

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

**THALLES SILVA E CARVALHO**

**ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DE VÁLVULAS DE  
DESCARGA DE PÓ DE UM ALTO FORNO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2017**

**THALLES SILVA E CARVALHO**

**ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DE VÁLVULAS DE  
DESCARGA DE PÓ DE UM ALTO FORNO**

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

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

**CURITIBA**

**2017**



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DE VÁLVULAS DE DESCARGA DE PÓ DE UM ALTO FORNO**

por

**THALLES SILVA E CARVALHO**

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

---

**Prof. Marcelo Rodrigues Dr.  
Professor Orientador - UTFPR**

---

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

---

**Prof. Emerson Rigoni Dr.  
Membro Titular da Banca – UTFPR**

Dedico este trabalho a minha esposa Mariana e aos meus familiares pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Mais uma importante etapa da minha carreira como engenheiro esta sendo concluída. Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar viver estas grandes oportunidades ao longo da minha carreira. Agradeço a minha esposa Mariana pela compreensão nos momentos de ausência. Agradeço a ArcelorMittal Tubarão e ao engenheiro Fabiano Santana pela confiança e oportunidade. Agradeço ao engenheiro Shaney pelo apoio no decorrer da monografia. Agradeço a todos os professores que me proporcionaram momentos de aprendizagem e troca de experiências.

## RESUMO

CARVALHO, T.S. **Análise do Custo do Ciclo de Vida de Válvulas de Descarga de Pó de um Alto Forno**. 2017. 77. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Diante da mudança de um cenário de produção é necessário prever o aumento dos custos de manutenção para embasar as tomadas de decisão. Desta maneira, se faz necessário conhecer o custo do ciclo de vida dos equipamentos. O principal problema a ser estudado é a limitação do tempo de operação das quatro válvulas de descarga do balão de pó de um alto forno. A frequência de substituição dos componentes de vedação das válvulas é muito alta e os custos envolvidos são consideráveis. Atualmente este equipamento é um ponto fraco quando se fala em aumento de produção anual de gusa. Caso seja necessário prolongar por mais alguns meses o tempo de operação do alto forno antes da próxima parada programada prevista, a confiabilidade deste equipamento é reduzida e possivelmente este falhará e irá paralisar a produção de gusa. Os procedimentos metodológicos aplicados neste estudo são de natureza de pesquisa tecnológica aplicada, com objetivo descritivo e exploratório e procedimento classificado como pesquisa e ação. Foi utilizada a metodologia do LCC – Life Cycle Cost com objetivo de escolher a abordagem mais rentável de uma série de alternativas para que o menor custo de propriedade em longo prazo seja alcançado. Percebe-se que de várias alternativas de tecnologias em substituição a válvula atual, uma delas apresentou de forma considerável menor custo ao longo do período analisado.

**Palavras-chave:** Confiabilidade. LCC. Balão de Pó. Válvula de Descarga de Pó. Alto Forno.

## ABSTRACT

CARVALHO, T.S. **Análise do Custo do Ciclo de Vida de Válvulas de Descarga de Pó de um Alto Forno**. 2017. 77. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

With a new production scenario, it's necessary to predict the increase of maintenance costs to support manager decisions. For this, it's necessary to know the life cycle cost of the equipments. The main problem to be studied is the limitation of the operating time of the four dust discharge valves. The frequency of replacement of the valve seal components is very high and the costs involved are considerable. This equipment is currently a weak point when it comes to increased annual iron production. If it's necessary to extend the blast furnace's operating time by a few more months before the next scheduled shutdown, the reliability of this equipment is reduced and possibly it will fail stopped the production of iron. The methodological procedures applied in this study are of an applied technological research nature, with a descriptive and exploratory objective and a procedure classified as research and action. The LCC methodology was used to choose the most cost-effective approach from a series of alternatives so that the lowest long-term cost of ownership is achieved. It can be noticed that of several alternatives of technologies replacing the current valve, one of them presented considerably lower cost during the analyzed period.

**Key-Words:** Reliability. LCC. Dust Catcher. Dust Discharge Valve. Blast Furnace.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Overview of the steelmaking process.....	19
Figura 2.2 - Distribuição produção de aço no mundo.....	20
Figura 2.3 - Consumo aparente de aço per capita.....	20
Figura 2.4 - Steelmaking routes and raw materials.....	21
Figura 2.5 - As zonas de um alto forno.....	22
Figura 2.6 - Entradas e saídas de um alto forno.....	23
Figura 2.7 - Perfil de temperatura no interior de um alto forno.....	24
Figura 2.8 - Sistema de carregamento do alto forno.....	25
Figura 2.9 - Sistema de carregamento do alto forno – Peneiramento.....	25
Figura 2.10 - Sistema de topo do alto forno.....	27
Figura 2.11 - Operação da máquina de perfuração.....	29
Figura 2.12 - Operação do canhão de lama.....	29
Figura 2.13 - Sistema dos regeneradores.....	30
Figura 2.14 - Sistema típico de lavagem de gás.....	31
Figura 2.15 - Arranjo geral coletor de pó tradicional.....	33
Figura 2.16 - Válvulas descarga de pó.....	34
Figura 2.17 - Válvula atual vedação tipo cone e sede.....	35
Figura 2.18 - Operação descarga de pó do coletor.....	35
Figura 3.1 - Árvore do custo do ciclo de vida de um equipamento.....	40
Figura 3.2 - Etapas desenvolvimento do LCC.....	41
Figura 4.1 - Válvula Gritzko II – Fabricante A.....	45
Figura 4.2 - Válvula tríplice Fabricante B.....	46
Figura 4.3 - Válvula descarga de pó Fabricante C.....	48
Figura 4.4 - Categorias de custos para alternativas.....	49
Figura 4.5 - Fórmula VPL.....	57



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Soma dos VPL acumulativos do custo total da válvula Gritzko II.....	58
Gráfico 4.2 – Soma dos VPL acumulativos do custo total da válvula Tríplice.....	58
Gráfico 4.3 – Soma dos VPL acumulativos do custo total da válvula Fabricante C.....	59
Gráfico 4.4 – Soma VPL acumulativos custo total das alternativas estratégia 1.....	59
Gráfico 4.5 – Diagrama de Pareto Custos Válvula Atual.....	60
Gráfico 4.6 – Diagrama de Pareto Custos Válvula Gritzko II.....	61
Gráfico 4.7 – Diagrama de Pareto Custos Válvula Tríplice.....	61
Gráfico 4.8 – Diagrama de Pareto Custos Válvula Controladora Fabricante C.....	62
Gráfico 4.9 – Diagrama de Pareto Custos Válvula Vedação Fabricante C.....	62
Gráfico 4.10 – Soma VPL acumulativos custo total alternativas com vida útil 24 meses .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Custos substituição completa válvula atual.....	51
Tabela 4.2 – Custos substituição elementos de vedação válvula atual.....	51
Tabela 4.3 – Custos Efetivo e Recursos para Substituição Válvula Gritzko II.....	52
Tabela 4.4 – Custos Substituição Total Válvula Gritzko II Recuperada.....	52
Tabela 4.5 – Custos com Efetivo e Recursos para Substituição Válvula Tríplice....	53
Tabela 4.6 – Custos Substituição Total Válvula Tríplice Recuperada.....	54
Tabela 4.7 – Custos com Efetivo e Recursos para Substituição das Válvulas Controladora de Fluxo e de Vedação.....	55
Tabela 4.8 – Custos Substituição Total Válvula Tríplice Recuperada.....	55
Tabela A1 – Demonstrativo Contábil Válvula Atual.....	71
Tabela A2 – Demonstrativo Contábil Válvula Gritzko II Estratégia 1.....	72
Tabela A3 – Demonstrativo Contábil Válvula Gritzko II Estratégia 2.....	73
Tabela A4 – Demonstrativo Contábil Válvula Tríplice Estratégia 1.....	74
Tabela A5 – Demonstrativo Contábil Válvula Tríplice Estratégia 2.....	75
Tabela A6 – Demonstrativo Contábil Válvula Fabricante C Estratégia 1.....	76
Tabela A7 – Demonstrativo Contábil Válvula Fabricante C Estratégia 2.....	77

## LISTA DE ABREVIATURAS

C°	Graus Celsius
Kg	Quilogramas
mm	Milímetros
t/m <sup>3</sup>	Toneladas por metro cúbico

## LISTA DE SIGLAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
BFG	Blast Furnace Gas
COG	Coke Oven Gas
CSLL	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
HB	Dureza Brinell
HC	Rockwell C
IR	Imposto de Renda
LCC	Life Cycle Cost
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
VPL	Valor Presente Líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

μ – Microns

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA .....	14
1.2	OBJETIVOS .....	15
1.2.1	OBJETIVOS GERAIS .....	15
1.2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	15
1.3	JUSTIFICATIVAS .....	15
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	16
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS DO PROCESSO SIDERÚRGICO</b> .....	<b>18</b>
2.1	VISÃO GERAL DO PROCESSO SIDERÚRGICO .....	18
2.2	PROCESSO DO ALTO FORNO .....	20
2.3	PRINCIPAIS SISTEMAS DE UM ALTO FORNO .....	24
2.3.1	Carregamento do Alto Forno ( <i>Blast Furnace Stock House</i> ) .....	24
2.3.2	Topo do Alto Forno ( <i>Blast Furnace Top</i> ) .....	26
2.3.3	Casa de Corrida ( <i>Casthouse</i> ) .....	28
2.3.4	Regeneradores ( <i>Hot Stoves</i> ) .....	30
2.3.5	Sistema de Limpeza de Gás ( <i>Gas Cleaning System</i> ) .....	31
2.4	VÁLVULAS DE DESCARGA DE PÓ .....	32
2.5	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	36
<b>3</b>	<b>ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DE UM EQUIPAMENTO</b> .....	<b>38</b>
3.1	PORQUE USAR O LCC E SEUS BENEFÍCIOS .....	38
3.2	ESTIMANDO O CUSTO DO CICLO DE VIDA DE UM COMPONENTE .....	39
3.3	ETAPAS DO LCC .....	41
3.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	42
<b>4</b>	<b>O LCC APLICADO AS VÁLVULAS DE DESCARGA DE PÓ DE UM ALTO FORNO</b> .....	<b>43</b>
4.1	ETAPA 1: DEFINA O PROBLEMA .....	43
4.2	ETAPA 2: DEFINA AS ESTRATÉGIAS ALTERNATIVAS .....	44
4.3	ETAPA 3: PREPARE A ESTRUTURA DE CUSTOS .....	48
4.4	ETAPA 4: ESCOLHA O MODELO ANALÍTICO DE CUSTO .....	49
4.5	ETAPA 5: REÚNA AS ESTIMATIVAS E O MODELO DE CUSTO .....	49
4.6	ETAPA 6: FAÇA OS CUSTOS ESTIMADOS PARA CADA ANO .....	56
4.7	ETAPA 7: ENCONTRE O PONTO DE EQUILÍBRIO DAS ALTERNATIVAS .....	57
4.8	ETAPA 8: CONSTRUA O GRÁFICO DE PARETO PARA DESCOBRIR QUEM CONTRIBUI MAIS NO CUSTO .....	60
4.9	ETAPA 9: ANALISE DOS ALTOS CUSTOS E SUAS RAZÕES .....	63
4.10	ETAPA 10: ESTUDO O RISCO DOS ITENS MAIS CAROS E SUAS OCORRÊNCIAS .....	64
4.11	ETAPA 11: SELECIONE A MELHOR ALTERNATIVA COM BASE NO LCC .....	65
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>66</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	67

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE A – DEMONSTRATIVO CONTÁBIL DETALHADO DAS ALTERNATIVAS PROPOSTAS .....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, as grandes companhias buscam cada vez mais o aumento de produtividade de seus equipamentos, porém lidar com os problemas que podem ser gerados por tal decisão não é tarefa fácil. A exigência pela garantia da qualidade dos produtos, o cumprimento dos requisitos ambientais e de segurança e o baixo custo de manutenção, são grandes desafios quando se busca aumento de desempenho dos equipamentos.

Para garantir alta produtividade de um equipamento são necessárias mudanças na gestão de manutenção, nos requisitos técnicos de engenharia, no *modus operandi* e na capacitação das equipes responsáveis pela manutenção do mesmo. Naturalmente, o aumento do uso do equipamento gera uma elevação do custo de manutenção, porém a falha do mesmo pode gerar de forma eventual grandes perdas financeiras e risco a segurança das equipes.

Diante da mudança de um cenário de produção e da exigência de um equipamento é necessário prever o aumento dos custos de manutenção para embasar as tomadas de decisão nas possíveis melhorias, compra de sobressalentes ou até mesmo mudança de tecnologia. Desta maneira, se faz necessário conhecer o custo do ciclo de vida dos equipamentos.

Este trabalho abordará a análise de custo da vida de um tipo de válvula de descarga de pó no processo de um Alto Forno que vem sendo exigida por melhor performance operacional visto redução de horas disponíveis para intervenções programadas.

### 1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

O principal problema a ser estudado é a limitação do tempo de operação das quatro válvulas de descarga do balão de pó em quatro meses devido ao desgaste dos componentes de vedação das válvulas. A frequência de substituição dos componentes de vedação das válvulas é de três vezes a cada ano e os custos envolvidos são consideráveis. A implantação de válvulas de tecnologias diferentes em substituição a válvula atual trará benefícios como redução com mão de obra,

possibilidade de diminuição de horas de manutenção programada e consequentemente aumento da produtividade de um Alto Forno.

## 1.2 OBJETIVOS

Neste tópico serão apresentados os objetivos gerais e específicos da pesquisa.

### 1.2.1 OBJETIVOS GERAIS

Realizar um estudo do custo do ciclo de vida de válvulas de descarga do balão de pó de um alto forno buscando comparar o modelo atual com novas tecnologias disponíveis no mercado que sejam capazes de garantir maior confiabilidade e disponibilidade com menor custo possível.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar os conceitos de engenharia de confiabilidade na tomada de decisão;
- Conhecer o custo do ciclo de vida das válvulas de descarga de pó atual e de novas tecnologias;
- Aumentar a disponibilidade das válvulas em 1%;
- Aumentar a confiabilidade das válvulas para tempo de missão de 4 meses;
- Apresentar os riscos e ganhos envolvidos.

## 1.3 JUSTIFICATIVAS

As válvulas de descarga de pó são equipamentos considerados críticos dentro do processo de produção de ferro gusa. Estas válvulas são responsáveis por retirar o pó do balão de pó durante a limpeza do gás do alto forno. A falha destas válvulas acarreta na paralisação da produção do alto forno, fato este indesejável

pela empresa. Além do problema da perda de produção, a falha desta válvula gera vazamento de gás BFG, aumento o risco de acidentes com pessoas na região próxima ao equipamento.

Atualmente este equipamento é um ponto fraco quando se fala em aumento de produção anual de gusa. Em todas as paradas programadas do alto forno durante o ano, é necessário intervir neste equipamento para garantir sua operação até a próxima parada programada. Caso seja necessário prolongar por mais alguns meses o tempo de operação do alto forno antes da próxima parada programada prevista, a confiabilidade deste equipamento é reduzida e possivelmente este falhará e irá paralisar a produção de gusa de forma emergencial, gerando prejuízos financeiros sem precedentes.

Com o intuito de elevar a produção de gusa anual se faz necessário aumentar a disponibilidade deste equipamento e garantir alta confiabilidade.

#### 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos aplicados neste estudo são classificados como de natureza tecnológica aplicada, com objetivo descritivo e exploratório, abordagem quantitativa e qualitativa e procedimento com base em pesquisa e ação.

Segundo o Manual Frascati (2002), as atividades de inovação tecnológica são o conjunto de diligências científicas, tecnológicas, organizacionais, financeiras e comerciais, que se destinam a levar a realização de produtos e processos tecnologicamente novos e melhores.

Segundo Gil (2008) as pesquisas descritivas têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Esta tem objetivo de estudar características de um grupo: custos, falhas por exemplo. Segundo o mesmo autor citado acima, as pesquisas exploratórias têm como principal objetivo desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias.

O foco da análise qualitativa será na escolha de novas tecnologias durante o desenvolvimento do trabalho.

Segundo Thiollent (1985, p.14), este é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com



a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos do modo cooperativo ou participativo.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho se apresentará em cinco capítulos, sendo eles:

- Capítulo 1: Introdução e Objetivos
- Capítulo 2: Apresentação do Tema da Pesquisa
- Capítulo 3: Referencial Teórico
- Capítulo 4: Discussões e Resultados
- Capítulo 5: Conclusões e Recomendações

No capítulo 1 foi abordado o tema da pesquisa e suas delimitações, quais são os objetivos do estudo, as justificativas para a sua realização, qual sua relevância para o processo produtivo e quais procedimentos metodológicos foram utilizados. O capítulo 2 explicitará como é o processo de produção de ferro gusa, como ele está inserido no contexto mundial e o como é o funcionamento dos equipamentos de um alto forno. O capítulo 3 abordará o referencial teórico referente à engenharia de confiabilidade aplicada ao trabalho. No capítulo 4 serão realizadas as discussões dos resultados obtidos no decorrer da pesquisa. O capítulo 5 irá apresentar as conclusões a partir dos resultados obtidos e sugerirá trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTOS DO PROCESSO SIDERÚRGICO

### 2.1 VISÃO GERAL DO PROCESSO SIDERÚRGICO

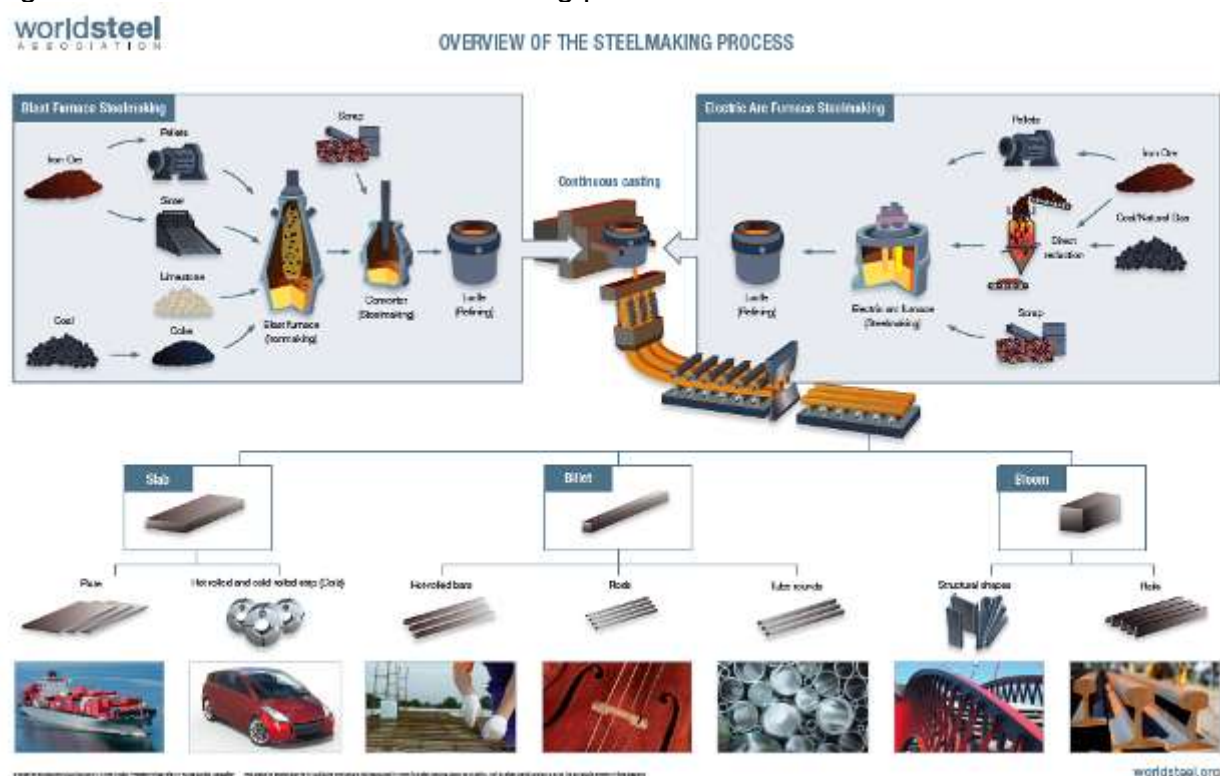
De acordo com a Associação Mundial do Aço (2017), o aço é uma liga de ferro e carbono contendo menos de 2% de carbono e 1% de manganês e pequenas quantidades de silício, fósforo, enxofre e oxigênio. O aço é o material de construção mais importante do mundo. É usado em todos os aspectos de nossas vidas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

No processo siderúrgico, utiliza-se como combustível o carvão mineral, e em fornos de menor capacidade de produção, o carvão vegetal. O carvão tem dupla função na fabricação do aço sendo a primeira como combustível e a segunda como redutor, associando-se ao oxigênio que se desprende do minério com a alta temperatura, deixando livre o ferro. Este processo de redução se dá em um equipamento chamado alto forno. Segundo a Associação Mundial do Aço (2017), 75% da produção de ferro gusa se dá em altos fornos e o restante da produção em fornos de indução elétrica. Na área da sinterização, o minério é transformado em sinter e após este processo é destinado ao alto forno. Nas empresas pelletizadoras, o minério é transformado em pelotas e também são destinadas ao alto forno. Na área da coqueria, o carvão mineral é transformado em coque que é posteriormente é levado ao alto forno para ser utilizado como combustível. Estas etapas de transformação do minério de ferro e o carvão são realizados com objetivo de aumentar o rendimento gerando economia no processo.

No alto forno é gerado como produtos finais o ferro líquido que é chamado de ferro gusa ou ferro de primeira fusão além de impurezas como calcário e sílica que formam a escória, utilizada na fabricação de cimento. Após a obtenção do ferro gusa, o mesmo é transportado através de carros torpedos até a etapa seguinte do processo chamada de refino, onde será realizada a transformação do ferro em aço mediante queima de impurezas e adições. A área responsável por executar esta transformação é chamada de Aciaria. O refino do aço pode ser realizado em fornos

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

Figura 2.1 – Overview of the steelmaking process



Fonte: [www.worldsteel.org](http://www.worldsteel.org)

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

Figura 2.2 – Distribuição produção de aço no mundo



Fonte: [www.wordsteel.org](http://www.wordsteel.org)

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

Figura 2.3 – Consumo aparente de aço per capita



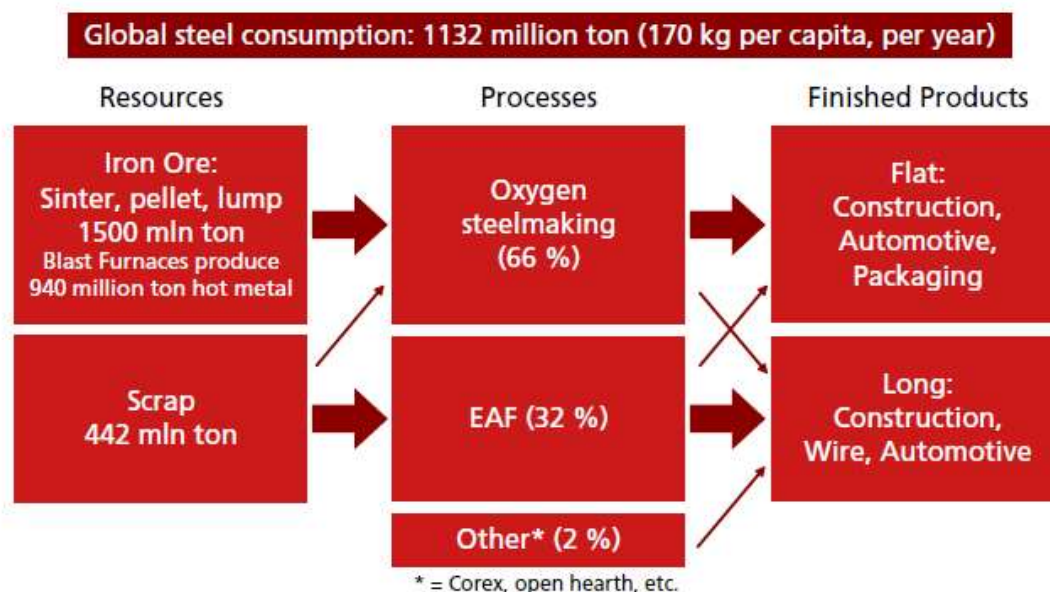
Fonte: [www.wordsteel.org](http://www.wordsteel.org)

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

## 2.2 PROCESSO DO ALTO FORNO

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

Figura 2.4 – Steelmaking routes and raw materials



Fonte: Modern Blast Furnace an introduction, 2009

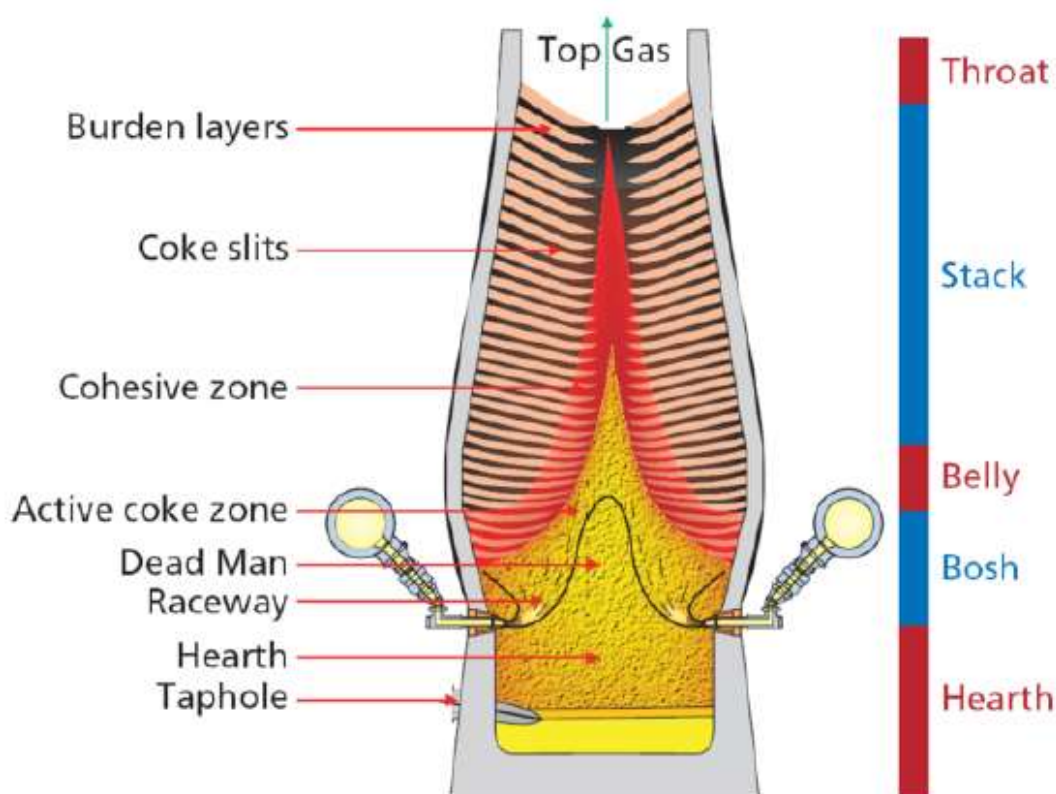
O alto-forno existe há quase 2.000 anos. O melhor entendimento do processo do alto-forno, a melhor preparação do minério e dos combustíveis, a maior confiabilidade e a longevidade das instalações têm contribuído para que este método ainda garanta o menor custo por tonelada de ferro gusa produzido.

De acordo com Mourão et al., (2007) o processo mais utilizado para produção de ferro gusa líquido para produção de aço ainda é o alto forno, entretanto

existem algumas desvantagens deste processo sendo estas a necessidade de unidades suplementares de preparação de matéria-prima como sinterização e coqueria, que implicam elevados investimentos adicionais, além de alguns problemas ambientais. Entretanto, devido a sua elevada eficiência energética, capacidade de produção, evolução tecnológica, e flexibilidade operacional, o alto forno entra neste novo século mais competitivo que nunca.

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

Figura 2.5 – As zonas de um alto forno

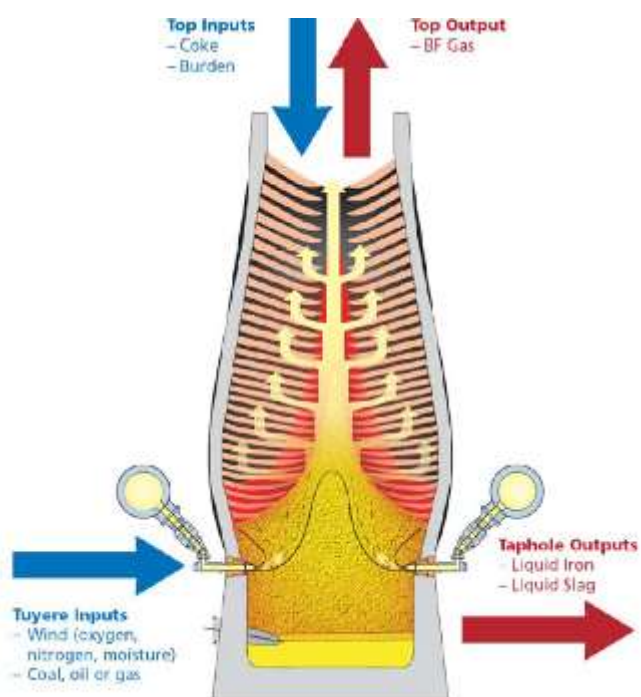


Fonte: Modern Blast Furnace an introduction, 2009

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

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

Figura 2.6 – Entradas e saídas de um alto forno

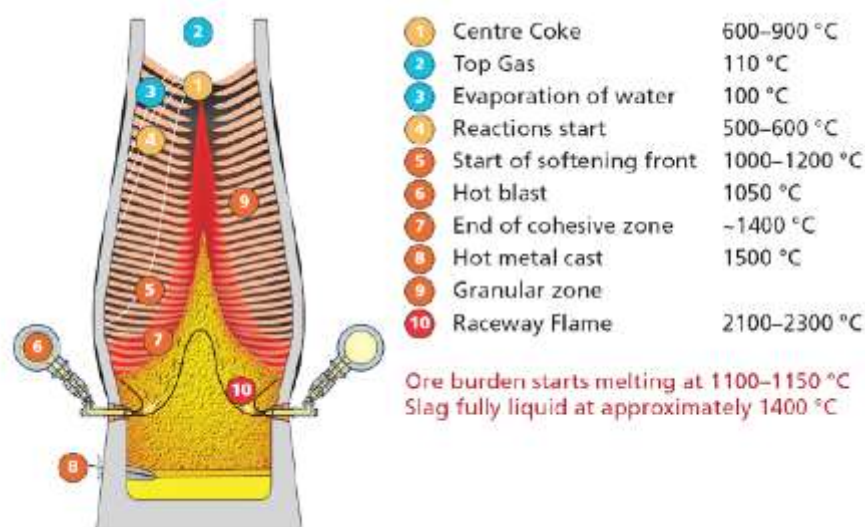


Fonte: Modern Blast Furnace an introduction, 2009

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



Figura 2.7 – Perfil de temperatura no interior de um alto forno



Fonte: Modern Blast Furnace an introduction, 2009

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

## 2.3 PRINCIPAIS SISTEMAS DE UM ALTO FORNO

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

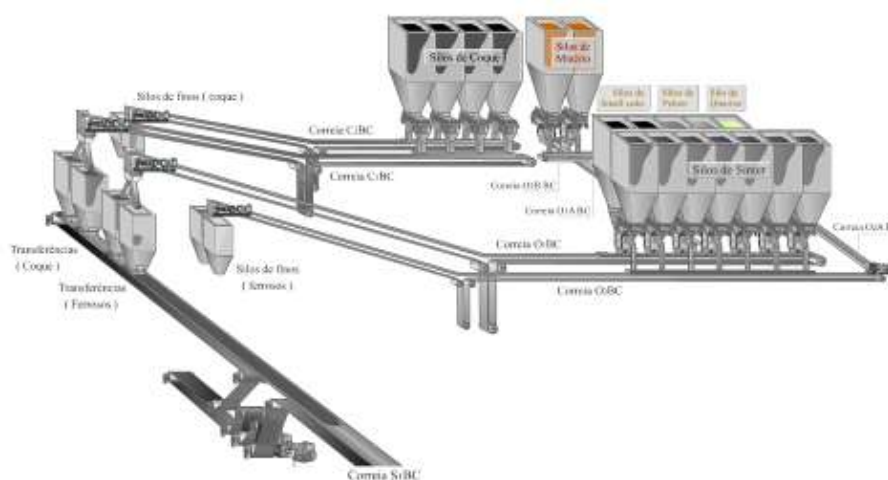
Segundo Satyendra (2016), para produzir ferro gusa, um alto forno precisa ser alimentado por matérias-primas como o sinter, minério, pelota e fundentes e por combustíveis como o coque, carvão pulverizado e gás natural. Todas estas matérias-primas exceto o carvão pulverizado e o gás natural que são injetados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

A configuração da área do carregamento mais utilizada nas usinas siderúrgicas atuais é composta por silos de estocagem que recebem os diferentes



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

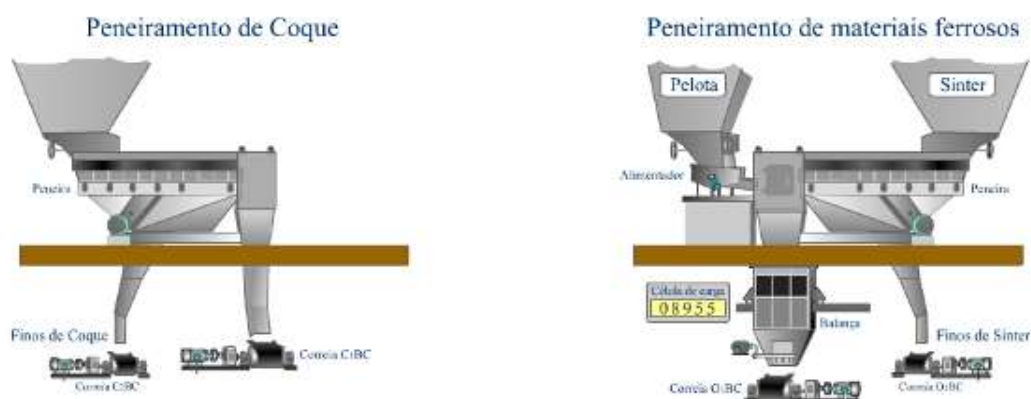
Figura 2.8 – Sistema de carregamento do alto forno



Fonte: Animação Flash Gerdau Aço Minas, 2006

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

Figura 2.9 – Sistema de carregamento do alto forno - Peneiramento



Fonte: Animação Flash Gerdau Aço Minas, 2006

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

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

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

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

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

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

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



### 2.3.3 Casa de Corrida (*Casthouse*)

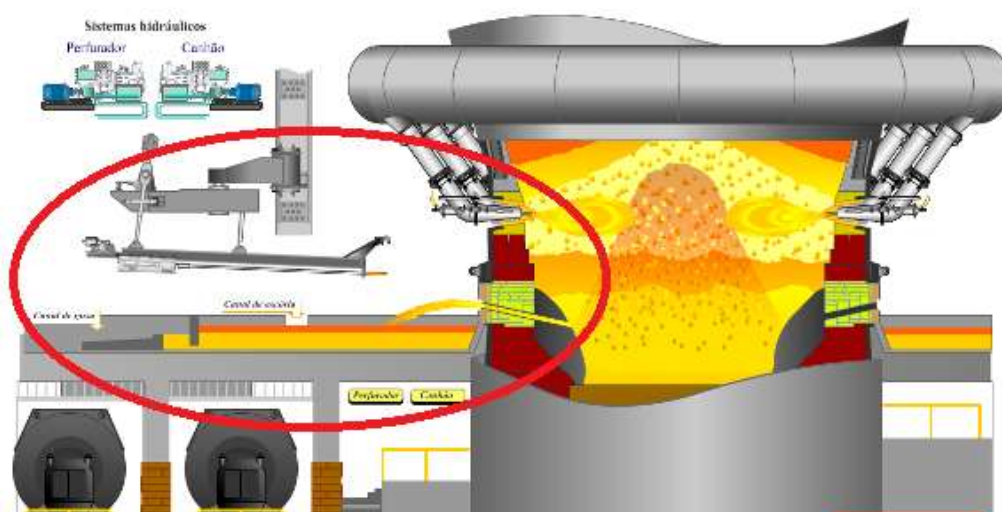
Segundo Geerdes et al., (2009) uma boa operação da casa de corrida é extremamente importante para o alto forno e para tal é necessário que a remoção do ferro e escória líquida do interior do forno seja realizada a uma taxa que não permita que o nível do metal líquido dentro do cadinho se eleve, que seja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

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

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

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

Figura 2.11 – Operação da máquina de perfuração



Fonte: Animação Flash Gerdau Aço Minas, 2006

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

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

Figura 2.12 – Operação do canhão de lama



Fonte: Animação Flash Gerdau Aço Minas, 2006





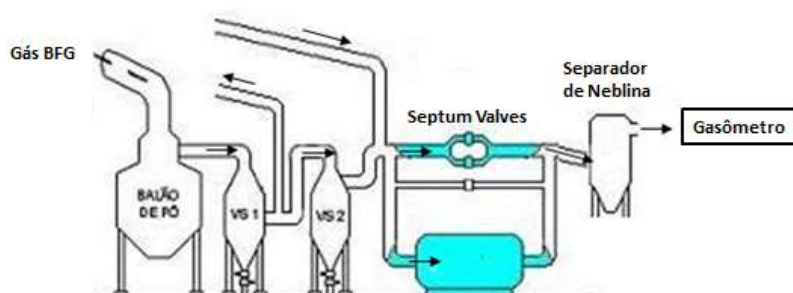
O domo é a parte superior do regenerador e sua função é inverter em 180° o sentido dos gases queimados e distribuí-los para o empilhamento de tijolos refratários que tem como função absorver o calor. Na etapa de sopro do regenerador, o sentido do ar quente é inverso. Os altos fornos geralmente utilizam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

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

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

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

Figura 2.14 – Sistema típico de lavagem de gás



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

No coletor de pó as partículas mais grosseiras contidas no gás se depositam no fundo e são descarregadas em um poço através de válvulas de descarga. Posteriormente o gás é direcionado através de uma tubulação até o primeiro estágio de lavagem do gás. Nesta etapa o gás é lavado no *venturi scrubber* a partir da introdução de água nos bicos injetores e as partículas mais finas são retiradas deste equipamento em forma de lama.

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

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

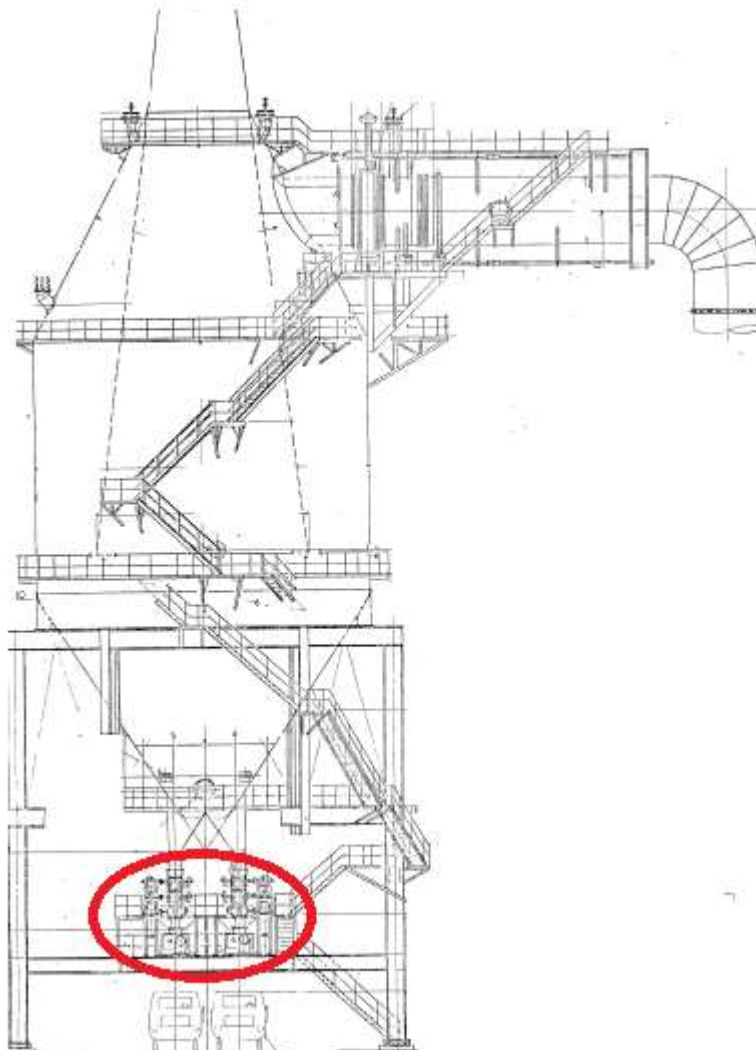
O próximo item mostrará como é o funcionamento das válvulas de descarga de pó de um coletor de pó, equipamento este foco deste estudo.

## 2.4 VÁLVULAS DE DESCARGA DE PÓ

O equipamento responsável por realizar a primeira etapa de limpeza do gás gerado no alto forno é chamado de coletor de pó ou *dust catcher*. Este equipamento em sua forma clássica consiste em uma carcaça de forma cilíndrica geralmente de grande altura e diâmetro com um difusor instalado em seu interior que tem como objetivo realizar variação da velocidade do gás do topo até o sistema de descarga. O sistema de descarga de pó é composto por válvulas e um transportador helicoidal. A figura 2.15 mostra um arranjo geral do equipamento com destaque para as válvulas de descarga de pó.



Figura 2.15 – Arranjo geral coletor de pó tradicional



Fonte: Documentação Técnica ArcelorMittal Tubarão (Modificado)

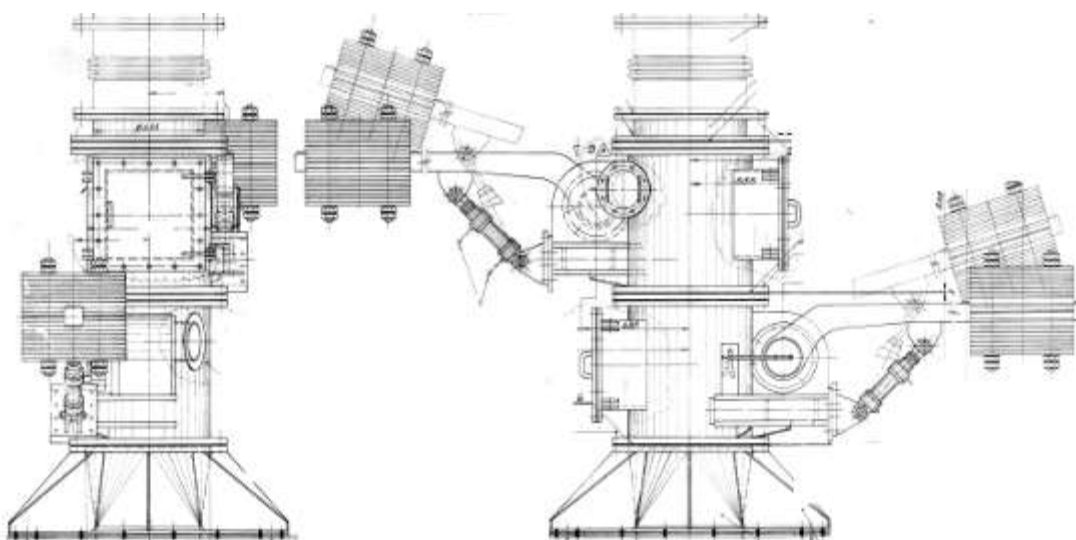
De acordo com Satyendra (2016) o fluxo do gás é vertical de cima para baixo e este é introduzido pelo *downcommer* no topo do coletor de pó, passa pelo difusor cônico e as partículas de maior tamanho são depositadas na parte inferior do equipamento. Este processo só é possível porque o gás perde velocidade e consequentemente potencial de arrastar as partículas devido ao diâmetro maior do difusor ficar localizado na parte inferior do coletor de pó. Uma vez que as válvulas de descarga do coletor estão fechadas, e a saída do gás após o difusor se encontra na parte superior do coletor de pó, a inversão do fluxo de gás em 180° favorece a sedimentação das partículas maiores na parte inferior do equipamento.

Segundo Satyendra (2016) este equipamento realiza a separação a seco das partículas maiores do gás por gravidade ou por ciclones de grandes tamanhos.

Nesta fase é importante retirar o máximo de partículas do gás sem utilização de água, pois este subproduto é reutilizado em outras aplicações. A eficiência na separação do pó no gás é influenciada pelo tamanho da partícula, pelo mecanismo de separação e, em menor grau, pela quantidade da geração de pó no gás durante o processo do alto forno. O pó separado é geralmente maior que  $10\ \mu$  e é retirado do coletor de pó através de descargas realizadas pelas válvulas de descarga de pó.

A figura 2.16 mostra esquematicamente o modelo da válvula de estudo.

Figura 2.16 – Válvulas descarga de pó

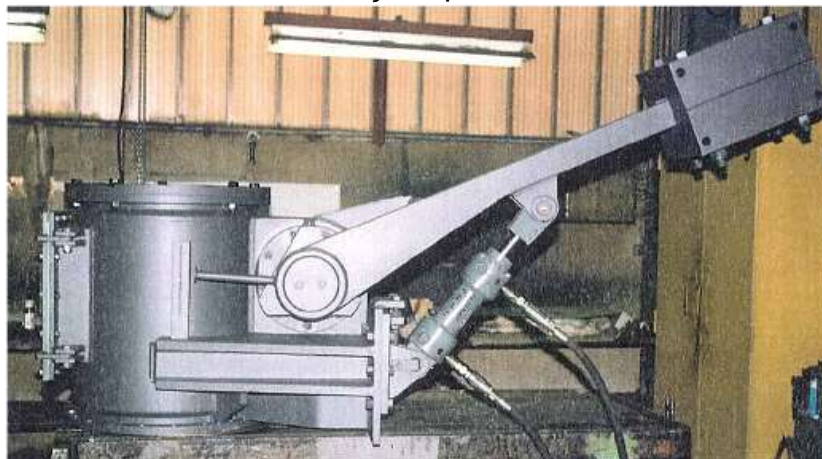


Fonte: Documentação Técnica ArcelorMittal Tubarão (Modificado)

A válvula foco deste estudo tem como função realizar a descarga de pó de forma controlada evitando ao máximo a passagem do gás através dela. Para isso, são instaladas duas válvulas, uma sobre a outra, em cada perna do coletor de pó. A válvula superior trabalha como uma *shut off*, ou seja, trabalha 100% aberta ou 100% fechada e a válvula inferior trabalha como uma controladora de fluxo e consequentemente sofre mais com relação ao desgaste dos componentes internos.

Este tipo de válvula tem como desvantagens a exposição do cone de vedação na direção do fluxo do gás com o pó, dificuldade na dosagem do pó e elevada taxa de desgaste do cone, sede e carcaça. A figura 2.17 mostra este tipo de válvula descrita anteriormente.

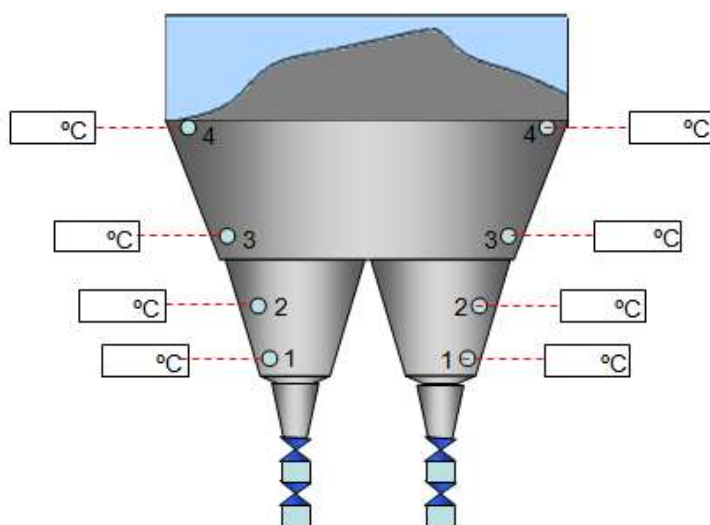
Figura 2.17 – Válvula atual vedação tipo cone e sede



Fonte: Apresentação Fabricante (2013)

As válvulas podem ser operadas de forma automática ou manual, ambas realizadas em painel local próximo ao sistema de válvulas. O operador é acionado para realizar a manobra de descarga quando os termopares instalados nas regiões superiores da perna do coletor mostram uma diminuição de temperatura, o que significa que o pó realizou uma barreira entre o gás e o termopar. Após a descarga de uma perna, sendo esta realizada individualmente por vez, a temperatura indicada pelos termopares volta a subir, indicando que o gás entra em contato com a carcaça do balão sem a barreira criada pelo pó. A figura 2.18 mostra a disposição dos termopares citados anteriormente.

Figura 2.18 – Operação descarga de pó do coletor



Fonte: Apostila Treinamento Alto Forno ArcelorMittal Tubarão (Modificado)

A carcaça destas válvulas que possuem diâmetro nominal de 895 mm e peso médio de 635 Kg é fabricada através de processo de soldagem utilizando chapas em aço ASTM A36 de espessura que variam entre 16 e 44 mm e devem ser usinadas em pontos indicados no projeto. A parte interna da carcaça deve ser revestida com chapa de desgaste a base de cromo com 5 mm de espessura e dureza de 60 a 65 HRC devido abrasão gerada a partir do contato do gás e pó. O sistema de vedação é metal-metal e é realizado através da movimentação de um cone até a sede fixa.

A movimentação do cone tanto no fechamento quanto na abertura da válvula é realizada através de um cilindro hidráulico dupla ação de 3". O sistema hidráulico trabalha com pressão de 120 bar e fornece uma vazão de óleo de 15 litros por minuto. A válvula possui um contrapeso que entra em ação fechando a válvula imediatamente caso ocorra uma falha no fornecimento de energia elétrica para comandar a solenoide da válvula direcional do sistema hidráulico.

Além das inspeções sensitivas realizadas na parte externa das válvulas periodicamente, é realizada a substituição dos cones e sedes em todas as paradas programadas do alto forno, pois estes elementos de vedação apresentam desgaste e perda de dureza, comprometendo a vedação do gás e do pó durante as operações. Estas válvulas são consideradas críticas para o processo, pois a falha das mesmas acarreta em parada de produção de no mínimo 8 horas, situação totalmente indesejável.

## 2.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo traz uma visão geral de como se dá o processo siderúrgico, como este está inserido no contexto mundial, os principais subprocessos de uma usina integrada, quais são os produtos gerados e a importância dos mesmos no dia a dia das pessoas. Foi abordado com maior detalhamento sobre o processo de produção do ferro gusa, matéria-prima para fabricação do aço, através do processo do alto forno e quais são as funções de cada área que compõe este equipamento. Após abordagem da área da limpeza de gases ou *Gas Cleaning*, foi dado foco no objeto de estudo, as válvulas de descarga de pó do coletor. Foram explicitadas as

principais funções, tipo de instalação, funcionamento, materiais de fabricação, dimensionais, tipo de acionamento dentre outros.

É muito importante a compreensão do conteúdo apresentado neste capítulo, pois o conhecimento gerado irá auxiliar na análise de processo e equipamento durante as discussões dos resultados, visto que o equipamento abordado é de extrema importância para o processo do alto forno.

No próximo capítulo, será abordado sobre a análise do custo do ciclo de vida deste equipamento, que suportará uma análise relacionada à substituição ou não destes equipamentos por tecnologia distinta.

### 3 ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA DE UM EQUIPAMENTO

O LCC ou *Life Cycle Cost* é representado pela soma das estimativas de custos de projeto, aquisição, operação, manutenção e descarte, determinado por um estudo analítico de estimativas dos custos totais experimentados durante a vida de um sistema ou equipamento. O objetivo da análise de LCC é escolher a abordagem mais rentável de uma série de alternativas para que o menor custo de propriedade em longo prazo seja alcançado (BARRINGER,1996). O melhor equilíbrio entre os elementos de custo é alcançado quando o LCC total é minimizado (Landers, 1996).

De acordo com Barringer (1996) durante a seleção de uma nova tecnologia os custos de aquisição são os primeiros a serem analisados, porém estes podem não ser a melhor opção para tomadas de decisão. Os custos de aquisição levam em consideração apenas uma parte da história da vida de um equipamento, porém frequentemente a utilização deste leva a decisões que impactam negativamente no resultado financeiro das companhias. Como filosofia, o LCC traz que é imprudente pagar demais, mas não é inteligente gastar muito pouco. Usuários finais e fornecedores de equipamentos podem usar os custos do ciclo de vida para:

- Estudos de Acessibilidade: medem o impacto em longo prazo de um LCC de um sistema ou do projeto nos orçamentos e resultados operacionais;
- Estudos de Seleção de Ativos: compara o LCC estimado entre sistemas ou fornecedores concorrentes;
- Substituição de Projetos: analisa influencias dos aspectos de projetos de plantas e equipamentos que afetam diretamente LCC;
- Análise de Custo de Reparo: quantificar demandas e custos de reparos;
- Os Custos de Garantia e Reparo: os fornecedores de bens e serviços juntamente com os usuários finais, precisam compreender os custos das falhas iniciais;

#### 3.1 PORQUE USAR O LCC E SEUS BENEFÍCIOS

Segundo Barringer (2003) o LCC ajuda na reflexão sobre as várias perspectivas durante as tomadas de decisão comerciais com foco no aumento da competitividade econômica, trabalhando para o menor custo do ativo em longo

prazo. No dia a dia das grandes companhias existem várias conflitos que influenciam nas tomadas de decisão como a Engenharia de Projetos que quer minimizar os custos de capital como o único critério; a Engenharia de Manutenção quer minimizar as horas de reparo como o único critério; a produção quer maximizar o tempo de atividade como o único critério; a Engenharia de Confiabilidade quer evitar falhas como o único critério; a contabilidade quer maximizar o valor presente líquido do projeto como o único critério e os acionistas querem aumentar a riqueza dos acionistas como o único critério.

Com isso o LCC pode ser usado como uma ferramenta de decisão de gerenciamento para harmonizar todos estes conflitos entre diferentes departamentos de uma empresa baseado em fatos, dinheiro e tempo.

### 3.2 ESTIMANDO O CUSTO DO CICLO DE VIDA DE UM COMPONENTE

O custo de um componente ao longo de sua vida pode ser expresso por uma simples equação conforme proposta da Equação 3.1:

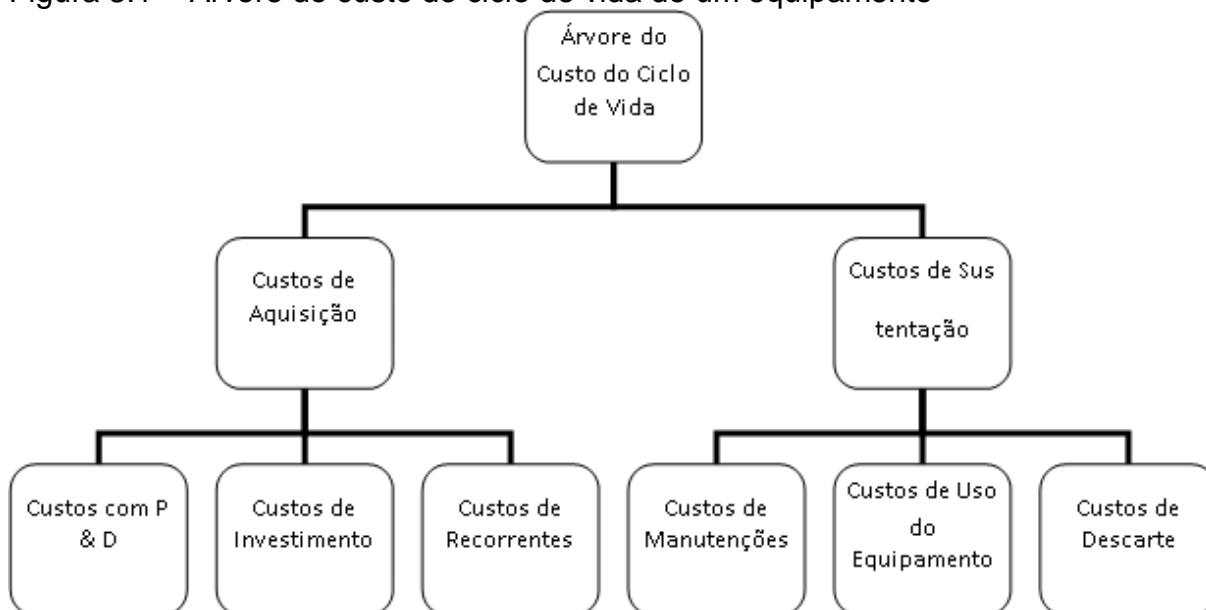
Equação 3.1 – Custos do ciclo de vida de um componente

$$\text{LCC} = \text{Custo de Capital} + \text{Custos de Operação} + \text{Custos de Manutenção} + \text{Custos de Descarte} - \text{Valor Residual}$$

Fonte: Traduzido livremente de (AUSTRALIAN NATIONAL AUDIT OFFICE,2001)

Segundo Barringer (1998) a árvore básica do LCC começa de forma bem simples trazendo os custos do ciclo de vida de um sistema ou componente como sendo a somatória do custo de aquisição com o custo de sustentação. A figura 3.1 representa esta árvore.

Figura 3.1 – Árvore do custo do ciclo de vida de um equipamento



Fonte: Autoria própria, baseado em (BARRINGER, et al., 1998)

Os custos de aquisição e de sustentação não são mutuamente exclusivos, pois se você adquirir um equipamento ou sistema, ele sempre irá requerer custos extras para que este se torne sustentável. Em contrapartida, não se pode sustentar o que não foi adquirido. Geralmente a obtenção dos custos de aquisição é uma etapa mais fácil e assertiva, porém obter os custos de sustentação não é uma tarefa fácil. Frequentemente o custo do equipamento de manutenção é de 2 a 20 vezes o custo de aquisição.

Para a árvore de sustentação, os quatro itens mais difíceis de obter são:

- Custos de substituição / renovação;
- Custos de transporte de substituição / renovação;
- Custos de manutenção e sobressalentes;
- Custos operacionais - particularmente custos relacionados à energia elétrica devido ao equipamento trabalhar com cargas variáveis.

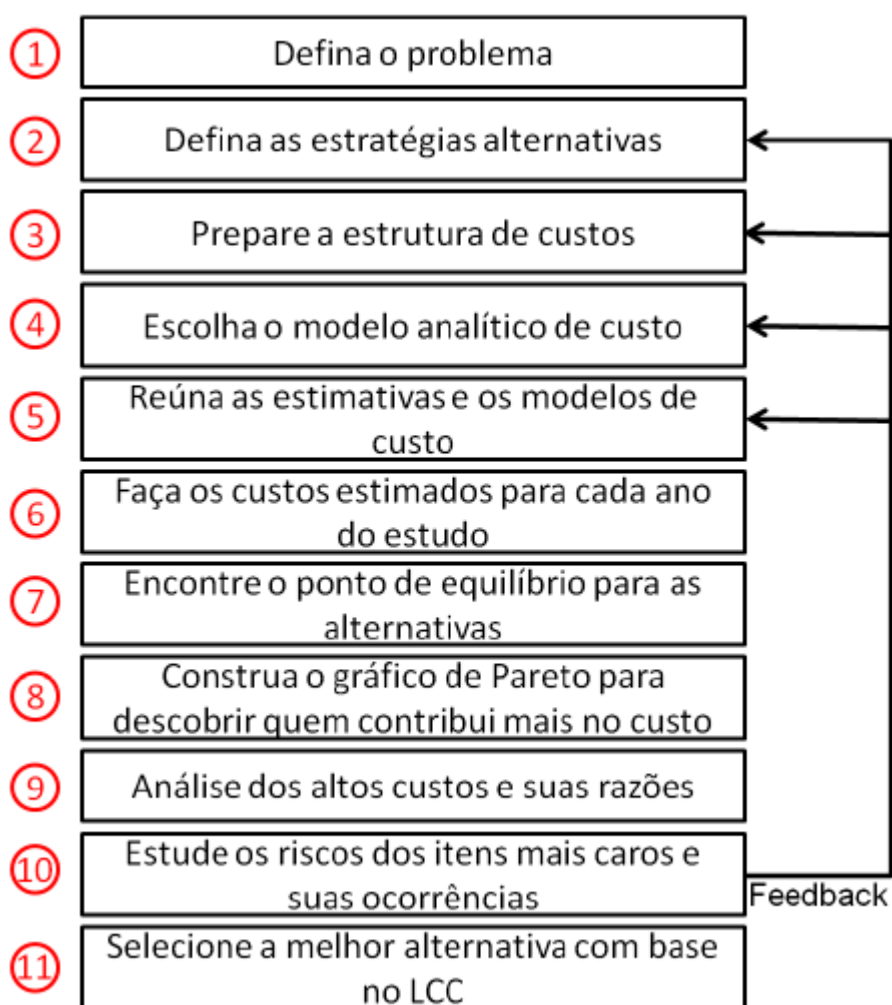
Esta dificuldade para se obter alguns custos de sustentação se dá muitas vezes pela falta de informações que retratam a realidade de determinados eventos específicos, como reparos realizados de forma corretiva, dimensionamento de escopo de recuperação de equipamentos, variação de custos para diferentes fornecedores, utilização de recurso próprio ou terceirizado para transportes de equipamentos dentre outros.



### 3.3 ETAPAS DO LCC

A análise do custo do ciclo de vida é um processo que contém diversos custos específicos para cada tipo de análise a ser realizada. Neste trabalho será utilizado o processo desenvolvido por (FABRYCKY, et al., 1991) e citado por (BARRINGER, et al., 1996) conforme da Figura 3.2.

Figura 3.2 - Etapas desenvolvimento do LCC



Fonte: traduzido e baseado de (BARRINGER, et al., 1996)

### 3.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Todas as etapas mostradas pela Figura 3.2 serão realizadas no decorrer do estudo de LCC das válvulas em questão. A cada uma delas, serão explanadas as premissas de escolhas, fontes de informações e métodos utilizados. O próximo capítulo abordará a aplicação do LCC na escolha de novas tecnologias de válvulas de descarga de pó de um alto forno.

## **4 O LCC APLICADO AS VÁLVULAS DE DESCARGA DE PÓ DE UM ALTO FORNO**

As válvulas de descarga de pó de um alto forno são consideradas críticas dentro do processo de produção de ferro gusa, pois a falha destas pode acarretar em paralisação da produção. Além de realizar a retirada de pó do balão de pó, este equipamento desempenha a função de realizar a vedação do gás BFG, impossibilitando sua passagem para a atmosfera. A partir de uma demanda de aumento de produção anual de ferro gusa, a duração das paradas programadas para manutenção vem se tornando cada vez menores. Assim estas válvulas se tornaram ponto de atenção e foco de estudo para aumento de vida útil. Desta maneira, um estudo de LCC irá ajudar nas tomadas de decisão futuras. A metodologia sugerida por (BARRINGER, et al., 1996) será explorada aplicando ao equipamento foco deste trabalho.

### **4.1 ETAPA 1: DEFINA O PROBLEMA**

A carcaça das válvulas de descarga de pó de um alto forno modelo cone e sede possuem vida média de 4 anos, porém os componentes internos de vedação (cone e sede) são substituídos a cada 4 meses para garantir boa vedação e alta confiabilidade durante a operação. Esta troca se faz necessária devido à perda de dureza do cone e sede causada pela abrasão gerada pela passagem do gás com o pó na superfície destes componentes. Estes componentes internos de vedação são recuperados na oficina interna da empresa de forma a garantir dureza e dimensionais especificados pelo projeto e quando necessário também é realizado recuperação da carcaça da válvula e dos revestimentos internos. Atualmente as paradas programadas para manutenção são realizadas em média a cada 4 meses, possibilitando a troca dos componentes internos de vedação, porém caso seja exigido uma redução da quantidade de paradas durante o ano, a confiabilidade deste equipamento reduz drasticamente, podendo causar até a falha do mesmo. Desta maneira, estas válvulas são ponto fraco quando se fala em aumento do tempo de operação do alto forno e consequente aumento do tempo de intervalo entre paradas programadas para manutenção.

Busca-se com esta análise, verificar qual tecnologia é mais viável em substituição à válvula atual, com a premissa que a mesma garanta uma vida útil de no mínimo 12 meses, tempo este garantido contratualmente pelo fabricante.

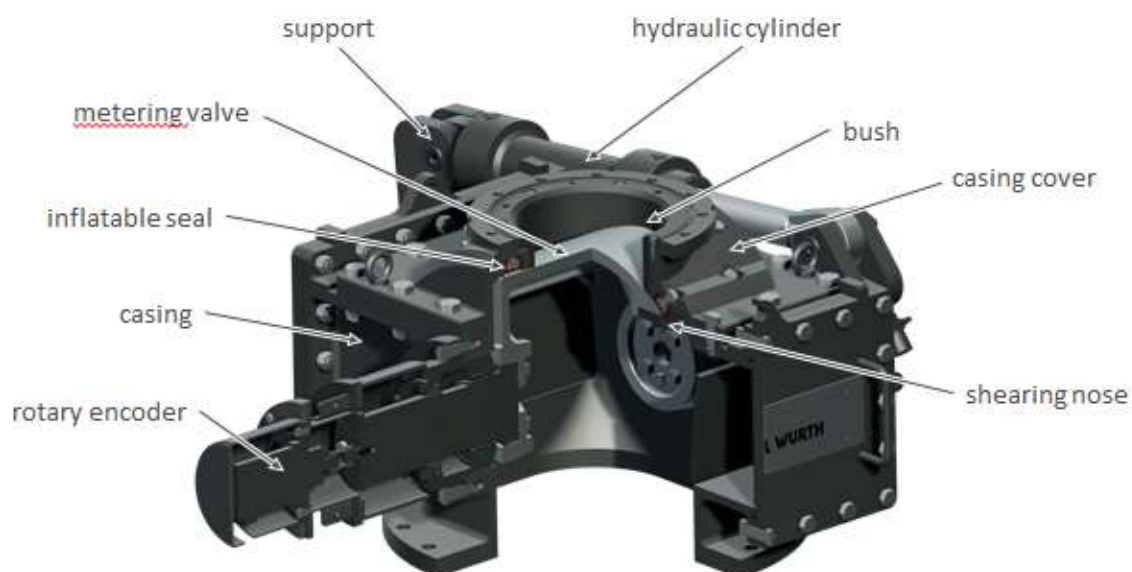
#### 4.2 ETAPA 2: DEFINA AS ESTRATÉGIAS ALTERNATIVAS

Nesta etapa são definidos os critérios e premissas de cada alternativa sugerida para solução do problema. Serão abordados custos relacionados à aquisição de nova tecnologia, montagem dos equipamentos, manutenções preventivas, materiais de desgaste dentre outros.

##### **Alternativa 1) Substituir a válvula atual pela válvula modelo Gritzko II do fabricante A**

A válvula Gritzko possui a função de realizar a dosagem durante o procedimento de descarga do pó e garantir estanqueidade quando a mesma se encontra na posição fechada. Isto só é possível porque a mesma utiliza um tire inflável como vedação que é despressurizado no momento da abertura da válvula e pressurizado novamente após seu fechamento. Geralmente estas válvulas são acionadas hidráulicamente por meio de um cilindro e de forma opcional conta com um sistema de contrapeso para auxílio durante manobra de abertura e fechamento. Estas válvulas possuem como vantagens possuir função de controle e bloqueio, fechamento confiável mesmo com particulado na região da sede, alta resistência à abrasão, pequena altura facilitando instalação, janelas de visita para fácil acesso. Segundo dados do fabricante, existem 92 válvulas deste modelo instaladas ao redor do mundo. A figura 4.1 mostra uma imagem de corte da válvula.

Figura 4.1 – Válvula Gritzko II – Fabricante A



Fonte: Apresentação Fabricante A (2013)

### **Alternativa 2) Substituir a válvula atual pela válvula modelo Tríplice do fabricante B**

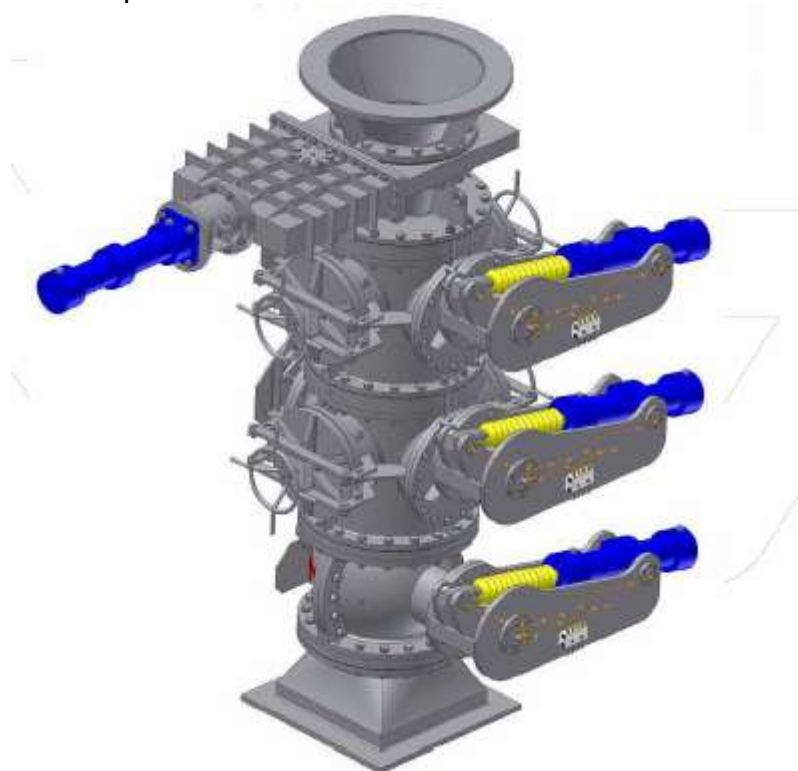
A válvula tríplice é composta por três módulos independentes sobrepostos um ao outro, dois módulos excêntricos e semiesféricos, e um módulo concêntrico e esférico, este último chamado de válvula selo. As sedes e anéis de vedação são fabricados em materiais com alta dureza superficial (600 HB), sendo assim altamente resistente a abrasão. A esfera da válvula selo de gás é revestida com eletrodo duro para atingir uma dureza superficial de 48 RC. Este revestimento compreende toda extensão da seção anular de vedação. Após revestimento com eletrodo, a esfera recebe cromo duro em toda sua superfície. As carcaças dos módulos semiesféricos são blindadas internamente, através de blocos em forma de tronco de elevada espessura, fabricados em ferro fundido branco e fixados nas áreas de fluxo preferencial de pó abrasivo. A carcaça da válvula selo de gás possui pontos de injeção de nitrogênio para limpeza da sede da área de vedação. Os acionamentos podem ser através de cilindro hidráulico, pneumático ou acionamento eletromecânico. A operação da válvula tríplice está atrelada ao sistema de controle de descarga específico de cada operação.

Via de regra, partindo-se do pressuposto que todos os módulos estejam inicialmente fechados, o ciclo de operação para controle de nível do coletor de pó se dá da seguinte maneira:

- 1º - Abertura da válvula esférica selo de gás (*on / off*)
- 2º - Abertura total da válvula semiesférica intermediária (*on / off*)
- 3º - Abertura proporcional da válvula semiesférica superior (dosadora)

O procedimento de fechamento se dá na ordem inversa da operação de abertura. Em todas as etapas de abertura haverá injeção de nitrogênio no interior das válvulas. Estas válvulas são aplicadas em outras três grandes siderúrgicas brasileiras. A figura 4.2 mostra o arranjo geral da válvula tríplice.

Figura 4.2 – Válvula tríplice Fabricante B



Fonte: Catálogo Fabricante B (2017)

### **Alternativa 3) Substituir a válvula atual pela válvula do fabricante C**

Este modelo de válvula é constituído por uma válvula superior de controle e uma inferior de bloqueio. A válvula superior é construída de forma compacta com material resistente a abrasão e corrosão tendo sua vida útil prolongada. A mesma faz com que a descarga pó seja centralizada e evita o atrito nas paredes da carcaça das válvulas evitando o problema crônico das válvulas utilizadas atualmente. A descarga é totalmente controlada conforme o volume solicitado, as lamina se sobrepõem tendo total controle da dosagem de pó e evitando que qualquer possível particulado pesado passe e atrapalhe o bloqueio da válvula inferior.

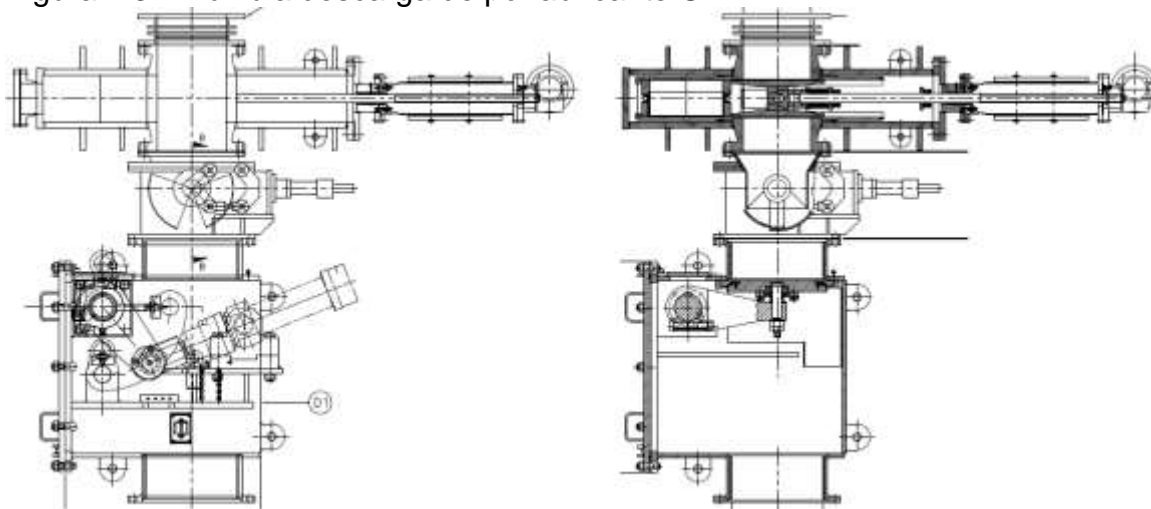
A válvula inferior é para o bloqueio total do sistema e após o termino do controle de descarga do pó essa válvula é acionada. A mesma tem como objetivo garantir a selagem hermética do processo e pressurizar o balão com a maior rapidez possível. Essa válvula é similar às válvulas utilizadas no topo do Alto Forno para equalização e alívio do topo, denominadas como válvula de equalização e alívio. Na posição aberta à válvula fica completamente fora do fluxo e garante a passagem plena do pó e o menor desgaste possível aumentando sua vida útil. Podem-se instalar pontos de injeção de nitrogênio para limpeza das sedes e para selagem garantindo 100% de estanqueidade. Alguns diferenciais em comparação as válvulas atuais:

- A descarga de pó é centralizada pelos guias e pelas lamina sobrepostas.
- Controle total da descarga de pó;
- Todas as peças que tem contato com o fluido são projetadas para resistir à abrasão e corrosão para longa durabilidade.
- Todas as partes internas e articulações ficam fora do fluxo e com isso sua vida útil é prolongada;
- As sedes fixas e móveis podem ser substituídas sem a retirada da válvula da linha;

Este modelo de válvula é apenas aplicado em uma siderúrgica na Itália e foi implantada em 2004.

A figura 4.3 mostra o arranjo geral da válvula do fabricante C.

Figura 4.3 – Válvula descarga de pó fabricante C



Fonte: Proposta Técnica Fabricante C (2017)

### 4.3 ETAPA 3: PREPARE A ESTRUTURA DE CUSTOS

A classificação dos custos relacionados às três alternativas será selecionada seguindo o organograma citado na figura 4.4. Dentro dos custos de aquisição, os custos relacionados à pesquisa e desenvolvimento não foram selecionados, pois estes são absorvidos pelas empresas que desenvolvem e fabricam os equipamentos em questão. Dentro dos custos de investimento, a construção da linha de produção não foi selecionada, pois o fabricante também é o responsável por realizar esta ação. Não foi selecionado nenhum custo de aquisição recorrente, pois modernizações, melhorias de interfaces, dentre outros não estão previstos para os próximos anos. Dentro dos custos de sustentação não foram selecionados custos de modificação de equipamentos e documentação de engenharia porque não está previsto tomar estas ações nos próximos anos. Nos custos de descarte só foram selecionados custos de recuperação do ativo e limpeza e meio ambiente, pois estes tipos de válvulas são enviados para recuperação em oficina externa a empresa.





- Os custos relacionados ao sistema hidráulico de acionamento das válvulas não foram considerados porque o sistema atual atenderia a qualquer tipo de válvula das alternativas escolhidas;
- Os custos relacionados ao sistema elétrico e de controle não foram considerados, pois o sistema atual precisaria de pequenos ajustes de custo desprezível comparado ao custo total e se aplicaria a todos os tipos de válvulas das alternativas;
- O custo de operação não foi considerado, pois em nenhuma das válvulas escolhidas está previsto automatização deste sistema de descarga de pó;
- Os custos de lubrificação não foram considerados, pois nenhuma destas tecnologias se isenta deste tipo de atividade;
- Os custos relacionados a paradas de produção emergências não foram considerados. Existem relatos de falhas para todas as tecnologias em outras indústrias, porém as condições de contorno são totalmente diferentes para cada aplicação.
- O benefício relacionado ao ganho de disponibilidade da válvula transformado em tonelada de gusa não foi considerado neste LCC, pois este fator isolado não possibilita realizar a diminuição do número de paradas anual do alto forno em questão.
- Foram consideradas duas estratégias para cada alternativa com a premissa que o alto forno faria duas paradas de manutenção por ano, uma no mês de março e outra no mês de setembro e que a vida útil das válvulas é de 12 meses conforme garantia do fabricante.

Foi necessário solicitar ao setor de oficina interna da empresa o levantamento dos custos relacionados à fabricação do cone, sede e recuperação completa da válvula atual. O levantamento dos custos estimados relacionados à aquisição e recuperação das novas tecnologias de válvulas foi realizado pelos fabricantes conforme demanda. Com relação ao levantamento de custos com desmontagem e montagem de cada válvula proposta, foi realizado um brainstorming com participação de técnicos de manutenção e os fabricantes de cada válvula para definição do efetivo necessário, tempo de preparação, tempo de atividade e recursos auxiliares como guindaste e andaime.

## Válvula Atual Cone e Sede

A tabela 4.1 apresenta todos os custos relacionados a uma intervenção para substituição total de uma válvula atual e a tabela 4.2 apresenta todos os custos relacionados a uma intervenção para substituição do cone e sede (elementos de vedação) de uma válvula atual.

Tabela 4.1 – Custos substituição completa válvula atual

Substituição Total Válvula			
Número Válvulas Analisado	1		
Quantidade trocas	1		
Tempo Preparação	24		
Tempo Execução [horas]	12		
Custo Atividade			
	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Efetivo Necessário Preparação	3	R\$ 39,79	R\$ 2.864,88
Efetivo Necessário por Troca	5	R\$ 39,79	R\$ 2.387,40
Recurso Guindaste 50 toneladas	1	R\$ 152,77	R\$ 1.833,24
Andaime	5	R\$ 36,07	R\$ 180,35
Válvula Completa Recuperada (Incluso Cone e Sede)	1	R\$ 70.289,72	R\$ 70.289,72
Custo Total Atividade		R\$	77.555,59

Fonte: o autor (2017)

Tabela 4.2 – Custos substituição elementos de vedação válvula atual

Substituição Componentes de Vedação - Cone e Sede			
Número Válvulas Analisado	1		
Quantidade trocas	1		
Tempo Preparação	0,5		
Tempo Execução [horas]	8		
Custo Atividade			
	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Efetivo Necessário Preparação	2	R\$ 39,79	R\$ 39,79
Efetivo Necessário por Troca	4	R\$ 39,79	R\$ 1.273,28
Recurso Guindaste 50 toneladas	1	R\$ 152,77	R\$ 76,39
Andaime	5	R\$ 36,07	R\$ 180,35
Cone	1	R\$ 5.079,27	R\$ 5.079,27
Sede	1	R\$ 3.409,55	R\$ 3.409,55
Custo Total Atividade		R\$	10.058,63

Fonte: o autor (2017)

Os custos foram colocados ano a ano considerando que o último ciclo de substituição completa das quatro válvulas devido desgaste da carcaça e outros componentes foi realizado em 2017. A carcaça destas válvulas possuem uma vida média de aproximadamente 4 anos e o cone e sede é substituído 3 vezes por ano.

### Alternativa 1) Substituir a válvula atual pela válvula modelo Gritzko II do fabricante A

A tabela 4.3 apresenta todos os custos relacionados a efetivo e recursos necessários para substituição de uma válvula modelo Gritzko II do fabricante A.

Tabela 4.3 – Custos Efetivo e Recursos para Substituição Válvula Gritzko II

Custo do Efetivo e Recursos Necessários - Substituição Válvula			
Número Válvulas Analisado			1
Quantidade trocas			1
Tempo Preparação			4
Tempo Execução [horas]			8
Custo Atividade			
	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Efetivo Necessário Preparação	2	R\$ 39,79	R\$ 318,32
Efetivo Necessário por Troca	3	R\$ 39,79	R\$ 954,96
Recurso Guindaste 50 toneladas	1	R\$ 152,77	R\$ 1.222,16
Andaime	5	R\$ 36,07	R\$ 180,35
Custo Total Atividade		R\$	2.675,79

Fonte: o autor (2017)

A tabela 4.4 apresenta todos os custos relacionados à substituição total de uma válvula modelo Gritzko II que foi recuperada por oficina externa.

Tabela 4.4 – Custos Substituição Total Válvula Gritzko II Recuperada

Custo Substituição Total Válvula Recuperada			
Número Válvulas Analisado			1
Quantidade trocas			1
Tempo Preparação			4
Tempo Execução [horas]			8
Custo Atividade			
	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Efetivo Necessário Preparação	2	R\$ 39,79	R\$ 318,32
Efetivo Necessário por Troca	3	R\$ 39,79	R\$ 954,96
Recurso Guindaste 50 toneladas	1	R\$ 152,77	R\$ 1.222,16
Andaime	5	R\$ 36,07	R\$ 180,35
Válvula Completa Recuperada	1	R\$ 140.000,00	R\$ 140.000,00
Custo Total Atividade		R\$	142.675,79

Fonte: o autor (2017)

A primeira estratégia é realizar a aquisição de seis válvulas, sendo quatro para instalação e duas como sobressalentes. Desta forma seria realizada a instalação das quatro válvulas na primeira parada programada do alto forno no ano de 2019 e na segunda parada programada do mesmo ano já seriam substituídas duas válvulas inferiores pelas válvulas novas sobressalentes. Desta maneira é possível realizar uma avaliação criteriosa do comportamento das válvulas após seis

meses em operação e realizar o rodízio das mesmas. Seria realizado no primeiro ano o desembolso total do valor referente à compra das seis válvulas.

Para as válvulas que saíram de operação com seis meses no primeiro ano, o custo de recuperação em oficina externa foi considerado como 50% do custo total de uma recuperação completa para uma válvula que operou 12 meses.

A segunda estratégia é realizar a aquisição de oito válvulas, sendo quatro para instalação e quatro como sobressalentes. Desta forma seria realizada a instalação das quatro válvulas na primeira parada programada do alto forno no ano de 2019 e na primeira parada programada de 2020 estas seriam todas substituídas por novas. A aquisição destas válvulas seria dividida em duas vezes, sendo o primeiro desembolso em 2019 e o segundo desembolso no ano 2020.

### **Alternativa 2) Substituir a válvula atual pela válvula modelo Tríplex do fabricante B**

A tabela 4.5 mostra todos os custos relacionados a efetivo e recursos necessários para substituição de uma válvula modelo Tríplex do fabricante B.

**Tabela 4.5 – Custos com Efetivo e Recursos para Substituição Válvula Tríplex**

Custo do Efetivo e Recursos Necessários - Substituição Válvula			
Número Válvulas Analisado			1
Quantidade trocas			1
Tempo Preparação			6
Tempo Execução [horas]			18
Custo Atividade			
	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Efetivo Necessário Preparação	2	R\$ 39,79	R\$ 477,48
Efetivo Necessário por Troca	5	R\$ 39,79	R\$ 3.581,10
Recurso Guindaste 50 toneladas	1	R\$ 152,77	R\$ 2.749,86
Andaime	5	R\$ 36,07	R\$ 180,35
Custo Total Atividade	R\$		6.988,79

Fonte: o autor (2017)

A tabela 4.6 apresenta todos os custos relacionados à substituição total de uma válvula modelo tríplex que foi recuperada por oficina externa.

Tabela 4.6 – Custos Substituição Total Válvula Tríplice Recuperada

Custo Substituição Total Válvula Recuperada			
Número Válvulas Analisado			1
Quantidade trocas			1
Tempo Preparação			6
Tempo Execução [horas]			18
Custo Atividade			
	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Efetivo Necessário Preparação	2	R\$ 39,79	R\$ 477,48
Efetivo Necessário por Troca	5	R\$ 39,79	R\$ 3.581,10
Recurso Guindaste 50 toneladas	1	R\$ 152,77	R\$ 2.749,86
Andaime	5	R\$ 36,07	R\$ 180,35
Válvula Completa Recuperada	1	R\$ 110.000,00	R\$ 110.000,00
Custo Total Atividade		R\$	116.988,79

Fonte: o autor (2017)

A primeira estratégia é realizar a aquisição de três válvulas, sendo duas para instalação e uma como sobressalentes. Desta forma seria realizada a instalação das duas válvulas na primeira parada programada do alto forno no ano de 2019 e na segunda parada programada do mesmo ano já seria substituída uma delas pela válvula nova sobressalente. Desta maneira é possível realizar uma avaliação criteriosa do comportamento das válvulas após seis meses em operação e realizar o rodízio das mesmas. Seria realizado no primeiro ano o desembolso total do valor referente à aquisição das três válvulas.

Para a válvula que sair de operação com seis meses no primeiro ano, o custo de recuperação em oficina externa foi considerado como 50% do custo total de uma recuperação completa para uma válvula que operou 12 meses.

A segunda estratégia é realizar a aquisição de quatro válvulas, sendo duas para instalação e duas como sobressalentes. Desta forma seria realizada a instalação das duas válvulas na primeira parada programada do alto forno no ano de 2019 e na primeira parada programada de 2020 estas seriam todas substituídas por novas. A aquisição destas válvulas seria dividida em duas vezes, sendo o primeiro desembolso em 2019 e o segundo desembolso no ano 2020.

### **Alternativa 3) Substituir a válvula atual pela válvula do fabricante C**

A tabela 4.7 mostra todos os custos relacionados a efetivo e recursos necessários para substituição de uma válvula controladora de fluxo e uma válvula de vedação do fabricante C.

Tabela 4.7 – Custos com Efetivo e Recursos para Substituição das Válvulas Controladora de Fluxo e de Vedação

Custo do Efetivo e Recursos Necessários - Substituição Válvula Controladora Fluxo			
Número Válvulas Analisado			1
Quantidade trocas			1
Tempo Preparação			4
Tempo Execução [horas]			8
Custo Atividade			
	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Efetivo Necessário Preparação	2	R\$ 39,79	R\$ 318,32
Efetivo Necessário por Troca	5	R\$ 39,79	R\$ 1.591,60
Recurso Guindaste 50 toneladas	1	R\$ 152,77	R\$ 1.222,16
Andaime	5	R\$ 36,07	R\$ 180,35
Válvula Completa Recuperada (Com obturadores)	1		R\$ -
Custo Total Atividade		R\$	3.312,43
Custo do Efetivo e Recursos Necessários - Substituição Válvula Vedação			
Número Válvulas Analisado			1
Quantidade trocas			1
Tempo Preparação			4
Tempo Execução [horas]			12
Custo Atividade			
	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Efetivo Necessário Preparação	2	R\$ 39,79	R\$ 318,32
Efetivo Necessário por Troca	5	R\$ 39,79	R\$ 2.387,40
Recurso Guindaste 50 toneladas	1	R\$ 152,77	R\$ 1.833,24
Válvula Completa Recuperada (Com sede fixa e móvel)	1		R\$ -
Custo Total Atividade		R\$	4.538,96

Fonte: o autor (2017)

A tabela 4.8 apresenta todos os custos relacionados à substituição total de uma válvula controladora de fluxo e de uma válvula de vedação que foram recuperadas por oficina externa.

Tabela 4.8 – Custos Substituição Total Válvula Tríplex Recuperada

Custo Substituição Total Válvula Controladora de Fluxo Recuperada			
Número Válvulas Analisado			1
Quantidade trocas			1
Tempo Preparação			4
Tempo Execução [horas]			8
Custo Atividade			
	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Efetivo Necessário Preparação	2	R\$ 39,79	R\$ 318,32
Efetivo Necessário por Troca	5	R\$ 39,79	R\$ 1.591,60
Recurso Guindaste 50 toneladas	1	R\$ 152,77	R\$ 1.222,16
Andaime	5	R\$ 36,07	R\$ 180,35
Válvula Completa Recuperada (Com obturadores)	1	R\$ 150.000,00	R\$ 150.000,00
Custo Total Atividade		R\$	153.312,43
Custo Substituição Total Válvula Vedação Recuperada			
Número Válvulas Analisado			1
Quantidade trocas			1
Tempo Preparação			4
Tempo Execução [horas]			12
Custo Atividade			
	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Efetivo Necessário Preparação	2	R\$ 39,79	R\$ 318,32
Efetivo Necessário por Troca	5	R\$ 39,79	R\$ 2.387,40
Recurso Guindaste 50 toneladas	1	R\$ 152,77	R\$ 1.833,24
Válvula Completa Recuperada (Com sede fixa e móvel)	1	R\$ 150.000,00	R\$ 150.000,00
Custo Total Atividade		R\$	154.538,96

Fonte: o autor (2017)

A primeira estratégia é realizar a aquisição de seis válvulas, sendo quatro para instalação e duas como sobressalentes. Desta forma seria realizada a instalação de duas controladoras de fluxo e duas de vedação na primeira parada

programada do alto forno no ano de 2019 e na segunda parada programada do mesmo ano já seria substituída uma controla de fluxo e a outra de vedação pelas válvulas novas sobressalentes. Desta maneira é possível realizar uma avaliação criteriosa do comportamento das válvulas após seis meses em operação e realizar o rodízio das mesmas. Seria realizado no primeiro ano o desembolso total do valor referente à compra das seis válvulas.

Para as válvulas que saíram de operação com seis meses no primeiro ano, o custo de recuperação em oficina externa foi considerado como 50% do custo total de uma recuperação completa para uma válvula que operou 12 meses.

A segunda estratégia é realizar a aquisição de oito válvulas, sendo quatro para instalação e quatro como sobressalentes. Desta forma seria realizada a instalação das quatro válvulas na primeira parada programada do alto forno no ano de 2019 e na primeira parada programada de 2020 estas seriam todas substituídas por novas. A aquisição destas válvulas seria dividida em duas vezes, sendo o primeiro desembolso em 2019 e o segundo desembolso no ano 2020.

#### 4.6 ETAPA 6: FAÇA OS CUSTOS ESTIMADOS PARA CADA ANO

Nesta etapa é necessário calcular o valor presente líquido para estimar os custos para cada ano considerando a inflação, que representa o crescimento ou decréscimo do nível geral dos preços de bens ou serviços praticados no mercado causado pela expansão de espécie monetária. Segundo Abreu (2011) tem-se aplicado sobre qualquer valor uma política de juros e inflação, tornando distinto em diferentes intervalos de tempo. O valor presente é o valor na data zero ou início do fluxo de caixa. Representa o investimento inicial ou a aplicação financeira atual e que pode sofrer variação, em espécie, em um período futuro segundo o custo do capital (juros) corrente neste período. Já o valor presente líquido faz a análise do fluxo de caixa calculando a somatória do valor presente de cada período da série dos pagamentos ou recebimentos a uma taxa de juros conhecida e deduz desta o valor inicial deste fluxo, ou seja, o investimento, financiamento ou empréstimo.



A figura 4.5 representa a fórmula básica do VPL que é:

Figura 4.5 – Fórmula VPL

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i)^j} - CF_0$$

Fonte: <http://www.egov.ufsc.br/portal/conteudo/o-anatocismo-e-matematica-financeira>

Nesta equação, n representa o tempo total do projeto, o j representa o período em meses ou anos, o i representa a taxa mínima de atratividade, e o CF o fluxo de caixa por período.

Também foi necessário considerar a depreciação sobre a aquisição de novas tecnologias de válvulas, que devem ser contabilizadas para o pagamento de menos imposto de renda (IR) e contribuição social do lucro líquido (CSLL). Segundo o site da receita federal (2017) a partir de 1º de setembro de 2003, o percentual da receita bruta considerada para efeito de determinação da base de cálculo da CSLL, é de 32%. De acordo com o site do Banco Central (2017) o valor referente a última atualização da taxa SELIC do dia 26/07/2017 é de 9,15%.

O demonstrativo contábil detalhado de cada alternativa para cada estratégia será apresentado no apêndice A.

#### 4.7 ETAPA 7: ENCONTRE O PONTO DE EQUILÍBRIO DAS ALTERNATIVAS

A partir dos valores presentes líquidos calculados no item 4.6, é possível realizar os gráficos dos desembolsos ano a ano e verificar qual alternativa possui menor custo no período analisado. Primeiramente foram elaborados para cada alternativa de nova tecnologia gráficos comparativos entre as duas estratégias escolhidas.

O gráfico 4.1 representa a soma dos VPL acumulativos do custo total da válvula Gritzko II.

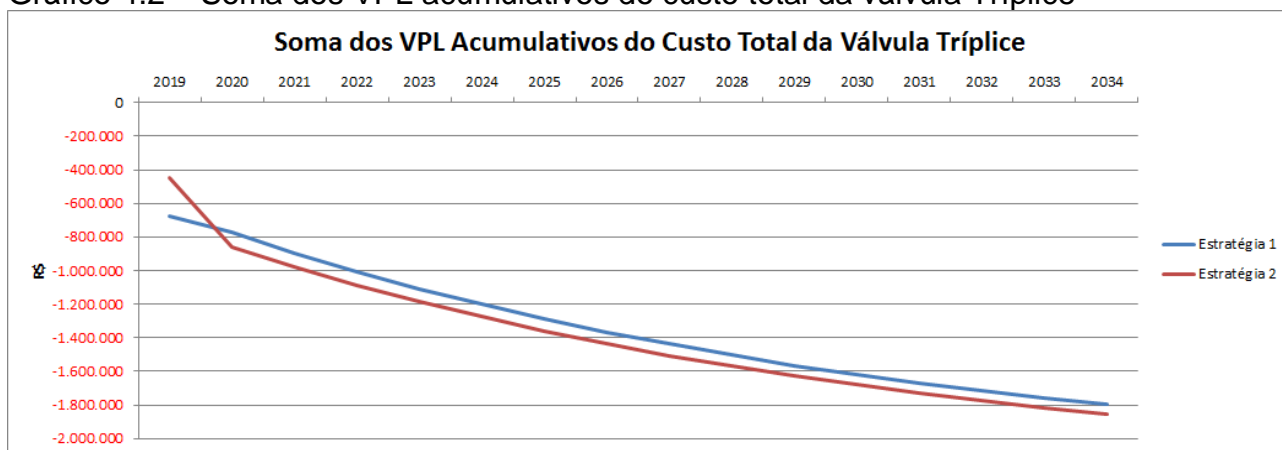
Gráfico 4.1 – Soma dos VPL acumulativos do custo total da válvula Gritzko II



Fonte: o autor (2017)

O gráfico 4.2 representa a soma dos VPL acumulativos do custo total da válvula Tríplice.

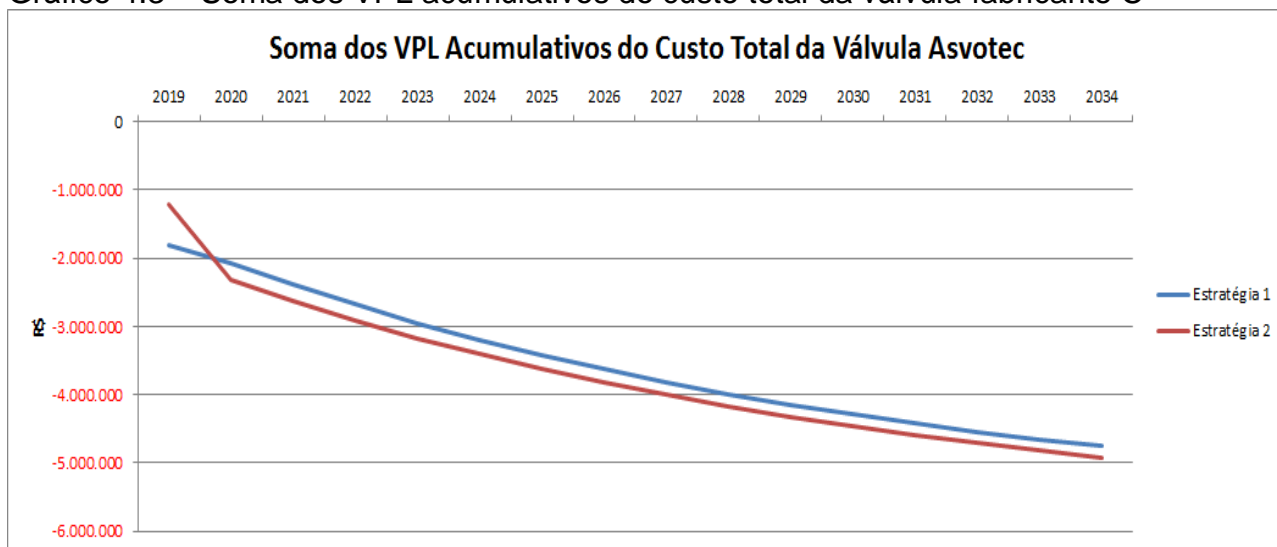
Gráfico 4.2 – Soma dos VPL acumulativos do custo total da válvula Tríplice



Fonte: o autor (2017)

O gráfico 4.3 representa a soma dos VPL acumulativos do custo total da válvula fabricante C.

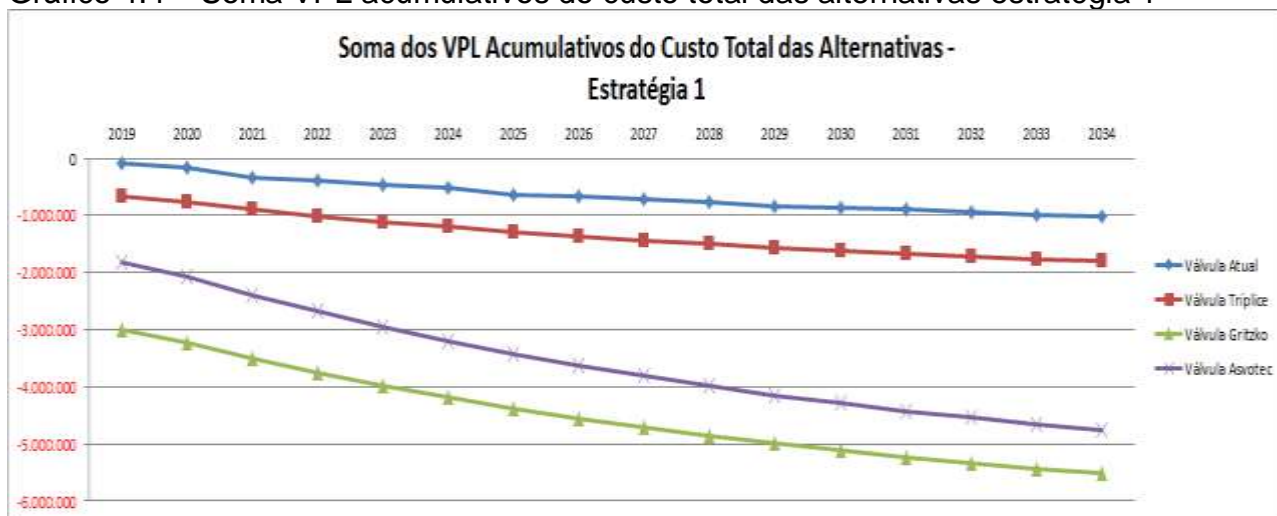
Gráfico 4.3 – Soma dos VPL acumulativos do custo total da válvula fabricante C



Fonte: o autor (2017)

Analisando os gráficos é possível afirmar que em todas as alternativas, a estratégia 1 é a mais vantajosa. Assim o gráfico 4.4 mostra a soma dos VPL acumulativos do custo total das estratégias 1 de todas as alternativas propostas no trabalho.

Gráfico 4.4 – Soma VPL acumulativos do custo total das alternativas estratégia 1



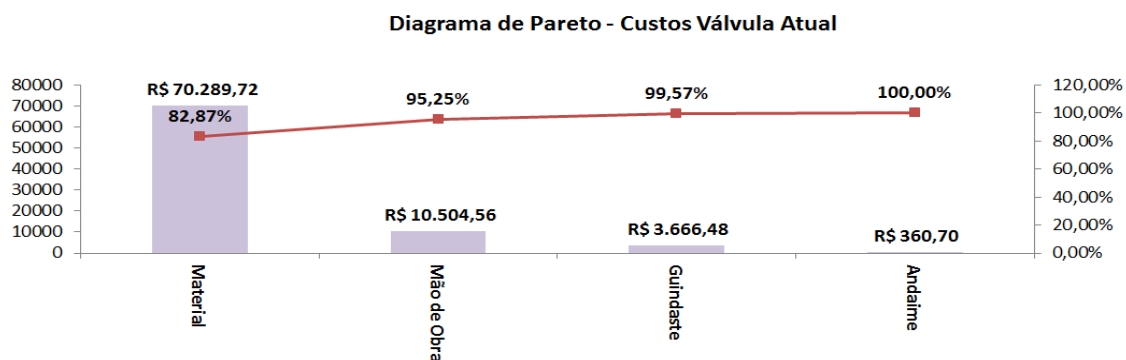
Fonte: o autor (2017)

Assim, considerando as premissas citadas, a melhor alternativa de tecnologias de válvulas para possibilitar redução de paradas programadas de manutenção e aumento de confiabilidade a um menor custo ao longo dos anos é a válvula tríplice do fabricante B. O custo total desta válvula é a que mais se aproxima dos custos gerados com a válvula atual.

#### 4.8 ETAPA 8: CONSTRUA O GRÁFICO DE PARETO PARA DESCOBRIR QUEM CONTRIBUI MAIS NO CUSTO

O objetivo do gráfico de Pareto é verificar qual é o custo que mais contribui para o ciclo de vida dos equipamentos. É possível verificar também para cada classe de custo, qual equipamento demanda mais ou menos desembolso. O gráfico 4.5 mostra o Pareto dos custos da válvula atual.

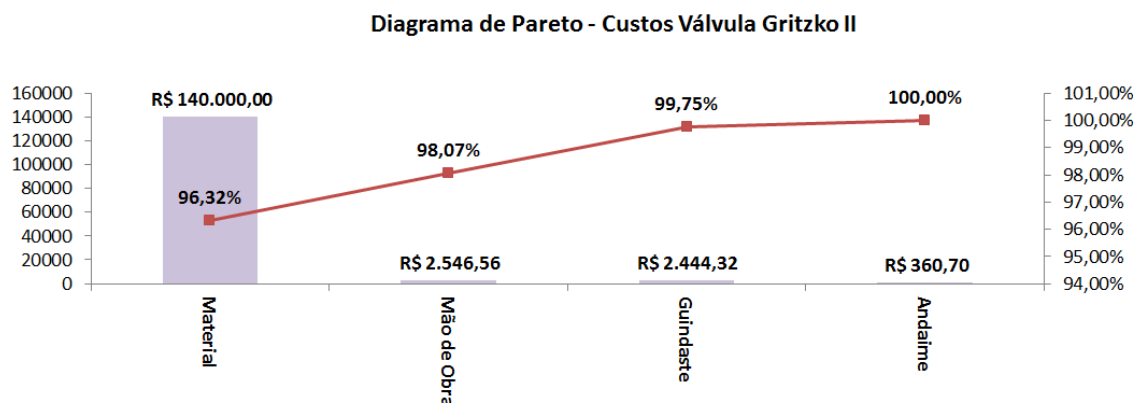
Gráfico 4.5 – Diagrama de Pareto Custos Válvula Atual



Fonte: o autor (2017)

O gráfico 4.6 mostra o Pareto dos custos da válvula modelo Gritzko II.

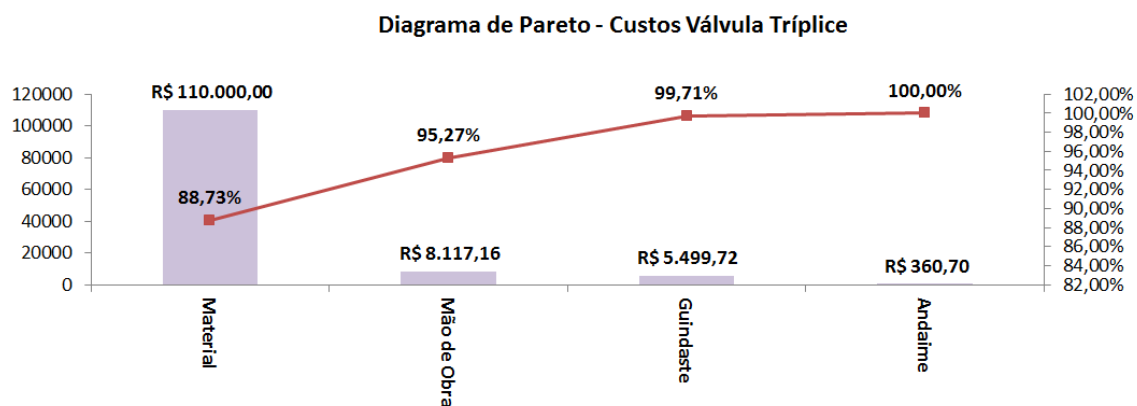
Gráfico 4.6 – Diagrama de Pareto Custos Válvula Gritzko II



Fonte: o autor (2017)

O gráfico 4.7 mostra o Pareto dos custos da válvula modelo Tríplice

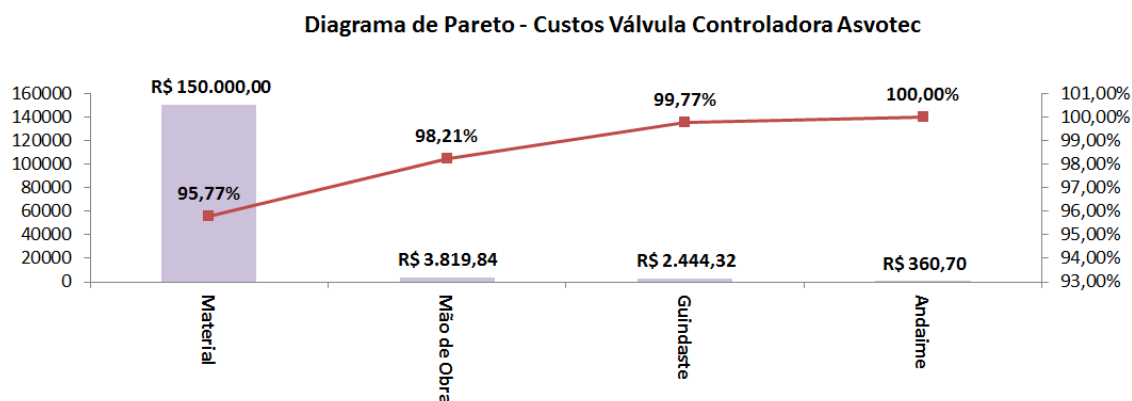
Gráfico 4.7 – Diagrama de Pareto Custos Válvula Tríplice



Fonte: o autor (2017)

O gráfico 4.8 mostra o Pareto dos custos da válvula controladora de fluxo do modelo do fabricante C.

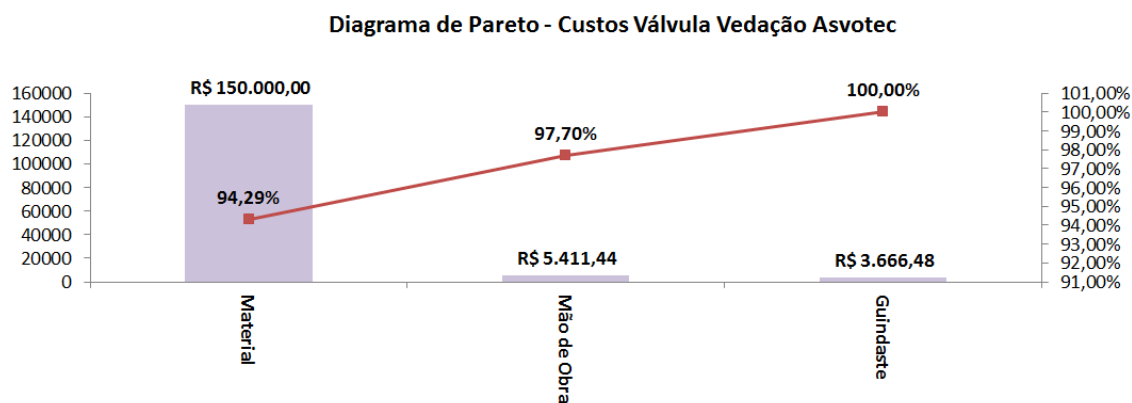
Gráfico 4.8 – Diagrama de Pareto Custos Válvula Controladora Fabricante C



Fonte: o autor (2017)

O gráfico 4.9 mostra o Pareto dos custos da válvula de vedação do modelo do fabricante C.

Gráfico 4.9 – Diagrama de Pareto Custos Válvula Vedação Fabricante C



Fonte: o autor (2017)

A partir da análise de Pareto, nos itens, conclui-se que o custo de material é o que mais contribui em cada alternativa, seguido do custo com mão-de-obra, custo com guindaste e custo com andaimes. As válvulas do fabricante C foram apresentadas separadamente porque as válvulas de controle de fluxo e vedação são distintas.

#### 4.9 ETAPA 9: ANÁLISE DOS ALTOS CUSTOS E SUAS RAZÕES

Segundo Barringer (2003) nesta etapa é realizado testes de alternativas para itens de custos elevados. É importante ressaltar que as condições de contorno de cada coletor de pó de cada alto forno devem ser avaliadas no momento de realizar o benchmarking com outras empresas. Existem diferenças que influenciam diretamente na vida útil das válvulas como pressão de topo, vazão de gás, quantidade de pó gerada no coletor, número de descargas por dia, temperatura do gás, forma de operação, dentre outros.

Desta maneira foi testada a hipótese de que as novas tecnologias de válvulas propostas tenham durabilidade de 24 meses ao invés de 12 meses, ou seja, o dobro do que a garantia do fabricante. Este teste foi realizado, pois se tem relatos de que todas as tecnologias abordadas neste trabalho possuem vida útil superior a 24 meses, porém aplicadas em outros altos fornos do Brasil e do mundo.

O gráfico 4.10 mostra a soma dos VPL acumulativos do custo total da melhor estratégia considerando vida útil de 24 meses para todas as alternativas propostas no trabalho.

Gráfico 4.10 – Soma VPL acumulativos custo total alternativas com vida útil 24 meses



Fonte: o autor (2017)

Assim, considerando que as válvulas teriam vida útil de 24 meses, conclui-se que o custo da válvula tríplice se aproxima muito do custo praticado atualmente com as válvulas atuais.

#### 4.10 ETAPA 10: ESTUDO O RISCO DOS ITENS MAIS CAROS E SUAS OCORRÊNCIAS

Pela falta de informação com relação ao histórico de falhas de cada tecnologia proposta aplicada a uma realidade similar ao do alto forno em questão, neste LCC não foram considerados os custos de oportunidade, ou seja, os custos de perda de produção devido à falha do equipamento ou o que a empresa deixou de ganhar com as horas paradas para manutenção.

Trazendo esta análise para as válvulas utilizadas atualmente, entre os anos de 2001 e 2017 estas apresentaram duas falhas que paralisaram a produção. A primeira falha que causou paralisação da produção por 3 horas ocorreu no ano de 2002 e a segunda falha no ano de 2017, esta com duração de 3 horas e 15 minutos.

Utilizando uma referencia mais recente, a falha de 2017 causou perda de 4.018,8 toneladas de ferro gusa, que representa de forma estimada R\$ 658.000,00.

Da mesma forma que existem perdas, precisa-se avaliar também os ganhos quando se deixa de realizar a intervenção no equipamento que depende de uma parada de produção. No ano de 2017, foram previstas 142 horas de parada programada para manutenção no alto forno em questão, sendo duas paradas de 42 horas e outra de 54 horas. Em todas as três paradas foi necessário realizar substituição do cone e sede da válvula atual. Como um dos objetivos do trabalho é implantar nova tecnologia de válvulas com maior confiabilidade e vida útil mínima de 12 meses que seja capaz de reduzir o número de paradas programadas no ano, foi considerado que nos anos após implantação desta tecnologia, as paradas seriam reduzidas de 142 horas/ano para 96 horas/ano. Esta redução de tempo traduzida em produção representa de forma estimada 20.000 toneladas que traduzida em dinheiro representa de forma estimada R\$ 3.273.400,00 por ano.

Esta melhoria de tecnologia das válvulas de descarga de pó para o alto forno em questão não garante sozinha a redução do número de paradas programadas para manutenção no ano, porém atualmente é o equipamento que mais contribui para a não redução do número de paradas anuais. É necessário realizar um estudo mais amplo da necessidade de melhorias e investimento em outros equipamentos do alto forno e até dos processos siderúrgicos subsequentes que ainda dependeriam de três paradas no ano para manutenção.



#### 4.11 ETAPA 11: SELECIONE A MELHOR ALTERNATIVA COM BASE NO LCC

Com base nas 10 etapas desenvolvidas anteriormente, conclui-se que a melhor alternativa considerando todas as premissas pré-estabelecidas no item 4.5 é a substituição da válvula atual pela válvula tríplice do fabricante B. Esta mudança de tecnologia proporcionará aumento de confiabilidade para tempo de missão de 4 meses baseado em *benchmarking* realizado com outras siderúrgicas, aumento da manutenibilidade baseado na dificuldade de manter a válvula atual devido a forma construtiva do cone e sede, menor exposição do homem ao risco, aumento de vida útil de 4 meses para mínimo de 12 meses e diminuição do tempo de parada programada para manutenção por ano de 146 horas para 96 horas.

## 5 CONCLUSÃO

Alinhado com o plano estratégico da empresa no que se refere ao aumento de produção de aço para os próximos 3 anos, foi de extrema importância realizar o estudo de aumento de vida útil associado ao estudo do custo do ciclo de vida das válvulas de descarga de pó do alto forno, vislumbrando no futuro garantir que a redução do tempo de parada programada não comprometa a qualidade do processo de produção de gusa e que o custo relacionado às válvulas de descarga de pó seja o menor possível.

Para isso é necessário investir em novas tecnologias, garantindo assim a mesma confiabilidade para um tempo de missão maior do que o praticado atualmente, aumento de vida útil de 4 meses para mínimo de 12 meses, melhoria da manutenibilidade devido nova forma construtiva da válvula, redução do número de intervenções anuais e do custo com mão de obra e recursos auxiliares em aproximadamente 17% e redução da exposição do homem ao risco. É importante ressaltar que foram realizadas algumas considerações nas análises de custos devido à dificuldade na obtenção de informações precisas com relação à durabilidade e custo real de cada componente.

Pela experiência e avaliação da equipe de manutenção com relação ao desgaste dos componentes de vedação da válvula atual, existe alta probabilidade de ocorrer falhas que impactarão no cumprimento do plano de produção previsto naquele dia caso a válvula opere durante 6 meses ininterruptos.

Para garantir de fato a redução de uma parada programada no ano do alto forno em questão, é necessário realizar um estudo mais amplo da necessidade de melhorias e investimento em outros equipamentos do alto forno e até dos processos siderúrgicos subsequentes que ainda dependeriam de três paradas no ano para manutenção.

Assim, o estudo de LCC vem se tornando grande aliado dos engenheiros e gestores para tomadas de decisão mais assertivas no dia a dia das grandes empresas.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como a substituição das válvulas de descarga de pó do alto forno isoladamente não garante a redução efetiva do número de paradas do alto forno em questão, este estudo de LCC pode ser aplicado de forma global focando em todos os gargalos para esta demanda, de maneira a verificar todos os custos com investimento, manutenção e operação e ganhos com aumento de produção, redução de paradas emergências dentre outros.

## REFERÊNCIAS

ABREU, José C. **Matemática Financeira**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2011.

ASSOCIAÇÃO MUNDIAL DO AÇO. Disponível em: <[www.worldsteel.org/media-centre/about-steel.html](http://www.worldsteel.org/media-centre/about-steel.html)> Acessado em 05/08/2017.

BARRINGER, H. P., WEBER, David. P. **Life Cycle Cost Tutorial**. Houston: Gulf Publishing Company, 1996.

BARRINGER, H. P., WEBER, David. P. **Life Cycle Cost and Good Practices**. Texas : NPRA Maintenance Conference, 1998.

BARRINGER, H. P. **A Life Cycle Cost Summary**. Texas: International Conference of Maintenance Societies, 2003.

Banco Central do Brasil. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp>> Acessado em 01/09/2017.

FABRYCKY, Wolter J., BLANCHARD, Benjamin. **Life-Cycle Cost and Economic Analysis**. Englewood: Prentice-Hall, 1991.

FRASCATI. **Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development**. 2002.

GIL, Antonio C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

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

INSTITUTO AÇO BRASIL. Disponível em: <[www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html](http://www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html)> Acessado em 05/08/2017.

LANDERS, Richard. R. **Product Assurance Dictionary**. Marlton: Marlton Publishes, 1996.

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

Receita Federal – Ministério da Fazenda. Disponível em: <<http://idg.receita.fazenda.gov.br/acesso-rapido/tributos/CSLL>> Acessado em 01/09/2017.

SATYENDRA. 2013. Disponível em: <<http://ispatguru.com/blast-furnace-top-charging-systems/>> Acessado em 07/09/2017.

SATYENDRA. 2014. Disponível em: <<http://ispatguru.com/blast-furnace-cast-house-and-its-operation/>> Acessado em 07/09/2017.

SATYENDRA. 2016. Disponível em: <<http://ispatguru.com/blast-furnace-stock-house/>> Acessado em 07/09/2017.

SATYENDRA. 2016. Disponível em: <<http://ispatguru.com/cleaning-of-blast-furnace-gas/>> Acessado em 07/09/2017.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da Pesquisa-Ação**. São Paulo: Cortez, 1985.

**APÊNDICE A – DEMONSTRATIVO CONTÁBIL DETALHADO DAS  
ALTERNATIVAS PROPOSTAS**

Este apêndice apresenta o detalhamento dos cálculos para o cálculo do valor presente líquido (VPL) para as quatro válvulas estudadas e suas estratégias de manutenção conforme explicado na seção 4.6.

A tabela A1 consta o cálculo do VPL para a válvula atual utilizando como base os valores da tabela 4.1 e 4.2.

Tabela A1 – Demonstrativo Contábil Válvula Atual

ANO	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Substituição Total Válvula Superior Perna 1			(77.556)				(77.556)				(77.556)				(77.556)	
Substituição Componentes de Vedação - Cone e Sede Superior Perna 1	(30.176)	(30.176)		(30.176)	(30.176)	(30.176)		(30.176)	(30.176)	(30.176)		(30.176)	(30.176)	(30.176)		(30.176)
Substituição Total Válvula Inferior Perna 1			(77.556)				(77.556)				(77.556)				(77.556)	
Substituição Componentes de Vedação - Cone e Sede Inferior Perna 1	(30.176)	(30.176)		(30.176)	(30.176)	(30.176)		(30.176)	(30.176)	(30.176)		(30.176)	(30.176)	(30.176)		(30.176)
Substituição Total Válvula Superior Perna 2			(77.556)				(77.556)				(77.556)				(77.556)	
Substituição Componentes de Vedação - Cone e Sede Superior Perna 2	(30.176)	(30.176)		(30.176)	(30.176)	(30.176)		(30.176)	(30.176)	(30.176)		(30.176)	(30.176)	(30.176)		(30.176)
Substituição Total Válvula Inferior Perna 2			(77.556)				(77.556)				(77.556)				(77.556)	
Substituição Componentes de Vedação - Cone e Sede Inferior Perna 2	(30.176)	(30.176)		(30.176)	(30.176)	(30.176)		(30.176)	(30.176)	(30.176)		(30.176)	(30.176)	(30.176)		(30.176)
Custo Fixo	-120.704	-120.704	-310.222	-120.704	-120.704	-120.704	-310.222	-120.704	-120.704	-120.704	-310.222	-120.704	-120.704	-120.704	-310.222	-120.704
Depreciação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBIT (Lucro Operacional)	-120.704	-120.704	-310.222	-120.704	-120.704	-120.704	-310.222	-120.704	-120.704	-120.704	-310.222	-120.704	-120.704	-120.704	-310.222	-120.704
Lucro Antes dos Impostos	-120.704	-120.704	-310.222	-120.704	-120.704	-120.704	-310.222	-120.704	-120.704	-120.704	-310.222	-120.704	-120.704	-120.704	-310.222	-120.704
Imposto Renda	38.625	38.625	99.271	38.625	38.625	38.625	99.271	38.625	38.625	38.625	99.271	38.625	38.625	38.625	99.271	38.625
Lucro líquido	-82.078	-82.078	-210.951	-82.078	-82.078	-82.078	-210.951	-82.078	-82.078	-82.078	-210.951	-82.078	-82.078	-82.078	-210.951	-82.078
Investimento Ativo Fixo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Free Cash-Flow	-82.078	-82.078	-210.951	-82.078	-82.078	-82.078	-210.951	-82.078	-82.078	-82.078	-210.951	-82.078	-82.078	-82.078	-210.951	-82.078
VP FCF	-82.078	-75.198	-177.066	-63.119	-57.827	-52.980	-124.750	-44.470	-40.742	-37.326	-87.891	-31.331	-28.704	-26.298	-61.923	-22.074
VP FCF Acumulado	-82.078	-157.276	-334.342	-397.461	-455.288	-508.268	-633.017	-677.487	-718.229	-755.555	-843.446	-874.777	-903.481	-929.778	-991.701	-1.013.775
IR / CSLL	32%															
SELIC	9,15%															
VPL	R\$ -1.013.775															

Fonte: o autor (2017)

Nota: Valores expressos em reais, centavos suprimidos para melhor visualização. Números entre parênteses representam valores negativos.

A tabela A2 consta o cálculo do VPL para a válvula modelo Gritzko II para estratégia 1 utilizando como base os valores da tabela 4.3 e 4.4. A estratégia 1 relacionada a este modelo de válvula está detalhada no item 4.5 do trabalho.

Tabela A2 – Demonstrativo Contábil Válvula Gritzko II Estratégia 1

ANO	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Substituição Válvula Superior Perna 1	(2.676)	(72.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)
Substituição Válvula Inferior Perna 1	(5.352)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)
Substituição Válvula Superior Perna 2	(2.676)	(72.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)
Substituição Válvula Inferior Perna 2	(5.352)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)	(142.676)
Custo Fixo	-16.055	-430.704	-570.703	-570.703	-570.703	-570.703	-570.703	-570.703	-570.703	-570.703	-570.703	-570.703	-570.703	-570.703	-570.703	-570.703
Depreciação		-200.000	-200.000	-200.000	-200.000	-200.000	-200.000	-200.000	-200.000	-200.000	-200.000	-200.000	-200.000	-200.000	-200.000	-200.000
EBIT (Lucro Operacional)	-16.055	-630.704	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703
Lucro Antes dos Impostos	-16.055	-630.704	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703	-770.703
Imposto Renda	5.138	201.825	246.625	246.625	246.625	246.625	246.625	246.625	246.625	246.625	246.625	246.625	246.625	246.625	246.625	246.625
Lucro líquido	-10.917	-428.878	-524.078	-524.078	-524.078	-524.078	-524.078	-524.078	-524.078	-524.078	-524.078	-524.078	-524.078	-524.078	-524.078	-524.078
Investimento Ativo Fixo	-3.000.000															
Free Cash-Flow	-3.010.917	-228.878	-324.078	-324.078	-324.078	-324.078	-324.078	-324.078	-324.078	-324.078	-324.078	-324.078	-324.078	-324.078	-324.078	-324.078
VP FCF	-3.010.917	-209.692	-272.021	-249.217	-228.326	-209.185	-191.649	-175.583	-160.864	-147.379	-135.024	-123.705	-113.335	-103.834	-95.130	-87.155
VP FCF Acumulado	-3.010.917	-3.220.609	-3.492.630	-3.741.847	-3.970.173	-4.179.358	-4.371.008	-4.546.591	-4.707.455	-4.854.835	-4.989.859	-5.113.564	-5.226.900	-5.330.734	-5.425.864	-5.513.019
IR / CSLL	32%															
SELIC	9,15%															
VPL	k\$ -5.513.019															

Fonte: o autor (2017)

Nota: Valores expressos em reais, centavos suprimidos para melhor visualização. Números entre parênteses representam valores negativos.





A tabela A4 consta o cálculo do VPL para a válvula modelo Tríplice para estratégia 1 utilizando como base os valores da tabela 4.5 e 4.6. A estratégia 1 relacionada a este modelo de válvula está detalhada no item 4.5 do trabalho.

Tabela A4 – Demonstrativo Contábil Válvula Tríplice Estratégia 1

ANO	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Substituição Válvula da Perna 1	(13.978)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)
Substituição Válvula da Perna 2	(6.989)	(61.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)
Custo Fixo	-20.966	-178.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978
Depreciação		-44.000	-44.000	-44.000	-44.000	-44.000	-44.000	-44.000	-44.000	-44.000	-44.000	-44.000	-44.000	-44.000	-44.000	-44.000
EBIT (Lucro Operacional)	-20.966	-222.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978
Lucro Antes dos Impostos	-20.966	-222.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978	-277.978
Imposto Renda	6.709	71.353	88.953	88.953	88.953	88.953	88.953	88.953	88.953	88.953	88.953	88.953	88.953	88.953	88.953	88.953
Lucro líquido	-14.257	-151.625	-189.025	-189.025	-189.025	-189.025	-189.025	-189.025	-189.025	-189.025	-189.025	-189.025	-189.025	-189.025	-189.025	-189.025
Investimento Ativo Fixo	-660.000															
Free Cash-Flow	-674.257	-107.625	-145.025	-145.025	-145.025	-145.025	-145.025	-145.025	-145.025	-145.025	-145.025	-145.025	-145.025	-145.025	-145.025	-145.025
VP FCF	-674.257	-98.603	-121.729	-111.525	-102.176	-93.610	-85.763	-78.573	-71.987	-65.952	-60.423	-55.358	-50.717	-46.466	-42.571	-39.002
VP FCF Acumulado	-674.257	-772.860	-894.589	-1.006.114	-1.108.289	-1.201.900	-1.287.663	-1.366.236	-1.438.223	-1.504.175	-1.564.598	-1.619.956	-1.670.674	-1.717.139	-1.759.710	-1.798.712
IR / CSLL		32%														
SELIC		9,15%														
VPL		R\$	-1.798.712													

Fonte: o autor (2017)

Nota: Valores expressos em reais, centavos suprimidos para melhor visualização. Números entre parênteses representam valores negativos.

A tabela A5 consta o cálculo do VPL para a válvula modelo Tríplice para estratégia 2 utilizando como base os valores da tabela 4.5 e 4.6. A estratégia 2 relacionada a este modelo de válvula está detalhada no item 4.5 do trabalho.

Tabela A5 – Demonstrativo Contábil Válvula Tríplice Estratégia 2

ANO	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Substituição Válvula da Perna 1	(6.989)	(6.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)
Substituição Válvula da Perna 2	(6.989)	(6.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)	(116.989)
Custo Fixo	-13.978	-13.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978	-233.978
Depreciação		-58.667	-58.667	-58.667	-58.667	-58.667	-58.667	-58.667	-58.667	-58.667	-58.667	-58.667	-58.667	-58.667	-58.667	-58.667
EBIT (Lucro Operacional)	-13.978	-72.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644
Lucro Antes dos Impostos	-13.978	-72.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644	-292.644
Imposto Renda	4.473	23.246	93.646	93.646	93.646	93.646	93.646	93.646	93.646	93.646	93.646	93.646	93.646	93.646	93.646	93.646
Lucro líquido	-9.505	-49.398	-198.998	-198.998	-198.998	-198.998	-198.998	-198.998	-198.998	-198.998	-198.998	-198.998	-198.998	-198.998	-198.998	-198.998
Investimento Ativo Fixo	-440.000	-440.000														
Free Cash-Flow	-449.505	-430.731	-140.331	-140.331	-140.331	-140.331	-140.331	-140.331	-140.331	-140.331	-140.331	-140.331	-140.331	-140.331	-140.331	-140.331
VP FCF	-449.505	-394.623	-117.790	-107.915	-98.869	-90.581	-82.987	-76.031	-69.657	-63.818	-58.468	-53.567	-49.076	-44.962	-41.193	-37.740
VP FCF Acumulado	-449.505	-844.128	-961.918	-1.069.833	-1.168.702	-1.259.283	-1.342.271	-1.418.301	-1.487.958	-1.551.776	-1.610.244	-1.663.810	-1.712.887	-1.757.849	-1.799.042	-1.836.781
IR / CSLL	32%															
WACC	9,15%															
VPL	R\$ -1.836.781															

Fonte: o autor (2017)

Nota: Valores expressos em reais, centavos suprimidos para melhor visualização. Números entre parênteses representam valores negativos.

A tabela A6 consta o cálculo do VPL para a válvula do fabricante C para estratégia 1 utilizando como base os valores da tabela 4.7 e 4.8. A estratégia 1 relacionada a este modelo de válvula está detalhada no item 4.5 do trabalho.

Tabela A6 – Demonstrativo Contábil Válvula Fabricante C Estratégia 1

ANO	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Substituição Total Válvula Controladora Fluxo Perna 1	(6.625)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)
Substituição Total Válvula Vedação Perda 1	(9.078)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)
Substituição Total Válvula Controladora Fluxo Perna 2	(3.312)	(76.656)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)
Substituição Total Válvula Vedação Perda 2	(4.539)	(77.269)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)
Custo Fixo	-23.554	-461.777	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703
Depreciação		-120.000	-120.000	-120.000	-120.000	-120.000	-120.000	-120.000	-120.000	-120.000	-120.000	-120.000	-120.000	-120.000	-120.000	-120.000
EBIT (Lucro Operacional)	-23.554	-581.777	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703
Lucro Antes dos Impostos	-23.554	-581.777	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703	-735.703
Imposto Renda	7.537	186.169	235.425	235.425	235.425	235.425	235.425	235.425	235.425	235.425	235.425	235.425	235.425	235.425	235.425	235.425
Lucro líquido	-16.017	-395.608	-500.278	-500.278	-500.278	-500.278	-500.278	-500.278	-500.278	-500.278	-500.278	-500.278	-500.278	-500.278	-500.278	-500.278
Investimento Ativo Fixo	-1.800.000															
Free Cash-Flow	-1.816.017	-275.608	-380.278	-380.278	-380.278	-380.278	-380.278	-380.278	-380.278	-380.278	-380.278	-380.278	-380.278	-380.278	-380.278	-380.278
VP FCF	-1.816.017	-252.504	-319.193	-292.435	-267.921	-245.461	-224.884	-206.032	-188.761	-172.937	-158.440	-145.158	-132.989	-121.841	-111.627	-102.269
VP FCF Acumulado	-1.816.017	-2.068.521	-2.387.714	-2.680.150	-2.948.070	-3.193.531	-3.418.415	-3.624.447	-3.813.208	-3.986.145	-4.144.584	-4.289.742	-4.422.731	-4.544.572	-4.656.199	-4.758.468
IR / CSLL		32%														
WACC		9,15%														
VPL		R\$ -4.758.468														

Fonte: o autor (2017)

Nota: Valores expressos em reais, centavos suprimidos para melhor visualização. Números entre parênteses representam valores negativos.

A tabela A7 consta o cálculo do VPL para a válvula do fabricante C para estratégia 2 utilizando como base os valores da tabela 4.7 e 4.8. A estratégia 2 relacionada a este modelo de válvula está detalhada no item 4.5 do trabalho.

Tabela A7 – Demonstrativo Contábil Válvula Fabricante C Estratégia 2

ANO	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Substituição Total Válvula Controladora Fluxo Perna 1	(3.312)	(3.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)
Substituição Total Válvula Vedação Perda 1	(4.539)	(4.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)
Substituição Total Válvula Controladora Fluxo Perna 2	(3.312)	(3.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)	(153.312)
Substituição Total Válvula Vedação Perda 2	(4.539)	(4.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)	(154.539)
Custo Fixo	-15.703	-15.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703	-615.703
Depreciação		-160.000	-160.000	-160.000	-160.000	-160.000	-160.000	-160.000	-160.000	-160.000	-160.000	-160.000	-160.000	-160.000	-160.000	-160.000
EBIT (Lucro Operacional)	-15.703	-175.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703
Lucro Antes dos Impostos	-15.703	-175.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703	-775.703
Imposto Renda	5.025	56.225	248.225	248.225	248.225	248.225	248.225	248.225	248.225	248.225	248.225	248.225	248.225	248.225	248.225	248.225
Lucro líquido	-10.678	-119.478	-527.478	-527.478	-527.478	-527.478	-527.478	-527.478	-527.478	-527.478	-527.478	-527.478	-527.478	-527.478	-527.478	-527.478
Investimento Ativo Fixo	-1.200.000	-1.200.000														
Free Cash-Flow	-1.210.678	-1.159.478	-367.478	-367.478	-367.478	-367.478	-367.478	-367.478	-367.478	-367.478	-367.478	-367.478	-367.478	-367.478	-367.478	-367.478
VP FCF	-1.210.678	-1.062.279	-308.449	-282.592	-258.903	-237.199	-217.315	-199.097	-182.407	-167.116	-153.107	-140.272	-128.513	-117.740	-107.870	-98.827
VP FCF Acumulado	-1.210.678	-2.272.957	-2.581.406	-2.863.999	-3.122.901	-3.360.100	-3.577.414	-3.776.512	-3.958.918	-4.126.034	-4.279.141	-4.419.413	-4.547.925	-4.665.665	-4.773.535	-4.872.361
IR / CSLL		32%														
WACC		9,15%														
VPL		R\$	-4.872.361													

Fonte: o autor (2017)

Nota: Valores expressos em reais, centavos suprimidos para melhor visualização. Números entre parênteses representam valores negativos.