são parte integrante de um sistema de qualidade bem-sucedido, pois fornece aos indivíduos a informação para realizar um trabalho corretamente e facilita a consistência na qualidade e integridade de um produto ou resultado final. Esse processo de uniformização garante que determinada função possa ser realizada sempre da mesma forma, o que auxilia o processo de controle de qualidade (CAMPOS et al., 2014).

A elaboração de um POP se fundamenta, basicamente, em fazer o mapeamento de um processo específico, contemplando todos os passos para sua realização. Para

isso, é indispensável o envolvimento dos responsáveis pela execução das tarefas, assim como a realização da análise de cada passo, a fim de verificar qual é o mais fácil e eficiente caminho a ser seguido (WOODIN KE., 2004).

Vale ressaltar que com passar dos anos é necessário revisar os procedimentos, identificar se a tecnologia mudou e se a equipe e a tarefa precisam de ajustes. Esta revisão agirá de forma preventiva, evitando que as variações do processo afetem a produtividade da planta industrial. Ávila (2004) cita que existem diversos fatores que provocam variações no processo e requisitam adequações no procedimento, tais como: novos e antigos operadores necessitando treinamento; novas exigências ambientais; vícios negativos; equipamentos antigos com perda de eficiência; mudanças nos métodos ou na equipe de manutenção; alteração meteorológica influenciando no perfil de temperatura da planta; mudança de fornecedor de matéria-prima e outros.

A uniformização dos procedimentos, conjuntamente com análise de melhoria e mudanças, permite que a organização alcance os padrões de desempenho projetados. Os procedimentos na rotina industrial são essenciais, quando estes não existem, ou são mal elaborados, ou até mesmo não estão em local de fácil acesso podem comprometer a segurança, a produtividade e o ambiente.

(3) Aspectos de competência da equipe

Com as mudanças no cenário competitivo, surge a necessidade de capacitar, constantemente, as equipes, desde o nível gerencial até o operacional, destacando a questão das competências. O desenvolvimento de competências possui um papel significativo na medida em que contribui para a formulação das pessoas (PIMENTA; BRASIL, 2006). Além disso, contribui também para a mudança de atitude em relação às práticas de trabalho, ou mesmo para a percepção da realidade, buscando agregar valor à organização.

Schoemaker e Jonker (2005) citam que nas organizações do cenário atual, o desenvolvimento e o uso das competências por parte dos indivíduos, são cruciais para remanescer no negócio e ser bem-sucedido. A organização e o indivíduo se tornaram mutuamente interdependentes e que, a fim de se movimentar, a organização se tornou dependente das competências dos colaboradores. Ao mesmo tempo, o indivíduo necessita da organização, uma comunidade do trabalho, a fim de desenvolver e usar suas competências. Portanto o relacionamento entre um indivíduo e a organização deve ser baseado na sintonia.

A discussão sobre competência é validada considerando a diversificação e a especialização das tarefas nos processos (ÁVILA et al., 2008). Com isso, a inclusão da gestão de competências é algo que tem evoluído e sendo inserida cada vez mais nas indústrias, principalmente, nos processos críticos. Esses autores também

citam que a transformação de experiências ou habilidades em conhecimentos se mostra reaplicada no meio produtivo e, conseqüentemente, modela os sistemas de alta produtividade.

Segundo Loufrani-Fedidas e Angué (2009), as competências individuais se constroem levando em conta os conhecimentos (saber) e as experiências práticas (saber-fazer e/ou saber-agir), sendo alicerçados pelo comportamento (saber-ser). No entanto, Ruas (2000) acredita que a competência não se reduz somente ao saber, tampouco ao saber-fazer, mas sim a sua capacidade de mobilizar e aplicar esses conhecimentos e capacidades em uma situação específica.

As pessoas podem conhecer métodos modernos de resolução de problemas e até mesmo terem desenvolvido habilidades relacionadas com a aplicação, mas podem não perceber o momento e o local adequados para aplicá-los na atividade (HIROTA; FORMOSO, 2003). Neste sentido, entende-se que a competência não é apenas um somatório de saberes, nem somente saber selecionar, dentro de um repertório de recursos, como conhecimentos, habilidades, qualidades, experiência, emoções e, dentre outros. Portanto, é necessário saber organizar esses elementos, pois muitos indivíduos, mesmo possuindo os recursos corretos, não sabem combiná-los para a ação, nos momentos em que isso é necessário (GUDANOWSKA; ALONSO; TÖRMÄNEN, 2018).

As características de formação de competência podem ter vários fatores influenciadores, positivos e negativos, tanto para a competência individual quanto para a competência coletiva (equipe). A indústria de ferroligas necessita de competências específicas em certas atividades. Algumas das atividades, envolvem altas temperaturas, força física e tomada de decisão, que requeira do operador habilidades especiais, processamento cognitivo e alto conhecimento para tomada de decisão.

Além das competências que o indivíduo “carrega”, existe a questão da realização das tarefas na indústria, que demanda competências técnicas específicas e comuns, além de competências subjetivas e sociais dos principais cargos destes setores. Entretanto, muitas vezes, a disponibilidade destas competências está escassa e depende de fatores de desempenho para ser transformada em ganho de produtividade.

Assim, entende-se que as organizações modernas buscam cada vez mais direcionar os investimentos no desenvolvimento humano, tanto do corpo gerencial como dos demais colaboradores, de modo que possam agregar valor para as pessoas e para a organização. A busca desse desenvolvimento no funcionário colabora para a manutenção e/ou ampliação de seu diferencial competitivo. Por isso, as organizações estão percebendo, cada vez mais, a necessidade de estimular e apoiar o contínuo desenvolvimento das pessoas, como a forma de manter suas vantagens competitivas (DUTRA, 2001).

Silva e Mello (2011) acrescentam, pontuando que, o sucesso no desenvolvimento da gestão por competências, também, está em reconhecer que, por ser uma abordagem com foco nas pessoas, se trata de um processo evolucionário com eventos planejados e espontâneos, que visam transformar comportamentos e atitudes, o que leva tempo e exige paciência ao longo das ações organizacionais do dia a dia.

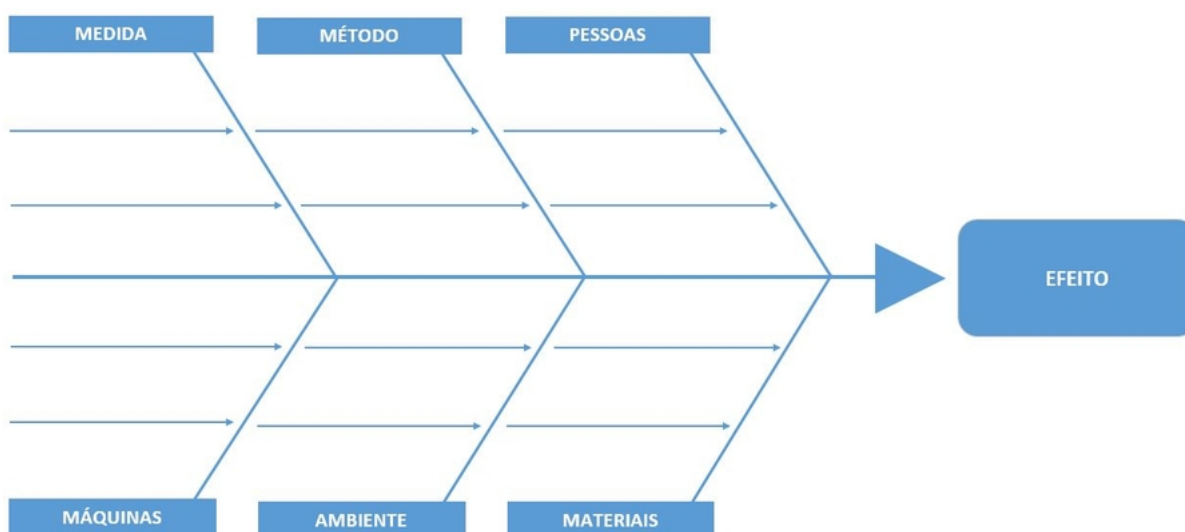
2.4.4 Diagrama de Causa e Efeito

A utilização do Diagrama de Causa e Efeito ou também conhecido por Diagrama de *Ishikawa* ou espinha de peixe, consiste na análise de fatores causais, que influenciam direta ou indiretamente no acontecimento de determinado problema (efeito). Esse diagrama demonstram as causas nas espinhas e o objetivo ou consequência surge na cabeça do peixe (C. MIGUEL, 2006). O diagrama foi desenvolvido para representar a relação entre o efeito e um elenco de possíveis causas, que podem contribuir para o resultado em questão (HAUSER, 2018).

O diagrama de causa e efeito é elaborado seguindo as etapas: determinar o problema a ser estudado (identificação do efeito); relatar sobre as possíveis causas e registrá-las no diagrama; construir o diagrama agrupando as causas em “6M”: mão de obra, método, matéria-prima, medida e meio ambiente (Figura 8); analisar o diagrama, a fim de identificar as causas verdadeiras; correção do problema. Entretanto, nem sempre a ferramenta do Diagrama de causa e efeito se mantém nesta forma de “6M”, podendo se adequar as causas reais do problema (C. MIGUEL, 2006).

O Diagrama de causa e efeito tem vários benefícios e é de fácil aplicação. Essa ferramenta contribui na investigação de problemas, mas não se presta à análise temporal. Caso a situação problemática seja complexa, cíclica, com eventos interligados, sua aplicação se torna inviável (ÁVILA, 2004).

Figura 8 – Modelo de Diagrama de Causa e Efeito



Fonte: Planilha disponível no site ExcelSolucao.com.br (Acesso em 3 de junho de 2018).

O Diagrama de Causa e Efeito nessa pesquisa surge de forma dinâmica e ajustável ao processo do estudo de caso. São extraídas das “causas” as variáveis influenciadoras na geração da perda crítica, sendo indicado como o “efeito”, o problema relacionado a perda crítica.

2.5 FERRAMENTAS PARA DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Neste trabalho também foi proposto a utilização de ferramentas na área de exatas: a escala Likert e a lógica fuzzy. A escala likert é considerada a escala de verificação mais utilizada em pesquisas que envolvam a opinião de pessoas. No entanto, o seu resultado só propõe uma estimativa baseada na percepção do entrevistado, que, muitas vezes, pode não representar o cenário real. Nesse tópico também abordaremos a lógica fuzzy, que é uma ferramenta de avaliação da incerteza. Essa ferramenta não necessita de modelos matemáticos para sua utilização, sendo ideal para problemas que não possuem banco de dados quantitativos. A aplicação conjunta dessas duas ferramentas (LI, 2013) pode gerar resultados mais confiáveis.

2.5.1 Escala de Mensuração

Após a utilização das ferramentas da qualidade para investigação das perdas, se faz necessário validar os dados e avaliar os resultados. Para validação dos dados coletados foi necessário a utilização de um modelo de escala de mensuração.

Para Costa (2011) uma escala de mensuração é composta por um conjunto de indicadores, uma escala de verificação e um conjunto de regras. Os indicadores são os elementos de conteúdo que asseguram a presença do conceito do construto na escala

de mensuração, ou seja, são as afirmações sobre determinado construto. A escala de verificação envolve os números que vêm associados aos indicadores para sua medição, são os níveis de concordância (1 até 5; 1 até 7; 1 até 10). As regras são as indicações para uso do instrumento, em termos de sua aplicação e interpretação, indicando nível de avaliação da questão (alta ou baixa importância) (SILVA JÚNIOR, 2014).

Existem vários tipos de escala de verificação, no entanto para este trabalho optou-se pela escala Likert, que é a mais utilizada para pesquisa de opinião. A grande vantagem da escala Likert é a facilidade de manuseio, pois é fácil um pesquisador emitir um grau de concordância sobre uma afirmação qualquer (COSTA, 2011).

2.5.1.1 Escala Likert

A escala Likert foi criada por Rensis Likert em 1932, é considerada a escala de verificação mais utilizada em situações que requisitam a pesquisa de opinião. Essa ferramenta é aplicada com base em um questionário e necessita da opinião de pessoas. Os entrevistados indicam seus níveis de concordância referentes à várias declarações no questionário (LI, 2013). A escala Likert original (LIKERT, 1932) utiliza cinco pontos e não menciona o uso de categorias de respostas alternativas na escala a ser utilizada. A escala de cinco pontos, por exemplo, pode ser nomeada de acordo com o nível de concordância, variando de discordância total até a concordância total. A nomeação dos pontos da escala dependerá do que será medido.

Existe outras escalas que apresentam mais de cinco pontos, representando uma escala de classificação, mas não configura como uma escala Likert original (VIEIRA; DALMORO, 2008). No entanto, existem classificações paralelas à classificação tradicional (Escala Likert de cinco pontos) que quando aplicadas seus resultados são satisfatório (JOSHI et al., 2015). Nesses casos, a escala com mais de cinco pontos se define como escala tipo Likert ,

A utilização da escala Likert, requer cuidados essenciais para o alcance de resultados satisfatórios, confiáveis e que permitam conclusões apropriadas (KRZYCH et al., 2018). A elaboração do questionário no formato escala likert necessita de muita atenção do pesquisador, devendo ter uma escrita clara e objetiva. As declarações no questionário devem estar coerentes e alinhadas com as alternativas de resposta (COLLINGS, 2006). Segundo Li (2013), uma escala Likert bem elaborada deve declarar a opinião, atitude ou crença. Por isso, a escala deve ser mensurada em termos claros e usar a redação apropriada para pontos de escala.

Para esta pesquisa, foi adotado o método da escala likert original, com cinco pontos. Além disso, para aplicação dessa escala, foi inserido regras, considerado nesse trabalho como “pesos”. Foram estabelecidos pesos para cada declaração criada no

questionário, estabelecendo assim um grau de importância maior ou menor com o problema estudado na pesquisa.

2.5.2 Lógica fuzzy

A lógica fuzzy faz parte da área da Inteligência Artificial (IA) no desenvolvimento de algoritmos de modelagem, elaboração de métodos e também para controle de processos. A lógica fuzzy é a lógica baseada na teoria dos conjuntos fuzzy, e foi desenvolvida pelo Dr. Lofti Zadeh em 1965 na Universidade da Califórnia/Berkeley (ZADEH, 1965). A lógica fuzzy pode ser chamada também de lógica nebulosa ou difusa. Essa ferramenta faz parte de uma teoria que envolve a experiência, a intuição, o conhecimento de especialista e a natureza imprecisa do processo decisório humano, através de um conjunto de regras ou heurísticas simples (NOGUEIRA, 2013).

Segundo Atanassov (2017) a lógica fuzzy permite a redução da complexidade de projeto e implementação, tornando-se a solução para problemas que não podem ser tratados por técnicas clássicas. Essa ferramenta fornece flexibilidade para o raciocínio e leva em conta a imprecisão, a subjetividade, a incerteza e a imprecisão (DERNONCOURT, 2013).

A lógica fuzzy, de forma geral, é aplicada quando se deseja incorporar ao sistema de controle a experiência de operadores humanos a respeito do processo a ser controlado (ATANASSOV, 2017). Dentre as vantagens da utilização da lógica fuzzy, pode-se citar (NOGUEIRA, 2013) :

- Similar ao mecanismo de raciocínio do ser humano, baseando-se em regras construídas por especialistas e na utilização de termos linguísticos, que facilitam a compreensão;
- Robusto em sistemas não-lineares, não necessitando de um modelo matemático para sua utilização;
- Modelagem de conhecimento de senso comum;
- Baixo custo de desenvolvimento e de manutenção;
- Comprime grandes quantidades de informações.

Portanto, fica entendido que informações difíceis de se quantificar e que não conseguem ser tratadas somente com o conceito da lógica binária, são indicadas para o tratamento pela lógica fuzzy. A lógica fuzzy possui aplicação em várias áreas, tais como: área de análise de dados (MORAES, 2008); área de modelagem computacional (BRAGA; MOITA, 2014); área de engenharia agrícola (PEREIRA et al., 2008); área

de testes de software (RABELO; MOITA, 2014), área de energias renováveis (VIEIRA et al., 2007); área de soluções para contratação de energia elétrica (RODRIGUES; BORGES; FALCÃO, 2007); área da análise de incertezas (PINTO et al., 2015); área de diagnósticos de falhas (CRUZ et al., 2015), dentre outras.

2.5.2.1 Sistemas de Inferência Fuzzy

A lógica fuzzy difere dos sistemas lógicos tradicionais em suas características e nos seus detalhes. Nos conjuntos tradicionais, um elemento ou pertence a um conjunto ou não, por exemplo:

Considerando um universo U e um elemento particular $x \in U$, o grau de pertinência $\mu_B(x)$ com respeito a um conjunto $B \subset U$ é dado por:

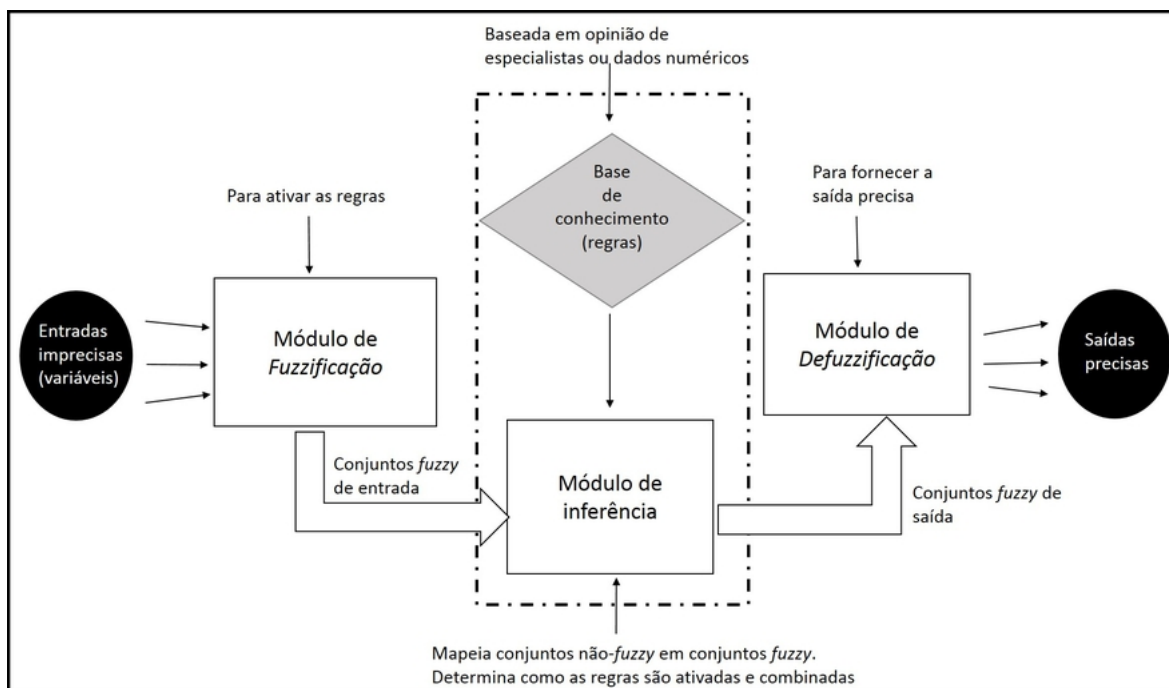
$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in B \\ 0, & \text{se } x \notin B \end{cases} \quad (2.2)$$

Com os conjuntos fuzzy o fator de pertinência pode assumir qualquer valor entre 0 e 1, sendo que o valor 0 indica uma completa exclusão e o valor 1 representa completa pertinência (ZADEH, 1965). A lógica difusa pode ser definida como a lógica que suporta modos de raciocínio aproximados, ao invés de exatos. Seguindo a caracterização anterior, os conjuntos fuzzy é demonstrado por:

$$\mu_B : U \rightarrow [0, 1] \quad (2.3)$$

Um Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) é composto pelo módulo de fuzzificação (1), módulo de inferência (2), módulo de defuzzificação (3), e de uma base de regras, conforme demonstra a Figura 9 (SANTOS, 2014b; WANG; XU; PEDRYCZ, 2017). Os sistemas fuzzy são sistemas capazes de processar eficientemente informações imprecisas e qualitativas. Segundo Rezende (2005) os sistemas de inferência fuzzy são indicados e adequados para processos que exigem tomadas de decisão baseadas em conhecimento e experiência sobre um determinado estado do processo ou da situação.

Figura 9 – Sistema de Inferência Fuzzy



Fonte: Adaptado de Santos (2014).

(1) Módulo de fuzzificação: é o módulo responsável pelo processo de transformar variáveis de entrada em valores nebulosos, que são descritos por graus de associação e suas funções difusas associadas (LI, 2013). O módulo de fuzzificação é o que modela matematicamente a informação das variáveis de entrada por meio de conjuntos fuzzy (RODRIGUES JUNIOR et al., 2016). O procedimento de fuzzificação resulta em um conjunto de valores difusos. Essa codificação é baseada no conhecimento do especialista (NOGUEIRA, 2013).

Simões e Shaw (2007) citam que a fuzzificação é um mapeamento do domínio de números reais (em geral discretos) para o domínio fuzzy, onde mapeia cada entrada de dados ao sistema, em uma ou mais funções de pertinência. Corrêa e Baéssa (2007) ressaltam que a fuzzificação é uma operação fundamental para o SIF, pois em grande parte das aplicações de lógica *fuzzy* os dados são numéricos, sendo necessário então fuzzificar estes em conjuntos *fuzzy*.

Para as variáveis de entrada são atribuídos valores lingüísticos, descrições vagas ou qualitativas, definidas por funções de pertinência. Esse processo acontece como um tipo de pré-processamento de categorias ou classes dos sinais de entrada, resultando na redução de número de valores a serem processados (SIMÕES; SHAW, 2007). Os autores explicam que, um conjunto numérico X é convertido em um conjunto *fuzzy* x por meio de um fuzzificador: $x = \text{fuzzificador}(X)$.

A estratégia de fuzzificação é definida a partir do tipo de inferência utilizado, e da base de conhecimento. A base de conhecimento é composta pela base de regras e base de dados (CORRÊA; BAÉSSA, 2007).

(2) Módulo de inferência: é o módulo responsável pela definição dos conceitos lógicos que serão utilizados para estabelecer a relação fuzzy que modela a base de regras. Sugeno (1985) classificou como principais métodos de inferência os que utilizam os controladores fuzzy do tipo SUGENO e do tipo MAMDANI. A escolha do controlador fuzzy é muito importante e deve ser analisada conforme características de cada um, e de acordo com os dados que serão inseridos (ANDRADE; JACQUES, 2008).

A ação de controle nos controladores MAMDANI e SUGENO é obtida por meio da definição de um conjunto de regras de controle fuzzy, isto é de um algoritmo fuzzy. Essas regras são do tipo GMP (*Generalized Modus Ponens*), e é apresentada com duas partes: antecedente e conseqüente (ANDRADE; JACQUES, 2008).

O controlador do tipo MAMDANI tem como base o trabalho pioneiro de Mamdani, publicado em 1973 (MAMDANI, 1973). No controlador MAMDANI são adotados métodos de decisão baseado em "If-Then" (Se - Então). No controlador MAMDANI, o antecedente e o conseqüente, referente as regras, são variáveis linguísticas, expressos por meio de conjuntos *fuzzy* (MAMDANI; ASSILIAN, 1975). Esses controladores convertem os valores quantitativos em qualitativos, e através de inferência, convertem em outros valores ainda qualitativos. O controlador Mamdani necessita do papel do defuzzificador para a resposta final quantitativa. Esse tipo de controlador é de fácil modelagem, podendo se basear na intuição (SUGENO, 1974). O controlador MANDANI pode ser expresso por:

Se x é B, então y é C

(3) Módulo de defuzzificação: é o módulo que converte um conjunto fuzzy para um valor escalar, gerando uma transformação de informações qualitativas em informações quantitativas. No módulo de defuzzificação, os resultados difusos da inferência são transformados em valores de saída, onde é realizada uma interpretação dessas informações (RODRIGUES JUNIOR et al., 2016; WANG; XU; PEDRYCZ, 2017).

Para reconhecimento das saídas é escolhido um método para defuzzificação. Cada método fornece respostas diferentes, sendo necessário a escolha do método conforme perfil de aplicação. Os métodos mais utilizados na defuzzificação são: método da média dos máximos e o método do centroide (MINUSSI, 2009). O método do centroide calcula para um conjunto fuzzy de saída, a abscissa (no universo de discurso definido para a variável de saída em questão) do ponto do centro de massa correspondente. O método da média dos máximos calcula o valor numérico da saída correspondente ao ponto do universo de discurso que corresponde à média dos pontos

de máximos locais da função de pertinência do conjunto de saída produzida pelo processo de inferência (NOGUEIRA, 2013).

Além desses itens abordados, um sistema de inferência fuzzy precisa estabelecer suas variáveis linguísticas (variáveis de entradas (A) e suas qualificações, rótulos linguísticos), determinar a função de pertinência das variáveis de entradas, e elaborar as regras fuzzy para o sistema (base de conhecimento).

2.5.2.2 Variáveis linguísticas

Para expressar conceitos, é comum o uso de elementos qualitativos ao invés de elementos quantitativos. Essas ideias são capturadas pela definição da variável linguística. Zadeh (1965) definiu formalmente os conjuntos fuzzy, suas propriedades e operações algébricas e, só depois, introduziu o conceito das variáveis linguísticas. Uma variável linguística é uma expressão utilizada para representar de modo impreciso e linguístico um conceito ou uma variável de um dado problema. Em geral, uma variável linguística é associada a um conjunto de termos, no qual cada termo é definido no mesmo universo de discurso (REZENDE, 2005; ZADEH, 1965).

Simões e Shaw (2007) explicam que uma variável linguística x em um universo de discurso U é definida em um conjunto de termos, nomes ou rótulos $T(x)$, com cada valor sendo um número fuzzy (função de pertinência) definido em U . A função principal das variáveis linguísticas é fornecer uma maneira sistemática para uma caracterização aproximada de fenômenos complexos, incertos ou mal definidos (NOGUEIRA, 2013).

A caracterização das variáveis linguísticas pode ser tanto qualitativa, quando expressas pelo valor subjetivo e vago, quanto quantitativa, quando expressas pelo valor de pertinência. A utilização de um tipo de descrição linguística, e não de variáveis quantificadas, permite o tratamento de sistemas que são muito complexos.

Como exemplo, pode-se citar a representação da temperatura como variável linguística. A temperatura, no exemplo, pode assumir os rótulos (termos linguísticos) como: baixa (B), média (M), alta (A). No entanto, para atribuir significado aos termos linguísticos, deve-se associar cada um deles a um conjunto fuzzy, sobre um mesmo universo de discurso e definido com base em opinião dos especialistas, ou em alguns casos com base na intuição (ATANASSOV, 2017; RODRIGUES JUNIOR et al., 2016).

2.5.2.3 Funções de pertinência

A função de pertinência é uma função numérica gráfica ou tabulada que atribui valores de pertinência fuzzy para os valores discretos de uma variável de entrada em seu universo de discurso (SIMÕES; SHAW, 2007). Nogueira (2013) informa que a pertinência nos conjuntos fuzzy é gradual, diferentemente, do que acontece com os

conjuntos da teoria clássica, denominada conjuntos crisp. Nos conjuntos da teoria clássica a pertinência assume apenas dois resultados: compatível ou incompatível. Simões e Shaw (2007) explicam que as funções de pertinência fuzzy representam os aspectos fundamentais de todas as ações teóricas e práticas de sistemas fuzzy.

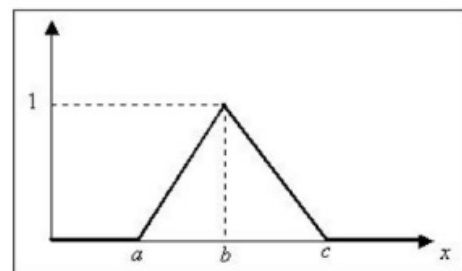
As funções de pertinência são funções contínuas. Podem ter diferentes formas, no entanto, as mais comuns são as funções triangulares, trapezoidais, gaussianas e exponenciais (MINUSSI, 2009).

Os conjuntos fuzzy em forma triangular são convencionalmente utilizados em modelos de engenharia. A forma trapezoidal é utilizada muitas vezes para mapear funções de pertinência nos domínios extremos, enquanto a forma triangular atua nas regiões intermediárias destes mesmos domínios (CANEPPELE, 2011). Entre essas, a mais utilizada são as funções de associação triangular. Essa função é a mais aplicada, devido à sua simplicidade e sua efetividades nos resultados, bem como muitas outras vantagens (WANG; XU; PEDRYCZ, 2017; BARUA; MUDUNURI; KOSHELEVA, 2013; PEDRYCZ, 1994).

As funções de pertinência triangulares são caracterizadas por uma terna (a, b, c), onde a, b e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume. O gráfico de um número fuzzy triangular tem a forma de um triângulo, tendo como base o intervalo [a,c], tendo como único vértice fora da base, o ponto (b,1) (Figura 10). Deste modo, os números reais a, b e c definem o número fuzzy triangular, sendo demonstrada conforme fórmula (BARROS; SOUZA; AMENDOLA, 2005):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b < x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (2.4)$$

Figura 10 – Gráfico da função de pertinência triangular



Fonte: Santos (2014).

2.5.2.4 Base de Conhecimento: Regras

O conhecimento em um sistema de inferência fuzzy é armazenado, em geral, na forma de regras (NOGUEIRA, 2013). Cada regra é representada por uma relação fuzzy. O sistema se comportará conforme resultados do conjunto dessas relações fuzzy. No entanto, o sistema no final é representado por uma única relação fuzzy- correspondente a combinação de todas as relações fuzzy (ATANASSOV, 2017).

Em um sistema fuzzy deve-se elaborar quantas regras forem necessárias para mapear as combinações dos termos das variáveis. Por isso, deve-se ter uma quantidade de regras mínima para o bom funcionamento do sistema fuzzy. Cabrera et al. (2003) cita que número total de regras (R) depende do número de entradas do controlador (p) e do número de conjuntos difuso (n) de cada entrada:

$$R = n^p \quad (2.5)$$

As regras devem ser baseadas no conhecimento e expectativa do projetista sendo que cada uma delas demanda uma ação de controle. A ordem em que são dispostas as regras não afeta o resultado, pois elas são declarativas e não sequenciais (NOGUEIRA, 2013).

As regras quando adicionadas no sistema fuzzy são compostas por duas partes: antecedente e conseqüente (RODRIGUES JUNIOR et al., 2016). A parte antecedente descreve uma condição e define uma região fuzzy no espaço das variáveis de entrada do sistema. A parte conseqüente que determina o processamento da outra parte. Esse processamento é chamado de “disparo da regra”, e acontece através de um mecanismo de inferência fuzzy (NOGUEIRA, 2013). Já a parte conseqüente descreve uma conclusão ou ação a ser tomada, além de descrever uma região no espaço das variáveis de saída do sistema (RODRIGUES JUNIOR et al., 2016). A parte conseqüente é composta por um conjunto de ações, resultante do “disparo da regra” (NOGUEIRA, 2013).

Segundo Atanassov (2017) a construção da base de regras é uma etapa muito importante, e deve envolver: a correta escolha das variáveis linguísticas; a seleção do formato das regras condicionais; a seleção dos termos associados a cada variável linguística e; a síntese do conjunto de regras.

Na elaboração das regras, podem-se adotar operações de agregação. Zadeh (1965) propôs as operações de agregação básicas que ocorrem entre conjuntos fuzzy, sendo elas (SANTOS, 2014b):

- União: a união de dois conjuntos fuzzy A e B podem ser representadas por $A \cup B$ ou por $A + B$. O operador união corresponde ao conectivo “OU”. A união entre esses conjuntos fuzzy possui função de pertinência definida por:

$$\mu_{A \cup B} = \max[\mu_A, \mu_B] \quad (2.6)$$

- Complemento: O operador complemento corresponde ao conectivo “NÃO”, o complemento de um conjunto fuzzy A possui função de pertinência dada por:

$$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A \quad (2.7)$$

- Interseção: a interseção entre os conjuntos fuzzy A e B pode ser representada por $A \cap B$ ou por $A \cdot B$. A interseção corresponde ao conectivo “E” Tal operação resulta na função de pertinência dada por:

$$\mu_{A \cap B} = \min[\mu_A, \mu_B] \quad (2.8)$$

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria metalúrgica com produção de ferroligas é um setor promissor no Brasil, com recursos abundantes por todo o país. No entanto, verifica-se também que é um setor com altos índices de geração de resíduos e de perdas nos processos, tais como: os resíduos materiais, a energia e a água. A crise econômica aliada aos altos custos, demandam cada vez mais melhorias no setor de ferroligas.

Neste trabalho foram abordados os conceitos e exemplificações de algumas perdas de processo na indústria de ferroligas. As oportunidades de redução das perdas em um processo não só auxiliam na redução dos custos operacionais, como também auxiliam na redução dos impactos ambientais. A revisão bibliográfica referente à “Perdas de processos industriais” foi responsável pela apresentação dos tipos de perdas, classificadas para este estudo, como as principais para a investigação, tais como: as perdas materiais e as perdas de energia. Essas perdas provocam retrabalhos, gastos desnecessários, custos com armazenamento de produtos e custos com a disposição final dos resíduos.

Para a condução da investigação deste trabalho, foi necessária também a apresentação de algumas ferramentas da qualidade, da estatística e da área computacional. A utilização conjunta dessas ferramentas propõe uma maior confiabilidade do resultado. Por fim, esse capítulo realça o dever de avaliar as melhores maneiras para reduzir as perdas, eliminar processos/tarefas desnecessárias e identificar os problemas na produção associados à perdas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 INTRODUÇÃO

O saber investigar é um fator fundamental para o estudo e viabilidade de melhorias na indústria. Os relatórios, as técnicas, os mapas, os fluxos de processos e ferramentas servem para embasar a análise, auxiliando na condução da investigação. Por isso, construir um roteiro de investigação bem definido é essencial no avanço das etapas de um projeto.

Pelissari, Gonzalez e Vanalle (2011) destacam que a pesquisa bibliográfica diz respeito ao conjunto de conhecimentos reunidos em livros e que visa conduzir o leitor a determinado assunto, além de conduzir à produção, reprodução, utilização e comunicação das informações coletadas para o desempenho da pesquisa. Além de um bom roteiro de estudo, deve-se entender a prática desses conteúdos na rotina da indústria.

Segundo Terence e Escrivão Filho (2006), o pesquisador pode usufruir dos métodos quantitativos e qualitativos, tendo, de um lado, a vantagem de poder explicar em detalhes os passos de sua pesquisa e, de outro, a oportunidade de prevenir e minimizar a sua subjetividade frente aos dados encontrados. A utilização das ferramentas nessa pesquisa, também foram importantes para validação dos resultados, fazendo com que, as abordagens quantitativa e qualitativa se completem na evolução do projeto

Nesse capítulo são apresentados um breve contexto da empresa do estudo de caso, e a metodologia proposta para esse estudo de caso. A empresa envolvida no estudo de caso faz parte do setor metalúrgico, com produção de ferroligas. A metodologia da pesquisa é embasada em contexto teórico da área metalúrgica e em pesquisa de campo. O contexto teórico é composto de uma revisão bibliográfica, envolvendo: pesquisas, artigos, monografias, teses, dissertações, livros, relatórios técnicos e sites da área (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE- FEAM, 2010; ZAMBRANO et al., 2009; KRUGER, 2009; SHAY, 2015; ÁVILA et al., 2008; KURDVE et al., 2015; LI, 2013; CANEPPELE, 2011). A parte prática é realizada através da coleta de dados, envolvendo visitas técnicas, entrevistas e aplicação de formulários e questionários. Vale ressaltar que foi estabelecido um acordo de confidencialidade com a empresa, onde existiram limites quanto ao uso de dados reais e sobre a apresentação dos resultados.

3.2 ESTUDO DE CASO: CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA

Esta pesquisa foi realizada em uma indústria metalúrgica com produção de ferroligas, com instalações no Brasil. Embora seja um caso real o nome da empresa será citado como Alfa e a localização será preservada em sigilo. A Indústria Alfa possui participação no mercado nacional e internacional de ferroligas, fornecendo principalmente insumos para indústria siderúrgica de aços especiais.

A indústria Alfa é de grande porte e tem mais de 30 anos no mercado, resultando em um aumento da confiabilidade frente aos investidores. Essa indústria investe em programas educativos e culturais na comunidade instalada, como, também, respeita as questões da sustentabilidade, que fortalece a credibilidade com os clientes e moradores locais.

Para o alcance de soluções mais limpas já são propostas medidas preventivas ambientais nesta indústria, tais como: filtro de manga com capacidade para mais de $300.000 \text{ m}^3/h$; a comercialização da brita, originada da escória; projetos de reflorestamento e investimento em equipamentos de controle ambiental e; tratamento de efluente. Entretanto, sempre é necessário identificar melhorias ou novas oportunidades para reduzir o impacto ambiental nas indústrias, como a questão dos resíduos, que influenciam diretamente nos custos.

A partir do processamento das ferroligas, se produz alguns resíduos, como a escória e finos da escória, onde uma parte se comercializa, e outra retorna para o processo, ou podem ficar armazenadas em grandes aterros. Esse ciclo de comercialização e retorno para o próprio processo, torna o processo mais sustentável, mas não suficientemente limpo. Os resíduos, como é definida as perdas para este estudo, é tudo que não tem funcionalidade econômica e nem social na indústria, e acarreta custos desnecessários e impactos no ambiente.

A metodologia proposta é aplicada na área operacional da produção de ferroligas, que contempla no sistema de operação: equipamento, operador e tarefa. A área geral da indústria é composta por duas fábricas: fábrica X e a fábrica Y, onde são produzidas ferroligas distintas. Essa área industrial apresenta algumas operações auxiliares em comum, tais como: área de britagem; setor de recuperação de escória; área de armazenamento de liga; área de logística; área de manutenção, dentre outras.

A área operacional, em ambas as fábricas, é onde ocorre as principais atividades para produção de ferroligas, envolvendo desde o “vazamento da liga” até a preparação do produto para o cliente. Para escolha da fábrica de atuação da pesquisa, foram realizadas reuniões preliminares antes da inicialização do projeto. Os motivos mais relevantes para esta decisão foi o faturamento das fábricas e a importância econômica do produto. Analisando esses fatores, a pesquisa foi realizada na fábrica X. A fábrica

X possui um processo de produção de ferroligas economicamente mais ativo, sendo responsável pela maior parte do faturamento da empresa.

3.3 METODOLOGIA DO TRABALHO

A elaboração da metodologia foi baseada em contextos da área da produção de ferroligas e na pesquisa de campo. A parte de conceitos se baseou no estudo da indústria de ferroligas, seus processos e tecnologias. A parte de pesquisa de campo foi baseada em entrevistas, visitas realizadas nas áreas, com aplicação de questionários e roteiros de entrevistas. A metodologia do trabalho foi dividida em cinco etapas (Figura 11), com início no final do ano de 2016 e finalizada em 2018.

Figura 11 – Metodologia de trabalho na indústria Alfa



Fonte: Autor (2016).

3.3.1 Análise do processo geral

A primeira etapa se iniciou com o estudo do processo de produção de ferroligas. Para esse estudo foram utilizados manuais de operação da unidade com pesquisas bibliográficas de indústrias de ferroligas. Nessa etapa foram discutidos sobre os pro-

duto, tecnologia e os processos existentes na fábrica X. Além disso, foram avaliados inicialmente os ambientes críticos dessa fábrica.

As reuniões aconteceram de forma programada no final do ano de 2016, sendo uma reunião com a gerência (ambiental e de produção) e com coordenadores da produção, e três reuniões com o engenheiro ambiental. As reuniões foram realizadas em forma de entrevistas, visando ampliar a discussão sobre as áreas críticas e a relevância das perdas nos setores (APÊNDICE A). As reuniões aconteceram na própria sede administrativa da fábrica. Essa análise do processo permitiu o conhecimento amplo do funcionamento da fábrica X.

3.3.2 Coleta de dados

A etapa de coleta de dados foi realizada através de visitas à área operacional e aos setores auxiliares da fábrica X. Para cumprimento dessa etapa foram necessárias dez visitas operacionais, distribuídas em três meses. As visitas foram acompanhadas em um determinado momento pelo engenheiro ambiental e em outro momento pelo coordenador de produção. Essa etapa teve os objetivos de realizar o acompanhamento dos processos, para reconhecimento e avaliação das áreas da fábrica X, e realizar o mapeamento das perdas, para identificação das perdas e seus principais problemas em uma área do estudo.

Acompanhamento de processos

O acompanhamento da rotina dos processos agrega conhecimento técnico ao conhecimento teórico, permitindo verificar a real necessidade e efetividade dos processos. Nessa etapa se inicia o reconhecimento do processo na prática, identificando aspectos e fatores relevantes a serem considerados nas próximas etapas. O acompanhamento dos processos foram realizados durante a rotina operacional normal. Essa etapa da coleta de dados foi orientada pelo engenheiro ambiental e pelo coordenador de produção, sendo realizada em dias diferentes, totalizando oito visitas.

Para auxiliar nessa etapa foram consultados os procedimentos dos processos, e logo após foram esclarecidas algumas dúvidas sobre o funcionamento das áreas. Em seguida, prosseguiu-se para a observação no “chão da fábrica”, onde foi verificado os processos na prática. O acompanhamento de processos resultou na comparação das informações dos procedimentos formais com as informações obtidas nas rondas do acompanhamento.

Mapeamento de perdas

O mapeamento de perdas foi utilizado para identificar e localizar as perdas, realizando sua priorização conforme os aspectos de impacto, frequência e urgência. No mapeamento, a perda foi relacionada ao seu principal problema operacional ou às

falhas que ocorrem na tarefa e que resultam em sua maior geração.

O mapeamento de perdas foi importante na metodologia, devido a ausência de um banco de dados sobre perdas, com informações qualitativas e quantitativas. O levantamento de dados para o mapeamento foi baseado em entrevistas com o engenheiro ambiental, realizado em duas reuniões. Para registro das informações, o mapeamento foi elaborado por meio de uma planilha com as perguntas sobre os tipos de perdas, sua localização, observações e dentre outras questões (Quadro 1). O engenheiro ambiental indicou as principais perdas e as qualificou, conforme escala de avaliação apresentada no tópico 2.4.2 do Capítulo 2. A função da escala é pontuar e qualificar: o impacto que a perda gera economicamente, ambientalmente e para a sociedade (inclusive possíveis acidentes); sua frequência de ocorrência no processo e; sua urgência em aplicar uma ação de controle.

Quadro 1 – Modelo de Mapeamento de Perdas

MAPEAMENTO DE PERDAS- FÁBRICA X												
Classificação de perdas	Tipo de resíduos	Perdas	Problema relacionado	Comunicação Programa de ação	Local (Área)	Frequência (F)	IMPACTO (I)			Urgência de ação (U)	Total (T) T = F x I x U	Prioridade
							Social (s)	Ambiental (a)	Econômico (e)			
							$I = (s+a+e)/3$					

Fonte: Autor (2017).

A escolha da perda crítica consistiu em pontuar as perdas em uma escala de pontos de 1 a 3 para os aspectos de impacto, de frequência e de urgência. A perda crítica é a perda com maior pontuação, levando em consideração esses aspectos do mapeamento. A escala de avaliação dos aspectos e a planilha do mapeamento foram validadas, anteriormente, pelo engenheiro ambiental, via e-mail.

Os fatores de investimento, esforço operacional e mudança cultural foram colocados em pauta no momento da decisão da perda crítica. O investimento que seria requisitado por uma mudança na operação ou na aquisição de uma nova tecnologia, e o esforço que seria demandado da empresa, foram fatores importantes na validação da escolha da perda. Esses fatores poderiam comprometer o avanço do projeto, devido às limitações da empresa.

3.3.3 Análise do sistema operacional

A etapa de análise do sistema operacional aborda o posto de trabalho onde é gerado a perda crítica. A análise inicia na observação dos componentes da estação de trabalho, como o *layout*, a dinâmica da tarefa, observação dos operadores antes, durante e após a execução da tarefa. Por isso, essa etapa foi dividida em três partes: Análise do sistema em geral; Análise do posto de trabalho e da tarefa e; Identi-

ficação das variáveis críticas. Essa etapa da pesquisa durou em torno de três meses para ser concluída.

Análise do sistema geral

Para essa primeira parte foi elaborado um balanço de massa, conforme entradas e saídas gerais desse processo. O balanço de massa foi realizado para validação da proporção da perda existente naquela área operacional. Existem diversos programas que realizam o balanço de massa, mas para este projeto foi simulado no programa STAN. O STAN (abreviação de *subSTance flow ANalysis*) é utilizado para análise de fluxo de material. Esse programa tem a possibilidade de considerar incertezas de dados. O algoritmo de cálculo utiliza ferramentas estatísticas matemáticas, como reconciliação de dados, propagação de erros e detecção de erros grosseiros. O acesso desse programa foi pela universidade, na sala do coordenador da pesquisa, o prof. Dr Ávila.

O banco de dados para desdobramento do balanço de massa não estava completo, devido a falta de registros de quantificação desses dados na empresa. Por isso, foi realizada uma entrevista com o coordenador da área de produção, onde pôde-se obter informações importantes para o fechamento desses valores. Essa entrevista ocorreu por contato telefônico, e através de um formulário com perguntas já estabelecidas e respostas abertas (APÊNDICE B).

Análise do posto de trabalho e da tarefa

Uma tarefa clara e objetiva torna as atividades mais produtivas e com menor probabilidade de erros. Nessa etapa, o posto de trabalho, onde é gerada a perda crítica, foi analisado e mapeado, conforme suas atividades. Para isso, foi realizada a verificação dos procedimentos específicos, o acompanhamento das atividades presencialmente e entrevistas ao coordenador e supervisor da produção (APÊNDICE C).

O tempo disponível e a aptidão dos operadores para execução da tarefa onde ocorre a falha foram observados através do acompanhamento da tarefa. Esse acompanhamento resultou no conhecimento do posto de trabalho, no sequenciamento da tarefa e, na identificação e classificação das principais atividades desse processo. A análise do posto de trabalho e da tarefa demandaram cinco dias de visitas.

Identificação das variáveis críticas

A identificação de variáveis que influenciam na perda crítica, está diretamente associada as falhas que acontecem na tarefa. Com isso, pode-se definir, para este trabalho, os problemas que estão associados a uma maior geração da perda crítica, como um evento de falha.

O objetivo dessa etapa é identificar as principais variáveis que influenciam para

a tarefa falhar, e então gerar mais a perda crítica. Para isso, foi utilizado a ferramenta do Diagrama de causa e efeito. O “efeito” será o problema relacionado à perda crítica e as causas serão denominadas como variáveis influenciadoras no final. A aplicação dessa ferramenta foi baseada na observação do pesquisador durante o acompanhamento da tarefa no posto de trabalho, conjuntamente com entrevistas informais com os operadores da tarefa e com o coordenador da produção.

3.3.4 Desenvolvimento do modelo

Destaca-se que um modelo não é uma substituição da realidade, mas um veículo para uma visão bem estruturada desta realidade. Logo, todo modelo possui suas simplificações, e portanto limitações relacionadas a sua capacidade de representação do fenômeno. Pode-se então, definir modelos como representações da realidade que preservam, para determinadas situações e enfoques, uma equivalência adequada (GOLDBARG; LUNA, 2005).

O modelo em seu processo de tradução contextual deve ser capaz de identificar os elementos fundamentais da questão e transportá-los para uma representação capaz de ser manipulada por artificios ou métodos de solução. Sabendo disso, a etapa do desenvolvimento de um modelo representa a realidade do cenário crítico, e representa o método que será utilizado como procedimentos para calcular as pertinências das variáveis nesse processo.

No modelo proposto foram apresentadas duas formas de calcular o Índice de falha nessa tarefa (IFT), conforme dados coletados. A primeira forma utilizou um questionário na metodologia da escala Likert e a segunda forma foi através da metodologia da lógica *fuzzy*. Utilizou-se a escala Likert para avaliar as variáveis conforme percepção dos operadores, e para avaliar as variáveis conforme percepção da gerência, foi utilizada a lógica *fuzzy*. Com aplicação dessas ferramentas foi possível realizar um “confronto” entre a opinião dos operadores e a opinião da parte gerencial sobre a autenticidade dos resultados. Essa avaliação dos resultados entre Escala Likert e a Lógica *fuzzy* permitiu a validação do resultado final.

1) Escala Likert

Para aplicação do questionário baseado na metodologia Likert foi utilizado o método estatístico do censo. O censo é indicado quando a população é pequena, ou quando o tamanho da amostra é grande em relação ao da população; quando se exige o resultado mais exato possível; e também quando já se dispõe dos dados da população (BRACARENSE, 2012). O método censitário foi utilizado também devido

a pesquisa possuir tempo e recursos disponíveis para aplicação em todos da população alvo.

Para esse estudo, foi definido uma estratégia de população alvo. Essa população alvo correspondeu a um pequeno grupo de 20 operadores. A delimitação dessa população foi estabelecida por um tipo de função do operador. O perfil pertencente a este grupo de análise foram os operadores responsáveis pela tarefa onde ocorre a perda crítica. Os operadores envolvidos nessa coleta de dados são referentes à operadores que estavam em atividade durante o primeiro semestre do ano de 2017.

Elaboração do Questionário

Para verificar a influência das variáveis críticas nos componentes do sistema operacional, foi fundamental estabelecer um instrumento de pesquisa para coletar e analisar as informações. Para essa análise das informações, foi utilizado como instrumento de coleta de dados, o questionário na metodologia da escala Likert. A metodologia da escala Likert utilizada foi a original, com uma escala de 1 a 5 pontos. Nessa escala foi utilizado pesos para cada declaração do questionário, onde esses valores dos pesos foram dados de acordo a importância da declaração. A pontuação dos pesos variam de um a cinco (1-5). Os valores da escala Likert e dos pesos para este trabalho são apresentados na Quadro 2. As declarações e os pesos foram validados pelo coordenador de produção.

Quadro 2 – Pontuação para a escala de Mensuração do estudo de caso

Escala de Mensuração									
Escala de verificação: Escala Likert					Regras (pesos)				
1-Discordo Plenamente	2- Discordo	3-Não Concordo e nem Discordo	4-Concordo Parcialmente	5-Concordo Totalmente	1- Nenhuma importância da variável	2- Baixa importância da variável	3-Alguma importância da variável	4-Média importância da variável	5-Alta importância da variável

Fonte: Autor (2017).

O questionário foi dividido em três blocos. Cada bloco do questionário se referiu a uma variável crítica, identificadas através do Diagrama de causa e efeito. As declarações do questionário foram baseadas na tarefa que ocorre a geração da perda e, nas principais atividades que podem influenciar para a tarefa falhar, e consequentemente, geram mais perdas.

No geral, o questionário foi estruturado com questões sobre: o posto de trabalho, onde o operador está inserido; as dificuldades encontradas na rotina, o suporte oferecido pela empresa; questões que indicam as habilidades, percepção e experiência.

A metodologia de aplicação do questionário ocorreu de forma programada e com apoio do coordenador de produção e da assistente de produção. No período da aplicação, os turnos estavam funcionando em cinco letras (M, N, O, P, Q). Cada letra

possui 8 (oito) operadores, onde são separados em quatro duplas para a execução da tarefa. Na formação das duplas, um operador é o responsável pela tarefa e o outro é o auxiliar da tarefa. Sabendo disso, pôde-se montar uma estratégia de aplicação dos questionários. Essa estratégia envolveu somente o “operador responsável” pela dupla, delimitando assim a população alvo da pesquisa. A aplicação do questionário foi feita à toda população alvo, ou seja, nos 20 (vinte) operadores que são responsáveis pela tarefa, ou também conhecidos como “fornheiro”. Os questionários foram aplicados em todas as letras, mas não, necessariamente em todos os turnos. Devido à dificuldade de acesso aos turnos da noite e madrugada, as entrevistas sempre ocorreram nos turnos da manhã e da tarde, exatamente entre 9h às 12h, e entre 14h às 16h.

Para aumentar a confiabilidade das respostas, os questionários foram aplicados em uma dinâmica de entrevista individual. As entrevistas foram realizadas em uma sala administrativa, no prédio de descanso dos operadores. Essa sala era climatizada, com uma mesa e cadeiras. O ambiente privativo e confortável tinha o objetivo de aproximar o entrevistador do operador. Esta técnica de aproximação favorece o aumento de confiança do operador para com o entrevistador.

No início de cada entrevista foi apresentado o objetivo da pesquisa. Com intuito de obter melhores respostas foi admitido como objetivo da entrevista: “Identificar oportunidades e melhorias no posto de trabalho e na tarefa”. Foi esclarecido na entrevista que a pesquisa não possuía vínculos financeiros com a empresa, como também, o pesquisador e nem a UFBA tinha qualquer vínculo de consultoria com a empresa, deixando claro a intenção do trabalho voluntário para identificação de oportunidades e melhorias no posto de trabalho.

Essa coleta de informações, utilizou uma linguagem de fácil entendimento, que funcionou de forma flexível, objetivando o máximo de informações sobre os acontecimentos normais e anormais da rotina. Desta forma, a aplicação do questionário, conjuntamente com a entrevista, tinha o objetivo de reconhecer atitudes, equipamentos, atividades ou comportamentos que possam dificultar a tarefa e, conseqüentemente, que agravem a perda.

Método de cálculo para avaliar a influência das variáveis críticas e o índice de falha na tarefa

Após a elaboração das declarações e estabelecidos seus pesos, o questionário seguiu para os respondentes. As declarações foram elaboradas objetivando o estado ideal do processo, ou seja, a influência da variável para não ocorrência da falha, sendo estabelecido a seguinte equação:

$$IIT_{variavel} = \left(\frac{\sum VPR_v}{\sum VPM_v} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Sendo,

$IIT_{variavel}$ = Índice de Influência na Tarefa por variável

VPR_v = Valor Ponderado Real por variável

VPM_v = Valor ponderado máximo atingido por variável

Para avaliar a influência que cada variável exerce para ocorrência da falha na tarefa ($IIFT_{variavel}$), foi estabelecida a seguinte equação:

$$IIFT_{variavel} = \left(1 - \left(\frac{\sum VPR_v}{\sum VPM_v} \right) \right) \times 100 \quad (3.2)$$

Vale ressaltar que nestas duas equações, tanto para encontrar o $IIT_{variavel}$, quanto para encontrar o $IIFT_{variavel}$ são utilizados os mesmos componentes (VPR_v e VPM_v) na equação. A diferença entre elas, somente está na inclusão do número 1 na equação $IIFT_{variavel}$, pois se refere ao valor negativo que a variável representa para ocorrência da falha na tarefa.

Para calcular o VPR_v é realizada a multiplicação da pontuação da declaração pelo peso da declaração aplicado em todos os respondentes do questionário. Para calcular o VPM_v , utiliza-se o número de declarações por variável (D_v); o número de entrevistados (N); a pontuação máxima atingida por declaração (PM_d) e a pontuação máxima atingida por peso (PM_p), estabelecendo assim a seguinte equação:

$$VPM_v = D_v \times (N \times (PM_d \times PM_p)) \quad (3.3)$$

O Índice de Falha na Tarefa é a resultante da influência das três variáveis para ocorrência da falha. Para calcular o Índice de Falha na Tarefa (IFT) foi considerado a seguinte equação:

$$IFT = \left(1 - \left(\frac{VPR_t}{VPM_t} \right) \right) \times 100 \quad (3.4)$$

Sendo,

IFT = Índice de Falha na Tarefa

VPR_t = Valor ponderado real total

VPM_t = Valor ponderado máximo atingido total

No cálculo do VPR_t é considerado o somatório do resultado do Valor Ponderado Real por variável (VPR_v), por exemplo: $\Sigma VPR_{v1} + \Sigma VPR_{v2} + \dots + \Sigma VPR_{vn}$. Para o VPM_t o cálculo é feito através do somatório do resultado do Valor Ponderado Máximo atingido por variável (VPM_v), por exemplo: $\Sigma VPM_{v1} + \Sigma VPM_{v2} + \dots + \Sigma VPM_{vn}$.

Essas duas formas de analisar a influência para ocorrência ou não da falha na tarefa, demonstram importantes indicadores:

- Quanto maior for o $IIT_{variavel}$, menor será o Índice de Falha na Tarefa (IFT) ou,
- Quanto maior for o $IIFT_{variavel}$, maior será o Índice de Falha na Tarefa (IFT)

2) **Lógica Fuzzy**

Aplicação da Lógica Fuzzy no Matlab

Um dos softwares mais conhecidos e utilizados é o MATLAB, que utiliza uma linguagem de alto desempenho para computação técnica. Ele integra computação, visualização e programação em um ambiente acessível, onde problemas e soluções são expressos em notação matemática familiar. Os usos típicos incluem matemática, computação desenvolvimento de algoritmos, modelagem, simulação, prototipagem, análise de dados, exploração e visualização de gráficos científicos e de engenharia.

O software Matlab apresenta o *Fuzzy Logic Toolbox*, ferramenta usada para analisar, projetar e simular sistemas baseados em lógica *fuzzy*. Essa ferramenta permite criar e editar sistemas *fuzzy* de inferência no Matlab (RODRIGUES JUNIOR et al., 2016).

Para este trabalho, foi utilizado o método de inferência *fuzzy* MAMDANI, padrão do Matlab. As entradas no sistema de inferência *fuzzy* foram baseadas nas três variáveis que influenciam para a tarefa falhar, ou seja, as mesmas utilizadas no

questionário na metodologia da escala likert. A saída esperada ficou representada no sistema *fuzzy* por: Índice de Falha na Tarefa.

As regras *fuzzy* foram construídas através do consenso de um grupo de especialistas da área (gerência, professores da área). Conforme o cálculo da quantidade necessária de regras ($R = n^p$), o valor de n ficou 3, devido a ter três conjuntos difusos em cada entrada, e o valor de p ficou 3, devido a ter três entradas. Nessa estrutura, foram necessárias 27 (vinte e sete) regras para um bom desenvolvimento do sistema fuzzy, no entanto foram elaboradas 30 (trinta) regras *fuzzy*. Para a elaboração dessas regras foram utilizando os operadores de agragação “E” e “OU”. No total foram 27 (vinte e sete) regras com o operador “E”, e 3 (três) regras baseadas no “OU”.

3.3.5 Validação dos Resultados

Nessa etapa foi realizado a avaliação dos resultados da Escala Likert e da Lógica *fuzzy*, comparando-os à realidade da empresa. Para validação final e fechamento da pesquisa foi realizada uma reunião, envolvendo a gerência e coordenadores de produção, para *feedback* e ajustes finais. Na reunião foram apresentadas as etapas da metodologia, os resultados e as recomendações para a variável crítica. A reunião de conclusão da pesquisa ocorreu este ano de 2018.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia do trabalho demonstra nas etapas a evolução dessa pesquisa. Destaca-se a utilização do mapeamento de perdas, a análise da tarefa e as metodologias da escala Likert e da Lógica *fuzzy* para composição do modelo e validação do resultado. Essa metodologia durou quase 2 (dois) anos para ser aplicada, tratada e finalizada. A metodologia de trabalho, proposta nesse estudo, é ampla e objetiva, podendo ser adaptada a outros cenários industriais.

As principais limitações durante a aplicação dessa metodologia foi devido a falta de um banco de dados quantitativos sobre as perdas e ausência de indicadores que demonstrassem os valores ideais (*Benchmarking*) do projeto. Entretanto, a disponibilidade e acessibilidade da gerência e dos operadores foram acima da expectativa, compensando e validando as informações mais importantes para essa pesquisa.

4 RESULTADOS

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante a aplicação da metodologia de trabalho. Esse capítulo dividiu os resultados por etapa, com a finalidade de proporcionar um maior entendimento ao leitor. Por isso, vale ressaltar que, para futuras aplicações dessa metodologia deve-se seguir a sequência proposta, pois cada etapa necessita do resultado da etapa anterior, não devendo pular ou adiantar as etapas.

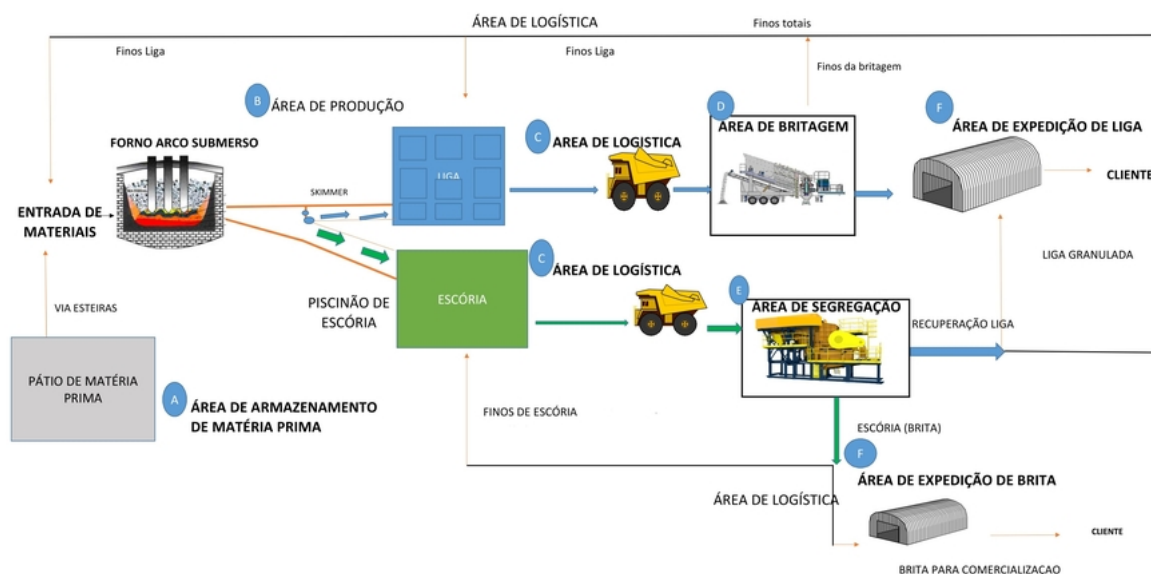
4.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

4.2.1 Etapa 1- Análise geral do processo

Na análise do processo geral da fábrica X, foi possível mapear seus processos, e sequências dos fluxos de processos. Com essa análise foram identificadas as principais áreas que compõem a fábrica X (Figura12). As áreas mapeadas não são exclusivas da fábrica X, servindo também para a fábrica Y. São elas:

- Área de produção: área responsável pela produção da liga e geração da escória.
- Área de logística: área responsável pelo transporte de materiais e de matérias-primas
- Área de britagem: área responsável pela granulometria das ligas, deixando-as no formato do projeto do cliente.
- Área de segregação: área responsável pela recuperação da liga na escória, e também processa a escória no formato adequado para comercialização.
- Área de expedição (liga ou escória): área responsável pela separação e envio dos pedidos (de liga ou escória) para o cliente final.

Figura 12 – Fluxo da área em geral



Fonte: Autor (2017).

4.2.2 Etapa 2- Coleta de dados

Com a aplicação do mapeamento das perdas foi possível identificar as principais perdas da fábrica X (Quadro 3). As perdas foram classificadas em dois tipos de perdas: Perdas Materiais e Perdas de Energia. A classificação da Perda Materiais se apresentou em forma de resíduos: sólidos e líquidos. A classificação da Perda de Energia se apresentou na forma de consumo na indústria.

As Perdas Materiais (A) destacadas nos resíduos sólidos foram: Ligas “sucatas”, que representam as ligas que são deixadas, perdidas ou extraviadas durante o seu percurso entre as áreas; Sucata de manutenção, são as peças utilizadas em manutenção ou durante uma manutenção, e são deixadas, perdidas pela área de produção; Material particulado (poeira metálica), são materiais finos, semelhante uma “poeira”, estando presente nas principais áreas de processamento do material; e Escória, é o resíduo natural da produção da liga, mas muitas vezes, é gerada devido à falhas na tarefa.

As perdas destacadas em resíduos líquidos foram: Efluente industrial, que é gerado a partir da utilização da água nos processos industriais, como o resfriamento da escória; Efluente sanitário, é gerado através da higienização das pessoas da fábrica; e Vazamento de óleo, é gerado através da alta movimentação de caminhões, muitas vezes sem uma manutenção adequada.

As Perdas de Energia (B) são representadas através do consumo de energia nos processos da indústria.

Quadro 3 – Mapeamento de perdas

MAPEAMENTO DE PERDAS- FÁBRICA X												
Classificação de perdas	Tipo de resíduos	Perdas	Problema relacionado	Comunicação/ Programa de ação	Local (Área)	Frequência (F)	IMPACTO (I) $I = (s+a+e)/3$			Urgência de ação (U)	Total (T) $T = F \times I \times U$	Prioridade
							Social (s)	Ambiental (a)	Econômico (e)			
(A) PERDAS MATERIAIS	Resíduos sólidos	Ligas "sucata"	Transporte "abertos"; não colocação do material nas caçambas adequadamente	NÃO: Inexistente	Produção; Britagem; Segregação; Logística; Expedição	2	1	2	2	2	6,67	5ª
		Sucata de manutenção	Material da manutenção - falta de suporte de retorno de peças e resíduos)	NÃO: Inexistente	Produção	1	1	3	1	1	1,67	7ª
		Material particulado	Logística dos materiais; segregação e britagem dos materiais em céu aberto	NÃO: Inexistente	Produção; Britagem; Segregação	3	2	3	1	2	12,00	3ª
		Escória Classe 2- B	Mistura dos materiais durante a corrida: liga na escória e vice versa	Não existe legislação ou padrão. Mas é proporcional a produção	Produção	3	3	3	3	3	27	1ª
	Resíduos líquidos	Efluente industrial	Desperdício de água; locais sem o retorno da água para tratamento	SIM: Estação de tratamento próprio; Torres de resfriamento	Produção e área auxiliares de resfriamento	3	3	3	2	2	16,00	2ª
		Efluente sanitário	Não filtragem correta	SIM: Estação de tratamento próprio	Área de Adm	2	3	3	1	1	4,67	6ª
		Vaz. de óleo	Logística de materiais	NÃO: Inexistente	Logística	1	1	2	1	1	1,33	8ª
(B) PERDA DE ENERGIA	Consumo	Energia	Consumo desnecessário na fábrica	SIM: Setor específico para controle do consumo	Painel de controle Fábrica X	3	1	1	3	2	10,00	4ª

Fonte: Autor (2017).

Observa-se no quadro do mapeamento (Quadro 3) que a escória ficou em 1º lugar para investigação. Um dos principais aspectos para essa perda ter sido escolhida foi devido ao problema que acontece na tarefa e, conseqüentemente, aumenta sua geração. Essa falha que acontece na tarefa ainda não tem nenhum programa em andamento para sua redução, por isso a urgência da ação.

A escória é considerada também como um subproduto do processo de produção de ferroligas. Essa perda é tratada de duas formas na empresa: para venda e para armazenamento. O armazenamento da escória é realizado em áreas apropriadas dentro da própria empresa. Esse armazenamento é inevitável, devido ao grande volume que é produzido da escória, indo além da sua demanda de venda.

A escória é gerada durante a tarefa de "vazamento do forno". A escória é considerada uma perda que faz parte do processo de produção de liga, servindo como um filtro de impurezas para o metal. Na época do estudo, 2017, a proporção de escória/liga estava numa média de 2,2T de escória para 1T de liga. Essa proporção varia conforme a demanda do processo, qualidade da matéria-prima usada e a utilização

adequada da capacidade do forno.

A tarefa de “vazamento do forno”, ou também conhecida como “corrida” envolve o forno até a área de vazamento, gerado a escória e produzindo a liga. O problema mais crítico nessa tarefa é quando ocorre a mistura dos materiais (liga e escória) durante o “vazamento”. Essa mistura de materiais durante o “vazamento” do forno resulta no arraste da liga para a área da escória, ou, em pior caso a escória indo para área da liga. A mistura desses materiais é definida nesse trabalho como uma falha na tarefa. Essa falha na tarefa pode resultar no aumento da proporção Escória/Liga, e na perda parcial/total da produção naquela “corrida”.

O impacto social, ambiental e econômico já são relevantes diante a geração normal da escória, no entanto quando ocorre a falha na tarefa, o impacto é considerado extremo. Observou-se durante a aplicação do mapeamento, que quando ocorre a falha da mistura dos materiais são utilizados recursos desnecessários, tais como: energia, mão de obra, retrabalho para separação do material; tempo; e principalmente a perda do material de venda, a liga (mesmo sendo recuperada).

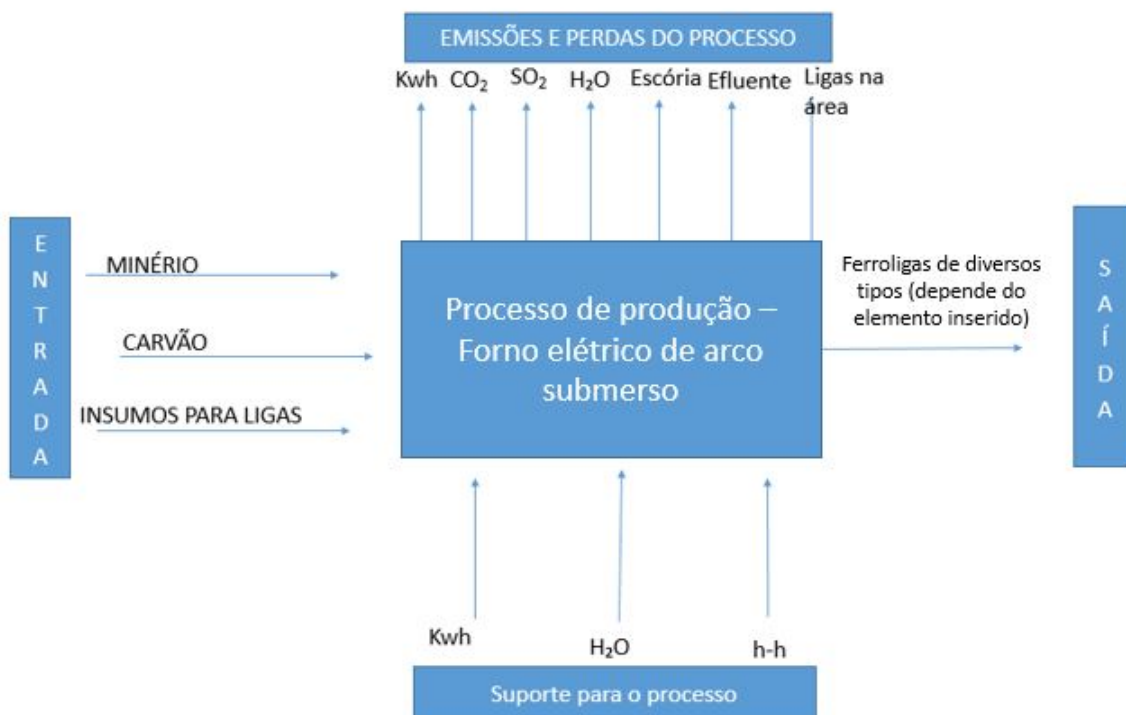
Observa-se que geração da escória no processo de fundição é inevitável, por isso, este trabalho se destacou na investigação de variáveis que influenciam para a tarefa falhar, e conseqüentemente ocasionam uma maior geração da perda. Investigar as variáveis que comprometem a perda possibilita outra forma de redução da perda.

4.2.3 Etapa 3- Análise do sistema operacional

Balanço de Massa Geral

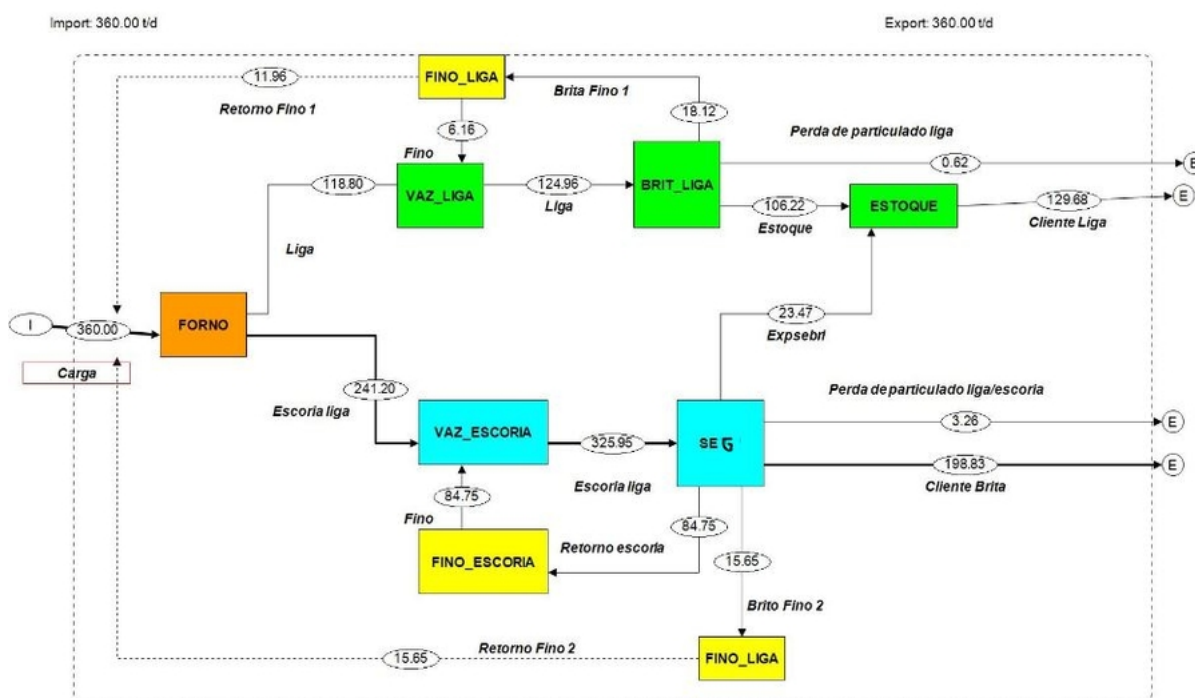
Na análise inicial do sistema operacional, foi preparado um fluxo geral das entradas e saídas dos materiais, envolvendo as perdas, emissões geradas e os recursos utilizados nessa produção de ferroliga (Figura 13). Para analisar a escória entre as áreas da fábrica X foi elaborado um balanço de massa com proporções ajustadas da produção e das áreas afins (Figura 14). O balanço de massa foi elaborado via o programa STAN. O cálculo desse balanço de massa foi discutido com o STAFF (coordenadores da produção) e realizado com valores de correção sem que o método perca o seu significado. Os valores foram estabelecidos através de um valor médio, em percentual, referentes às entradas e saídas dos processos e convertidos para toneladas/dia. Esses valores foram registrados através da entrevista com o coordenador de produção.

Figura 13 – Fluxo de materias e perdas no processo de fundição



Fonte: Autor (2017).

Figura 14 – Simulação do balanço de Massa Geral da área operacional



Fonte: Autor (2017).

Podem-se identificar as seguintes siglas nesse balanço de massa:

- **FORNO**: equipamento forno;
- **VAZ_LIGA**: área de recebimento de liga após saída do forno;
- **VAZ_ESCORIA**: área de recebimento de escória após saída do forno;
- **SEG**: área responsável pela recuperação da liga na escória, e também processa a escória;
- **BRIT_LIGA**: área responsável pelo processamento da liga, conforme granulometria solicitada pelos clientes;
- **ESTOQUE**: área reservada para estocar o material liga até o envio (expedição);;
- **FINO_ESCÓRIA**: material refinado da escória “pó da escória”;
- **FINO_LIGA**: material refinado da liga “pó da liga”.

O balanço de massa viabilizou a identificação dos processos e tarefas que provocam as possíveis perdas. Os valores foram indicados através de uma média, e com referência a produção de um dia trabalho. O abastecimento do forno é feito em bateladas inconstantes, podendo haver acúmulo e saída variáveis. O forno é abastecido conforme vai diminuindo sua carga. Cada carga contém em média 60 toneladas de matérias-primas, insumos e outros. Para um dia de trabalho comum, foi considerado o valor de 360 toneladas de entrada de materiais, com recuperação de liga em cerca de 24 (vinte e quatro) toneladas, e perdas sem justificativas (particulado), em torno de 3 (três) toneladas.

Observa-se no balanço de massa, que depois do “vazamento do forno”, os materiais seguem destinos diferentes. A liga segue para o redimensionamento dos moldes na área de britagem e depois segue para área de expedição. As perdas nesse processamento são apresentadas como finos de ligas. Os finos da liga são componentes metálicos em um formato de pó, que são gerados durante a britagem. Eles são redirecionados para forrar a área de moldes na produção e também são enviados para compor a carga inicial do forno. Já a escória depois de sua geração na área de produção, segue para a área de segregação, ou também conhecida como área de recuperação. Na área de recuperação são realizados procedimentos para recuperar toda liga possível dentro das peças de escória. Esse trabalho inicialmente é realizado manualmente pelos operadores, seguindo depois para o processamento nas máquinas. Esse trabalho manual é realizado para proteger algumas partes grandes de ligas na

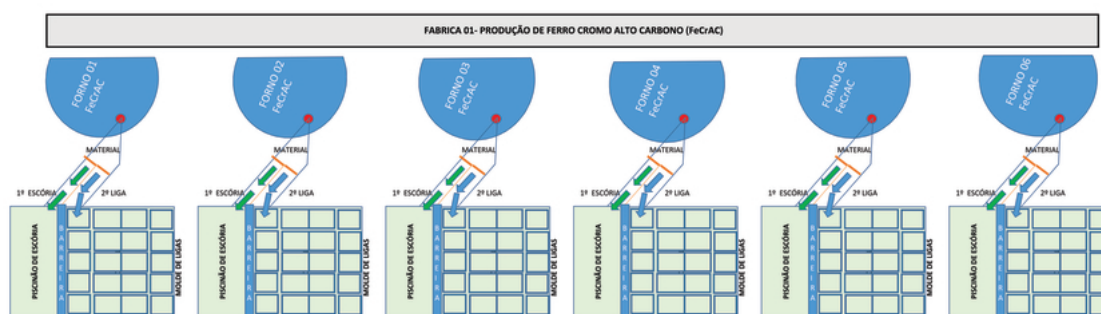
escória, e muitas vezes, isso evita o processamento nas máquinas. Depois de passar pela área de recuperação do metal, as peças de liga já dimensionadas são enviadas para expedição, os finos da liga são enviados para compor a carga do forno, a escória já dimensionadas e tradadas (brita) são enviadas para expedição para serem vendidas, e os finos da escória são enviados para compor a área de escória na produção.

Dessa forma percebe-se que o fluxo é bem projetado para recebimento e tratamento das perdas. A destinação e o reaproveitamento dos resíduos é importante para o processo, mas entende-se também, que um plano de prevenção na área de produção, poderia evitar uma boa parte dessa recuperação de liga (325T). Esse plano de prevenção pode reduzir custos como energia, homem hora (hh), e principalmente a perda do produto, pois muitas vezes durante a recuperação, o metal se transforma em finos de liga devido ao reprocessamento. Por isso, o plano de prevenção da escória deve ser investigado e ajustado no posto de trabalho que ocorre a perda.

Descrição do Posto de trabalho

O posto de trabalho do estudo é composto de um forno elétrico, um equipamento de apoio ao vazamento dos materiais e uma área de vazamento da liga, e outra de vazamento da escória. A empresa tem, no total, seis fornos dispostos um ao lado do outro, conforme Figura 15. Essa disposição dos postos de trabalho facilitam a comunicação e o suporte na tarefa.

Figura 15 – Área de produção geral



Fonte: Autor (2017).

A Figura 16 apresenta a disposição dos equipamentos e da área de um dos postos de trabalho. O forno utilizado nesse processo de ferroligas é o forno elétrico de arco submerso, do tipo aberto, sendo adaptado com “cortinas de aço” para recuperação do calor nas laterais. O forno utiliza três eletrodos no processamento dos materiais dentro do forno.

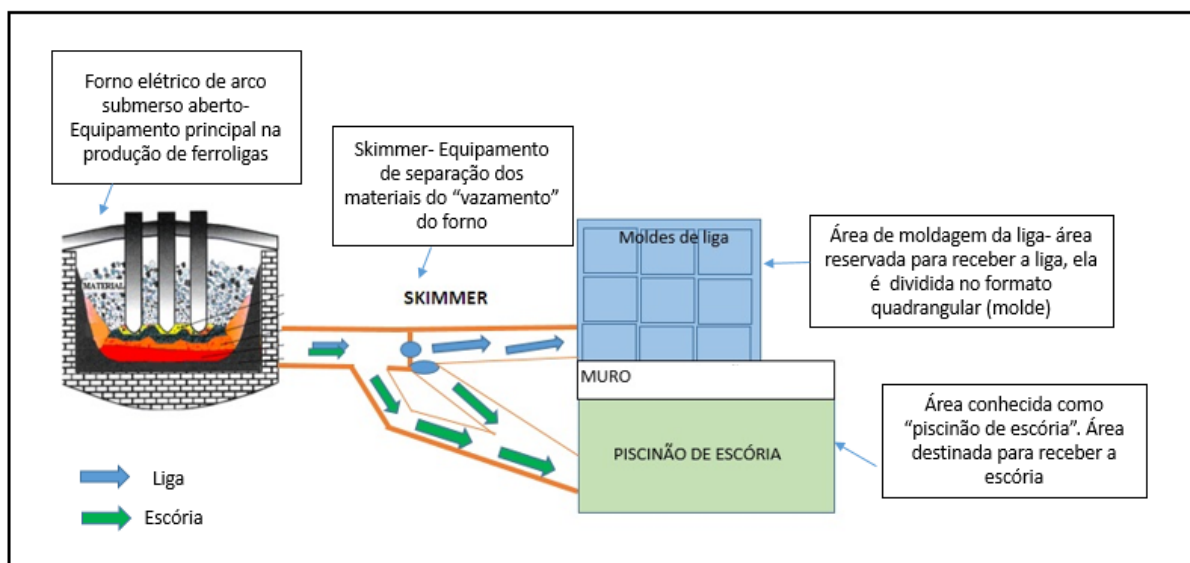
O processo de extração do metal é através do processo do Skimmer, no qual um canal de menor nível coleta a liga e um canal de maior nível recolhe a escória

flutuante. O Skimmer é um equipamento com mais de 10 (dez) metros de comprimento, sendo fixado no chão do posto de trabalho. O skimmer conduz o vazamento dos materiais, serve como um “bico”. O Skimmer é feito de aço, com elevações e alturas diferentes ao decorrer do seu comprimento. O único mecanismo responsável por separar a liga da escória é a diferenciação de densidade. O volume da escória pode variar de lote para lote. Há uma porção superior da liga, próxima à região da escória pura, que é frequentemente contaminada por ela. A liga está em constante contato com a escória, e uma fração da escória se solidifica dentro das camadas de superposição da liga. Para um “vazamento” correto e uma destinação correta dos materiais, o Skimmer é coberto por um material arenoso irrigado com um pouco de água. Esse material arenoso serve como uma camada protetora do Skimmer. Esse processo de “cobrir” o Skimmer, é uma espécie de moldagem ou preparação do Skimmer. Na época da pesquisa, cada posto de trabalho funcionava com dois operadores para realizar todas as tarefas do posto, inclusive a moldagem do Skimmer.

A área de moldagem de liga é o local destinado a receber a liga ainda no estado líquido, para que se molde conforme o formato quadrangular da área dos moldes. Dessa forma, a liga começa o processo de solidificação nos moldes, tendo sua retirada somente depois da solidificação completa do material. A cada “corrida” é feita a coleta das ligas na área dos moldes. Essa área de moldagem de liga é coberta por finos de liga, que são produzidos durante os processos de recuperação do metal.

Na área de vazamento da escória, também chamado de “piscinão de escória”, é recebido a escória ainda no estado líquido. No “piscinão de escória” pode-se receber até quatro “vazamentos” da escória, ou seja quatro “corridas”, para então ser necessário realizar a retirada da escória, e limpeza da área. A área de vazamento da escória não tem formato definido, se assemelha a uma piscina, e é forrada por finos de escória que são processados durante o processo de recuperação do metal. Nessa área é realizado o resfriamento da escória através de jatos de água. Esse resfriamento é necessário para acelerar a solidificação da escória, formando assim uma camada sólida e firme para receber mais um “vazamento” de escória.

Figura 16 – Esquema do posto de trabalho

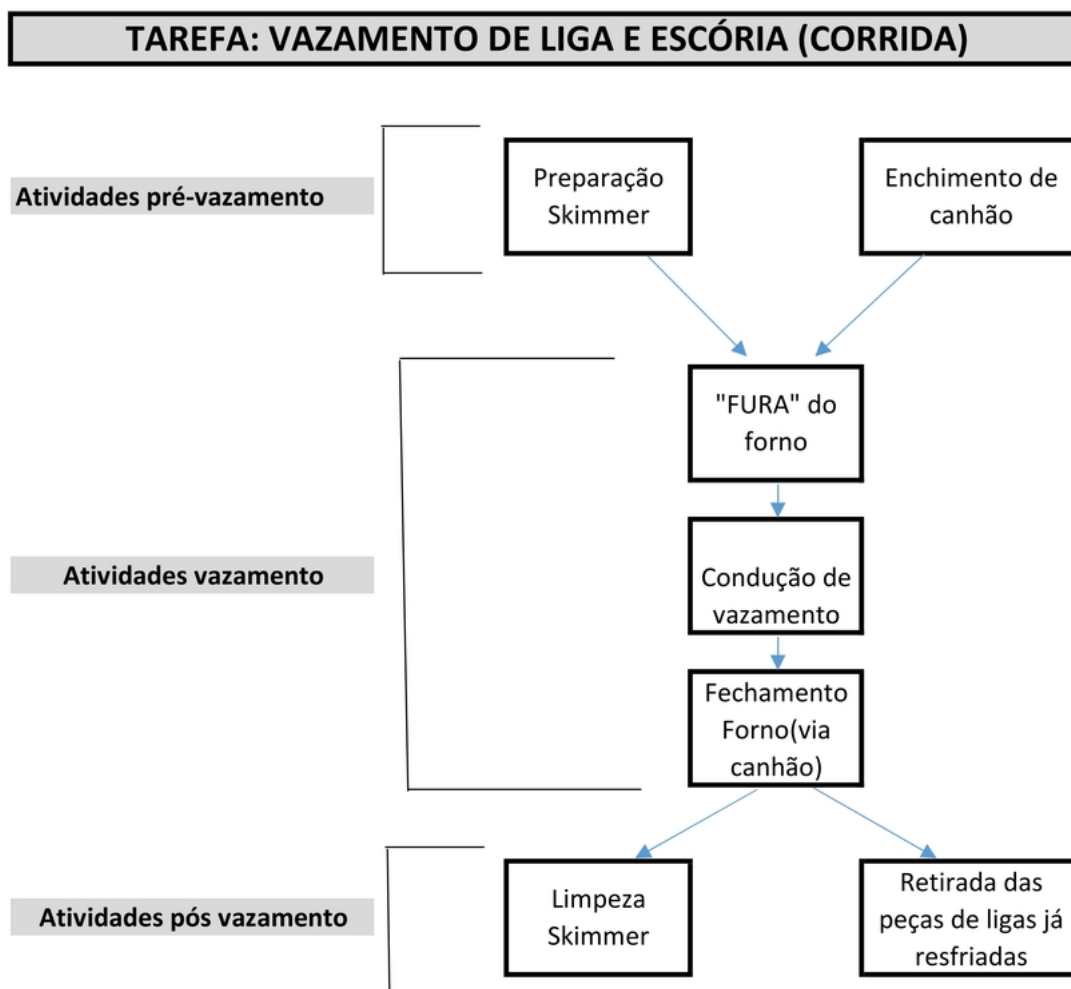


Fonte: Autor (2017).

Descrição da Tarefa

A descrição da tarefa é uma etapa fundamental para entender como as falhas ocorrem na tarefa e também para conhecer as atividades que podem influenciar no desenvolvimento da tarefa. Observa-se no sequenciamento da tarefa "vazamento do forno" (Figura 17) que não existem muitas etapas, no entanto os procedimentos aplicados são críticos. A execução dessa tarefa envolve altos riscos, devido a alta temperatura e o contato direto do operador nas atividades.

Figura 17 – Sequenciamento da Tarefa “Vazamento do forno”



Fonte: Autor (2017).

Nas atividades de pré-vazamento, temos a preparação do Skimmer, que é a atividade que realiza a moldagem do Skimmer, sendo utilizados dois operadores (o forneiro e o auxiliar) nessa preparação. Essa moldagem envolve a preparação dos nivelamentos necessários no Skimmer, utilizando-se um material arenoso. Os nivelamentos de um Skimmer são fundamentais para uma boa “corrida”. Logo após ou anteriormente a preparação do Skimmer, temos a atividade de encher o “canhão”. Essa atividade realiza o enchimento de um equipamento (canhão) que auxilia no fechamento do forno no final da corrida. O “canhão” é preenchido com material de argila. O enchimento de canhão é feito no início da tarefa, devido a possibilidade de surgir algum imprevisto durante o “vazamento” que necessite o fechamento do orifício do forno emergencialmente.

Nas atividades de vazamento, temos a “fura” do forno, a condução do vazamento

e o fechamento do forno. A “fura” é a atividade que realiza abertura de um orifício (furo) no forno para o “vazamento” dos materiais. A “fura” só é realizada após a autorização da equipe do painel de controle. No painel de controle se controla o forno, a energia, a movimentação dos eletrodos e o processamento dos materiais. A condução do vazamento é a atividade onde os operadores ficam a postos na observação da saída dos materiais (liga e escória) pelo Skimmer. Essa observação e condução dos materiais é feita até a chegada dos materiais nas áreas de moldagem da liga e na área de vazamento de escória. Essa atividade tem vários passos até chegarem na área da liga e da escória: observação, tomada de ação na saída da liga, e fechamento e abertura de caminhos de liga e escória. O fechamento do forno é a atividade que realiza o fechamento do orifício do forno, encerrando assim a corrida.

Nas atividades pós vazamento, temos a limpeza do Skimmer e a retirada das peças de liga. A limpeza do Skimmer é a atividade realizada para retirar os resíduos de liga e escória, e do material arenoso que solidificaram no Skimmer depois do vazamento dos materiais. Essa limpeza é realizada com o Skimmer já resfriado. A retirada das peças de ligas são feitas através de ponte rolante. Nessa atividade, o operador controla a ponte rolante para fazer a retirada das peças de ligas na área de moldagem para colocar em caçambas.

Existem outras atividades que são realizadas, somente, em situações de emergência, como no caso da:

- Separação de moldes: atividade realizada somente, quando a liga não passa para o molde quadrangular seguinte;
- Contenção de fervura: atividade realizada, somente, quando ocorre uma fervura (pequeno incêndio) no Skimmer. Isso ocorre principalmente, quando existe excesso de água no material arenoso, que cobre o Skimmer;
- Desobstrução do orifício de passagem do material dentro do forno.

A identificação das atividades que compõem a tarefa de “vazamento do forno”, permitiu priorizar as atividades que influenciam na geração da perda (escória), ou, que podem influenciar na falha da tarefa. O Quadro 4 mostra as atividades em três classificações: Atividades críticas; Atividades de alto esforço e; Atividades de emergência. Essa análise foi realizada baseada na percepção do pesquisador durante a etapa de descrição da tarefa. As atividades que possuem influência para causar a falha na tarefa foram consideradas posteriormente na etapa da elaboração do questionário.

Quadro 4 – Classificação e análise da influência nas atividades da tarefa “vazamento do forno”

Análise de influência das atividades na falha da tarefa “Vazamento de materiais”					
Atividades críticas	Influencia?	Atividades de esforço	Influencia?	Atividades emergenciais	Influencia?
Preparação skimmer	SIM	Preparação do skimmer	SIM	Separação de moldes:	NÃO
Condução de vaz. de forno	SIM	Limpeza do skimmer	NÃO	Contenção de fervura	SIM
		“Fura” do forno	NÃO	Desobstrução da passagem do material dentro do forno	NÃO
		Enchimento do canhão	NÃO		
		Fechamento do orifício de vazamento do forno	NÃO		

Fonte: Autor (2017).

Identificação das variáveis

A construção do diagrama de causa e efeito levou em consideração no máximo dois níveis das causas potenciais, devido a ter o objetivo principal de identificar as variáveis críticas entre os 6M's. Essa análise realizou a tentativa de abordar fatores técnico, humano e organizacional. O objetivo do Diagrama de causa e efeito nesse estudo foi para identificar as variáveis críticas que podem fazer a tarefa falhar. O Diagrama de causa e efeito (Figura 18) apresentou causas nas seguintes dimensões: Medida, Método; Pessoas; Máquina; Ambiente e Material. Diante das causas listadas no Diagrama, todas são consideradas principais, pois influenciam diretamente na ocorrência da mistura dos materiais.

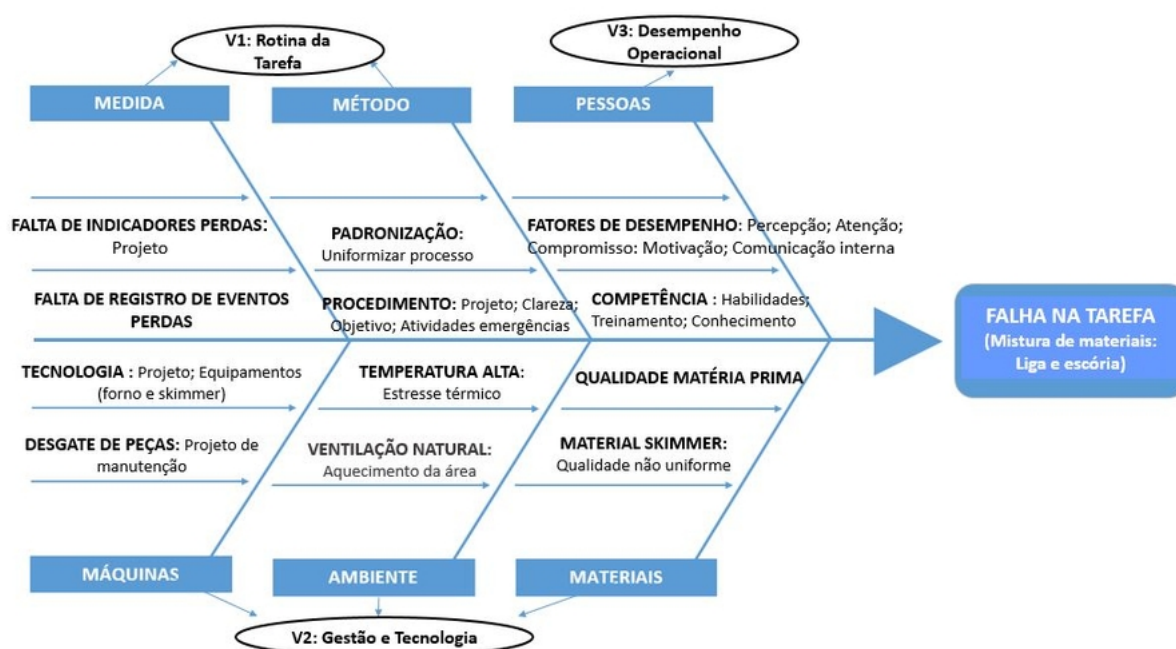
Para priorização, foram estabelecidas as variáveis críticas. A variável “Rotina da tarefa” representa as dimensões de MEDIDA e MÉTODO. A variável “Gestão e Tecnologia” representa as dimensões MÁQUINA, AMBIENTE e MATERIAIS. A variável “Desempenho Operacional” representa a dimensão PESSOAS.

A variável rotina da tarefa apresentou como principais causas da falha na tarefa: a falta de procedimentos nas atividades principais, como a preparação do Skimmer e a condução do vazamento; a falta de indicadores para acompanhamento da perda.

A variável gestão e tecnologia apresentou problemas na tecnologia (antiga), e também no método de processo Skimmer, dificultando a separação dos materiais; falta de direcionamento da gestão para o posto de trabalho do operador, necessitando de um maior suporte, tanto nas dificuldades de fatores internos da produção (EPI mais confortável; cabine; área mais climatizada) como nos fatores externos e ambientais (área de moldagem coberta, ou com uma tenda móvel).

A variável de desempenho operacional apresentou fatores que devem ser analisados, como a atenção e percepção nessa tarefa, a competência e os treinamentos regulares sobre melhorias nessa tarefa.

Figura 18 – Diagrama de Causa e Efeito



Fonte: Autor (2017).

4.2.4 Etapa 4- Desenvolvimento do modelo

Aplicação da Escala Likert

Para avaliar o comportamento das variáveis, identificadas no Diagrama de Causa e efeito, frente à percepção dos operadores aplicou-se um questionário na metodologia da Escala Likert. Esse questionário teve o objetivo de estimar os índices de influência das variáveis e o índice de falha na tarefa total. A aplicação do questionário ocorreu no primeiro semestre do ano de 2017. O questionário foi dividido em três blocos, cada um correspondendo a uma variável. As declarações do questionário se basearam

nas atividades que possuíam influência na geração da perda, listadas anteriormente no Quadro 4.

O questionário apresentou cinco níveis de respostas, de “Discordo Plenamente” até “Concordo Totalmente”, e com cinco níveis de pesos (importância), de “Nenhuma importância da variável” até “Alta importância da variável”. As declarações indicavam o sentido ideal da tarefa. Essa forma de declaração foi utilizada para não causar influência negativa no entrevistado, vide questionário no APÊNDICE D.

No bloco da Rotina da Tarefa foram elaboradas 18 (dezoito) declarações, onde observou-se que as declarações que envolviam os procedimentos operacionais, também chamado de padrão, obtiveram as respostas em maioria negativas. Os entrevistados (operadores da tarefa), alguns não sabiam o que era um padrão, e outros que sabiam, nunca tinham visto na área operacional. Essas declarações sobre procedimento operacional foram os itens que mais negativaram a pontuação no bloco de Rotina da tarefa.

No bloco da Gestão e Tecnologia foram elaboradas 11 (onze) declarações. Nesse bloco foi percebido que a gestão dos coordenadores e supervisores, que é a representação de gestão mais próxima dos operadores, é considerada boa para muito boa. Pelas respostas do questionário e dos comentários durante a entrevista, essa gestão tem um bom entrosamento com as equipes. Vale ressaltar que a entrevista ocorreu em todas as equipes que estão relacionadas diretamente na tarefa de “vazamento de materiais”. A questão preocupante nesse bloco foi referente aos aspectos da estrutura do posto de trabalho, e também no aspecto da comunicação, que foi considerada totalmente informal entre os operadores.

No bloco Desempenho Operacional foram 13 (treze) declarações. Observa-se nesse bloco que os operadores são experientes, e possuem consciência da responsabilidade da tarefa de “vazamento”. Eles entendem também que a tarefa necessita de uma atenção especial em algumas atividades dessa tarefa. A avaliação crítica nesse bloco acontece nos itens que se referem ao tempo disponível para tomada de ação, e para realização de diagnóstico da falha. No acompanhamento da tarefa foi percebido que o tempo é curto entre a saída do material do forno até a área da liga e escória, dificultando uma tomada de ação emergencial.

Para calcular os índices resultantes da aplicação do questionário, sabe-se que os $VP R_{variavel}$ para o bloco de rotina da tarefa foi 2989, para a gestão e tecnologia ficou o valor de 2310 e no bloco de desempenho operacional ficou 4265 (APÊNDICE D). Para encontrar o $VP M_v$ são apresentados os valores na Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo dos resultados do questionário na metodologia da escala Likert

Variável	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>PM_d</i>	<i>PM_p</i>	Total (<i>VPM_v</i>)
Rotina da Tarefa	20	18	5	5	9000
Gestão e Tecnologia	20	11	5	5	5500
Desempenho Operacional	20	13	5	5	6500

Fonte: Autor (2017).

Aplicação dos resultados no método de cálculo para o índice de falha na tarefa

A aplicação dos valores para obtenção do Índice de Influência na Tarefa por variável, são apresentadas através dos seguintes resultados das equações:

$$IIT_{rt} = \left(\frac{2989}{9000}\right) \times 100 \quad IIT_{rt} = 33,21\%$$

Para gestão e tecnologia (gt)

$$IIT_{gt} = \left(\frac{2310}{5500}\right) \times 100 \quad IIT_{gt} = 42\%$$

Para desempenho operacional (do)

$$IIT_{do} = \left(\frac{4265}{6500}\right) \times 100 \quad IIT_{do} = 65,62\%$$

Para obtenção do Índice de Influência para ocorrência da Falha na tarefa por variável, são apresentados os seguintes resultados das equações:

Para rotina da tarefa (rt)

$$IIFT_{rt} = \left(1 - \left(\frac{2989}{9000}\right)\right) \times 100 \quad IIFT_{rt} = 66,79\%$$

Para gestão e tecnologia (gt)

$$IIFT_{gt} = \left(1 - \left(\frac{2310}{5500}\right)\right) \times 100 \quad IIFT_{gt} = 58\%$$

Para desempenho operacional (do)

$$IIFT_{do} = \left(1 - \left(\frac{4265}{6500}\right)\right) \times 100 \quad IIFT_{do} = 34,38\%$$

Os resultados demonstraram que a rotina da tarefa apresenta o maior índice de influência para ocorrência da falha na tarefa de “vazamento de materiais”, com 66,79%. A Gestão e Tecnologia apresenta um índice de influência de 58% para ocorrência

da falha na tarefa de vazamento de materiais. O desempenho operacional apresenta um índice de influência de 34,38% para ocorrência da falha na tarefa.

O Índice de Falha na Tarefa (*IFT*) leva em consideração a influência dessas três variáveis para ocorrência da falha. O Índice de Falha na Tarefa total apresentou o seguinte resultado:

$$IFT_{total} = \left(1 - \left(\frac{9564}{2100}\right)\right) \times 100 \quad IFT_{total} = 54,46\%$$

Para identificar o percentual de influência geral das variáveis nesse cenário, foi realizada a normalização dos seus valores. Ao normalizar para 100% os valores das variáveis contribuintes para acontecer a falha na tarefa, verificou-se que: a rotina da tarefa foi responsável por 41,96% dos motivos de ocorrência das falhas na tarefa de “vazamento”, a gestão e tecnologia foi responsável por 36,44% e o Desempenho Operacional por 21,60%.

Aplicação da lógica fuzzy (*Fuzzy Logical Toolbox* do MATLAB)

Para a obtenção dos conjuntos fuzzy que representam o comportamento das variáveis de entrada e saída, foi necessário definir os limites inferior e superior. Na Tabela 3 é mostrado as variáveis que compõem o sistema fuzzy ferroligas e seus limites. Eles são obtidos em função do conhecimento prévio do comportamento das grandezas, os quais dependem dos dados coletados anteriormente e dos cálculos à partir desses dados.

Tabela 3 – Resumo das variáveis e dos valores adotados para a simulação do sistema fuzzy

TIPO DE VARIÁVEL	VARIÁVEL LINGUÍSTICA	LIMITE MÍNIMO(%)	LIMITE MÁXIMO(%)
Variável de entrada	Rotina da tarefa	0	100
	Gestão e Tecnologia	0	100
	Desempenho Operacional	0	100
Variável de saída	Índice de Falha na Tarefa	0	100

Fonte: Autor (2018).

Foram consideradas como variáveis de entrada e de saída as mesmas variáveis já analisadas através do questionário via escala Likert. Para efeito de simulação no modelo fuzzy proposto, temos “Rotina da tarefa”, “Gestão e Tecnologia”, “Desempenho operacional” e “Índice de Falha na Tarefa” com os limites inferior e superior de 0% e 100%

Para a rotina da tarefa, considera-se que “0%” significa uma rotina da tarefa inadequada e “100%” que a empresa possui a rotina da tarefa bem planejada e adequada.

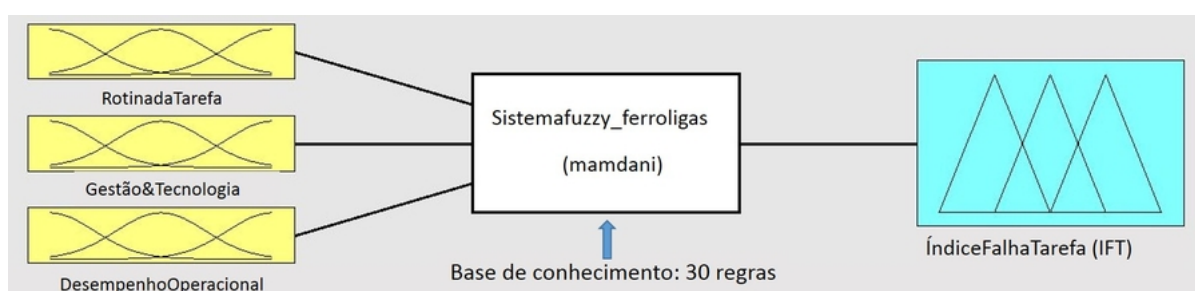
Para a gestão e tecnologia, considera-se que “0%” significa que a empresa não possui um programa de gestão para tarefa, a liderança é inapropriada e a tecnologia é inadequada e crítica no processo, e “100%” que a empresa possui um programa efetivo de gestão da tarefa e do posto de trabalho, a liderança é efetiva e a tecnologia é adequada.

Para o desempenho operacional, considera-se que “0%” significa que os operadores não tem nenhuma capacidade (compromisso, competência, percepção, atenção e outros fatores) para exercer a tarefa proposta e nem condições para uma tomada de decisão, e “100%” que os operadores possuem total capacidade de executar as atividades e resolver problemas adversos na tarefa.

Para o índice de falha na tarefa, considera-se que “0%” significa que na tarefa, no cenário atual, é muito raro ocorrer a falha, ou seja, raramente ocorre a mistura de materiais na tarefa de “vazamento”, e “100%” significa que a empresa, no cenário atual, tem um alto índice de falha nessa tarefa, ou seja, ocorre frequentemente a falha na tarefa, necessitando urgente de um plano de ação.

A Figura 19 mostra a tela de configuração, edição e inserção de dados do *Fuzzy Logic Toolbox* do MATLAB para o sistema fuzzy ferroligas. O sistema fuzzy proposto possui 3 (três) entradas, 1 (uma) saída e 30 (trinta) regras que determinam seu comportamento.

Figura 19 – Tela inicial e de configuração básica do *Fuzzy Logical Toolbox* do MATLAB : Sistema Fuzzy indústria ferroligas



Fonte: Autor (de MATLAB, 2018).

A base de conhecimento do Sistema de Suporte Fuzzy é composta por funções de pertinência, que compõem sua base dados, e por implicações verbais que compõem sua base de regras. No Quadro 5 são apresentados os termos linguísticos correspondentes as variáveis de entrada e saída. Os termos linguísticos servem para qualificar o estado da variável, conforme seu grau de pertinência.

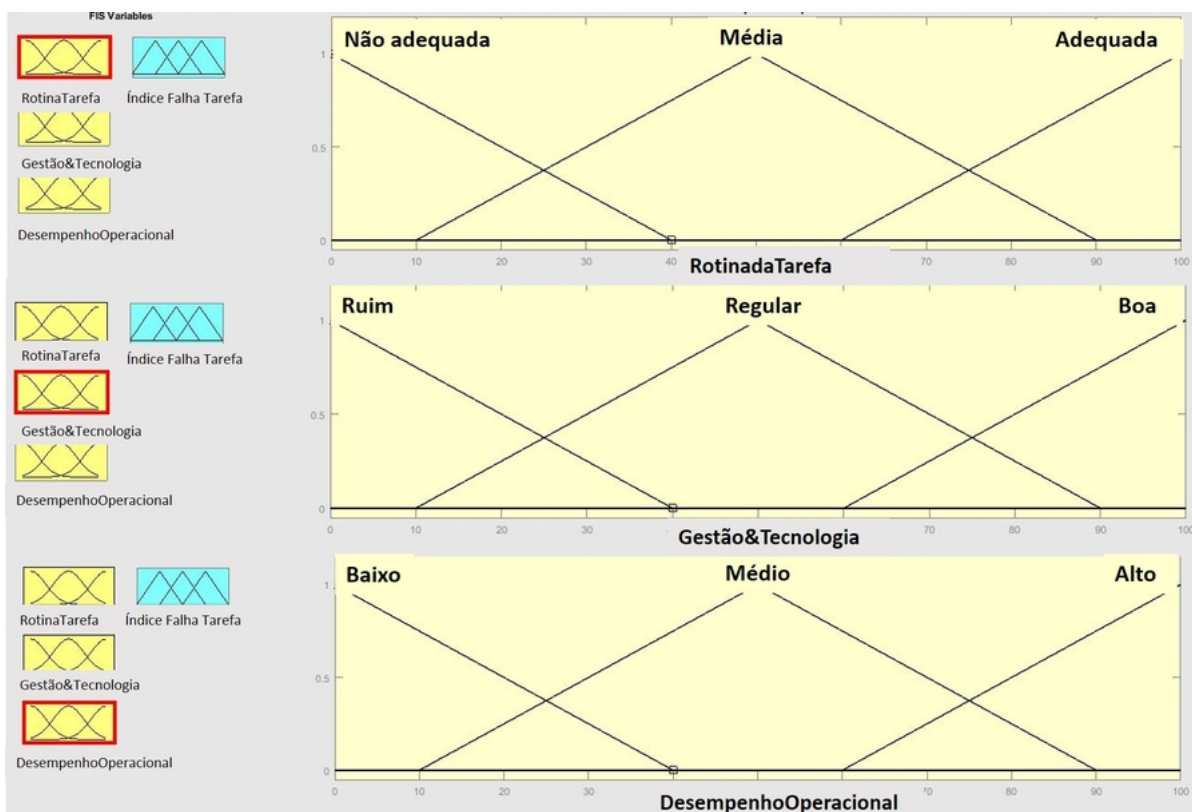
Quadro 5 – Resumo das variáveis linguísticas e dos termos linguísticos

VARIÁVEL	TERMOS LINGUÍSTICOS
Rotina da tarefa	Não adequada- Média- Adequada
Gestão e Tecnologia	Ruim - Regular - Boa
Desempenho Operacional	Baixo - Médio - Alto
Índice de Falha na Tarefa	Baixo - Médio - Alto

Fonte: Autor (2018).

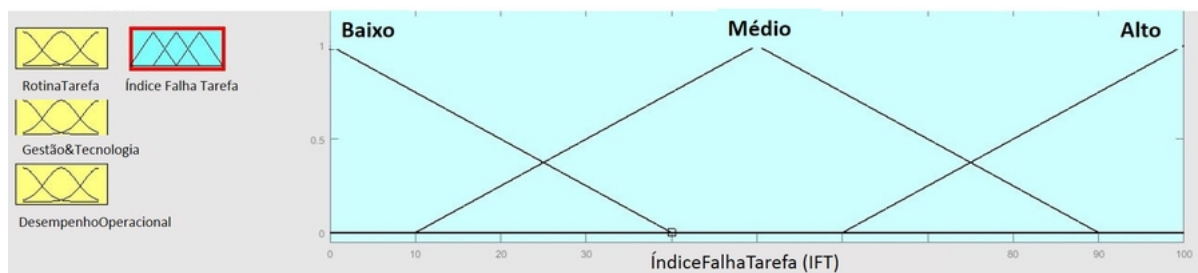
A Figura 20 e 21 mostram as telas de configuração do *Fuzzy Logic Toolbox* do MATLAB referentes as funções de pertinências das variáveis pertencente ao sistema fuzzy ferroligas. Todas as variáveis foram definidas com a função de pertinência triangular, devido a praticidade de sua aplicação (PEDRYCZ, 1994).

Figura 20 – Definição do domínio e escolha das funções de pertinência das variáveis de entrada do sistema fuzzy



Fonte: Autor (de MATLAB, 2018).

Figura 21 – Definição do domínio e escolha da função de pertinência da variável de saída do sistema fuzzy



Fonte: Autor (de MATLAB, 2018).

Em um sistema de suporte baseado na teoria fuzzy determinam-se as regras de acordo com o número de variáveis de entrada e de saída. As regras são estabelecidas para controlar o sistema, sendo sua base de conhecimento. A Figura 22 mostra a base de regras que foi inserida no *Fuzzy Logic Toolbox* do MATLAB. Foram construídas 30 regras, através de um grupo de especialistas em processo de fundição.

Figura 22 – Base de regras

Regras "e"							
Nº REGRA		ROTINA DA TAREFA		GESTÃO E TECNOLOGIA		DESEMPENHO OPERACIONAL	Índice de Perda na Tarefa Total
1	se	Não adequada	e	Ruim	e	Baixo	então Alto
2	se	Não adequada	e	Ruim	e	Médio	então Alto
3	se	Não adequada	e	Ruim	e	Alto	então Médio
4	se	Não adequada	e	Regular	e	Baixo	então Alto
5	se	Não adequada	e	Regular	e	Médio	então Médio
6	se	Não adequada	e	Regular	e	Alto	então Médio
7	se	Não adequada	e	Boa	e	Baixo	então Alto
8	se	Não adequada	e	Boa	e	Médio	então Médio
9	se	Não adequada	e	Boa	e	Alto	então Baixo
10	se	Média	e	Ruim	e	Baixo	então Alto
11	se	Média	e	Ruim	e	Médio	então Médio
12	se	Média	e	Ruim	e	Alto	então Médio
13	se	Média	e	Regular	e	Baixo	então Médio
14	se	Média	e	Regular	e	Médio	então Médio
15	se	Média	e	Regular	e	Alto	então Baixo
16	se	Média	e	Boa	e	Baixo	então Médio
17	se	Média	e	Boa	e	Médio	então Baixo
18	se	Média	e	Boa	e	Alto	então Baixo
19	se	Adequada	e	Ruim	e	Baixo	então Alto
20	se	Adequada	e	Ruim	e	Médio	então Médio
21	se	Adequada	e	Ruim	e	Alto	então Médio
22	se	Adequada	e	Regular	e	Baixo	então Médio
23	se	Adequada	e	Regular	e	Médio	então Médio
24	se	Adequada	e	Regular	e	Alto	então Baixo
25	se	Adequada	e	Boa	e	Baixo	então Médio
26	se	Adequada	e	Boa	e	Médio	então Baixo
27	se	Adequada	e	Boa	e	Alto	então Baixo
Regras "ou"							
		ROTINA DA TAREFA		GESTÃO E TECNOLOGIA		DESEMPENHO OPERACIONAL	Índice de Perda na Tarefa Total
28	se	Não adequada	ou	Ruim	ou	Baixo	então Alto
29	se	Adequada	ou	Boa	ou	Alto	então Baixo
30	se	Média	ou	Regular	ou	Médio	então Médio

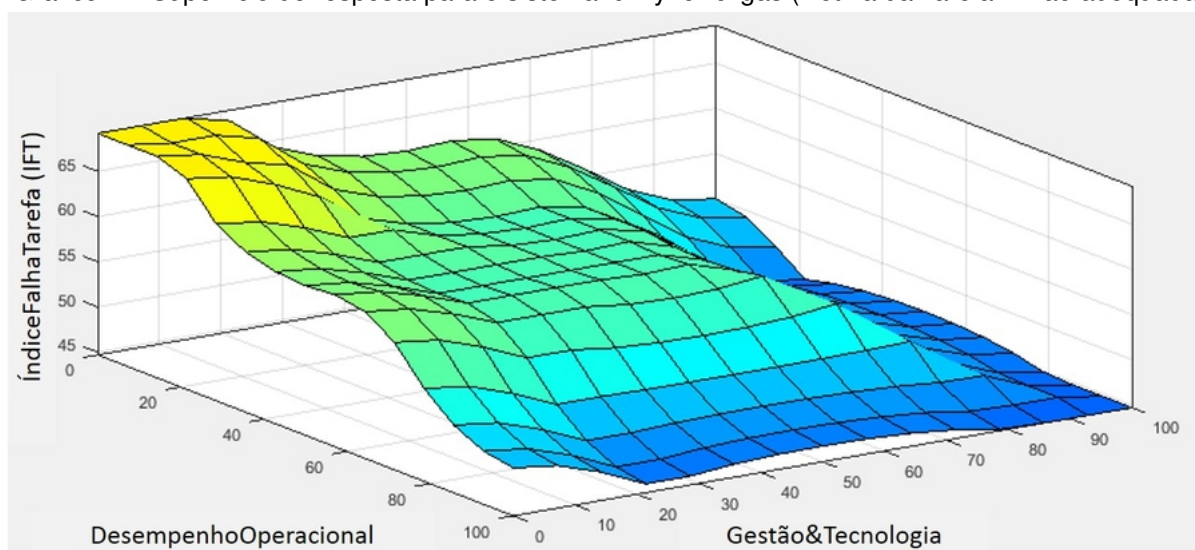
Fonte: Autor (de MATLAB, 2018).

Na elaboração de cada regra definiu-se a conexão entre as variáveis de entrada e as variáveis de saída, através dos operadores lógicos. Utilizou-se os operadores lógicos “E” e “OU”. Com a base de regras construída tem-se a formação do sistema de controle fuzzy completo.

A partir da base de regras pode-se gerar a superfície de resposta do sistema *fuzzy* proposto (Gráficos 1, 2 e 3). Para efeito de simulação, são apresentadas as variáveis de entrada “Desempenho Operacional” e “Gestão e Tecnologia” e a resposta

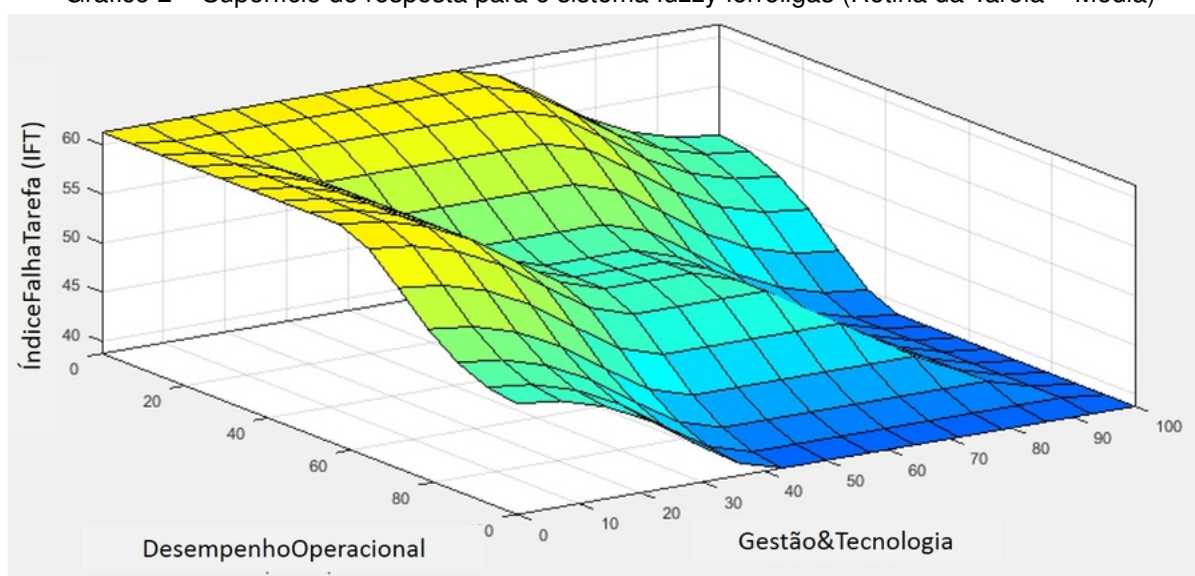
“Índice de falha na tarefa”. A variável rotina da tarefa foi considerada a variável mais crítica, conforme resultados do questionário na aplicação da escala Likert (66,79%). Em razão disso, foram fixados os valores da variável rotina da tarefa nesta simulação, visando avaliar o comportamento das outras variáveis (Desempenho operacional e gestão&tecnologia) sob sua influência. A variável “Rotina da Tarefa” teve seus valores fixados em 20, 50 e 100 para relacionar as simulações em “não adequada”, “média” e “adequada”.

Gráfico 1 – Superfície de resposta para o sistema fuzzy ferroligas (Rotina da Tarefa = Não adequada)



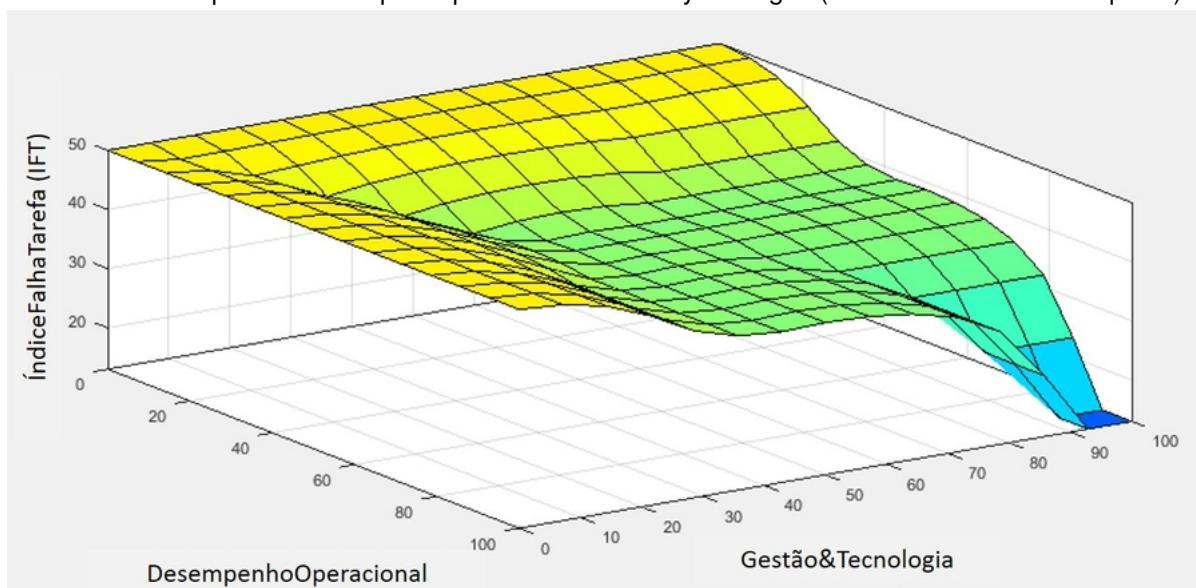
Fonte: Autor (de MATLAB, 2018).

Gráfico 2 – Superfície de resposta para o sistema fuzzy ferroligas (Rotina da Tarefa = Média)



Fonte: Autor (de MATLAB, 2018).

Gráfico 3 – Superfície de resposta para o sistema fuzzy ferroligas (Rotina da Tarefa = Adequada)



Fonte: Autor (de MATLAB, 2018).

As superfícies geradas demonstraram que a influência da variável rotina da tarefa modificou significativamente os resultados referente ao índice de falha na tarefa.

Na superfície gerada com rotina da tarefa “não adequada”, percebe-se que o Índice de Falha na Tarefa alcançou o percentual máximo de 70%, e mesmo com as variáveis “Gestão&Tecnologia” e “Desempenho Operacional” atingindo 100%, o índice de falha ainda seria no mínimo 45%. Na superfície gerada com rotina da tarefa “média” percebe-se que o Índice de Falha na Tarefa alcançou o percentual máximo de 61%, e mesmo com as variáveis “Gestão&Tecnologia” e “Desempenho Operacional” atingindo 100%, o índice de falha seria no mínimo 39%. Na superfície gerada com rotina da tarefa “adequada” percebe-se que o Índice de Falha na Tarefa alcançou o percentual máximo de 50%, e mesmo com as variáveis “Gestão&Tecnologia” e “Desempenho Operacional” atingindo 100%, o índice de falha na tarefa seria 15%.

Observa-se que através do método centróide, e com a simulação de valores para a variável crítica, como 20%, 50% e 100%, pode-se obter o resultado mínimo de ainda 15% para Índice de Falha na Tarefa. Essa limitação é característica desse método, por não demonstrar o resultado exato, e sim o mais próximo do centro dos conjuntos *fuzzy*.

Aplicação no estudo de caso

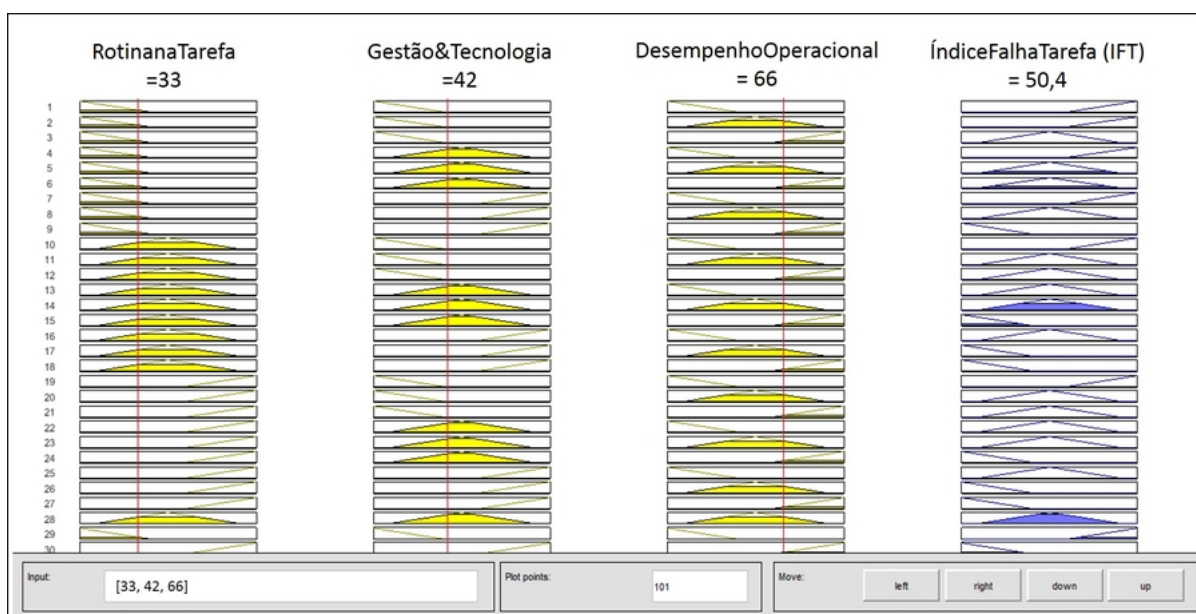
Na aplicação dos dados referente ao estudo de caso foi possível realizar o “con-

fronto” das informações inseridas nas metodologias da escala Likert e da lógica *fuzzy*. Para estabelecer os valores que mais representam o cenário atual da falha, foram utilizados os resultados da influência atual das variáveis (IIT), obtidos através do questionário na metodologia da escala Likert.

O questionário avaliou as mesmas variáveis do sistema proposto do *Fuzzy Logic Toolbox* do MATLAB, entretanto o resultado do questionário foi baseado na percepção dos operadores. O sistema fuzzy avaliou as variáveis conforme a percepção de um grupo de especialistas, incluindo os coordenadores de produção através de regras estabelecidas por eles.

A inclusão dos valores das variáveis de entrada “Rotina da Tarefa” “Gestão&Tecnologia” e “Desempenho Operacional” no sistema fuzzy resultou em um valor numérico de saída (50,4%) referente a variável de saída “Índice de Falha na Tarefa” ainda no domínio Fuzzy (Figura 23). Depois desse processamento se completa a defuzzificação.

Figura 23 – Variáveis de entrada e de saída com seus respectivos valores numéricos de saída



Fonte: Autor (de MATLAB, 2018).

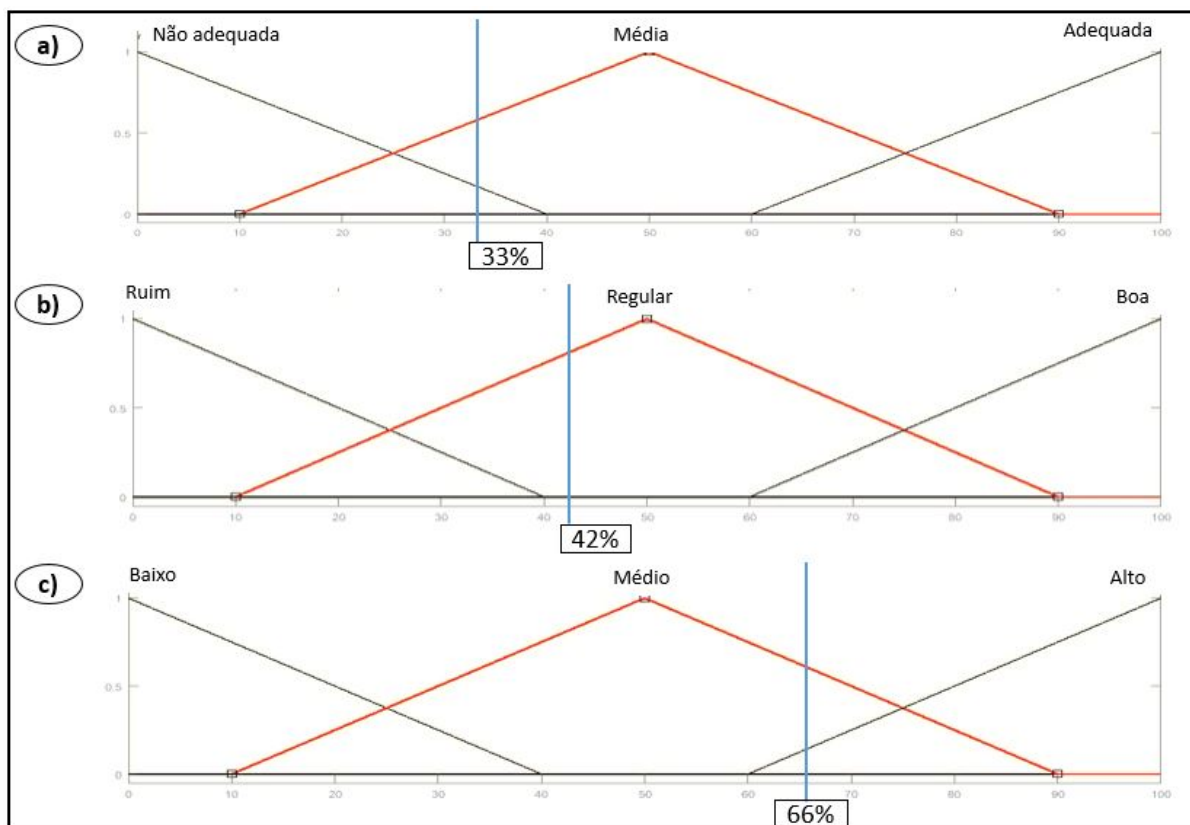
Para verificação dos parâmetros finais das variáveis de entrada e de saída, foram observados os valores de saída das variáveis na Figura 24. Verificou-se assim, os seguintes parâmetros das variáveis de entrada, conforme “tradução” do domínio fuzzy para o domínio lingüístico.

a) Rotina da Tarefa: encontra-se em um valor entre “não adequada ” e “média”, com um grau de pertinência maior em “média”

b) Gestão e Tecnologia: Regular

c) Desempenho Operacional: encontra-se em um valor entre “médio ” e “alto”, com um grau de pertinência maior em “médio”

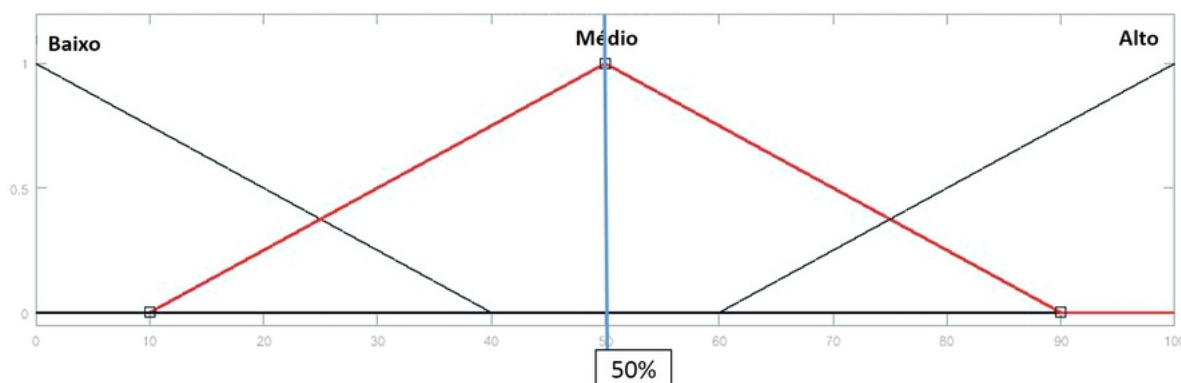
Figura 24 – Variáveis de entradas conforme significado do valor de saída resultante do Excel: a) Rotina da tarefa; b) Gestão e tecnologia; c) Desempenho Operacional



Fonte: Autor (de MATLAB, 2018).

O valor de saída de 50,4% (aproximadamente 50%) depois da tradução significou que o processo de produção das ferroligas possui um índice médio de falha na tarefa (Figura 25).

Figura 25 – Variável de saída conforme significado do valor de saída: Índice de Falha na Tarefa (IFT)

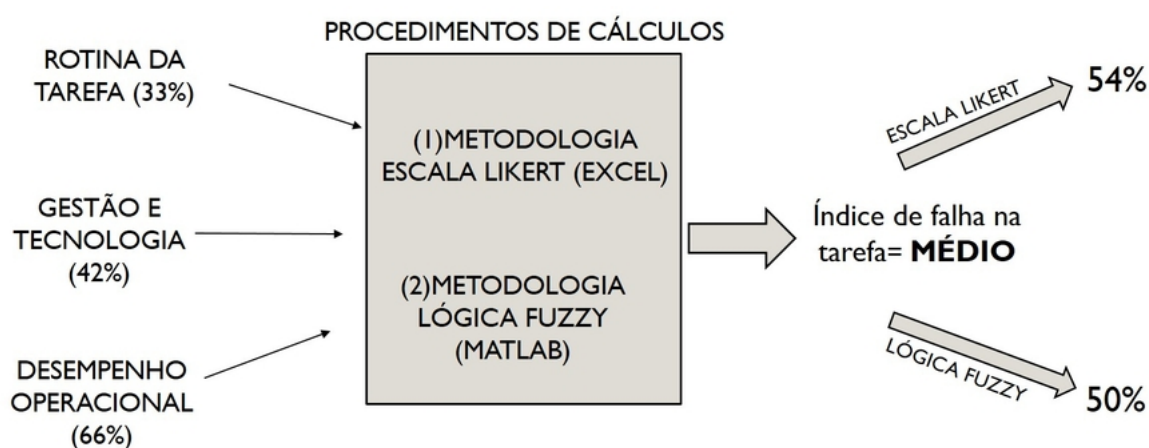


Fonte: Autor (de MATLAB, 2018).

Observa-se que a aplicação das metodologias resultaram em saídas com valores bem próximos. A metodologia da escala likert obteve um Índice de Falha na Tarefa (IFT) de 54,46% e a metodologia da lógica fuzzy obteve o Índice de Falha na Tarefa (IFT) de 50,4%, demonstrando uma diferença em cerca de 4%. A diferença entre os índices de falha na tarefa é baixa, demonstrando assim a alta confiabilidade do resultado, e confirmando a realidade do processo nas duas percepções (operacional e gerencial).

Com esses resultados, é possível representar a realidade desse processo através do modelo final (Figura 26):

Figura 26 – Modelo final de representação do Índice de Falha na Tarefa (IFT)



Fonte: Autor (2018).

4.2.5 Etapa 5 - Validação dos resultados

Na etapa de validação foi realizada uma apresentação de conclusão da pesquisa na sede da empresa. Essa reunião de conclusão de pesquisa teve o intuito de apresentar os resultados das etapas da metodologia de trabalho para validação, *feedback* e ajustes, se necessário. Além disso, foi apresentado o modelo matemático e os valores referente ao Índice de Falha na Tarefa (IFT) de “vazamento do forno” conforme resultados das ferramentas Escala likert e da Lógica fuzzy. A empresa compreendeu que o índice de falha na tarefa, avaliado como médio neste trabalho, corresponde à realidade atual do processo. No entanto, por se tratar de uma falha que está diretamente ligada a produção, a empresa avaliou o índice médio como crítico, devendo ser imediatamente tratado.

Com o intuito de reduzir o índice de falha na tarefa, e também de tratar os itens críticos, foram estabelecidas recomendações para a variável crítica: **rotina da tarefa**. Essas recomendações foram baseadas nos itens críticos identificados no questionário da metodologia da escala likert e também através da percepção do pesquisador durante o acompanhamento da tarefa. Vale ressaltar que esses itens críticos foram os principais influenciadores na redução da pontuação do Índice de Influência na Tarefa (33,21%) e no aumento do Índice de Falha na Tarefa (66,79%), conforme questionário Likert. As principais recomendações foram:

- Elaborar procedimentos para atividades críticas e emergências (fervura no Skimmer; moldagem do Skimmer);
- Disponibilizar o acesso ao padrão, com reuniões frequentes para ativação da memória (Diálogo Diário da Qualidade);
- Melhorar a ergonomia da tarefa para minimizar: o cansaço elevado, o estresse térmico e a fadiga pelo esforço exercido nas atividades (temperatura considerada excessiva, e atividade demanda muito esforço);
- Padronizar o método de processo (elaborar medidas padrão da moldagem do Skimmer, padronização de reconhecimento dos materiais de saída-liga e escória);
- Realizar a verificação e manutenção dos itens utilizados no Skimmer (pás, “peça”);
- Inserir registros de turnos para os operadores, com notificação de rotinas anormais, ou falhas na tarefa, com justificativa;
- Desenvolver indicadores para acompanhamento dessas perdas na produção, estabelecendo metas para redução;

- Inserir um manual de “boas práticas” para a rotina, estabelecendo as melhores prática na tarefa;
- Realizar avaliação do cenário, que projete um layout ideal (ou mais confortável) do posto de trabalho (proteção chuva; redução da alta temperatura no posto de trabalho; aumento do conforto dos EPI's; cabines).

5 CONCLUSÃO

A indústria de produção de ferroligas tem grandes possibilidades de diminuir seus custos de produção, controlando as perdas que existem no processo. O que foi desenvolvido nesta pesquisa pode atuar neste sentido e contribuir para uma aproximação entre o meio acadêmico e os empresários deste setor. A utilização de indicadores específicos para controle de perdas, sejam eles índices, fatores, taxas ou variáveis são fundamentais para que inicie um programa de controle de perdas. Esse programa seria responsável por monitorar o impacto das perdas, indicando ações para melhoria contínua e ajustes no processo.

A aplicação da metodologia demonstrou como é importante entender a perda desde o início, identificando seus complicadores no processo. O acompanhamento de processo e o mapeamento de perdas, resultaram no conhecimento e na identificação das perdas, e também na priorização da perda crítica (escória), atingindo assim o 1º e o 2º objetivos específicos do trabalho.

Com a análise do sistema operacional, foram identificadas as variáveis críticas do posto de trabalho, onde acontece a falha de mistura de materiais e conseqüentemente gera uma maior quantidade de escória. Essas variáveis foram estabelecidas através do Diagrama de causa e efeito, atingindo o 3º objetivo específico do trabalho.

O desenvolvimento dos dados foram realizados através de um modelo, com dois procedimentos de cálculo, o primeiro foi através da aplicação de um questionário na metodologia escala Likert e o segundo foi através da aplicação de um banco de regras construída pela metodologia da lógica *fuzzy*, no *Fuzzy Logical Toolbox* no MATLAB. Esse modelo físico envolveu a utilização dos resultados das variáveis críticas do questionário likert no sistema fuzzy proposto no *Fuzzy Logical Toolbox* no MATLAB. Essa inserção possibilitou a verificação e comparação dos valores dos índices de falha na tarefa. A metodologia do questionário com a escala likert, se baseou na percepção dos operadores, e a metodologia da lógica fuzzy se baseou no conhecimento e opinião da gerência e de especialistas externos na área. Essa etapa atendeu o 4º objetivo específico do trabalho.

Para validação dos resultados e atendimento do 5º objetivo específico foram elaboradas recomendações para a variável crítica, onde os principais pontos são sobre a melhoria do posto de trabalho e na redução de informalidade nos procedimentos.

Vale ressaltar que a redução das perdas em um processo industrial ou das falhas que agravam a sua geração, influenciam diretamente na redução dos impactos ambientais, como também na redução de custos. Pode-se citar algumas vantagens na prevenção das perdas ou falhas na tarefa do “vazamento do forno”: redução do armazenamento da escória para recuperação do metal e redução da utilização desnecessária

de mão de obra e de energia no processo de recuperação do metal.

Essa investigação resultou em um convênio de cooperação com a empresa do caso, permitindo a exploração de outros temas ou a expansão dos resultados dessa pesquisa. O posto de trabalho analisado nesta pesquisa, possui diversas oportunidades de melhoria, tais como na área de segurança, na área de otimização dos processos; na área de eficiência energética e na área de ergonomia. Pretende-se futuramente analisar essas questões e evoluir em novos projetos, ou planejar programas de ação de melhorias.

5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Essa pesquisa teve duas limitações principais. A primeira limitação foi devido a ausência de material na literatura que relata-se esse tipo de falha (mistura de materiais na produção). A maioria das pesquisas são voltadas ao forno e a otimização da escória e liga dentro do forno. A segunda limitação dessa pesquisa se baseou na falta de um banco de dados na empresa, e na falta de indicadores de perdas.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A aplicação do trabalho ocorreu através de funções triangulares, uma sugestão seria fazer a análise sobre os efeitos de se escolher diferentes formas de funções de pertinência e também a variação na quantidade destas funções, adicionando variáveis mais específicas. Outra sugestão é a realização da otimização de processo através das equações gerada no programa *Curve Fitting*, permitindo assim simulações para o estado ideal do processo.

O convênio de cooperação técnico firmado entre as partes, oferece também oportunidades de trabalhos em outras áreas, tais como: na área de segurança; na área de otimização do processo e; na área da ergonomia (temperatura, conforto e doenças ocupacionais).

Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos Sólidos: Classificação. NBR - 10.004. Rio de Janeiro, 2004.
- ABRAFE- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FERROLIGAS E DE SILÍCIO METÁLICO. *Site Oficial*. 2017. Disponível em: <<http://www.abrafe.ind.br/>>. Acesso em: 05/09/2017.
- ALVARENGA, T. H. de P.; RODRIGUEZ, C. M. T. Reflexões sobre a logística verde na redução dos impactos ambientais. *Revista Eletrônica TECCEN*, v. 11, n. 1, p. 47 – 53, 2018.
- ANDRADE, M.; JACQUES, M. A. P. Estudo comparativo de controladores de Mamdani e Sugeno para controle de tráfego em interseções isoladas. *Transportes*, XVI, n. 2, 2008. ISSN 1415-7713.
- ANDRONICEANU, A. The three-dimensional approach of total quality management, an essential strategic option for business excellence. *Amfiteatru Economic*, v. 19, n. 44, 2017.
- ATANASSOV, K. T. Type-1 Fuzzy Sets and Intuitionistic Fuzzy Sets. *Algorithms*, v. 10, n. 3, 2017.
- ÁVILA, S. *Metodologia para minimizar efluentes na fonte a partir da investigação de anormalidades operacionais: caso da indústria química*. 2004. 115 p. Dissertação (Mestrado Profissional Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo- Teclim) — Universidade Federal da Bahia.
- ÁVILA, S. et al. Worker character/ personality classification and human error possibilities in procedures execution. *CISAP3 – 3rd International Conference on safety and environment in process industry*, Rome, p. 279 – 286, 2008.
- ÁVILA, S. F.; COSTA, C. Analysis of cognitive deficit in routine task, as a strategy to reduce accidents and industrial Increase production. *Safety and Reliability of Complex En-gineered Systems*, London, p. 2837 – 2844, 2015.
- BARROS, L. C.; SOUZA, A. L.; AMENDOLA, M. *Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5*. Campinas: [s.n.], 2005. Unicamp; Feagri & Imecc, 46 p.
- BARUA, A.; MUDUNURI, L. S.; KOSHELEVA, O. Why trapezoidal and triangular membership functions work so well: Towards a theoretical explanation. *Departmental Technical Reports (CS)*, 783., 2013.
- BRACARENSE, P. A. *Estatística aplicada às ciências sociais*. [S.l.]: lesde Brasil Sa, 2012.
- BRAGA, H. C.; MOITA, G. F. Modelagem computacional com lógica fuzzy da movimentação de pessoas: Determinação e relevância de aspectos ergonômicos cinemáticos. In: *XI SIMMEC*. Juiz de Fora: [s.n.], 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. 1986.

- BRASIL, MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL. *Classificação Nacional de Atividade Econômica – CNAE 2.0. Anexo I. Classificação nacional de atividades econômicas e grau de risco de acidente do trabalho associado*. 2012. Disponível em: <http://www.previdencia.gov.br/arquivos/office/4_101130-164603-107.pdf>. Acesso em: 09/08/2017.
- BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM-2030). Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732821/Book_PNM_2030_2.pdf/f7cc76c1-2d3b-4490-9d45-d725801c3522>. Acesso em: 17/09/2017.
- BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico. *Relatório do setor metalurgico 2015*, 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>>. Acesso em: 20/06/2017.
- BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Anuário Estatístico do setor Metalúrgico. 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes>>. Acesso em: 10/09/2017.
- C. MIGUEL, P. A. *Qualidade: enfoques e ferramentas*. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2006.
- CABRAL, L. M. *Introduction to industrial organization*. [S.l.]: MIT press, 2017.
- CABRERA, S. et al. Arquitectura eficiente para la implementación de hardware de sistemas de inferência difusosingeniería electrónica. *Automática y Comunicaciones*, v. 23, n. 1, p. 59 – 66, 2003.
- CAMPOS, V. A. et al. Implantação de procedimento operacional padrão em uma lavanderia industrial. *Colloquium Exactarum*, v. 6, n. especial, p. 53 – 67, 2014. ISSN 2178-8332.
- CANEPPELE, F. de L. *Sistema fuzzy de suporte a decisão para aplicação de programa de eficiência energética em serrarias*. 2011. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP). Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/101933>>.
- CAO, Y. M.; HE, Y. H. Ferrous Metallurgy. *Membrane-Based Separations in Metallurgy*, p. 59 – 100, 2016.
- CARDOSO, A. de O. *As faces da indústria metalúrgica no Brasil- Uma contribuição à luta sindical*. [S.l.], 2015. Confederação Nacional dos Metalúrgicos, São Paulo : Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos.
- CARLOS, G. A. M. Contaminação Industrial pelos Resíduos Sólidos Perigosos: Relação com a Saúde Humana na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brasil. *CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENHARIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL : AIDIS - Asociación Dominicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Cancun, 2002.
- CAUCHICK MIGUEL, P. A. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. *Produção*, v. 17, n. 1, p. 216-229, Jan./Abr. 2007, v. 17, n. 1, p. 216 – 229, Janeiro/Abril 2007.

- CERQUEIRA, J. P. de. *Sistemas de Gestão Integrados: Iso 9001, iso 14001, ohsas 18001, as 8000, nbr 16001: conceitos e aplicações*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.
- CHEN, Z. et al. The effect of the carbonaceous materials properties on the energy consumption of silicon production in the submerged arc furnace. *Journal of Cleaner Production*, v. 191, p. 240 – 247, 2018.
- CHIARINI, A.; BACCARANI, C.; MASCHERPA, V. Lean production, Toyota Production System and Kaizen philosophy: A conceptual analysis from the perspective of Zen Buddhism. *The TQM Journal*, 2018.
- COLLINGS, D. P. *Selecting a questionnaire response scale for student feedback surveys: a comparison of psychometric properties and student preferences among three alternatives*. 2006. Dissertação (Mestrado) — Murdoch University.
- CORRÊA, M. V.; BAÉSSA, J. P. D. *Identificação de sistemas dinâmicos não-lineares utilizando Lógica Fuzzy*. 2007.
- COSTA, F. J. *Mensuração e desenvolvimento de escalas: aplicações em administração*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011.
- CRUZ, A. G. A. et al. Sistema híbrido para diagnósticos de falhas em motores de indução trifásicos com base no método vibracional, corrente de armadura e lógica fuzzy”. XXXVI CILAMCE, Rio de Janeiro - MG/Brasil. In: XXXVI CILAMCE - Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015.
- DAMELIO, R. *The basics of process mapping*. [S.l.]: Productivity Press, 2016.
- DERNONCOURT, F. *Introduction to fuzzy logic*. 2013.
- DONGARE, A. V.; MULEY, A. An analytical study of the production of major bulk Ferro Alloys with special reference to India. *X INDIAN JOURNAL OF APPLIED RESEARCH*, v. 6, n. 1, p. 2249 – 555, 2016.
- DRAGO, A. A.; ARAÚJO, E. D. Gestão por processos: Gerenciamento dos fluxos de processos administrativos em uma organização militar. *Revista de Administração e Contabilidade-RAC*, v. 3, n. 5, 2016.
- DUTRA, J. S. Gestão do desenvolvimento e da carreira por competências. In: _____. *DUTRA, Joel Souza (Org.). Gestão por Competências: um modelo avançado para o gerenciamento de pessoas*. São Paulo: Gente, 2001.
- FARIA, G. L. D. et al. Characterization of manganese alloy residues for the recycling of FeSiMn and high-carbon FeMn fines. *Materials Research*, v. 11, n. 4, p. 405 – 408, 2008.
- FLORÊNCIO, C. de S.; MACEDO, A. H. M. A Metodologia de implantação da padronização em uma indústria calçadista do interior do Ceará. In: V ENCONTRO DE PESQUISA E EXTENSÃO DA FACULDADE LUCIANO FEIJÃO, 2012, Sobral-CE. Sobral-CE, 2012.
- FONSECA, L.; LIMA, V.; SILVA, M. Utilization of Quality Tools: does sector and size matter? *International Journal for Quality Research (IJQR)*, v. 9, p. 605 – 620, 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL- FEPAM. *Inventário nacional de resíduos sólidos industriais*. Rio Grande do Sul, 2010.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. *Levantamento da situação ambiental e energética do setor de ferroligas e silício metálico no Estado de Minas Gerais, com prospecção de ações para o desenvolvimento sustentável da atividade: relatório de requisitos legais/gerência de desenvolvimento e apoio técnico às atividades industriais*. Belo Horizonte, 2010.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE- FEAM. *Levantamento da situação ambiental e energética do setor de ferroligas e silício metálico no Estado de Minas Gerais, com prospecção de ações para o desenvolvimento sustentável da atividade: relatório de requisitos legais/gerência de desenvolvimento e apoio técnico às atividades industriais*. Belo Horizonte, 2010.

GIORDANO, G. Tratamento e controle de efluentes industriais. *Revista ABES*, v. 4, n. 76, 2004.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. *Otimização Combinatória e Programação Linear*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GREGUREK, D. et al. Fe Alloys: Production and Metallurgical Aspects: Part II. *JOM*, v. 69, n. 2, p. 323 – 324, 2017.

GUDANOWSKA, A. E.; ALONSO, J. P.; TÖRMÄNEN, A. What competencies are needed in the production industry?: The case of the Podlaskie Region. *Engineering Management in Production and Services*, v. 10, n. 1, p. 65 – 74, 2018.

HAQUE, N.; NORGATE, T. Estimation of greenhouse gas emissions from ferroalloy production using life cycle assessment with particular reference to Australia. *Journal of cleaner production*, v. 39, p. 220 – 230, 2013.

HAUSER, S. Analysis of Requirement Problems regarding their Causes and Effects for Projects with the objective to Model Qualitative PRIs-Empirical Study. 2018.

HIROTA, E. H.; FORMOSO, C. T. O processo de aprendizagem na transferência dos conceitos e princípios da produção enxuta para a produção. 2003. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2000/Artigos/ENTAC2000_237.pdf>.

IIDA, I. *Ergonomia - Projeto e Produção*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2005. ISBN 9788521203544.

JOSHI, A. et al. Likert scale: Explored and explained. *British Journal of Applied Science & Technology*, v. 7, n. 4, p. 396 –, 2015.

KIPPER, L. M. et al. Gestão por processos: Comparação e análise entre metodologias para implantação da gestão orientada a processos e seus principais conceitos. *Tecno-lógica*, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 2, p. 89 – 99, 2011.

KRUGER, P. V. *Relatório Técnico-Perfil Ferroligas*: Projeto de assistência técnica ao setor de energia. [S.l.], 2009.

- KRZYCH, J. et al. The Likert scale is a powerful tool for quality of life assessment among patients after minimally invasive coronary surgery. *Kardiochirurgia i Torakochirurgia Polska/Polish Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, v. 15, n. 2, p. 130 – 134, 2018.
- KURDVE, M. et al. Waste flow mapping to improve sustainability of waste management: a case study approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 98, p. 304 – 315, 2015.
- LEES, F. P. *Loss prevention in the process industries: hazard identification, assessment and control*. 2. ed. Great Britain: Butterworth-Heinemann, 1996. v. 1-3. 3680 páginas.
- LEITE, A. A. F.; BAJAY, S. V.; GORLA, F. D. *Oportunidades de eficiência energética para a indústria- Relatório setorial: ferros-ligas*. Brasília: CNI, 2010.
- LI, Q. A novel Likert scale based on fuzzy sets theory. *Expert Systems with Applications - Elsevier Ltd.*, p. 1609 – 1618, 2013.
- LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. . *Archives of Psychology*, v. 22, 1932. Disponível em: <<http://psycnet.apa.org/psycinfo/1933-01885-001>>. Acesso em: 24/03/2017.
- LOUFRANI-FEDIDAS, S.; ANGUÉ, K. Pour une approche transversale et globale des competences dans les organisation par projets. IN: RETOUR D., PICQ T., DEFELIX C. (eds). *Gestion des compétences: Nouvelles relations nouvelles dimensions*. Paris: Vuibert, 123-148,2009. In: _____. *Gestion des compétences: nouvelles relations, nouvelles dimensions*. publisher: Vuibert. [S.l.]: Didier Retour, Thierry Picq, Christian Defélix, 2009. p. 123 – 148.
- MAMDANI, E. H. Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proc. IEEE 121*, v. 12, p. 1585 – 1588, 1973.
- MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *Int. J. Man-Machine Studies*, v. 7, p. 1 – 13, 1975.
- MANTOVANI, C. A.; TAUCHEN, J. A. *Um Modelo de Gestão do Desenvolvimento para o setor industrial metal-mecânico da região Fronteira Noroeste do Rio Grande do Sul, através da Gestão Ambiental*. Horizontina, 2009. 75 p.
- MARTINS. Contabilidade de Custos. In: _____. [S.l.: s.n.], 2006.
- MATTAR, F. N. *Pesquisa de Marketing: Metodologia e planejamento*. São Paulo: Atlas, 1996.
- MAYOLO, L. L. K.; PERINI, R. L. Diagnóstico do perfil de Gestão Ambiental das empresas de médio porte do setor metalmeccânico de Caxias do Sul. *Global Manager Acadêmica*, v. 1, n. 2, p. 1 – 20, 2012.
- MEINDERS, H.; MEUFFELS, M. Product chain responsibility – an industry perspective. *Corporate Environmental Strategy*, v. 8, n. 4, p. 348 – 354, 2001.
- MELLO, C. H. P. *ISO 9001:2000: Sistema de gestão da qualidade para operações de produção e serviços*. São Paulo: Atlas, 2002.

MELLO, C. H. P.; SALGADO, E. G. Mapeamento dos processos em serviços: estudo de caso em duas pequenas empresas da área de saúde. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP, 2005, Porto Alegre. Porto Alegre, 2005.

MINUSSI, C. R. Lógica Nebulosa (Lógica Fuzzy). *Unesp/FE/DEEE*, Ilha Solteira, 2009. 119 p.

MORAES, O. B. *Método de análise de dados para avaliação de áreas urbanas recuperadas-uma abordagem utilizando a lógica fuzzy*. 2008. Tese (Engenharia de Construção Civil e Urbana) — Universidade de São Paulo.

MORO, P. D. et al. Diagnóstico ambiental de indústrias de fabricação de estruturas metálicas e esquadrias de metal de pequeno e médio porte. *Revista Gestão e Produção*, São Carlos, v. 22, n. 1, p. 229 – 237, 2015.

NDLOVU, S.; SIMATE, G. S.; MATINDE, E. *Waste Production and Utilization in the Metal Extraction Industry*. [S.l.]: CRC Press, 2017.

NOGUEIRA, M. M. *Aplicando Lógica Fuzzy no Controle de Robôs Móveis usando Dispositivos Lógicos Programáveis e a Linguagem VHDL*. 2013. 95 p. Dissertação (Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento, Automação) — Universidade Estadual Paulista.

PEDRYCZ, W. Why triangular membership functions? *Fuzzy sets and Systems*, v. 64, n. 1, p. 21 – 30, 1994.

PELLISSARI, A. S.; GONZALEZ, I. V. D. P.; VANALLE, R. M. Competências gerenciais: Um estudo em pequenas empresas de confecções. *Revista Eletrônica de Administração*, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 149 – 180, 2011.

PEREIRA, D. F. et al. Sistema fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 624 – 633, 2008.

PIMENTA, S. M.; BRASIL, E. R. Gestores e competências organizacionais no Terceiro Setor em Itabira-MG. *Gestão e Regionalidade*, v. 22, p. 78 – 89, 2006.

PINHO, A. F.; LEAL, F.; ALMEIDA, D. A. A Integração entre o Mapeamento de Processo e o Mapeamento de Falhas: dois casos de aplicação no setor elétrico. In: ENEGEP, 2006, Fortaleza. Fortaleza, 2006.

PINTO, W. G. S. et al. Uncertainty analysis in a rotor system by using the fuzzy logic approach. In: *XXXVI CILAMCE- Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015.

POLO-REDONDO, Y.; CAMBRA-FIERRO, J. Influence of the standardization of a firm's productive process on the long-term orientation of its supply relationships: An empirical study. *Industrial Marketing Management*, v. 37, n. 4, p. 407 – 420, 2008.

PRENZEL, P. V.; VANCLAY, F. How social impact assessment can contribute to conflict management. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 45, p. 30 – 37, 2014.

RABELO, A. F.; MOITA, G. F. Aprimorar massa de testes com lógica fuzzy. In: *XI SIMMEC*. Juiz de Fora: [s.n.], 2014. MG/Brasil.

- REZENDE, S. O. *Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações*. [S.l.]: Editora Manole Ltda., 2005.
- RODRIGUES, F. F. C.; BORGES, C. L. T.; FALCÃO, D. M. Programação da contratação de energia considerando geração distribuída e incertezas na previsão de demanda. *Sba Controle & Automação*, v. 18, n. 3, p. 361 – 371, 2007.
- RODRIGUES JUNIOR, H. M. et al. Agente tomador de decisões baseadas em lógica fuzzy no jogo de pôquer. In: *XII Simpósio de Mecânica Computacional (SIMMEC)*. Diamantina: [s.n.], 2016.
- ROSS, J. E. *Total quality management: Text, cases, and readings*. [S.l.]: Routledge, 2017.
- RUAS, R. A problemática do desenvolvimento de competências e a contribuição da aprendizagem organizacional. In: _____. *Gestão estratégica do conhecimento: integrando aprendizagem, conhecimento e competências*. São Paulo: Atlas, 2000.
- SANTINO, C. N.; MAGALHÃES, R. da S.; ÁVILA, S. F. Análise de perdas em processos considerando os impactos ambientais- Estudo de caso em uma indústria Metalúrgica. *CONTECC-Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia*, Foz do Iguaçu, 2016.
- SANTOS, A. B. dos. Reuso de efluentes no processo industrial de siderurgia. 2014.
- SANTOS, G. Q. dos. Lógica Fuzzy: Uma proposta de aplicação na gestão de estoques. In: *In Anais do XVII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha - SPOLM 2014*. São Paulo: Blucher Engineering Proceedings, 2014. v. 1, n. 1, p. 816 – 827. ISSN 2358-5498.
- SANTOS, L. M. M. Siderurgia para Cursos Tecnológicos. Ouro Preto: ETFOP. 2007.
- SARTAL, A. et al. How much does Lean Manufacturing need environmental and information technologies. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 45, n. 1, 2017.
- SCHOEMAKER, M.; JONKER, J. Managing intangible assets: An essay on organising contemporary organisations based upon identity, competencies and networks. *Journal of Management Development*, v. 24, n. 6, 2005.
- SHAY, K. *Just in time*. [S.l.]: Ocean View Books, 2015. v. 1.
- SHINGO, S. O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção. *Bookman*, Porto Alegre, 1996.
- SILVA, F. M.; MELLO, S. P. T. A noção de competência na gestão de pessoas : reflexões acerca do setor público. *Revista do Serviço Público*, Brasília, v. 62, n. 2, p. 167 – 183, 2011.
- SILVA JÚNIOR, S. D. da. Mensuração e Escalas de Verificação: uma Análise Comparativa das Escalas de Likert e Phrase Completion. *Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia - PMKT*, 2014.
- SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. *Controle e modelagem fuzzy*. São Paulo: Blücher/FAPESP, 2007.

- SORIA FERNANDEZ, C. *Obtenção de uma liga ferro-cromo por redução aluminotérmica de cinzas da incineração de resíduo de couro*. 2010. 29 p. Monografia (Graduação em Engenharia Química) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SOUZA, R. M. Redução de perdas em um sistema de armazenagem de propeno químico. Trabalho de Especialização em Engenharia Industrial- Universidade Federal da Bahia. 2011.
- STEENKAMP, J. D.; HOCKADAY, C. J.; GOUS, J. P. *Analysis of electrical energy dissipation in submerged-arc furnaces producing silicomanganese*. 2017.
- SUGENO, M. An introductory survey of fuzzy control information. *Science*, London, v. 36, p. 59 – 83, 1974.
- SUGENO, M. An introductory survey of fuzzy control. *Information Sciences*, p. 59 – 83, 1985.
- TERENCE, A. C. F.; ESCRIVÃO FILHO, E. Abordagem quantitativa, qualitativa e a utilização da pesquisa-ação nos estudos organizacionais. Fortaleza, 2006.
- TOLMASQUIM, M. T. AND SZKLO, A. S. A matriz energética brasileira na virada do milênio. *COPPE/UFRJ*, Rio de Janeiro, 2000.
- UNGAN, M. C. Standardization through process documentation. *Business Process Management Journal*, v. 12, n. 2, p. 135 – 148, 2006.
- VASHI, M. P.; DESAI, K. A. A Review on Recent Advancement in Solid Waste Management Concept. *Journal of Environmental Engineering and Studies*, v. 3, n. 2, 2018.
- VIEIRA, J. P. A. et al. Controladores fuzzy aplicados ao conversor de geradores de indução duplamente excitados em sistemas eólicos integrados a sistemas de potência. *Sba Controle & Automação*, v. 18, n. 1, p. 115 – 126, 2007.
- VIEIRA, K. M.; DALMORO, M. Dilemas na Construção de Escalas Tipo Likert: o Número de Itens e a Disposição Influenciam nos Resultados? In: *XXXII Encontro da ANPAD*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008.
- WANG, H.; XU, Z.; PEDRYCZ, W. An overview on the roles of fuzzy set techniques in big data processing: Trends, challenges and opportunities. *Knowledge-Based Systems*, v. 118, p. 15 – 30, 2017.
- WOODIN KE. Standard operations procedures (SOPs). In: _____. *The CRC's guide to coordinating clinical research*. Boston: Thompson Center Watch, 2004. p. 59 – 72.
- YIN, R. K. *Case study research and applications: Design and methods*. [S.l.]: Sage publications, 2017.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. In: _____. *Information and control*. [S.l.]: Elsevier, 1965. v. 8, p. 338 – 353.
- ZAMBRANO, A. P. et al. High carbon ferro-chromium by self-reducing process: Fundamentals. *Songklanakarinn Journal of Science & Technology*, v. 31, n. 4, 2009.

ZBONTAR, L.; GLAVIC, P. Total site: wastewater minimization: wastewater reuse and regeneration reuse. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 30, n. 4, p. 261 – 275, 2000.

Apêndices

APÊNDICE A

Roteiro de entrevista com o staff (engenheiro ambiental) para auxiliar na discussão do processo geral e as possíveis perdas:

Figura 27 – Questões abordadas na entrevista de conhecimento do processo geral

Entrevista inicial sobre o processo geral e suas perdas

- 1) Nome completo do entrevistado/ cargo na empresa
- 2) Como funciona a divisão dos processos nessa indústria?
- 3) Quantos turnos existem na fábrica? E a carga horária?
- 4) Quantas torres de resfriamento tem na fábrica?
- 5) Quantos fornos existem na fábrica em funcionamento?
- 6) Como funciona o efluente (tratamento)?
- 7) Existem filtros para a prevenção do material particulado? Quantos?
- 8) Como é gerada a escória? Qual o destino da Escória?
- 9) Existe uma equipe do setor ambiental ou de produção, que acompanha as perdas de processo?
- 10) Quais as principais perdas na área operacional?

APÊNDICE B

Modelo do formulário utilizado na entrevista, para elaboração do balanço de massa.

Figura 28 – Questões abordadas na entrevista para o balanço de massa

ENTREVISTA PARA CONSTRUÇÃO DO BALANÇO DE MASSA
1) PROPORÇÃO DE LIGA X ESCÓRIA
2) QUANTOS FORNOS ESTÃO FUNCIONANDO ATUALMENTE?
3) QUANTAS CORRIDAS EM MÉDIA FAZ CADA FORNO POR DIA?
4) FUNCIONAMENTO DA PRODUÇÃO : OS FORNOS FUNCIONAM TODOS OS DIAS?
5) TEM ALGUM INDÍCIO DE CONTAMINAÇÃO DE LIGA NA ESCÓRIA?
6) PREÇO DA LIGA NO MERCADO?
7) QUANTAS TONELADAS SÃO PRODUZIDAS DE LIGA NO MÊS?
8) QUANTAS TONELADAS SÃO PRODUZIDAS DE ESCÓRIA NO MÊS (MÉDIA)
9) TODA A ESCÓRIA VAI PARA O SETOR DE RECUPERAÇÃO??
10) QUANTO TONELADAS DE LIGA SÃO RECUPERADAS (OU PERCENTUAL) NO SETOR DE RECUPERAÇÃO POR MÊS?
11) COM A RECUPERAÇÃO DE LIGA QUE ACONTECE NO SETOR DE RECUPERAÇÃO, QUAL SERIA O ASPECTO DE SAÍDA DELA EM PERCENTUAL?
FINO:
GRANULADO:
12) QUAL A CAPACIDADE DO FORNO DO ARCO SUBMERSO (PROJETO DO FORNO)?
13) PERCENTUAL DO ASPECTO DE SAÍDA DA ESCÓRIA NO SETOR DE RECUPERAÇÃO?
FINO:
BRITA:
14) INDICAR OS VALORES (EM TONELADAS) DE ENTRADA DE ESCÓRIA NO SETOR DE RECUPERAÇÃO POR MÊS:

APÊNDICE C

Roteiro de entrevista com o staff (coordenador de produção) para auxiliar na discussão da análise da tarefa e conhecimento do posto de trabalho.

Perfil do entrevistado

Nome do funcionário:

Cargo que ocupa:

Quantos anos de experiência nessa área:

Seguem abaixo as perguntas abordadas na entrevista:

Figura 29 – Questões abordadas na entrevista para conhecimento do posto de trabalho

ENTREVISTA – PARA CONHECIMENTO DO POSTO DE TRABALHO
1) Quantas pessoas operam nesse posto de trabalho?
2) Qual o tempo de treinamento dos operadores para operação? Existe reciclagem?
3) O operador, em campo, deve dividir a sua atenção com outros equipamentos ao realizar a operação do forno?
4) Existe algum procedimento para essa operação? PARA FURA () PARA CORRIDA() PARA CONFECÇÃO O SKIMMER() Se sim, este procedimento é utilizado em campo?
5) É necessária a comunicação do operador com alguém para o monitoramento das variáveis de processo (painel de controle)? Se sim, como é feita essa comunicação?
6) Quais são as possíveis causas da falha (mistura da escoria na liga)?
7) O que o operador deve fazer em resposta às eventualidades?
8) Qual o nível de estresse decorrente da falha na corrida? Por que? Baixo () Médio () Alto ()
9) Quanto tempo o operador permanece junto ao equipamento para monitorar a sua operação?
10) Como é feita a transmissão de informações para o turno seguinte?
11) Qual é o papel do supervisor na realização da tarefa?

Figura 32 – Modelo do questionário aplicado na metodologia escala likert: Bloco Desempenho Operacional

BLOCO DA VARIÁVEL DESEMPENHO OPERACIONAL Perfil do operador Cargo: Tempo de serviço: Tempo de atividade: Idade:	ESCALA					PESOS				
	1 - Discordo Plenamente 2 - Discordo 3 - Não Concordo e nem Discordo 4 - Concordo Parcialmente 5 - Concordo Totalmente					Peso 1 – nenhuma importância da variável; Peso 2 – baixa importância da variável; Peso 3 – alguma importância da variável; Peso 4 – média importância da variável; Peso 5 – alta importância da variável.				
QUESTIONÁRIO ESCALA LIKERT	Avaliação					Peso				
DESEMPENHO OPERACIONAL	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
A moldagem do skimmer e sua preparação é considerado uma etapa crítica e sua boa preparação é essencial para uma boa produção.										
A identificação da liga e escória durante o vazamento é considerada uma das etapas mais importante e essencial para um bom vazamento.										
O método de identificação da liga e escória não é considerado pessoal e informal (densidade; cor; ou outro método).										
Existem ou conhece os procedimentos informais de emergência quando ocorre a mistura liga e escoria; fervura, incidentes).										
Conhece o padrão (formal) de sua tarefa.										
Considera ter muito tempo de experiência na atividade.										
Realiza tarefas específicas na área- responsável/ autonomia.										
Conhece os procedimentos ou regras da atividade (formais ou informais).										
Acredita que a atividade requer auto-controle e senso de tomada de decisão rápida...										
É possível realizar diagnóstico dos problemas rapidamente durante a corrida (operador).										
Tem acesso e conhecimento dos instrumentos necessários para desenvolver a tarefa com sucesso.										
O turno da produção não faz diferença para produção (preferências).										
A função de forneiro requer conhecimentos previos - habilidades/ experiência.										

Figura 33 – Resultados do questionário- metodologia escala likert

RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO						
	TURMA M	TURMA N	TURMA O	TURMA P	TURMA Q	TOTAL
ROTINA DA TAREFA	560	608	565	666	590	2989
GESTÃO E TECNOLOGIA	500	451	443	477	439	2310
DESEMPENHO OPERACIONAL	867	903	828	835	832	4265
TOTAL	1927	1962	1836	1978	1861	9564

UFBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL - PEI

Rua Aristides Novis, 02, 6º andar, Federação, Salvador BA

CEP: 40.210-630

Telefone: (71) 3283-9800

E-mail: pei@ufba.br

Home page: <http://www.pei.ufba.br>

