

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GUSTAVO GROETAERS ALFENA
PEDRO HENRIQUE N. C. W. BARANDIER
RICARDO PEREIRA RODRIGUES**

**ANÁLISE DO SISTEMA DE MOTO-SOPRADORES DE UM ALTO
FORNO**

VOLTA REDONDA

2017

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANÁLISE DO SISTEMA DE MOTO-SOPRADORES DE UM ALTO
FORNO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenheiro Mecânico.

Alunos:

Gustavo Groetaers Alfena
Pedro Henrique N. C. W. Barandier
Ricardo Pereira Rodrigues

Orientador:

Profº DSc. Alexandre Fernandes Habibe

Co-orientador:

Profº DSc. Alexandre Alvarenga Palmeira

**VOLTA REDONDA
2017**

FOLHA DE APROVAÇÃO

**GUSTAVO GROETAERS ALFENA
PEDRO HENRIQUE N. C. W. BARANDIER
RICARDO PEREIRA RODRIGUES**

Profº DSc. Alexandre Fernandes Habibe

Profº DSc. Alexandre Alvarenga Palmeira

ANÁLISE DO SISTEMA DE MOTO-SOPRADORES DE UM ALTO FORNO

Banca Examinadora:

Profº DSc. Alexandre Fernandes Habibe

Profº DSc. Alexandre Alvarenga Palmeira

Profª DSc. Monique Osório Talarico da Conceição

Dedicamos aos nossos familiares, amigos
e a quem amamos que tanto nos apoiaram
durante nossa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus pelo dom da vida, pelo amor e cuidado infinito, sem o qual não seria possível coisa alguma em todos os âmbitos de nossas vidas.

Aos nossos pais, nossos primeiros mestres, por todo carinho, exemplo, dedicação e amor incondicional para com nossas vidas, fazendo-nos pessoas de garra, força e persistência. Obrigado por investirem em nossos sonhos e acreditar em nossa capacidade de vencer. Queremos agradecer por todas as vezes que nos perguntaram: “Já estudou hoje?”. Pois graças a essa insistência e preocupação hoje nos encontramos entre um pequeno grupo de brasileiros que cursaram uma universidade. Vocês são os responsáveis pelo nosso sucesso. Amamos muito vocês.

Aos nossos irmãos e todos os nossos familiares que torceram e torcem por nossas conquistas. Obrigado pelos bons momentos e por todas as orações.

Aos nossos amigos e a quem amamos, que entenderam e respeitaram nossa ausência em função do nosso sonho, nos dando paz na correria de cada semestre.

Aos nossos mestres que, com muita paciência, sabedoria e boa vontade, nos passaram parte de seus conhecimentos, nos transformando em profissionais aptos para o mercado de trabalho.

Agradecemos a todos que nos ajudaram e apoiaram, de forma direta ou não, na execução desta monografia. E a todos aqueles que contribuíram para o nosso sucesso e nosso crescimento como pessoa.

A todos vocês, nosso muito obrigado. Sem a presença e o amor de vocês em nossas vidas, nenhum conhecimento seria suficiente para executar esta monografia.

RESUMO

Com o atual mercado, a produção de ferro gusa a partir do uso do alto forno é inconstante, exigindo que os processos que o suportam também sejam variáveis. Por isso, evidencia-se a necessidade de que tais processos sejam revistos em busca de um melhor desempenho. Algumas empresas utilizam-se de um sistema de moto-sopradores para atender a demanda de ar nos alto fornos, e com a variabilidade da demanda de ar ocasionada pela produção, nota-se que o sistema de sopro precisa ser readequado, modificando sua forma de operação e por consequência seu plano de manutenção. Como objetivo do presente estudo, serão analisados dados de uma empresa fictícia a fim de diagnosticar e propor soluções para determinados problemas. Para criação de uma nova forma de trabalho, aplicam-se conceitos técnicos da engenharia de processo e manutenção, bem como a ferramenta de qualidade 5W2H. E a partir de um método comparativo evidenciam-se que os problemas previamente discutidos foram resolvidos, e a partir de então é possível também notar os ganhos econômicos da mudança. Espera-se que com os resultados obtidos, sistemas similares ao da empresa citada sejam capazes de aperfeiçoar seus processos, reduzir suas falhas e dirimir os riscos aos colaboradores.

Palavras-chave: Moto-Sopradores; Rede de ar Frio; Alto Forno.

ABSTRACT

In the present market, the production of pig iron by means of the reduction of iron ore through the blast furnace is fickle, requiring that the processes which support it can also vary. Therefore, it is evidenced these processes need to be explored for a better performance. Some companies employ an air blower system to achieve the air demand in the blast furnaces, with such a variability of the air demand occasionated by the production, it is observed that the blowing system must be readapted, modifying its operation proceedings and consequently its maintenance plan. As intention of the present study, will be analysed data of a fictional company in order to identify and propose solutions to certain problems. For the creation of a new working method, it is applied the technical concepts of process and maintenance engineering, such as the tool of quality 5W2H. And based on a comparative method it is noticed that the problems previously argued have been solved, and from then on it is also possible to verify the economic gain of the modification. It is expected that the obtained results of the quoted company be capable to improve their processes reducing its failures and extinguishing all the risks to the stakeholders.

Palavras-chave: Air Blowers; Cold Air Net; Blast Furnace.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
	2.1 Alto Forno	16
	2.2 Redução do Minério de Ferro	27
	2.3 Regeneradores	33
	2.4 Máquinas de Fluxo	35
	2.4.1 Ventiladores	35
	2.5 Lei dos Ventiladores	44
	2.6 Moto-Sopradores	46
3	METODOLOGIA.....	49
4	ESTUDO DE CASO.....	52
	4.1 Cenário	52
	4.2 Fragilidades e Pontos Críticos	58
	4.3 Resolução Técnica das Falhas	61
	4.3.1 Plano Estratégico de Manutenção	64
5	ANÁLISE TÉCNICA E FINANCEIRA.....	68
6	CONCLUSÃO.....	72
	6.1 Trabalhos Futuros	73
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Alto forno – Modelo antigo.	15
Figura 2: Estrutura do alto-forno e principais dispositivos de funcionamento.....	17
Figura 3: Esquema do furo de corrida alto forno.	20
Figura 4: Esquema de ventaneira alto forno.	22
Figura 5: Esquema de rampa de alto forno.	23
Figura 6: Esquema da cuba de alto forno.	24
Figura 7: Esquema da goela do alto forno.	25
Figura 8: Esquema do topo do alto forno.	26
Figura 9: Esquema de funcionamento de regeneradores de alto forno.....	34
Figura 10: Regeneradores de alto forno.....	35
Figura 11: Axial Propulsor.	37
Figura 12: Tubo Axial.	38
Figura 13: Vanaxial.	39
Figura 14: Variação de Pressão – Axiais.	39
Figura 15: Variação de Vazão – Axiais.	40
Figura 16: Centrífugo Pás Radiais Retas.	41
Figura 17: Centrífugo Pás Curvadas para Trás.....	42
Figura 18: Centrífugo Pás Curvadas para Frente.....	43
Figura 19: Variação de Pressão – Centrífugos.....	43
Figura 20: Variação de Vazão – Centrífugos.....	44
Figura 21: Estrutura “Air Ring”.....	47
Figura 22: Estrutura “Pipe Grid”	47
Figura 23: Fluxograma metodologia aplicada.....	49
Figura 24: Especificação do filtro de admissão	53
Figura 25: Especificação do ventilador centrífugo.....	54
Figura 26: Arranjo da tubulação	55
Figura 27: Especificação das válvulas	56
Figura 28: Especificação das juntas.....	56
Figura 29: Especificação da válvula automática.....	57
Figura 30: Especificação dos flanges.....	57

Figura 31: Levantamento de problemas – Parte 1	59
Figura 32: Levantamento de problemas – Parte 2	60
Figura 33: Percentual de abertura da válvula de admissão.	61
Figura 34: Comportamento laminar e turbulento das linhas de corrente.....	62
Figura 35: Alteração das linhas de correntes em tubulação retida.....	63
Figura 36: Turbulência no interior da voluta.	63
Figura 37: escoamento normal no interior da voluta	64
Figura 38: Custos de Manutenção	69
Figura 39: Avaliação comparativa – 4 anos.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características Axial Propulsor	37
Tabela 2: Características Tubo Axial.....	38
Tabela 3: Características Vanaxial.....	39
Tabela 4: Evolução do Sistema de Alimentação dos Alto fornos	48
Tabela 5: Cenário.....	52
Tabela 6: “Set-point”.....	58
Tabela 7: Alterações plano INSP-2017	65
Tabela 8: Esquema 5W2H para solução dos problemas	66
Tabela 9: Problemas x soluções	67
Tabela 10: Custos e Retorno.....	71

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Ordem preventiva de lubrificação.....	79
Anexo 2: Ordem preventiva de inspeção – Modelo atual	80
Anexo 3: Ordem preventiva de inspeção – Novo Modelo	81
Anexo 4: Planilha de Custos - Completa.....	82

1 INTRODUÇÃO

O constante progresso no campo industrial no último século ensejou um expressivo aumento na produtividade, levando a uma maior demanda de fabricação e conseqüentemente a uma maior urgência da manufatura das matérias primas, como o ferro gusa e assim também o aço. Com tal elevação no consumo, o progresso alcançado se tornaria inexecutável ao se limitar a setores específicos (MCGANNON, 1971).

Em todo o âmbito dos processos siderúrgicos, a ventilação industrial se sobressaiu mostrando significativa e complexa importância, abrangendo tanto de forma mais geral toda a indústria, quanto também de forma extremamente minuciosa nos processos de alto controle, visto que sua utilização se torna demasiada importante desde simples sistemas de exaustão, refrigeração e conforto térmico até sistemas de sopradores de alto fornos durante o processo de transformação do minério, onde a ventilação é responsável por captar o ar que será entregue ao regenerador nos parâmetros de processos como a vazão, pressão, pureza do ar aspirado e até mesmo a temperatura de seu fluxo, estes devem permanecer nos “*set-points*” já pré-estabelecidos. Contudo, em virtude de particularidades e não linearidades comuns neste tipo de processo, alguns aspectos podem se apresentar como circunstanciais obstáculos e apesar desta constante evolução no setor, ainda nota-se uma grande quantidade de falhas e imprecisões no planejamento de tais sistemas, se encontrando desde superdimensionamentos das máquinas utilizadas até a falta de planejamento de manutenção, aumentando dessarte os gastos energéticos e de manutenção, causando prejuízos financeiros de grandes proporções a todo o sistema (SOUZA, 2012).

Com o intuito de que seja feito o planejamento correto, deve-se se ter em conhecimento a demanda de cada processo, as possíveis variáveis presentes no mesmo, os tipos de máquinas a disposição e suas respectivas curvas, encontrando assim a forma mais econômica possível de trabalho. A fim de que sejam atendidas tais demandas, é necessária a instalação de um sistema de ventilação de grandes proporções físicas, para que isso seja possível é de grande valia a utilização dos eletro-sopradores e moto-sopradores, que nada mais são, que ventiladores de alta pressão variando suas faixas entre 0,08 a 0,250 kgf/cm^2 (MACINTYRE, 1990).

Tendo em vista a importância dos equipamentos de fluxo para alto fornos, e a forma com que os mesmos são negligenciados atualmente na indústria, torna-se essencial a busca por novos estudos que visem reverter o atual cenário.

Optou-se como objeto de estudo da presente pesquisa o sistema de moto-sopradores da empresa fictícia “Sider”, pois a mesma é impactada negativamente pelas falhas de projeto e processo, necessitando assim de uma ou mais soluções para seu devido funcionamento.

Esse estudo tem como finalidade a detecção e elucidação das causas do mal funcionamento ocorrentes no sistema e as possíveis falhas do mesmo, e em seguida propor ações corretivas para os problemas encontrados.

E ainda desenvolver por meio da ferramenta de qualidade 5W2H um breve planejamento para aplicação das medidas corretivas. Por fim, utilizando-se do método comparativo, serão apresentados os possíveis ganhos, tanto em processo quanto financeiramente, ao adotar-se as medidas propostas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

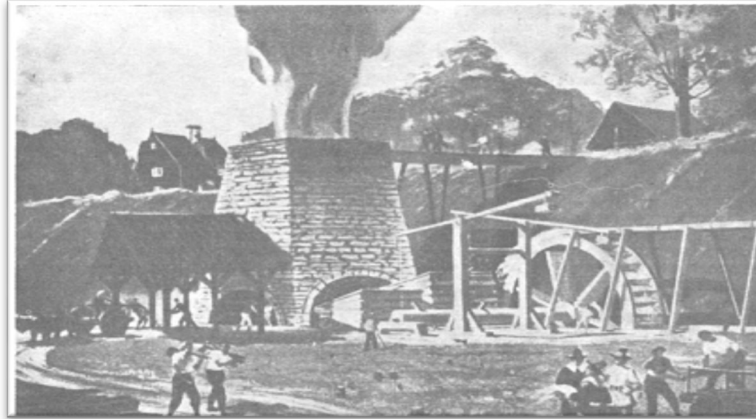
Sabe-se que desde a antiguidade, o ferro é uma das matérias primas mais empregadas pelo homem até a hodiernidade, por conta de sua versatilidade para com as necessidades humanas, devido a suas inúmeras propriedades físico-químicas que tornam possíveis um grande campo de adições, graças às aplicações de outros elementos de liga que podem ser aditados ao arranjo do próprio ferro. Além dessa versatilidade, o ferro se encontra como um dos elementos com maiores concentrações na superfície terrestre, com aproximados 4,5% em massa, sendo superado apenas pelo oxigênio, silício e alumínio. Sem contar que seus custos de extração e processamento são muito menores se comparado a outros metais (MAHAN; MYERS, 2002).

Anteriormente a idade do ferro, a sociedade humana se situava no período da idade do bronze, entretanto tal liga metálica até o dado momento não dispunha das propriedades físicas, químicas e mecânicas necessárias à humanidade. Com o descobrimento do ferro e o advento deste para toda a sociedade, um progresso tecnológico jamais visto antes foi alcançado. Porém para se alcançar tal progresso foi necessária à elaboração de novos recursos para que este minério pudesse ser extraído. Para se realizar a extração deste elemento era necessária a utilização de grande intensidade do fogo. Neste cenário, se sucederam as primeiras menções a siderurgia, que teve uma contínua evolução. Os processos anteriormente eram feitos em forjas construídas a partir de pedras e foles manuais para sua alimentação, em meados do século XV começaram a serem feitos nos primeiros protótipos de alto forno, ilustrado através da figura 1, elevando a produção de uma forma jamais vista antes, atingindo uma capacidade de produção diária de 1500 quilogramas de ferro (ARRIVABENE, 2003).

Alguns séculos após, com a ininterrupta evolução siderúrgica, se deu a Revolução Industrial, que em seu ápice foi descoberto o aço, ao se observar que este novo produto era imensuravelmente superior ao ferro, uma vez que ao superar as antigas temperaturas de processos, elevando conseqüentemente as mesmas, era possível se obter uma maior absorção de carbono de carvão vegetal. Por conseqüência atribuindo ao ferro e as ligas de aço uma maior dureza e resistência, dessa forma, não apenas os aspectos quantitativos da produção, que chegavam a

3000 kg diários, foram aperfeiçoados como também os aspectos qualitativos (ALMEIDA; LUZ; SAMPAIO, 2010).

Figura 1: Alto forno – Modelo antigo.



Fonte: Pinho, 2001

Embora os primórdios da fabricação de aço remontem à antiguidade, foi a partir do desenvolvimento de métodos de produção siderúrgica em massa no período da 2ª Revolução Industrial que o uso do aço se difundiu. No século XX, além de consolidar-se como um importante insumo para a construção civil, o aço assumiu a posição de material utilizado mais amplamente na indústria de transformação. A combinação de características como tenacidade, maleabilidade, dureza, soldabilidade e ductilidade confere ao aço a capacidade de atender as exigências de uma ampla gama de aplicações industriais, tanto maior porque tratamentos específicos como têmpera, recozimento e revenimento expandem significativamente a versatilidade com que este material conjuga aqueles e outros atributos. De todo modo, do ponto de vista econômico, a disseminação do uso do aço dependeu fundamentalmente da possibilidade de obter os benefícios de um bom desempenho a um custo relativamente baixo, o qual por sua vez só pode ser atingido em virtude da abundância do minério de ferro na natureza (PINHO, 2001).

Desde este dado momento, o progresso se deu de forma implacável. Pois com o avanço científico a oferta cresceu a fim sustentar a procura requerida. Por consequência os gases poluentes emitidos na atmosfera terrestre devido a queima do carvão vegetal se tornaram um grave problema. Então a partir do início do século XX os investimentos destinados aos setores tecnológicos cresceram, em busca de uma diminuição dos impactos resultantes da produção (PINHO, 2001).

O minério de ferro se tornou um dos pilares para a evolução humana, culminando no que se tem atualmente de mais tecnológico. Tal desenvolvimento foi

apenas viabilizado devido a esta matéria prima inicial (ALMEIDA; LUZ; SAMPAIO, 2010; PINHO, 2001).

A siderurgia é um exemplo habitual de indústria madura em termos tecnológicos. Efetivamente, produzindo o material usado mais amplamente na indústria de transformação a partir da 2ª Revolução Industrial, a siderurgia desdobrou suas potencialidades numa série de produtos que, em sua maioria, já estão bem estabelecidos há bastante tempo (PINHO, 2001).

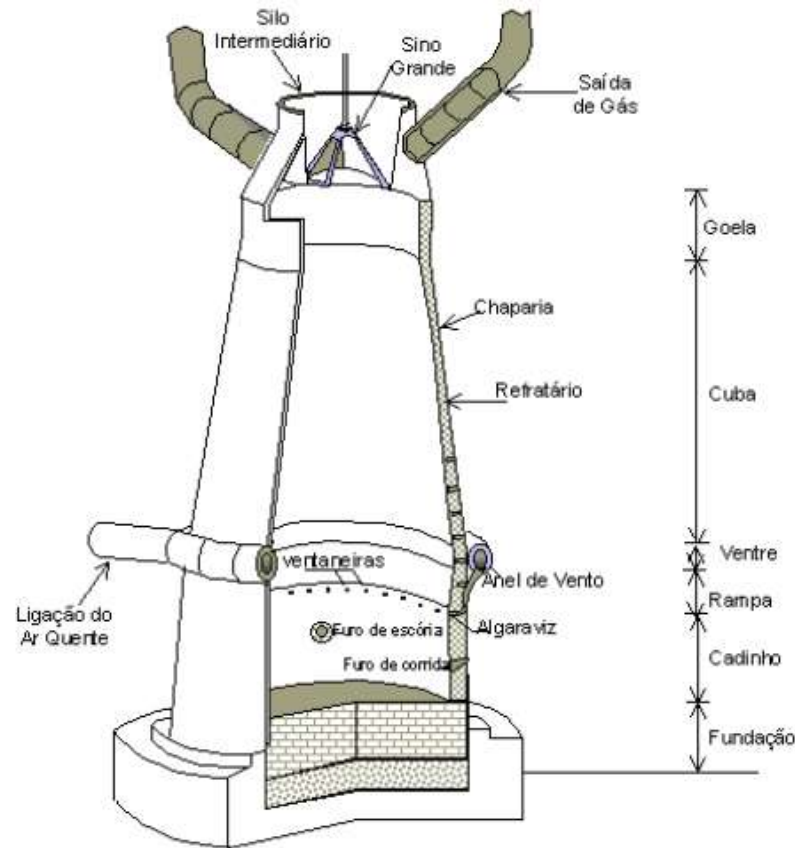
2.1 Alto Forno

O alto forno é uma complexa estrutura remetida a redução dos minerais férricos a ferro gusa. Atua tanto como um reator químico como também metalúrgico de contracorrente. Sua proposta é a redução dos minérios de ferro em sua forma rudimentar modificando assim sua composição química e sua forma física. Os minérios extraídos são em sua grande maioria hematita (Fe_2O_3) e magnetita (Fe_3O_4), assim permitindo a obtenção de ferro gusa (MOTHÉ, 2008; MOURÃO, 2007).

Araújo (2005) diz que o alto forno pode ser considerado como um intercambiador de calor e de materiais entre a carga descendente, inicialmente sólida, depois pastosa e mais tarde, líquida e o gás redutor, que sobe em contracorrente.

O alto forno se constitui de alguns elementos cruciais, dentre eles, principalmente o cadinho, a rampa e a cuba, já que tais elementos englobam todos os outros, como demonstrado no esquema da figura 2.

Figura 2: Estrutura do alto-forno e principais dispositivos de funcionamento.



Fonte: Araújo, 2005

- **Cadinho**

O cadinho é o componente do alto forno onde se atinge a acumulação tanto do metal fundido quanto da escória. Ambos resultados das reações ocorrentes anteriormente na fusão do minério de ferro ocorrido na rampa, que será apresentada mais a frente. O cadinho tem geometria cilíndrica e é usualmente projetado a partir de chapas densas de aço com material refratário revestindo sua área interna. Sendo este material refratário comumente de estrutura silico-aluminosa ou de blocos de carbono em virtude de sua considerável condutibilidade e baixo coeficiente de dilatação (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996; RIZZO, 2005).

O resfriamento pode ser realizado através de dois métodos, primeiramente com “*Staves*”¹, que são placas de padrão retangular de ferro fundido acompanhadas de

¹ O conceito original de resfriamento com “*Staves*” foi desenvolvido na Rússia em torno de 1940 e era baseado no resfriamento evaporativo, onde o fluxo térmico para o “*Staves*” fornecia a força motriz para a circulação do fluido de resfriamento (água). A água era convertida em vapor com absorção de calor sem haver mudança na temperatura do meio de resfriamento (ARAÚJO, 2005).

tubos verticais de aço, sendo estes fundidos por inteiro, e um fluxo de água em seu interior, são posicionadas entre o material refratário e as chapas de aço da blindagem externa. Tais placas resfriam a estrutura condicionando desta forma o material para se obter resistência a altas temperaturas e as pressões exercidas pelo peso da carga imposta. Entretanto, este sistema de resfriamento (“*Staves*”), se mostra desvantajoso por apresentar uma maior dificuldade tanto de descoberta quanto de correção de eventuais vazamentos para a parte interna do forno (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

De acordo com Araújo (2005) e Chiaverini (1996), a segunda forma de se arrefecer o cadinho é com a utilização de chuveiros externos a chaparia. Onde a montagem do revestimento refratário se dá próxima a chapa de blindagem externa e é resfriado através de um fluxo constante de água oriundo de chuveiros localizados na seção de altura máxima da chapa do cadinho. A utilização de tal método é geralmente direcionada para fornos pequenos, a carvão de madeira. Tem-se utilizado com mais frequência ultimamente o sistema de dupla parede, pois o sistema aberto ao utilizar água industrial pode acarretar na deposição de sais e materiais em suspensão, além da possibilidade de corrosão da chaparia, resultando em certa redução do fluxo térmico. De forma análoga, as tensões térmicas podem ocasionar eventualmente rachaduras na carcaça.

As trincas se revelam paralelas à face quente, limitando a capacidade de transferência de calor de cada bloco, já que cada abertura é uma lacuna de ar que se torna um empecilho ao efetivo fluxo térmico. Tais problemas aparecem principalmente por conta da frequente dilatação e contração do material, além do elevado gradiente térmico. Por essa razão, são preferíveis os refratários com módulo de elasticidade e coeficiente de expansão térmica baixo, uma vez que a expansão e curvatura destes materiais são limitadas pelas tensões provenientes da parte interna do forno. Portanto, se torna imprescindível a instalação de uma placa de resfriamento ou um “*staves*” na face fria, estando estas em completo contato. Caso contrário, a lacuna de ar entre os dois constituirá uma camada isolante, gerando um aumento térmico considerável além de um ataque químico ao gusa líquido assim como a escória (MCGANNON, 1971).

É possível de se arrefecer o fundo do cadinho mediante o fluxo de ar através de um duto central, que em seguida faz com que o ar escoe para outros canais radiais,

ou então por meio de uma serpentina com circulação de óleo², com a finalidade de impedir que a temperatura do refratário ultrapasse 400°C. Posteriormente, a parte localizada no centro que não sofreu resfriamento de forma adequada pode vir a se desgastar e engendrar uma cavidade de 2 a 3 metros de profundidade, se encontrando descensionalmente no ponto de furo de corrida do gusa, se preenche do mesmo, formando assim a “salamandra” (ARAÚJO, 2005; MCGANNON, 1971).

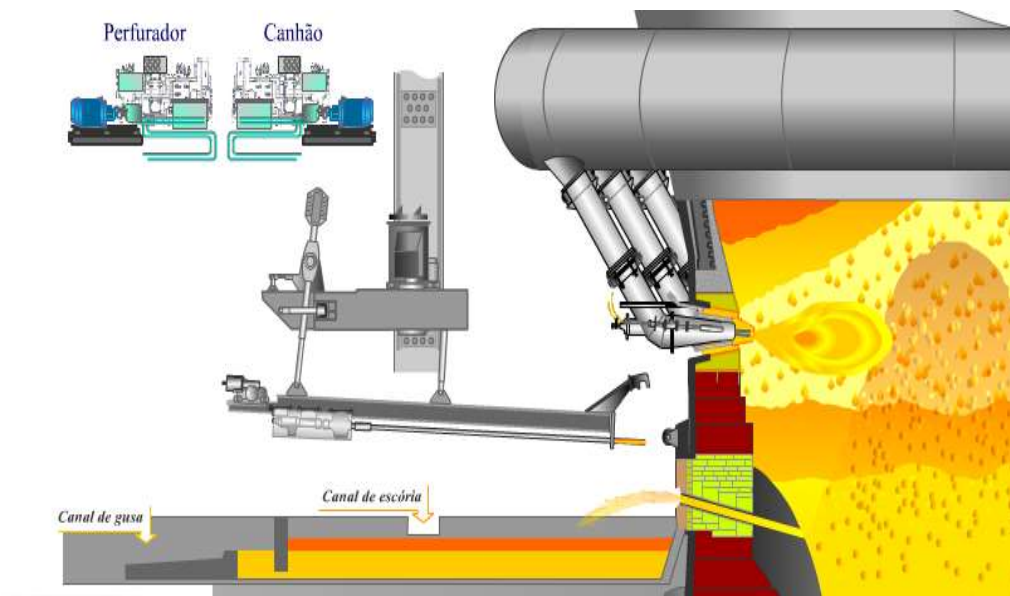
Suas dimensões podem variar de acordo com a premissa do projeto, isto é, tais dimensões variam com a capacidade de produção aspirada para o alto forno. De forma geral, possuem aproximadamente 10 metros de diâmetro e sua altura frequentemente ultrapassa 4 metros (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

- **Furos de Corrida**

Por volta de 1 metro do fundo do cadinho, próximo a sua seção mais ífera, se encontra o chamado furo de corrida do gusa, conforme figura 3. Alto fornos mais recentes podem vir a ter mais furos, que viabilizam um fluxo quase que constante. Estes furos se encontram vedados com massa refratária sob pressão no decorrer de toda a operação do alto forno. E para se por em prática a corrida do gusa líquido, se faz o uso de uma perfuratriz ou lança de oxigênio para abrir tal furo (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

² A utilização de água é repreendida, uma vez que circunstancialmente ocorra um vazamento, a água se dissociaria e o oxigênio presente na água entraria em reação com o carbono do revestimento, desta forma, destruindo-o.

Figura 3: Esquema do furo de corrida alto forno



Fonte: Gerda, 2017

O vazamento até então, é um processo descontínuo tanto pelo fato do gusa, assim como da escória, acarretarem um desgaste do revestimentos protetores do furo de corrida e do canal de vazamento. Quanto pelo fato das reações químicas entre escória e gusa, ambas fundamentais para a dessulfuração, se sucederem especialmente no instante em que as partículas de gusa transpõem a camada de escória, em virtude da grande superfície de contato (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

Primeiramente, a frequência dos vazamentos está diretamente associada ao volume disponível no cadinho. É de total importância que o nível de gusa jamais alcance as ventaneiras. Ainda que a escória possua uma temperatura mais elevada, o gusa possui uma capacidade térmica maior, podendo desta forma, furar os elementos resfriados e acarretar na fusão do cobre. A elevação abrupta da temperatura poderia dissociar o hidrogênio e o oxigênio da água, que ao se associarem mais uma vez posteriormente liberariam grandes quantidades de calor, provocando explosões (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

Para se iniciar o vazamento do gusa líquido, abre-se o furo de corrida com o auxílio de uma perfuratriz ou então com uma lança de oxigênio, em seguida o furo é fechado mais uma vez com uma mistura, sendo o ligante deste alcatrão ou resina fenólica (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

Um pouco mais acima, em torno de 1,40 metros do furo de corrida do gusa, situam-se os furos de corrida da escória³, geralmente feitos de dois em dois. O furo se compõe de três peças em cobre eletrolítico com fluxo de água pressurizada. O bico é fixado em um resfriador intermediário, conhecido também como “macaquinho”, que em seguida é regulado ao resfriador, sendo o comprimento deste do mesmo valor da espessura da parede. De forma análoga ao furo de corrida do gusa, o furo é posteriormente preenchido, neste caso, com batoque de argila refratária. Finalmente a escória e o gusa são conduzidos por intermédio de escoadouros refratários na região da casa de corrida, onde os dois são separados por meio de densidade e o gusa é direcionado para a fase posterior para sua transformação em aço e a escória para os granuladores de escória (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

- **Ventaneiras**

Acima do cadinho, estão situadas as ventaneiras, isto é, elementos de geometria cônica que são responsáveis pela injeção de ar e enriquecimento de gases, onde estes são inflados após um pré-aquecimento e pressurização. Embora sua quantidade deva ser a maior possível a fim de se conseguir obter um cobrimento de toda a área interna de combustão, esta quantidade varia de acordo com o tamanho do alto forno (ARAÚJO, 2005; BATISTA, 2009; CHIAVERINI, 1996).

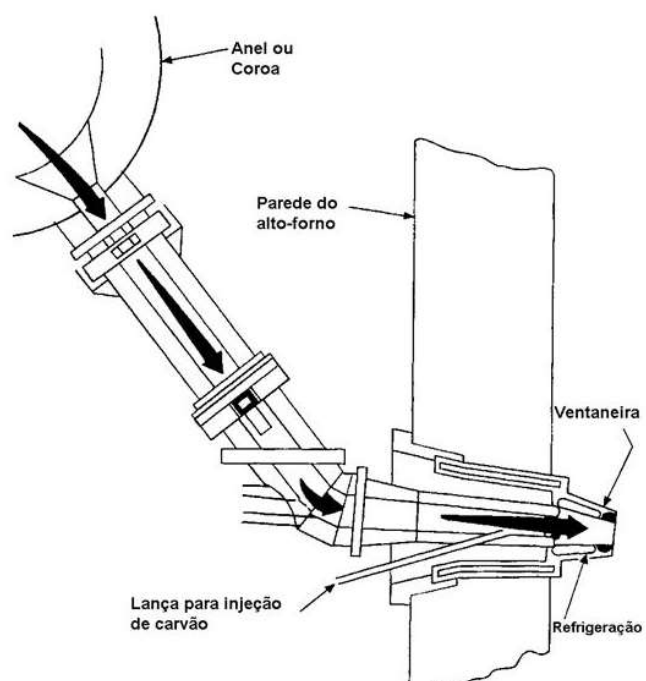
As ventaneiras, ilustrada na figura 4, são acopladas ao anel de vento por meio da utilização de tubos, o mesmo é responsável pelo sopro do ar previamente aquecido que serão injetados através das ventaneiras. Tal anel, volteando a estrutura do próprio forno é escorado pela mesma. Sua construção é feita em chapa metálica com revestimento na parte interna de refratário sílico-aluminoso ou isolante. Sua dilatação tanto quanto sua contração é balanceada pelas juntas de dilatação, podendo estas ser esféricas ou em sanfona, que as conectam às ventaneiras. Ocorre um aumento de seção no ponto de contato com a tubulação de ar quente, é preciso que este ponto se posicione entre as duas ventaneiras e jamais sobre o furo de escória. “*Man-holes*”⁴

³ Segundo profissionais da área, os furos de corrida da escória não estão obrigatoriamente em todos os altos fornos, sua presença ou ausência podem variar de acordo com o projeto de cada empresa ou indústria. Para grandes altos fornos como os da CSN em Volta Redonda, não são utilizados furos de escória, uma vez que esta é vazada junto com o gusa através do furo de gusa.

⁴ Portinholas de acesso.

devem ser dimensionados para constante inspeção ou manutenção do refratário, usualmente em pares duplos (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

Figura 4: Esquema de ventaneira alto forno



Fonte: Chiaverini, 1996

De acordo com Chiaverini (1996), o ar injetado através das ventaneiras é soprado sob a pressão de até 3 atmosferas, por meio do tubo de ligação que o acopla a ventaneira. Essa junção se compõe por tais componentes:

O algaraviz, tubo que trabalha entre a ventaneira e o cotovelo, feito em aço refratário e com revestimento de massa refratária, sua extremidade é usinada para que a mesma se encaixe perfeitamente na base da ventaneira.

O cotovelo de forma semelhante ao tubo superior de ligação é dotado de revestimento de material refratário a fim de se evitar perda térmica do ar previamente aquecido (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

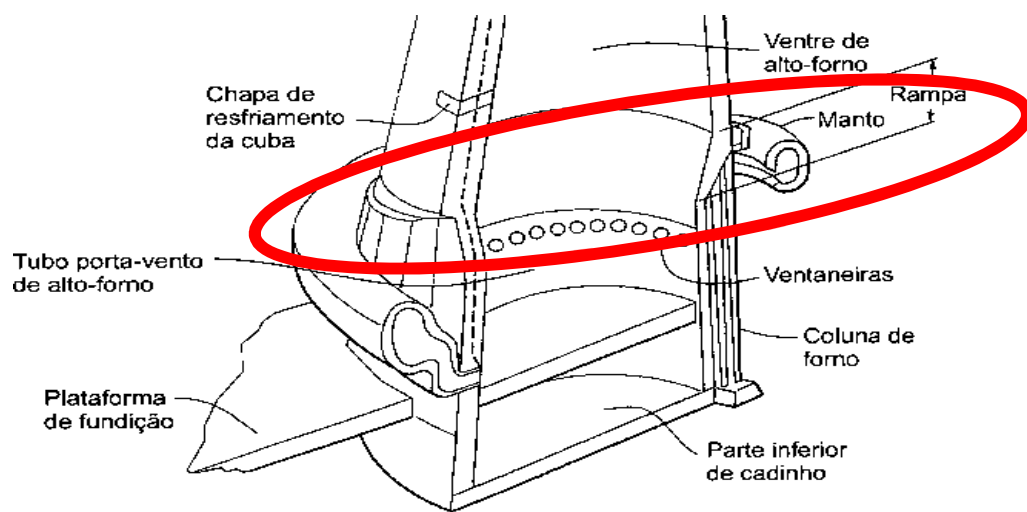
- **Rampa**

A rampa é a ligação entre a cuba e o cadinho⁵, dotada de um padrão tronco cônico, de acordo com a figura 5, aonde suavemente, seu diâmetro se torna maior ao

⁵ Na ausência do ventre que se situa entre os dois.

passo que se aproxima da cuba. Possui uma inclinação de aproximadamente 76° a 82° com a horizontal. É o ponto mais quente do alto forno, pois é o trecho onde se sucede a fusão dos materiais. Seu resfriamento se relaciona diretamente com a composição do refratário, de modo que quando tem seu revestimento a partir de refratário sílico-aluminoso, tem-se um considerável agrupamento de fileiras de caixas de resfriamento em cobre, e entre as caixas, cintas de aço para a contenção do refratário (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

Figura 5: Esquema da rampa de alto forno



Fonte: Chiaverini, 1996

Já quando seu refratário é baseado em grafita, o sistema de resfriamento da parte exterior se dá mediante chuveiros, tanto por conta de sua menor manutenção quanto por seu sistema de resfriamento mais uniforme. Também é utilizado o “*Staves*”, do tipo de circulação de água fria bem como evaporativo, estes sistemas são montados na parte interna da carcaça metálica e se estendendo por toda a região interior da rampa (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

Segundo Araújo (2005), as proporções se alteram consoante o diâmetro do cadinho a que as mesmas se encontram ligadas. Podendo possuir até 10,5 metros de diâmetro ou até mais e sua altura pode ultrapassar 4 metros.

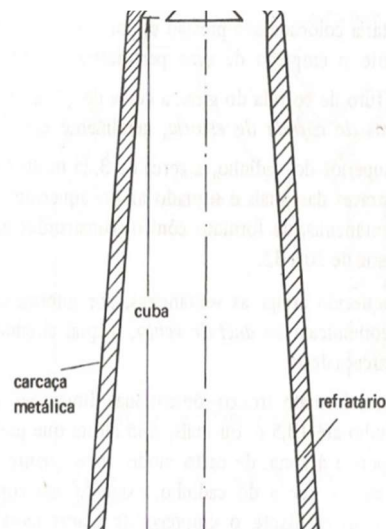
- **Ventre**

A região onde se dá a ligação entre a rampa e a cuba, em certos projetos não ocorrem a presença deste, com ligação da rampa de forma direta à cuba (ARAÚJO, 2005).

- **Cuba**

A cuba, assim como a rampa, tem sua geometria de formato tronco-cônica, demonstrado na figura 6, sua base maior se apoia sobre o ventre ou sobre a rampa no caso de ausência do primeiro. Isso devido a pré-disposição da escória produzida de vir a criar depósitos, que posteriormente podem vir a grudar nas paredes (CHIAVERINI, 1996).

Figura 6: Esquema da cuba de alto forno



Fonte: Chiaverini, 1996

O refratário da cuba é assentado sobre um anel sustentado por colunas metálicas, a “maratra”. Anéis soldados integram essa armação metálica da cuba, e têm sua espessura variando entre 30 mm próximo a maratra e 25 mm junto a goela, suportando o peso e as reações mecânicas advindas no topo do forno, conduzindo todos esses esforços para a fundação por meio das colunas metálicas, sendo estas geralmente de 8 a 10 unidades (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

Um revestimento de material refratário de considerável espessura constitui a cuba, de forma ainda mais específica na região da maratra, que devido a grandes esforços e tensões, torna-se por consequência uma região de maior desgaste. Embora este revestimento possa variar de acordo com o projeto, o mesmo é da ordem de 1350 a 1400 mm na região da maratra, e decresce suavemente até aproximar da goela, se encontrando em torno de 1000 mm. O revestimento, até dada altura, é resfriado mediante caixas de cobre puro, com fluxo de água constante (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

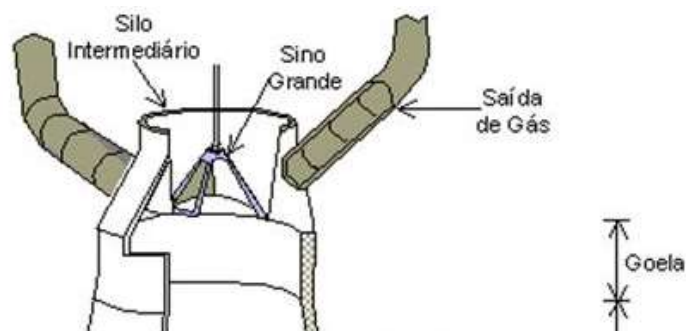
Com base no projeto, sua altura desde a rampa pode vir ser superior a 25 metros. Totalizando até este ponto, mais de 30 metros de altura. O diâmetro inferior, onde ocorre a união com o diâmetro superior da rampa, se mantém entre 7,25 e 7,50 metros (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

Em certos sistemas de construção, como o americano, por exemplo, para possibilitar o alcance tanto aos pares termoelétricos de aferição térmica anteriormente instalados no refratário, quanto às válvulas e tubulações das caixas de resfriamento, são instaladas plataformas soldadas a chaparia da carcaça dispostas em diversas alturas (ARAÚJO, 2005).

- **Goela**

Sua parte interna é protegida a fim de resguardar o refratário de choques e abrasão. Ambos ocasionados pela carga durante sua entrada no forno, essa proteção pode se dar de duas formas, através da blindagem suspensa ou da blindagem embutida. A seguir ilustração na figura 7. (MOURÃO, 2007).

Figura 7: Esquema da goela do alto forno



Fonte: Chiaverini, 1996

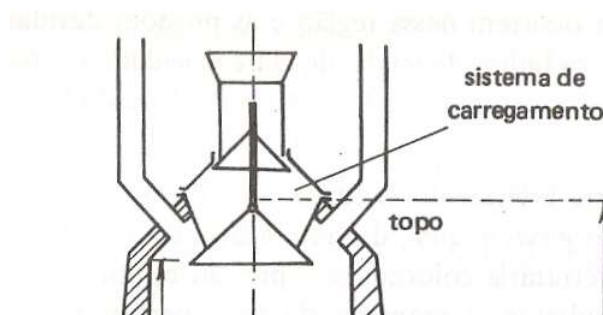
No caso da blindagem embutida, geralmente mais comum, é utilizado um revestimento de placas, sendo este geralmente construído a partir de aços fundidos ou um ferro fundido especial e possui sua geometria em forma de “L” ou de “T”, com flanges de aproximadamente 100 mm voltados para a superfície interna do alto forno, para revestir o refratário garantindo desta forma, sua proteção (ARAÚJO, 2005).

Pode ser utilizada também a blindagem suspensa, como é o caso de usinas europeias, um corpo cilíndrico suspenso de 3 a 4 metros de altura ao invés das placas de desgaste. Este corpo forma o “avental”, e seu diâmetro é inferior ao da goela, deixando assim um espaço anular aproximado de 400 a 700 mm entre a circunferência interna da goela e do avental. Este pode ser regulável, afastando-se ou aproximando-se os seus gomos, controlando assim a distribuição de carga (ARAÚJO, 2005).

- **Topo**

Estrutura observada na figura 8, onde se encontram os elementos para carregamento, saída dos gases e plataformas de acesso a todos estes. Os elementos de carregamento se definem através do cone grande, cone pequeno, distribuidor e por último a ponte dos “*skips*”.

Figura 8: Esquema do topo do alto forno



Fonte: Chiaverini, 1996

O cone grande é confeccionado a partir de aço fundido, sua obliquidade assim como seu diâmetro varia de acordo com as dimensões do forno. O mesmo é ligado as hastes de movimentação, garantido uma mobilidade perpendicular a horizontal, sendo mediante o uso de alavancas ou por um excêntrico conectado ao sistema pneumático do cone grande, sendo este acionado pelo ar do soprador. As áreas de maior contato com os materiais descarregados são dotadas de um revestimento de “*Stellite*”, um

grupo de elementos liga que garantem uma configuração estrutural resistente a temperaturas elevadas e ao desgaste. As cargas são transportadas para este dispositivo através da tremonha de recebimento, que recebe o material vindo da correia transportadora ou do “*skip*”, que são dois carros que intercaladamente transportam os materiais do poço de carregamento ao topo do forno, com o auxílio do cone pequeno e deve possuir volume o suficiente para pelo menos uma rodada completa de cargas. É necessário que sua parte inferior seja usinada de forma adequada para se ajustar ao cone grande. Quatro segmentos fundidos e parafusados a compõe. Em seguida, o material recebido é descarregado na tremonha rotativa. A capacidade desta tremonha, que deve ser necessariamente de no mínimo um “*skip*”, é o parâmetro utilizado para a escolha do diâmetro do cone pequeno, já que este se situa na parte abaixo da tremonha rotativa. O mesmo é deslocado com o auxílio de hastes de suspensão do cone pequeno por intermédio de um sistema de alavancas (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

Desta forma, é composto estruturalmente o distribuidor, sendo posto este, com o propósito de uniformizar os efeitos da desunião dos fragmentos de dimensões superiores como minério, coque ou calcário, que tem a propensão de desprender dos mais finos ao serem descarregados do “*skip*”. A distribuição dos “*skips*” por carregamento é geralmente feita com cerca de 55% de coque, 30% de minério de ferro e 15% de calcário (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

2.2 Redução do Minério de Ferro

A constituição do minério de ferro coletado não se dá meramente por óxidos de ferro, além deste, outras composições também são encontradas, como por exemplo, óxidos de silício, alumina, óxidos cálcio e de manganês dentre outros. A redução do minério de ferro se dá pelo propósito de tornar a matéria prima mais pura, eliminando as outras composições indesejadas. De acordo com Carvalho (2013), cada mineral trabalhado, suas respectivas concentrações de suas composições variam, os minerais mais encontrados e utilizados são:

Hematita – Fe_2O_3 – 70% de ferro

Magnetita – Fe_3O_4 – 72% de ferro

Limonita – $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ – 50% a 66% de ferro

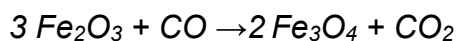
Siderita – FeCO_3 – 48% de ferro

Usualmente no Brasil, os minerais férricos extraídos possuem além de uma alta concentração de ferro, uma considerável concentração de enxofre, titânio e compostos de sódio e potássio. Por conta disso a utilização do minério de ferro na forma em que é extraído é inviabilizada, já que isso resultaria além de um grande dano na produção, na formação de resíduos. A grande concentração destes geraria um amplo acúmulo de impurezas no minério férrico, o que diminuiria seu rendimento siderúrgico. Por essa razão as mineradoras fazem um trabalho em cima do minério extraído para que o mesmo tenha uma rentabilidade maior no setor da siderurgia (CARVALHO, 2013; IZIDORO; SHITSUKA D.; SHITSUKA, R., 2016; POSO, 2015).

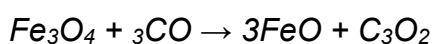
Nota-se que todos os minérios de ferro são constituídos também por oxigênio, já que este é o elemento mais abundante da superfície terrestre. Cerca de 99% do minério introduzidos no alto forno são hematita, com uma proporção férrica de aproximadamente 60%, o restante são os já supracitados, oxigênio e outras impurezas. Como propósito a obtenção de ferro puro, se torna necessária a eliminação das partículas presentes de oxigênio. Este processo se dá no Alto forno. Que ao se depositar a matéria prima neste, a mesma passa a ser aquecida a altas temperaturas na faixa de até 1650 °C. Onde se dá a fusão do ferro e a conseqüente transformação do mesmo em ferro gusa líquido, um dos três produtos da redução, que são definidos pelo já dito ferro gusa, como também a escória e os gases (CARVALHO, 2013; IZIDORO; SHITSUKA, D.; SHITSUKA, R., 2016).

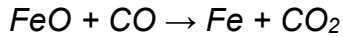
Segundo Romeiro (1997), os óxidos de ferro são usualmente inseridos no alto forno ainda na condição de minério bruto, sendo este sob a condição de sinter ou de pelotas. A separação do minério nestes três produtos é obtida através de um processo físico-químico ativado. Ao se obter a redução dos óxidos, geralmente as seguintes reações são procedidas:

Redução da Hematita:

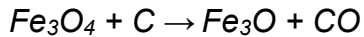


Redução da Magnetita:

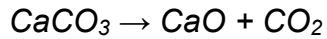




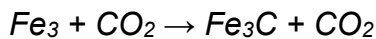
Por meio da Utilização de Coque:



Por meio da Dissociação do Carbonato de Cálcio:



Carburacão:



Porém para isso é necessário que haja aglomeração, isto é, uma homogeneidade granulométrica com resistência mecânica satisfatória para que uma boa permeabilidade a coluna de carga seja garantida. Por conseguinte, tais minérios após serem extraídos do solo são dimensionados em fragmentos entre 6 e 25 mm aproximadamente, feito isso, uma boa redutibilidade é ensejada e também um elevado teor de ferro, geralmente com uma concentração de aproximadamente 50 a 70% de ferro (ARAÚJO, 2005; CARVALHO, 2013; CHIAVERINI, 1996).

Na atualidade, encontram-se diversas formas de estabelecer a aglomeração dos minérios, sendo as mais usadas em larga escala de produção, a sinterização, a pelotização e a briquetagem. Os dois primeiros métodos se destacaram comercialmente por conta de sua estrutura final e de seu transporte e manuseio. Em consequência deste fato, o processo de briquetagem será engendrado de forma mais sucinta (ARAÚJO, 2005; CARVALHO, 2013; CHIAVERINI, 1996).

- **Sinterização**

A sinterização se embasa na fusão de um componente de uma mistura formada de um constituinte principal juntamente com outros fundentes. E por esta fusão, que é ocasionada pelo calor resultante da queima de combustível a eles adicionado, se obtém a aglomeração de partículas de minério em uma massa porosa (ARAÚJO, 2005; BRITO; LOURENÇO; MEDEIROS, 2007; CHIAVERINI, 1996).

Desta forma, pode-se definir como um processo térmico, o arranjo a ser fundido consiste em minério de ferro de granulometria consideravelmente fina, e a adição de

um combustível, frequentemente na faixa de 5% a 12% de carvão⁶ suavemente distribuído. Na queima do carbono desse carvão, as ligações entre as partículas são consolidadas através do fechamento dos poros da estrutura, garantindo assim uma considerável resistência mecânica (ARAÚJO, 2005; BRITO; LOURENÇO; MEDEIROS, 2007; CHIAVERINI, 1996).

O minério de ferro, já triturado, é disposto em pallets fixados a uma esteira, e durante este processo a carga é aquecida superficialmente por queimadores de gás, que garantem uma temperatura de até 1500 °C. Com o decorrer da queima, o ar quente é exaurido por exaustores localizados abaixo da carga. Ao sair dos pallets, a temperatura do sinter, que é o produto final, ainda é extremamente elevada, podendo facilmente superar 750 °C, sendo necessário o resfriamento para seu manuseio. Por essa razão, o minério sinterizado é encaminhado ao resfriador, onde são dispostos em grelhas móveis com a parte inferior em formato de veneziana, permitindo o fluxo de ar, porém impossibilitando que o material caia através da esteira. As grelhas são revestidas com chapas bem vedadas que restringem a passagem de ar frio inflado pelos ventiladores de baixa pressão ao longo da camada de sinter. As vantagens da sinterização se dão ao se aglomerar pequenos pedaços de minério, de 2 a 10 mm de diâmetro aproximadamente, o resultado após a britagem é uma pedra porosa com superfície reativa superior se comparado ao minério natural britado, acelerando assim a reação de redução e melhorando o rendimento e em resultado disso, a produtividade específica do alto forno, proporcionando adiante o aproveitamento de resíduos siderúrgicos como carepas de laminação e lingotamento contínuo, lamas de lavagem de gases, pós de filtros de mangas e precipitadores eletrostáticos (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

É possível a adição de componentes para aumentar a qualidade da mistura, a fim de se conseguir a composição química e a proporção necessária de escória no alto forno ao longo do processo de redução. Como os compostos do ferro já possuem ácidos deve-se adicionar elementos básicos, como por exemplo, calcário ou dolomito. Cal virgem também pode ser incorporada como elemento básico, que aumenta a produtividade de sinterização uma vez que as temperaturas necessárias se tornam mais baixas. Entretanto, a granulometria dos aditivos ser bem fina, pois o CaO livre, ao ser hidratado posteriormente pode vir a desassociar do sinter. Feito isso, a matéria

⁶ Usualmente coque ou antracito.

prima está pronta para ser descarregada no alto forno (ARAÚJO, 2005; BRITO; LOURENÇO; MEDEIROS, 2007; CHIAVERINI, 1996).

Embora esta forma seja a mais tradicional de sinterização, já existem outros métodos para que tal procedimento seja realizado, como exemplo tem-se a sinterização por micro-ondas, a sinterização seletiva por laser e a sinterização por plasma (ARAÚJO, 2005; BRITO; LOURENÇO; MEDEIROS, 2007; CHIAVERINI, 1996).

- **Pelotização**

É uma técnica ainda nova comparada as outras, porém considerada a de maior êxito por alguns estudiosos. Tem como base uma mistura de forma esférica de minérios de ferro mais afilados, convergidos na razão inferior a 0,149 mm com quantidades de óxidos básicos e energéticos e também aglomerantes. Onde é agrupado através de rolamento, seja este em tambores, cones ou discos. Em seguida são triturados e umedecidos para serem sujeitos os queimas posteriormente entre 1250 °C e 1320 °C, até gerar o intercrescimento dos grãos e fortificadas pela fase escória, que resultam das impurezas tanto do minério quanto dos aglomerantes adicionados casualmente, cal ou bentonita em geral. Esta queima das pelotas se torna indispensável, uma vez que as pelotas verdes, isto é, as pelotas não inflamadas possuem uma resistência mecânica inferior as adequadas (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

É fundamental que os aglomerantes condicionem a pelota crua para resistir ao transporte assim como o manuseio até que cheguem ao forno de endurecimento, para que conseqüentemente consigam resistência térmica suficiente ao entrar no forno. Além disso, os aglomerantes esporadicamente exercem a função de constituição de elementos ligantes relacionados à fase de escória que resultam da combinação da ganga⁷ com o minério (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

A pelletização, viabiliza um maior rendimento de finos de minérios com sua granulometria inferior a 2 mm, ocasionados devido a exploração e britagem do minério nas minas. No alto forno, as pelotas aprimoram a permeabilidade da carga, reduzindo a velocidade de subida, e aumentando o tempo de residência e de reação dos gases redutores com o minério férrico a ser reduzido, elevando assim a produtividade do alto

⁷ Substâncias impuras contidas nos minérios, como silício, fósforo, enxofre entre outros.

forno. Por possibilitar o beneficiamento de minérios mais compactos, friáveis e com menor teor férrico, se torna mais viável devido ao seu potencial de agregação de valor em todo o sistema produtivo (ARAÚJO, 2005; CHIAVERINI, 1996).

- **Briquetagem**

O processo de briquetagem fundamenta-se na aglomeração de partículas mais finas mediante pressão, eventualmente reforçadas por um ligante, sendo proporcionado um produto compactado e também com as dimensões, geometria e propriedades mecânicas devidas. Essa compactação do material, ocasionalmente, pode viabilizar economicamente o transporte e armazenamento destes materiais, além dos benefícios tecnológicos (ALMEIDA; LUZ; SAMPAIO, 2010; ARAÚJO, 2005).

Os briquetes são sujeitos a tratamentos de endurecimento, sendo estes em estufas ou fornos, no intento do aprimoramento de sua resistência mecânica. A análise da umidade da mistura na confecção dos briquetes se torna necessária. Já que a adição de água só não se torna indispensável em procedimentos em que a substância aglutinante se encontra na forma de fluido (ALMEIDA; LUZ; SAMPAIO, 2010).

Em briquetes que realizam o processo de endurecimento à temperatura ambiente, é aferida uma resistência mecânica menor comparada àqueles em que durante o processo de endurecimento foram expostos a uma temperatura elevada. Limitando assim a utilização destes para procedimentos de baixa pressão. Enquanto os briquetes endurecidos a temperaturas elevadas, apresentam conseqüentemente uma maior resistência mecânica. Nestes, tanto as impurezas do minério tais como as do próprio constituinte se encarregam pela conexão entre as partículas (ALMEIDA; LUZ; SAMPAIO, 2010; ARAÚJO, 2005).

Têm-se três classificações dos processos de briquetagem, dentre os quais são, prensas de rolos, por extrusão contínua e em prensas hidráulicas. De forma que nestes processos, ocorre uma forte interferência na junção das partículas por conta das forças de atração molecular de Vander Waals. Embora estas necessitem de uma força externa elevada, para que se reduza a distância entre as partículas a fim de tornar estas mesmas forças, efetivas (ALMEIDA; LUZ; SAMPAIO, 2010; ARAÚJO, 2005).

2.3 Regeneradores

O regenerador é o meio existente para fornecer de forma constante ar a uma elevada temperatura ao alto forno. Antes do ar de sopro ser direcionado para as ventaneiras, ele é previamente aquecido através da passagem em “*checkers*”⁸, que são aquecidos, maiormente por meio da combustão dos gases do alto-forno (PEREIRA, 2016).

Esses equipamentos são as estruturas incumbidas pelo aquecimento do ar de processo abastecedor dos alto fornos, podem ser considerados trocadores de calor de grandes dimensões. A temperatura do ar aquecido varia entre os valores de 900°C até a ordem de 1250°C, o grau de aquecimento de um sistema regenerativo não pode ser aferido de forma direta, por esta razão, usualmente são medidas temperaturas indiretamente, como as temperaturas tanto na cúpula quando a do gás de exaustão (MUNARO, 2011).

Frequentemente, as malhas de controle mais relevantes em um sistema regenerativo são de temperatura e a de vazão do ar previamente aquecido destinado ao alto forno. A fim de garantir que os valores de tais variáveis se localizem de forma aproximada de seus parâmetros pré-definidos, levando em conta as possíveis variações dinâmicas de todo o processo térmico, bem como a câmbio entre os regeneradores (MATTEDI, 2011).

São dotados de carcaça metálica, tijolos cerâmicos refratários aluminosos, sílico-aluminosos e de sílica e podem conter câmaras de combustão, sendo estas internas ou externas. Alto fornos com eficácia produtiva de até 4000 toneladas diárias usualmente são alimentados por três regeneradores. Quando a produção de ferro líquido ultrapassa essa capacidade são empregados até quatro regeneradores. O combustível frequentemente utilizado em tais mecanismos é uma mistura dos gases decorrentes do processo de coqueificação do carvão (no caso de se trabalhar com coqueria) e dos gases expelidos pelo topo do alto forno (WURTH, 2016).

Os regeneradores, demonstrados nas figuras 9 e 10, operam em rodízio, se alternando entre os estágios de aquecimento, onde ocorre a absorção do calor, e arrefecimento, onde ocorre o fornecimento da energia térmica para o alto forno. Inicialmente são aquecidos e retêm energia térmica nos “*chekers*”. Quando atingem a

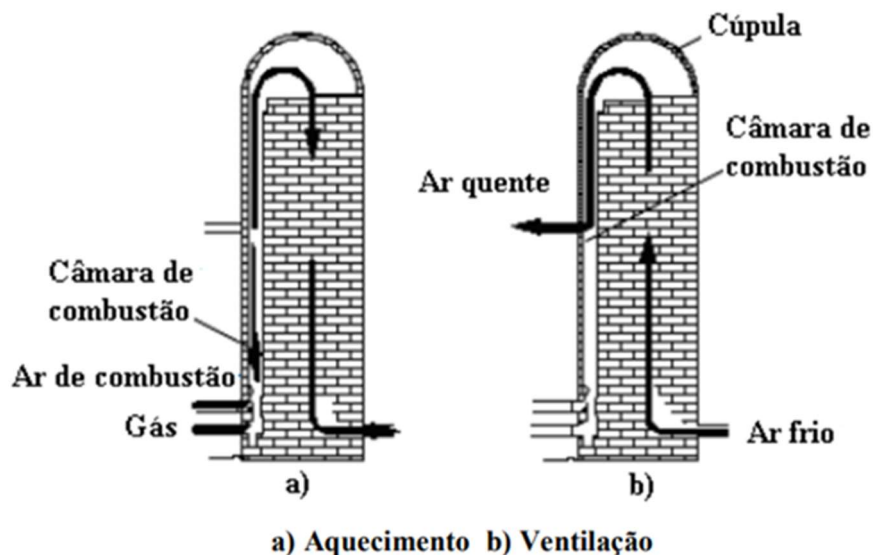
⁸ Câmaras regenerativas.

variação de temperatura requerida, isto é, o “*set-point*”, inicia-se o já supracitado sopro do ar quente nos alto fornos. Esse armazenamento térmico sucede-se devido à imensa massa de refratários que compõem os regeneradores (DALMASO, 2013; WURTH, 2016).

Tais refratários possuem características necessárias para suportar e transmitir o calor que pode variar de 5,5 a 6,3 kcal/m², a composição do material do tijolo se torna diferente para cada área de aplicação, desde faixas mais quentes na zona de empilhamento até as faixas menos afetadas no piso do regenerador. Assim como a composição do material, a espessura do tijolo pode variar de 50 a 60 mm de acordo com a necessidade de resistência mecânica para suportar o peso do empilhamento e a intercambiabilidade térmica requerida no processo (ARAÚJO, 2005).

A escolha dos refratários a serem utilizados é regularizada pela ABNT, a norma NBR-10586 (2010) dispõe sobre os requisitos necessários para cada aplicação dentro dos regeneradores.

Figura 9: Esquema de funcionamento de regeneradores de alto forno



Fonte: Munaro, 2011

Figura 10: Regeneradores de alto forno.



Fonte: Munaro, 2011

2.4 Máquinas de Fluxo

Um objeto capaz de realizar transformações em energias é considerado uma máquina. A máquina recebe uma espécie de energia e consegue restituir em outra classe energética (BRASIL, 2006).

2.4.1 Ventiladores

No contexto dinâmico da insuflação e ventilação, sabe-se que devido a diversos fatores tem-se uma circulação natural de fluidos muito grande. Com a obrigação de alimentar o metabolismo humano com oxigênio, ventilar para obter conforto térmico e até mesmo refrigerar e sustentar um setor industrial, foi visto a necessidade da implantação de mecanismos que pudessem suprir esses e outros objetivos (MACINTYRE, 1990).

Os processos de ventilação por insuflamento de ar precisam de ventiladores como meio de criação de um gradiente energético para que seja disposto um determinado fluxo de ar (MACINTYRE, 1990).

Por volta de 1882 e 1886 os engenheiros Schuyler Skaats Wheeler e Philip H. Diehl criaram dispositivos capazes de reproduzir em parte a ventilação natural. Wheeler criou seu ventilador axial de mesa que ventilava somente em uma direção através de um projeto empírico. Já Diehl conceituado como o precursor do ventilador moderno, projetou o ventilador de teto que revolucionou e abriu novas portas para a indústria do ramo. Porém a primeira menção na história de ventiladores foi com o equipamento centrífugo no século XVI em 1556 por Georgius Agricola em seu livro De

Re Metallica, onde ele mostra como tais ventiladores eram usados para ventilação de minas (PROENZA, 2014).

Segundo Macintyre (1990), ventiladores são turbomáquinas destinadas a produzir o deslocamento dos gases. Podem ser facilmente relacionados de forma análoga aos fenômenos ocorridos nas turbobombas, ou seja, a rotação de um eixo ligado a um rotor dotado de pás permite a transformação da energia mecânica em um potencial de pressão e energia cinética capazes de fazer com que o fluido transportado escoe em dutos com condições necessárias para cada tipo de projeto.

Devido a sua ampla gama de utilização em processos industriais, ventilação, e outros fins, é de suma importância uma distinção entre as espécies dessas máquinas. A criação de padrões e parâmetros para ventiladores, facilita a escolha do equipamento, e pode ser classificada segundo seus modelos de construção, a formas das pás, e seus níveis energéticos de pressão (MACINTYRE, 1997).

- **Classificações**

Os ventiladores a fim de serem agrupados, possuem como forma de classificação tanto fundamental quanto visualmente, a sua estrutura, segundo Macintyre (1997) tais classificações podem ser categorizadas como axiais, hélico-centrífugos e centrífugos.

- **Ventiladores Axiais**

Todas as características que compõem esse modelo têm foco na sustentação da ideia de mover grandes volumes de fluido com pressões estáticas relativamente baixas de certo local a outro (PROENZA, 2014).

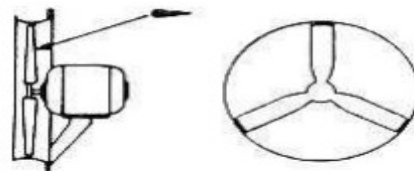
Recebem esse nome, pois o fluxo de ar acompanha o sentido do eixo do rotor, seu funcionamento se assenta em lâminas que ao possuir uma ligeira curva, direcionam o fluido em movimento “puxando-o” diretamente pela parte de trás e o empurrando para a frente. A disposição de sua hélice e seu tipo de armação geram grande influência na sua eficiência e seu desempenho (LUDWIG, 2013).

Devido a grande gama de aplicações os ventiladores axiais podem ser categorizados de acordo com suas características, dentre suas subdivisões as mais utilizadas são: axial propulsor, tubo axial e vanaxial (LUDWIG, 2013).

- **Axial Propulsor**

O modelo axial propulsor é o tipo mais econômico para transportar volumes elevados de ar a baixas pressões, conforme tabela 1, comumente destinando-se a aplicação para circulação de ar ambiente, a este modelo é garantido uma certa versatilidade, já que contempla tanto versões de parede quanto com pedestal para ventilação domésticas e industriais. Na figura 11 a seguir uma breve ilustração do modelo (PROENZA, 2014).

Figura 11: Axial Propulsor.



Fonte: Proenza, 2014

Tabela 1: Características Axial Propulsor.

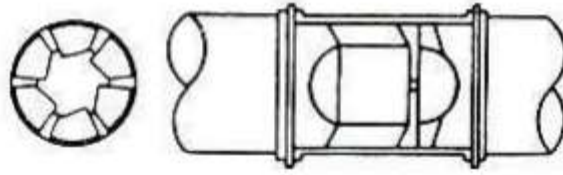
Características	
Vazão de Ar [m ³ /h]	600 a 200000
Pressão [mmca]	2 a 100

Fonte: Proenza, 2014

- **Tubo Axial**

É reconhecido por seu rotor que é posto na parte interna de um tubo, conforme demonstrado na figura 12, possibilitando assim um liame de forma direta com o duto de aeração, o motor elétrico apresenta certa mobilidade quanto a sua instalação, que pode ser juntamente ao eixo do rotor ou sobre o tubo. Tem como características mover volumes médios de ar a baixa pressão e de carga limitada, conforme tabela 2 (PROENZA, 2014).

Figura 12: Tubo Axial.



Fonte: Proenza, 2014

Tabela 2: Características Tubo Axial.

Características	
Vazão de Ar [m³/h]	1000 a 80000
Pressão [mmca]	2 a 90

Fonte: Proenza, 2014

- **Vanaxial**

Diferencia-se do ventilador tubo axial basicamente por apresentar um aerofólio localizado após o rotor, com lâminas guias que direcionam o fluxo do fluido, de acordo com a figura 13, reduzindo assim tanto as turbulências do escoamento quanto suas perdas de energia, tornando possível a aplicação em trabalhos que requerem pressões mais altas, com elevadas vazões de ar, conforme tabela 3 (PROENZA, 2014).

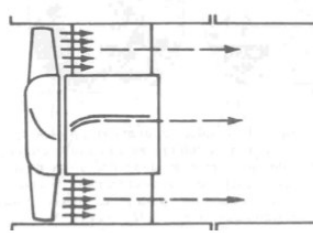
O ângulo das pás da hélice é configurável através do “*set-up*”, garantindo as opções de seleção do ventilador no ponto de funcionamento mais adequado, estes ventiladores são compactos e versáteis, garantindo um peso relativamente menor se comparados aos ventiladores centrífugos de mesmas propriedades (PROENZA, 2014).

Tabela 3: Características Vanaxial.

Características	
Vazão de Ar [m ³ /h]	1000 a 80000
Pressão [mmca]	2 a 90

Fonte: Proenza, 2014

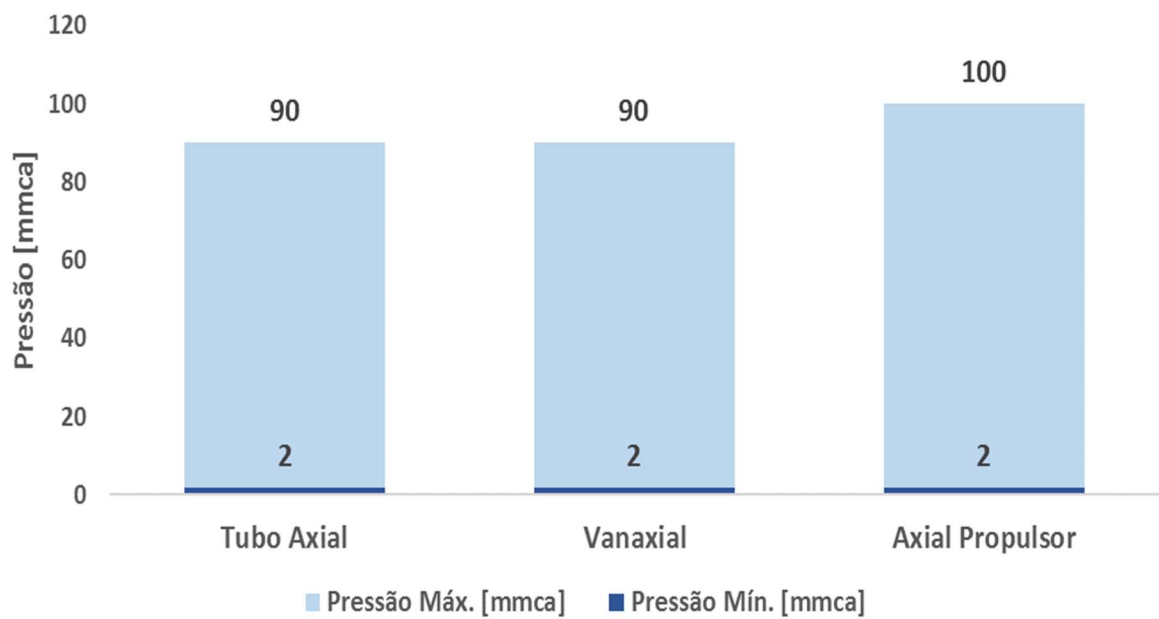
Figura 13: Vanaxial.



Fonte: Proenza, 2014

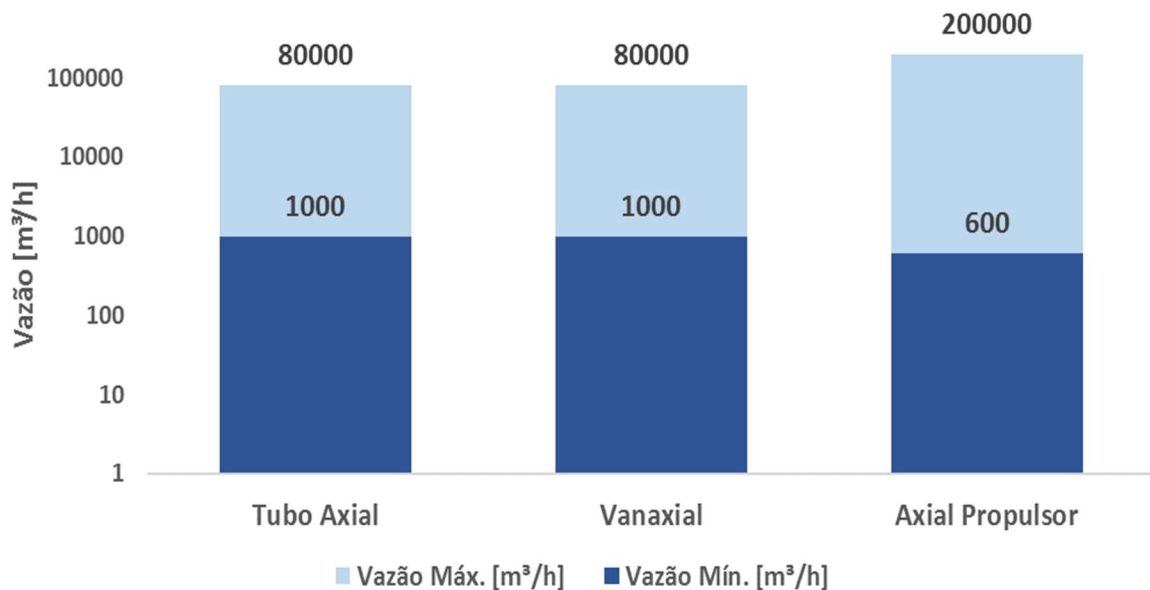
- **Gráficos Comparativos – Axiais**

- Figura 14: Variação de Pressão – Axiais



Fonte: Os autores, 2017

Figura 15: Variação de Vazão – Axiais



Fonte: Os autores, 2017

- **Ventiladores Centrífugos**

Os ventiladores centrífugos são intitulados dessa forma em consequência das circunstâncias de trabalho em que operam em razão de que o descarregamento do fluido é feito radialmente para fora tendo como referência o eixo do rotor, fazendo com que as partículas gasosas sigam uma trajetória a uma superfície, que é relativamente um plano normal ao eixo, empregando a força centrífuga e energia cinética dos rotores no gás, gerando assim um elevado deslocamento volumétrico de fluido com um raio de pressão relativamente alto (LUDWIG, 2013).

Seus componentes consistem em um rotor, uma carcaça de conversão de pressão e um motor, bem similar ao conceito de bombas centrífugas. Este modelo é geralmente usado quando se precisa de refrigeração, aspiração, transporte, secagem, grandes pressões entre outras tarefas do tipo (LUDWIG, 2013).

Atualmente tem exercido um papel de fundamental importância nas indústrias pelo mundo, devido a sua aplicabilidade em projetos com espaços confinados, que necessitam de uma constante renovação do ar. Além disso, tem a característica de poder trabalhar realizando exaustão e insuflação, tornando-o um equipamento

simples, porém versátil. Devido a tantas aplicações esses ventiladores são caracterizados por suas configurações de pás, conforme a seguir: pás radiais retas, pás curvadas para trás (*“limit load”*), pás curvadas para frente (Sirocco) (LUDWIG, 2013).

- **Pás Radiais Retas**

São considerados robustos, conforme ilustração 16, e mais comuns em sistemas de exaustão de particulados, poeiras, gases corrosivos e com odores industriais (PROENZA, 2014).

Caracterizam-se por serem constituídos de um número geralmente elevado de pás (6 a 10) e por emitirem altos ruídos estando em funcionamento. Geralmente trabalham a altas pressões, porém com baixos rendimentos quando o quesito é rotação (LUDWIG, 2013).

Figura 16: Centrífugo Pás Radiais Retas.



Fonte: Rovigo, 2017

- **Pás Curvadas para Trás – “Limit Load”**

São caracterizados por movimentarem volumes altos e médios de ar, com gradientes de pressão médios e altos, garantirem um elevado rendimento energético e a emissão de baixos níveis de ruídos. São comumente utilizados onde há variações de correntes de ar, como por exemplo, sistemas de aeração. Em sua maioria possuem bocais de aspiração repuxados, caracterizando sua aerodinâmica, conforme demonstra-se na figura 17 (PROENZA, 2014).

Figura 17: Centrífugo Pás Curvadas para Trás.

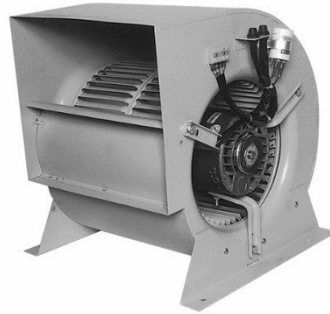


Fonte: Trefisul, 2013

- **Pás Curvadas para Frente (Sirocco)**

Caracterizado por seu funcionamento silencioso, o "Sirocco" geralmente é composto por um rotor que contém aproximadamente 60 pás curvadas no sentido frontal, de acordo com a figura 18, que possibilitam o elevado transporte de volume de ar em pressões relativamente baixas. Tem como limitação a necessidade de trabalhar com fluido com total ausência de impurezas, por isso são utilizados comumente em câmaras frigoríficas e torres de resfriamento e ar condicionados. (PROENZA, 2014).

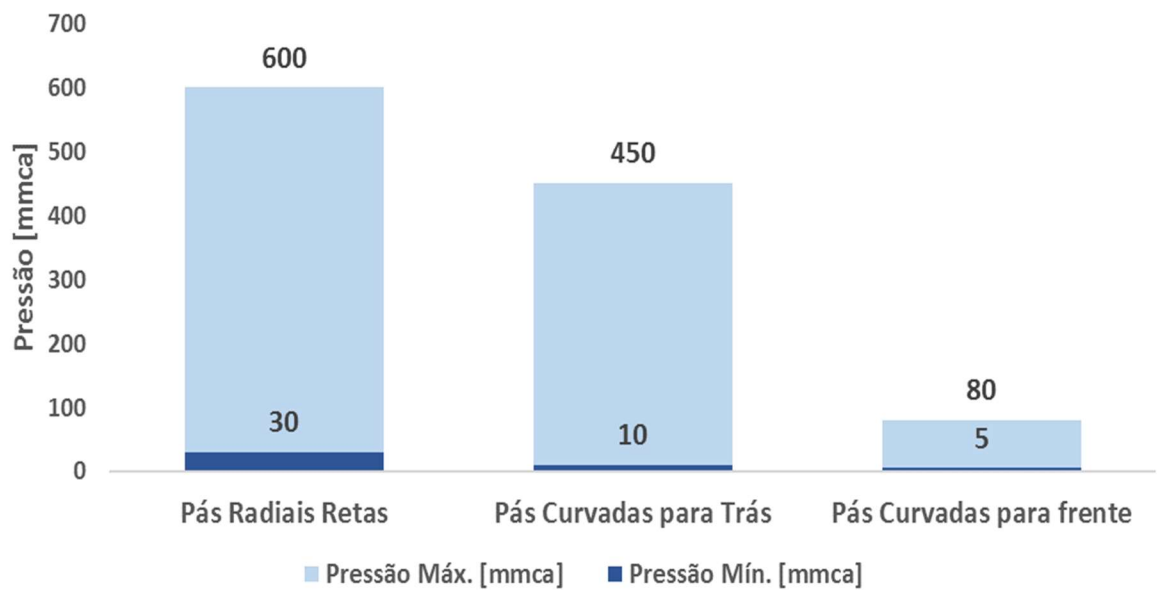
Figura 18: Centrífugo Pás Curvadas para Frente.



Fonte: Ventbras, 2017

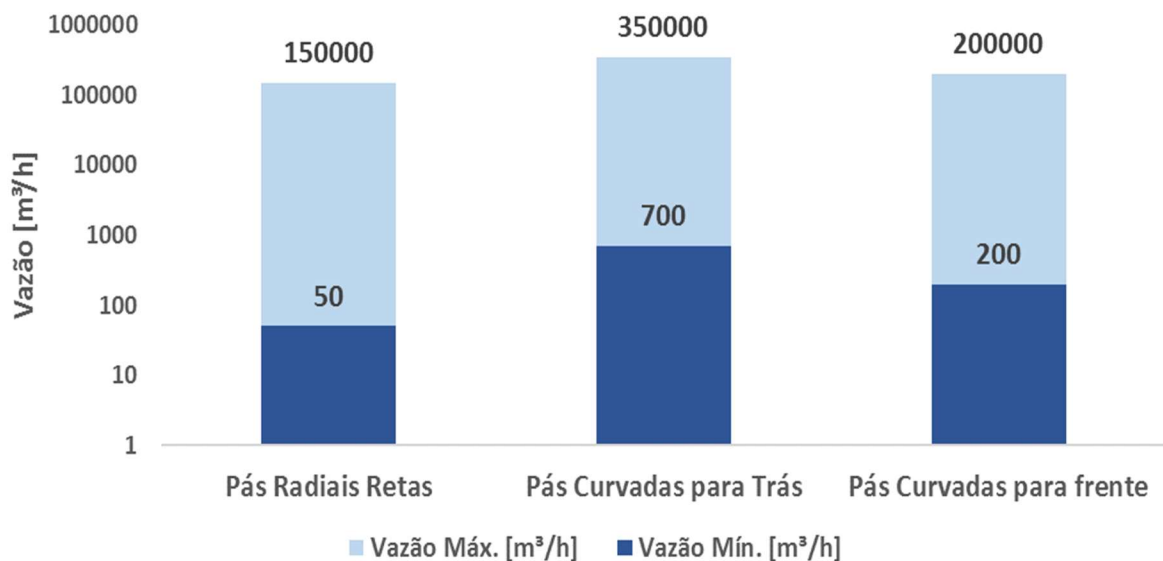
- **Gráficos Comparativos – Centrífugos**

Figura 19: Variação de Pressão – Centrífugos



Fonte: Os autores, 2017

Figura 20: Variação de Vazão – Centrífugos



Fonte: Os autores, 2017

2.5 Lei dos Ventiladores

A fim de economizar dinheiro e tempo nos projetos de equipamentos de ventiladores, desenvolveu-se uma lei que busca prever resultados de forma teórica, sem que ocorram testes laboratoriais (SOLER E PALAU, 2006).

Na norma que é responsável tal assunto, encontra-se a seguinte explicação:

Se um ventilador deve funcionar em condições diferentes das testadas, não é prático nem econômico efetuar novos testes para determinar as suas características. Mediante o uso de um conjunto de equações designado com o nome de Leis dos Ventiladores é possível determinar, com boa precisão, as novas características a partir dos testes efetuados em condições normalizadas. Ao mesmo tempo, estas leis permitem determinar as características de uma série de ventiladores geometricamente semelhantes a partir das características do ventilador testado UNE 100-230-95 (1995)

A lei dos ventiladores está descrita, conforme a simetria de magnitudes, através de equações que se baseiam nos conceitos da mecânica dos fluidos e a sua precisão supre a maioria das necessidades, desde que o gradiente de pressão seja inferior a 3 kPa, valores maiores que este é preciso considerar a compressibilidade do gás (SOLER E PALAU, 2006).

Esta lei fundamenta-se na ideia que dois ventiladores de uma mesma série possuem suas curvas características similares, e para pontos de trabalho equivalentes é apresentado o mesmo rendimento, desta forma mantem-se relacionadas todas as razões das demais variáveis.

A confiabilidade da lei será exata na medida em que a proporcionalidade geométrica seja mantida, caso as medidas não sejam proporcionais, tem-se resultados melhores para ventiladores maiores ou piores para as máquinas menores.

As leis dos ventiladores podem ser expressas pelas seguintes equações:

$$Q_2 = Q_1 \times \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \times \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \quad (1)$$

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \times \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \times \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right) \quad (2)$$

$$Nv_2 = Nv_1 \times \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \times \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5 \times \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right) \quad (3)$$

$$L = L_0 + 80 \text{Log} \left(\frac{D^2}{D^1}\right) \quad (4)$$

Obs: Número que acompanha o logaritmo pode variar de acordo com a constante determinada. 80 se considerando o diâmetro, 50 a velocidade, 20 a densidade.

Onde:

Q = Vazão

P = Pressão total

ρ = Densidade do Gás

n = Rotação do Ventilador

D = Diâmetro do Rotor

Nv = Potência do Ventilador

L = Nível Sonoro

2.6 Moto-Sopradores

Com o êxito do funcionamento dos alto fornos a coque, e com uma grande demanda produtiva, se tornou fundamental um desenvolvimento do índice de produtividade. O abastecimento que anteriormente era feito através de foles, com o desenvolvimento adquiriu uma complexa configuração, direcionando aos sopradores modernos que se tem hoje (DIAMANTINO, 2014).

Os moto-sopradores, são ventiladores centrífugos que geralmente trabalham com pás curvadas para trás e rotores de grandes dimensões, engendrando altas pressões, estas podendo variar de 250 a 750 mmca (PROENZA, 2014).

No intento de que seja obtida a queima do coque no interior do alto forno, se torna expressamente necessário o abastecimento constante do mesmo com uma mistura de ar rica em oxigênio, frequentemente puro, uma parte sendo fornecida pelo próprio ar atmosférico. Nesse processo se encontra a forma básica para o aumento da produtividade, uma vez que ao se elevar a vazão de ar no interior do alto forno, se promove a combustão de mais coque, por consequência estabelecendo um maior aquecimento e assim uma maior quantidade de gases redutores. Ao queimar uma maior quantidade de coque, libera-se mais espaço destinado a descida de carga (BAŽAN; KRET, 2015).

A nível industrial, a utilização de oxigênio de maior pureza se torna usualmente uma maneira de aprimorar todo o restante do processo, visto que quanto maior a pureza deste elemento se atinge certos melhoramentos nos parâmetros de processo, como por exemplo uma maior temperatura obtida no algaraviz, quanto mais rico em oxigênio o ar for, menor é tanto o volume exigido a ser inflado no interior do alto forno, quanto o volume de gás que ascende o alto forno por unidade de ferro (DAVENPORT; PEACEY, 1979).

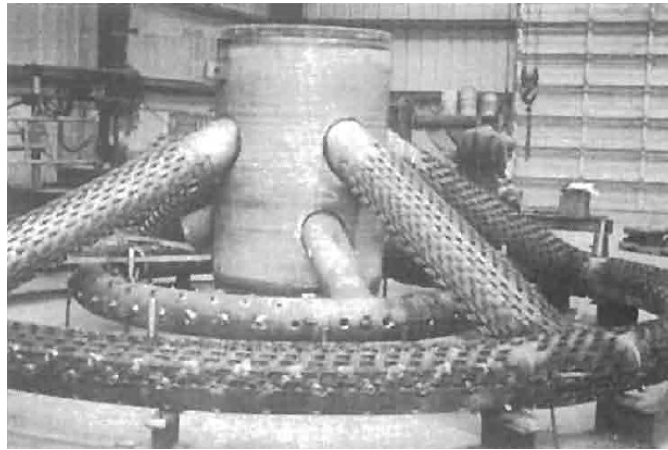
Dessa forma, o abastecimento é efetuado por um ou mais moto-sopradores. Podendo ser acionados através de uma turbina a vapor ou até mesmo um motor elétrico, estes equipamentos aspiram o ar a ser soprado, deslocando-o através de um filtro a fim de reduzir a concentração de impurezas, fornecendo uma velocidade de ar e pressão suficientes capazes de sustentar todo o processo (GARMBIS, 2011; OLIVEIRA, 2010).

Por conseguinte, o ar soprado é direcionado ao regenerador mediante o uso de um distribuidor de ar localizado na base do próprio regenerador. Deve-se considerar

a estrutura do distribuidor, em busca de um maior rendimento e credibilidade na catálise da regeneração (OLIVEIRA, 2010; SADEGHBEIGI, 2000).

Um aumento além dos parâmetros da vazão de vento fornecida, ocasiona a redução da taxa de produtividade alcançada até o ponto de estagnação da carga. Ao aumentar a quantidade de vento, sua taxa de fluxo também é aumentada, o que acresce por consequência, a força que neutraliza a redução da carga (NIECKELE; MOSCKEM; ORTEGA; PIRES, 2006).

Figura 21: Estrutura “Air Ring”



Fonte: Sadeghbeigi, 2000

Figura 22: Estrutura “Pipe Grid”



Fonte: Sadeghbeigi, 2000

Tabela 4: Evolução do Sistema de Alimentação dos Alto fornos

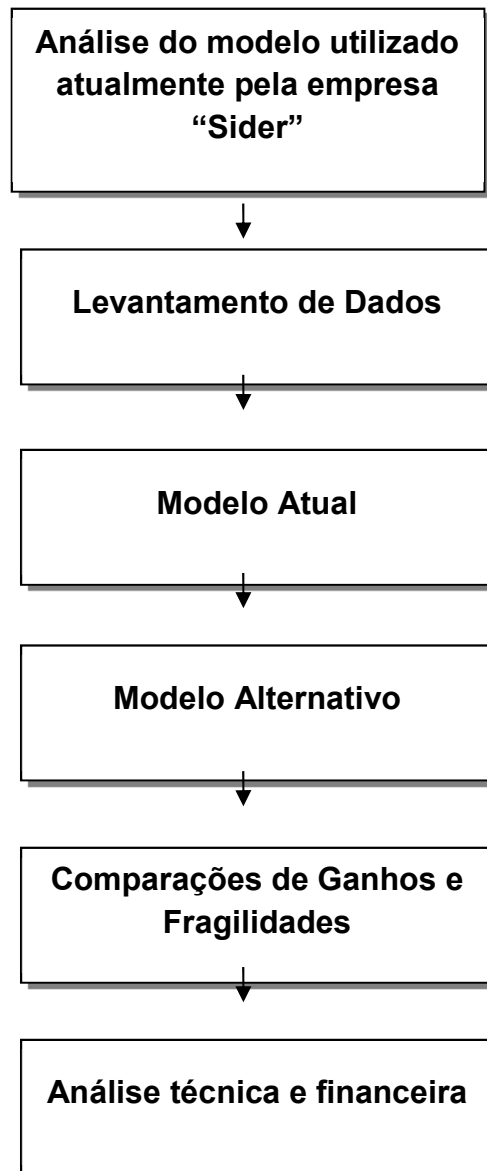
1780	Acionamento dos foles por meio do emprego de engrenagens a vapor
1828	Aplicação de ar previamente aquecido através das ventaneiras
1832	Emprego do poder calorífico dos gases redutores no pré-aquecimento do ar
1857	Os trocadores de calor do tipo cowpers foram desenvolvidos
1870	Com o uso de elevadores à água os sistemas de carregamento foram aprimorados
1880	Métodos para a preservação do revestimento interno dos alto fornos foram difundidos
1910	Primeira menção do emprego de sopradores do tipo turbo, no lugar dos foles
1917	Primeira máquina destinada à fabricação de tijolos refratários com maiores padrões de qualidade
1944	Primeiro registro para a injeção de finos pelas ventaneiras
1950	Potencialização dos sistemas de controle de toda a estrutura dos alto fornos
1951	Ar com oxigênio puro passou a ser enriquecido

Fonte: Oliveira, 2010

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada parte do princípio de uma empresa fictícia “Sider” e segue o seguinte fluxograma:

Figura 23: Fluxograma metodologia aplicada.



Fonte: Os autores, 2017

As etapas apresentadas na figura 23 serão detalhadas a seguir.

- **Análise do Modelo Utilizado Atualmente pela Empresa “Sider”**

Em uma empresa “Sider” do ramo siderúrgico com ênfase na produção de tubos de ferro fundido centrifugados, o sistema de moto-sopradores da rede de ar frio será analisado no capítulo a seguir, pois o mesmo vem apresentando anormalidades em seu funcionamento, gerando um alto nível de ruído, vibrações e quebras na voluta dos ventiladores e nos seus periféricos, como por exemplo, mancais, parafusos e bases.

- **Levantamento de Dados**

Serão levantados através de pesquisas acadêmicas e recolhimento de informações todos os dados necessários de projeto e de processo, para a obtenção de um estudo confiável sobre o sistema. Os dados utilizados serão os custos de manutenção preventiva e corretiva, o atual “*set-point*” e a maneira de operação utilizada.

- **Modelo Atual**

Será revelado o atual modelo utilizado pela empresa “Sider”, apontando assim as características de seu funcionamento e evidenciando os pontos que devem ser retrabalhados para melhor eficiência do sistema. Observando os equipamentos que atualmente se encontram instalados, juntamente com as variáveis apresentadas por eles, como por exemplo, o percentual de abertura da válvula de admissão.

- **Modelo Alternativo**

O capítulo quatro irá demonstrar um modelo de operação alternativo para que a rede de ar frio da empresa “Sider” passe a trabalhar de uma forma mais segura e eficiente, extraindo da melhor forma o uso de suas máquinas e periféricos. Para a obtenção de uma melhora em todo sistema, será proposto novas ações como por exemplo a alteração da pilotagem da válvula, juntamente com a revisão dos planos de manutenção atualmente existentes.

- **Comparação de Ganhos e Fragilidades**

Será evidenciada e tabelada a comparação com as melhorias propostas juntamente com todas as limitações geradas, evidenciando os itens que puderam ser corrigidos e os itens que demandarão pesquisas para suas resoluções.

- **Análise técnica e financeira**

Será demonstrada a análise técnica e financeira de toda a modificação, juntamente com uma tabela de valores projetados para uma base de aproximadamente quatro anos de uso do sistema, levantando os custos de manutenção gerados nos dois modelos para assim mostrar o quão satisfatório seria a substituição do modelo atual pelo proposto.

4 ESTUDO DE CASO

Como objeto de estudo do trabalho desenvolvido, será utilizado o sistema de sopro para abastecimento de regeneradores de alto forno de uma empresa fictícia denominada “Sider”. O sistema possui um conjunto de máquinas de fluxo e acessórios bem estruturados e em condições que permitem o seu funcionamento.

4.1 Cenário

O sistema se encontra instalado em um galpão com aproximadamente 224 m² denominado “Sala dos Moto-sopradores” onde se tem o conjunto de 5 (cinco) ventiladores centrífugos de alta pressão (sopradores) chumbados em solo preparado. Além das máquinas o galpão ainda comporta toda o arranjo do sistema que possui 1 (um) filtro de admissão, 1 (uma) válvula borboleta de controle de admissão, 14 (quatorze) válvulas borboleta para determinação do arranjo, conforme resumido na tabela 5. A instalação ainda é dotada de um sistema de talhas elevatórias para a manutenção das máquinas.

Tabela 5: Cenário

CENÁRIO		
Equipamento	Quantidade	Unidade
Filtro de Ar Tipo Bolsa	1	Peça
Ventilador Centrífugo de Alta Pressão	5	Peça
Tubulação	45	Metros
Válvula Borboleta	15	Peça
Juntas	5	Peça
Flange	5	Peça

Fonte: Os Autores, 2017.

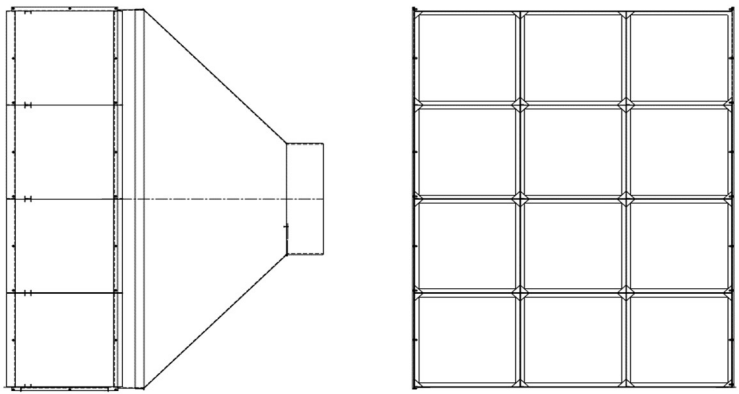
A seguir, para um melhor entendimento de todo o sistema operacional da sala dos moto-sopradores, apresenta-se o detalhamento dos itens citados na tabela acima.

- **Filtro de Admissão**

Responsável por filtrar o ar evitando que o mesmo circule pelo sistema com partículas ou impurezas que possam vir a danificar os equipamentos ou prejudicar seu desempenho. Fica localizado fora da sala dos moto-sopradores e tem sua interligação feita através de uma coifa acoplada no duto que leva ao primeiro soprador.

Figura 24: Especificação do filtro de admissão.

FILTRO DE ADMISSÃO	
TIPO	DESCARTÁVEL TIPO BOLSA
Nº DE BOLSAS	6 X 12
DIMENSÕES	593 X 593 X 600 MM
CLASSE DE FILTRAGEM	F1
FABRICANTE	FILTRACOM
VAZÃO MÉDIA	4250 M ³ /H
PADRÃO	NBR 6401

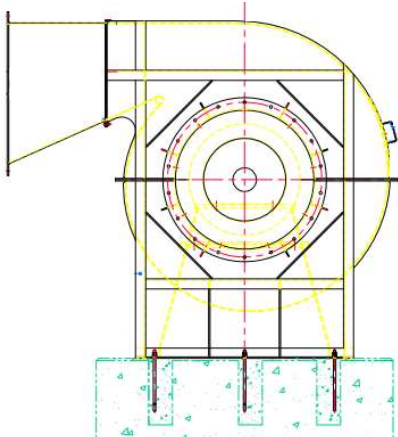


Fonte: Os autores, 2017.

- **Ventilador Centrífugo de Alta Pressão**

Responsáveis pelo abastecimento de fluido em todo sistema. Localizados no interior do galpão, interligados em série por meios de dutos.

Figura 25: Especificação do ventilador centrífugo.

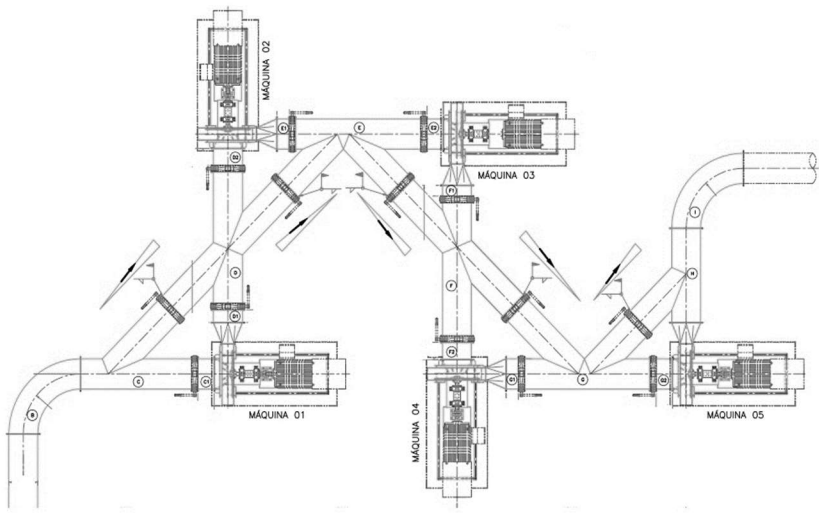
VENTILADOR	
TIPO	CENTRÍFUGO DE ALTA PRESSÃO
NÚMERO DE PÁS	12
MODELO	PÁS CURVADAS PARA TRÁS
SÉRIE	AFC D-200-2-1120-SWSI/8
FABRICANTE	AFC
PRESSÃO [mmca]	2200
VAZÃO [m ³ /min]	500
POTÊNCIA [HP]	280
EFICIÊNCIA [%]	84,3
	

Fonte: Os autores, 2017.

- **Tubulação**

Responsáveis pelas interligações de todos equipamentos, desde o filtro de captação até a junção em série dos cinco moto-sopradores. Ficam localizadas no exterior e interior do galpão.

Figura 26: Arranjo da tubulação.

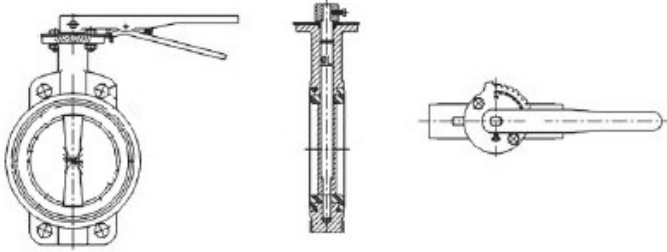
TUBULAÇÃO - ARRANJO	
MATERIAL	ASTM A-139
DIÂMETRO [mm]	700
COMPRIMENTO LINEAR [mm]	45000
FABRICANTE	AFC
	

Fonte: Os autores, 2017.

- **Válvulas Borboletas Manuais**

Responsáveis pelo controle de fluxo dentro do arranjo, permitindo que a operação dos sopradores possa ser realizada de acordo com a demanda do alto forno, isto é, através das válvulas se gerencia o caminho pelo qual o fluxo deve percorrer, impactando diretamente na quantidade de sopradores que serão necessários para a operação da empresa.

Figura 27: Especificação das válvulas.

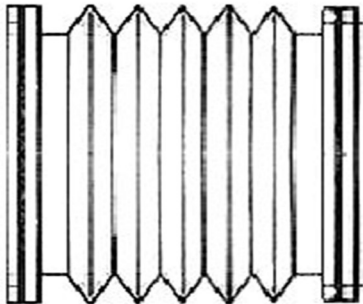
VÁLVULAS	
TIPO	BORBOLETA
ACIONAMENTO	MANUAL
FABRICANTE	AFC
	

Fonte: Os autores, 2017.

- **Juntas de Expansão**

Responsáveis pela absorção das vibrações geradas e essenciais para suprir os desalinhamento dos dutos. Ficam localizadas nas entradas dos sopradores.

Figura 28: Especificação das juntas.

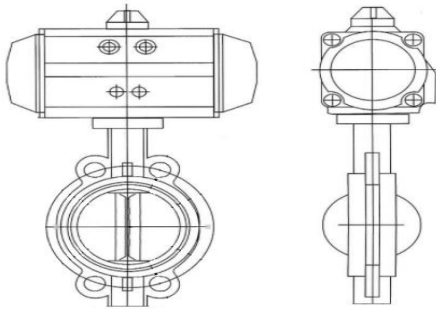
JUNTAS	
TIPO	EXPANSÃO
MATERIAL	AÇO INOXIDÁVEL AISI 304
DIÂMETRO [mm]	700
MODELO	AMORTECEDORA VIBRAÇÃO DUPLA
	

Fonte: Os autores, 2017

- **Válvula de Controle Automática**

Responsáveis pelo controle do fluxo recebido pelos regeneradores através dos sopradores. Fica localizada entre os regeneradores e a sala dos moto-sopradores, e tem seu acionamento automático, que varia de acordo com a demanda do alto forno.

Figura 29: Especificação da válvula automática.

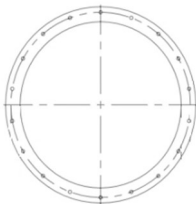
VÁLVULAS DE CONTROLE	
TIPO	BORBOLETA
ACIONAMENTO	AUTOMÁTICO
	

Fonte: Os autores, 2017.

- **Flanges**

Responsáveis pela ligação entre a descarga dos ventiladores e o arranjo. Ficam fixados por parafusos na boca de saída dos sopradores.

Figura 30: Especificação dos flanges.

FLANGE	
MATERIAL	AÇO ASTM A-36
DIÂMETRO [mm]	927
DIÂMETRO DO FURO [mm]	35
	

Fonte: Os autores, 2017.

Todo esse conjunto de equipamentos listados acima tem por objetivo realizar o abastecimento de pressão/vazão necessários para o bom funcionamento dos regeneradores e conseqüentemente atender a demanda do alto forno.

A empresa “Sider” que tem como enfoque a produção de tubos a partir de ferro fundido nodular tem sua produção variável exigindo que o processo se adeque ao mercado atual, isto é, as necessidades do sistema do alto forno irão se modificar, sendo assim necessário que os equipamentos atendam tal inconstância.

Para obtenção das variáveis necessários para o funcionamento do alto forno, o sistema opera com um ponto de trabalho (“*set-point*”) de acordo com a tabela abaixo.

Tabela 6: “*Set-point*”




SET-POINT ATUAL	
Nº de Ventiladores Atuando em Série	3
% Abertura - Válvula de Admissão	10%
% Abertura - Válvula de Controle de Fluxo	65%

Fonte: Os Autores, 2017

4.2 Fragilidades e pontos críticos




Com o atual funcionamento do sistema instalado na empresa “Sider”, nota-se a existência de determinados problemas das mais variadas categorias, isto é, há probabilidades de perdas de rendimento, quebra de equipamentos, paradas de produção e acidentes de trabalho. Os levantamentos abaixo expõem de maneira objetiva a relação de problemas com suas características, causas e efeitos.

Figura 31: Levantamento de problemas – Parte 1

LEVANTAMENTO DE PROBLEMA X CAUSA X EFEITO			
PROBLEMA	POSSÍVEIS CAUSAS	EFEITOS	FOTOS
Trincas na voluta	Vibrações excessivas, turbulência de fluido dentro da voluta.	Perda de rendimento do soprador, geração de ruídos e riscos aos colaboradores da empresa.	
Cisalhamento de parafusos de fixação	Vibrações excessivas, juntas inadequadas e falta de válvula de alívio de pressão na linha.	Quebra de equipamentos, lançamento de fragmentos e paradas de produção.	
Quebra de suportes da tubulação	Excesso de vibração na linha.	Quebra de equipamentos, lançamento de fragmentos e paradas de produção.	

Fonte: Os autores, 2017.

Figura 32: Levantamento de problemas – Parte 2

LEVANTAMENTO DE PROBLEMA X CAUSA X EFEITO			
PROBLEMA	POSSÍVEIS CAUSAS	EFEITOS	FOTOS
Excesso de particulados no rotor	Processo de filtragem ineficiente, magnetismo gerado pela rotação do rotor, falta de manutenção preventiva.	Desbalanceamento do rotor, vibrações excessivas e perdas de rendimento	
Superaquecimento	Excesso de vibração.	Riscos aos colaboradores, perda de rendimento, vazamentos de contaminantes no solo	
Excesso de ruído	Admissão de ar retida, válvula de admissão operando inadequadamente	Problemas de audição nos colaboradores da empresa, encobrimento de outros problemas	

Fonte: Os autores, 2017.

Observa-se através das figuras apresentadas anteriormente a criticidade dos itens. Partindo do princípio que a empresa “Sider” visa em sua política o cumprimento

de medidas que assegurem a preservação da saúde humana, meio-ambiente e além disso zela pela excelência operacional, será abordado no próximo tópico uma medida hipotética para a resolução de tais falhas.

4.3 Resolução técnica das falhas

A fim de minimizar ou até mesmo dirimir as falhas listadas nas figuras acima, será apresentada nesse capítulo uma ideia técnica do ramo da engenharia, visando a melhoria na segurança do processo, preservação do meio-ambiente e ganhos em eficiência de operação.

A hipótese inicial visa a melhoria no quesito vibração do sistema através de medidas técnicas e operacionais. Como foi visto na tabela 6, o sistema da empresa “Sider” opera com sua válvula de admissão que fica situada antes do primeiro soprador com apenas 10% de captação de ar, conforme figura 33, e uma válvula automática de controle de fluxo após a saída dos sopradores com passagem de 65% de fluido para os regeneradores, fazendo com que os sopradores que estão ligados trabalhem com pressões muito elevadas, forçando os equipamentos, gerando excesso de vibração e ruído em todo arranjo.

Figura 33: Percentual de abertura da válvula de admissão.



Fonte: Os autores, 2017.

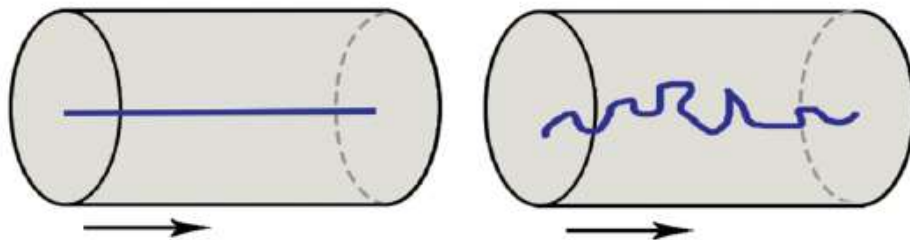
Como medida corretiva, sugere-se a mudança na operação das válvulas citadas anteriormente, visto que o atual sistema acaba controlando as variáveis do processo (pressão e vazão) por meio delas. A válvula que fica localizada após os sopradores e antes dos regeneradores deve ser mantida com seu acionamento

automático variando de acordo com demanda passada pela sala de controle do alto forno. Diferentemente da válvula anterior, a válvula de admissão, localizada após o filtro de captação de ar, que deve ter sua pilotagem alterada.

Visto que teremos a válvula automática responsável pelo controle de fluxo, a admissão do ar deve ter seu percentual aumentado para operar com no mínimo 30% de passagem.

A necessidade de trabalhar dessa forma tem seu fundamento baseado na mecânica dos fluidos onde temos o conceito de escoamentos. O laminar, que ocorre quando o fluido se move de maneira definida ao longo de uma trajetória apresentando determinadas camadas, ou lâminas e por isso recebe seu nome laminar. Nessa espécie de escoamento geralmente o movimento das partículas são realizados em baixas velocidades. E o turbulento, que parte do princípio inverso, ou seja, acontece quando as partículas do fluido se movimentam de maneira aleatória em trajetórias mal definidas e irregulares, conforme ilustrado na figura 34. Esse escoamento se caracteriza quando se exige uma alta velocidade no fluxo (MIRANDA, 2001).

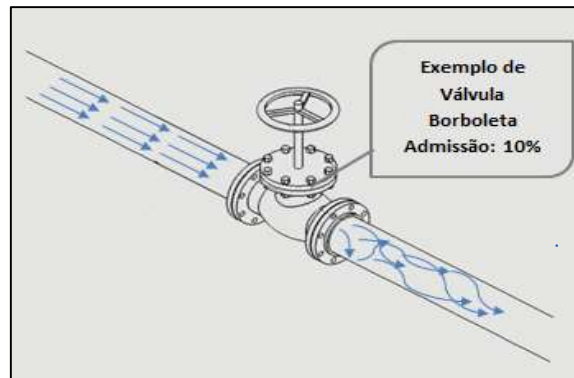
Figura 34: Comportamento laminar e turbulento das linhas de corrente



Fonte: Picolo; Rampinelli; Röhler, 2014.

No atual sistema da empresa “Sider” o escoamento torna-se turbulento logo no início da linha devido ao fato de ter sua velocidade aumentada bruscamente pela restrição da seção transversal, consequência da válvula borboleta operar com a captação limitada em 10% conforme o esquema elaborado na figura 35 a fim de ilustrar as linhas de corrente de um fluxo.

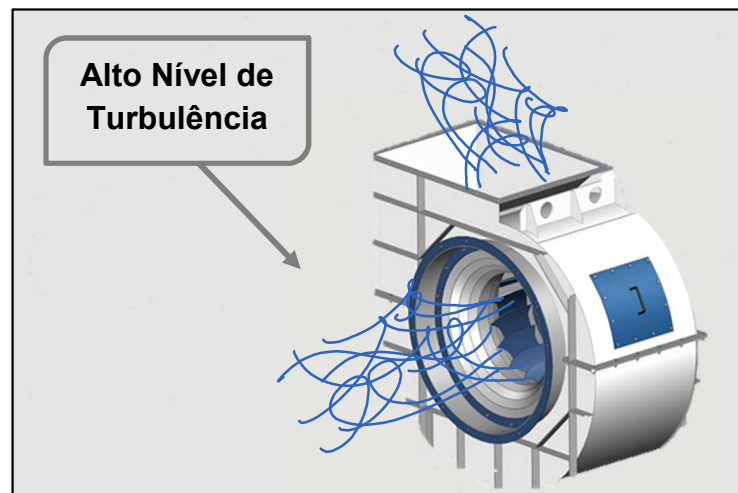
Figura 35: Alteração das linhas de correntes em tubulação retida.



Fonte: Os autores, 2017.

Evidencia-se que pela proximidade entre a válvula de admissão e o primeiro soprador, que é aproximadamente 1,5 metros, não há espaço suficiente para que tal turbulência seja dissipada, fazendo com que toda perturbação seja transmitida diretamente ao rotor, gerando uma vibração que combinada com a pressão produzida pelo soprador afeta rigorosamente toda sua estrutura, conforme ilustrado na figura 36.

Figura 36: Turbulência no interior da voluta

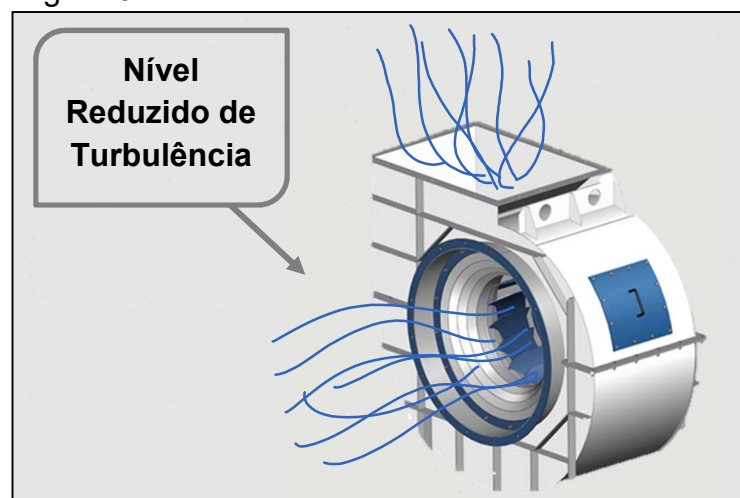


Fonte: Os autores, 2017.

Com a correta pilotagem da válvula de admissão, que segundo testes empíricos, conceitos de mecânica dos fluidos e técnicas associada ao conceito de bombas centrífugas deve ser ajustada em no mínimo 30%, obtêm-se um aumento significativo na área da seção transversal por onde ocorre o escoamento do fluxo,

permitindo assim que a corrente de ar permaneça com a mesma vazão, porém com uma velocidade menor, resultando em um movimento mais linear das partículas, minimizando a turbulência no interior da voluta do soprador, conforme ilustrado na figura a seguir. E para garantir as necessidades dos regeneradores o controle deverá ser feito pela válvula automática controladora de fluxo, prevendo que a mesma tende a restringir o novo fluxo a fim de compensar a abertura realizada na admissão (MIRANDA, 2001).

Figura 37: Escoamento normal no interior da voluta



Fonte: Os autores, 2017.

Evidencia-se que desta forma de trabalho o sistema estará suprido de vazão e pressão sem que seus equipamentos sejam prejudicados devido a menor restrição na etapa de sucção, evitando assim a propagação de vibrações excessivas no sistema, geradas pela turbulência na linha.

4.3.1 Plano estratégico de manutenção

Juntamente com as alterações propostas acima, este estudo propõe uma melhoria no planejamento das atividades de manutenção relacionadas a rede de ar frio da empresa "Sider", que atualmente detém em seu gerenciamento apenas dois planos para garantir o funcionamento de suas máquinas (lubrificação e inspeção). Conforme demonstrado nos anexos 1 e 2.

Sugere-se a revisão do plano de inspeção visando garantir a confiabilidade do sistema através de novas atividades e alterações no tempo disponível para execução

das mesmas. Apresenta-se abaixo os itens alterados no plano denominado “INSP-2017”, e o mesmo se encontra disponível em sua totalidade no anexo 3.

Tabela 7: Alterações plano INSP-2017

PLANO INSP-2017 (Alterações)
Atividade
Análise Termográfica
Verificação de Particulados no Rotor
Verificação da Estrutura

Fonte: Os Autores, 2017.

Tendo em vista o que foi apresentado neste estudo, também foi elaborado um plano de ação para o tratamento de falhas na empresa “Sider”. Para elaboração do plano, foi utilizada a ferramenta 5W2H, que consiste em um *checklist* de atividades específicas que devem ser elaboradas com clareza e eficiência por todos os colaboradores do projeto. Essa simbologia corresponde às iniciais (em inglês) das sete diretrizes que, quando estabelecidas de forma correta, eliminam todas dúvidas que possam surgir ao longo de um processo ou de uma atividade. (ENDEAVOR, 2015).







Tabela 8: Esquema 5W2H para solução dos problemas

5W2H		
What? O quê?	Alterar pilotagem dá válvula de admissão para no mínimo 30%	Atuar com a manutenção sobre o plano previamente desenvolvido
Who? Quem?	Coordenador do Setor	Gerência da Manutenção
Where? Onde?	Sala dos Moto-Sopradores	Sala dos Moto-Sopradores
When? Quando?	Início imediato	Início imediato
Why? Por que?	Para redução da vibração	Para garantir a disponibilidade do equipamento
How? Como?	Manualmente pelo operador	Manualmente pelo mecânico
How Much? Quanto?	Sem custo financeiro diretamente associado	Custo definido na Análise Financeira

Fonte: Os Autores, 2017.

Após a execução do plano de ação previamente estabelecido, apresenta-se as falhas e suas resoluções.

Tabela 9: Problemas x soluções

PROBLEMA X RESOLUÇÃO	
PROBLEMA	STATUS
Trincas na voluta	Resolvido 
Cisalhamento de parafusos de fixação	Resolvido 
Quebra de suportes da tubulação	Resolvido 
Excesso de particulados no rotor	Não Resolvido 
Superaquecimento	Resolvido 
Excesso de ruído	Resolvido 

Fonte: Os Autores, 2017

O problema com excesso de particulados no rotor se dá principalmente pelo fato do equipamento operar em um ambiente hostil, isto é, com acúmulo de poeira e particulados. Para sua resolução seria necessário um retrabalho sobre o sistema de filtragem da linha. Os demais itens, conforme visto anteriormente foram solucionados através da hipótese proposta, sendo que para futuros trabalhos pode-se apresentar soluções para garantir uma maior segurança no sistema, como é o caso da instalação de uma válvula de alívio de pressão no fim da linha, que preveniria um possível aumento de pressão gerado por alguma anomalia no alto forno.

5 ANÁLISE TÉCNICA E FINANCEIRA

Após a realização do presente estudo, é de fundamental importância a realização do levantamento de custos a fim de tornar tal alteração algo viável e chamativo para a empresa. Para fins teóricos, serão considerados os custos de reparo externo, manutenção preventiva e ações corretivas (substituição de periféricos) através de uma projeção que se baseia nos anos de 2016 e 2017 da empresa “Sider”. Será considerado uma inflação anual constante de aproximadamente 6,29% (IBGE, 2016).

No ano de 2016 a empresa em questão efetuou manutenções preventivas através dos planos de inspeção e lubrificação que geraram um gasto anual de aproximadamente R\$ 10.120,74 referentes a mão de obra e materiais necessários para o cumprimento da programação. Neste mesmo período, o setor de manutenção interviu nove vezes com medidas corretivas, gerando um custo anual de R\$ 104.335,00 referentes a dois rotores que precisaram ser reparados, três mancais que foram substituídos, um flange que necessitou ser trocado e seis diárias de uma terceira para a realização de balanceamento e alinhamento de três máquinas (equipamentos que mais se deterioraram durante o ano). No fechamento de 2016, constatou-se que a empresa “Sider” havia gasto um valor total de R\$ 114.455,74 para garantir a disponibilidade dos equipamentos.

Tendo em vista que no ano de 2017 a empresa seguiu os mesmos parâmetros de operação e por consequência de manutenção, os valores referentes as despesas anuais são equivalentes aos vistos no parágrafo anterior com apenas o acréscimo da inflação anual, resultando no valor total de R\$ 121.655,01

Visando a otimização do processo e redução dos custos consequentes da nova hipótese, juntamente com as alterações realizadas no plano de inspeção dos equipamentos, obtém-se uma projeção com novos valores de custo anual para a garantia de um bom funcionamento do sistema.

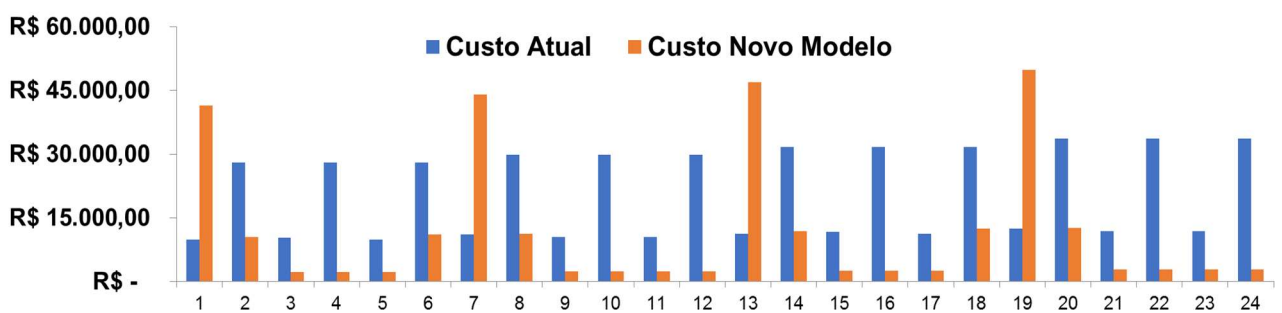
A partir da implementação do novo método de operação da rede de ar frio, pode-se se traçar a nova projeção de custos de manutenção. Tal projeção é contemplada pelo mesmo plano de lubrificação e inspeção, porém com os mesmos revisados, gerando um novo custo anual de aproximadamente R\$ 14.020,76 referentes a nova distribuição de mão de obra, isto é, o acréscimo de trinta minutos

por inspeção semanal, para efetuar as novas tarefas evitando quebras do equipamento. Com a nova metodologia de trabalho implantada, se prevê a redução das corretivas tendo em vista que as falhas que eram provocadas pela turbulência no rotor foram dirimidas com a pilotagem correta das válvulas, sendo assim serão necessárias apenas corretivas programadas de acordo com a demanda da inspeção, podendo-se então projetar através de conhecimentos empíricos um custo anual de aproximadamente R\$ 47.420,00 referentes a seis diárias de balanceamento e alinhamento de três máquinas (equipamentos que mais se deterioraram durante o ano), um rotor que poderá ser reparado. E ainda um custo pontual de aproximadamente R\$ 8.715,00 referentes a substituição de um flange (o mais deteriorado de acordo com as inspeções) que ocorrerá a cada dois anos, desta forma gerando um custo médio de R\$ R\$ 56.724,85, já contemplado os ajustes referentes a inflação.

Após a implementação da hipótese apresentada, conclui-se que a tendência do aparecimento de falhas na rede ar frio será minimizada, de forma que, como esperado seja possível projetar-se um custo médio anual menor de apenas R\$ 72.124,79 que quando comparado com o custo gerado na antiga metodologia de trabalho, observa-se um ganho de R\$ 214.359,22 para um mesmo período de quatro anos conforme gráficos abaixo.

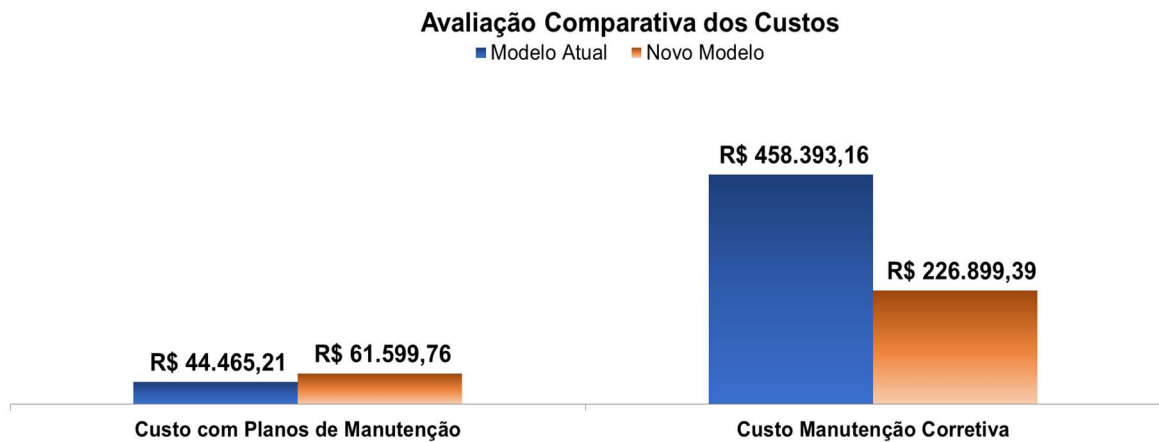
É válido ressaltar a grande viabilidade da hipótese apresentada visto que para sua implantação não é necessário a realização de um grande investimento.

Figura 38: Custos de Manutenção – 4 anos



Fonte: Os autores, 2017.

Figura 39: Avaliação comparativa – 4 anos



Fonte: Os autores, 2017.

Para a criação das figuras vistas anteriormente, foi necessário a elaboração de uma planilha de custos detalhada, que pode ser vista no anexo 4, onde é possível realizar uma análise financeira bimestral dos modelos em questão. A seguir apresenta-se a mesma de forma compacta para a melhor visualização dos custos totais gerados.

Tabela 10: Custos e Retorno

	ATUAL		NOVO MODELO	
	Período (2 meses)	Total Custo	Total Custo	RETORNO
1º Ano	1	R\$ 9.926,79	R\$ 41.516,79	-R\$ 31.590,00
	2	R\$ 28.066,79	R\$ 10.576,79	R\$ 17.490,00
	3	R\$ 10.401,79	R\$ 2.336,79	R\$ 8.065,00
	4	R\$ 28.066,79	R\$ 2.336,79	R\$ 25.730,00
	5	R\$ 9.926,79	R\$ 2.336,79	R\$ 7.590,00
	6	R\$ 28.066,79	R\$ 11.051,79	R\$ 17.015,00
2º Ano	7	R\$ 11.056,06	R\$ 44.128,20	-R\$ 33.072,13
	8	R\$ 29.832,19	R\$ 11.242,07	R\$ 18.590,12
	9	R\$ 10.551,19	R\$ 2.483,77	R\$ 8.067,41
	10	R\$ 29.832,19	R\$ 2.483,77	R\$ 27.348,42
	11	R\$ 10.551,19	R\$ 2.483,77	R\$ 8.067,41
	12	R\$ 29.832,19	R\$ 2.483,77	R\$ 27.348,42
3º Ano	13	R\$ 11.214,85	R\$ 46.903,86	-R\$ 35.689,00
	14	R\$ 31.708,64	R\$ 11.949,20	R\$ 19.759,44
	15	R\$ 11.751,49	R\$ 2.640,00	R\$ 9.111,49
	16	R\$ 31.708,64	R\$ 2.640,00	R\$ 29.068,63
	17	R\$ 11.214,85	R\$ 2.640,00	R\$ 8.574,85
	18	R\$ 31.708,64	R\$ 11.355,00	R\$ 20.353,63
4º Ano	19	R\$ 12.490,66	R\$ 49.854,11	-R\$ 37.363,45
	20	R\$ 33.703,11	R\$ 12.700,80	R\$ 21.002,31
	21	R\$ 11.920,27	R\$ 2.806,06	R\$ 9.114,21
	22	R\$ 33.703,11	R\$ 2.806,06	R\$ 30.897,05
	23	R\$ 11.920,27	R\$ 2.806,06	R\$ 9.114,21
	24	R\$ 33.703,11	R\$ 2.806,06	R\$ 30.897,05
	TOTAL	R\$ 502.858,37	R\$ 287.368,32	R\$ 215.490,05

Fonte: Os Autores, 2017.

6 CONCLUSÃO

O gerenciamento de operações é responsável por permitir que as empresas possam alcançar excelência em seus processos. Evidencia-se que tal excelência deve ser cumprida em sistemas de abastecimento de alto fornos, como é o caso da rede de ar frio. No cenário industrial atual as mudanças na demanda são variáveis, fazendo com que todo processo se adeque as características do mercado, fato que implica em uma maior necessidade de controle operacional.

No processo estudado foram observados diversos pontos que tendem a influenciar de maneira negativa todo um sistema, desde sua operação até sua manutenção, o que conseqüentemente impacta num custo maior para empresa.

Ao longo desse estudo constatou-se que a operação da empresa “Sider” atuava de maneira errônea segundo os fundamentos básicos de mecânica dos fluidos, comprometendo assim seus equipamentos, colaboradores e todo processo. A partir de então, foi elaborada uma solução hipotética para resolução de tais problemas, que consistiu na alteração da forma operacional de uma válvula, e ainda em uma revisão do plano de manutenção de todo o sistema, para que assim pudesse ser extraído um melhor rendimento dos equipamentos.

Um fator que contribuiu para a garantia da execução de tais mudanças foi a utilização da ferramenta 5W2H, que permitiu ser alcançada uma maior qualidade nas atividades envolvidas através de um plano de ação estruturado.

Para que se tornasse atraente para a empresa a implementação desse estudo, foi realizado uma análise econômica visando demonstrar através de diferenças de valores o quão satisfatório seria para a empresa, já que a mesma não necessitaria realizar um grande investimento direto, e ao longo de um período de quatro anos teria um retorno de aproximadamente R\$ 214.359,22 que representaria uma taxa de economia de 57% comparado ao modelo atual.

Com isso pode-se afirmar que a gestão de processos possui um fator fundamental na obtenção de eficiência na produção, já que não só as máquinas que influenciam diretamente em um sistema, mas sim diversos fatores, como é o caso da forma de operação dos equipamentos.

6.1 Trabalhos Futuros

Sugere-se, para trabalhos futuros, novas pesquisas a fim de aperfeiçoar esse meio de processo, como é o caso da implementação de uma válvula de alívio, a troca dos materiais das juntas de expansão e estudos sobre o magnetismo gerado pelo movimento do rotor, visando a obtenção de melhores resultados em redes de ar frio em alto fornos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Salvador. L. M; LUZ, Adão Benvindo; SAMPAIO, João Alves. **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro. CETEM. 2010. 845 p.

ARAÚJO, Luiz Antonio de. **Manual de Siderurgia**. São Paulo: Editora & Ciência, 2005. V. 1.

ARRIVABENE, Lúcio Flávio. **Siderurgia para não Siderurgistas**. Vitória: PUC – Minas, 2003.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **UNE 100-230-95; ventiladores: recomendaciones para el acoplamiento al sistema de distribución**; secretaría del CTN. Madrid, p. 79. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10586: Materiais refratários para regeneradores de alto-forno — Requisitos**. Rio de Janeiro, p. 4. 2010.

BATISTA, Arnaldo. **Utilização do gás de alto-forno para produção de energia na indústria siderúrgica de minas gerais**. 2009. 140 f. Dissertação (pós graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto 2009. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/producaosustentavel/2012/sumario-gas-de-af.pdf>> Acesso em 23 mai 2017.

BAŽAN, Jiří; KRET, Ján. **Iron and Steelmaking**. 2015. 139 f. Tese (trabalho científico) - Technical University of Ostrava. 2015. Disponível em: <http://katedry.fmmi.vsb.cz/Opory_FMMI_ENG/AaCiIT/Iron%20and%20Steelmaking.pdf> Acesso em 02 Ago 2017.

BRASIL, Alex N. **Máquinas Termohidráulicas de Fluxo**. 2006. 42 f. Artigo (trabalho científico) – Universidade de Itaúna. 2006. Disponível em <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/APOSTILA_MH/capitulo2_teorialgeral__M_AQUINAS%20DE%20FLUXO.PDF> Acesso em: 12 jun 2017.

BRITO, Iran Gomes de; LOURENÇO, Jorge Magner; MEDEIROS, Katarine. **Um Estudo Teórico sobre a Metalurgia do Pó**. 2007. 8 f. Artigo (trabalho científico) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca do Rio Grande do Norte. 2007. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/139/129>> Acesso em 25 mai 2017.

CARVALHO, Pedro Sergio Landin de. et al. **Minério de Ferro**. São Paulo. 2013

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1996. 388 p.

DALMASO, Roberto. MUNARO, Celso. **Instrumentação, Modelagem e Controle de Vazão e Temperatura de um Piloto de Regenerador de Alto Forno**. 2013. 5 f. Artigo (trabalho científico) – Universidade Federal do Espírito Santo. 2013. Disponível em: <<https://proceedings.sbmac.org.br/sbmac/article/viewFile/64/64>> Acesso em: 15 jul 2017

DAVENPORT, W. G; PEACEY, J. G. **The Iron Blast Furnace**: Pergamon Press, London. 1979.

DIAMANTINO, Paulo Nuno Rodrigues. **Sustentabilidade na construção metálica**. 2014. 355 f. Dissertação (mestrado) – Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2014. Disponível em: <recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/6269/1/DM_PauloDiamantino_2014_MEC.pdf> Acesso em 02 jul 2017.

ENDEAVOR. **5W2H: O que é e como aplicar**. Disponível em: <<https://endeavor.org.br/5w2h/>> Acesso em: 10 out. 2017

GARMBIS, Ana Lucia Ticianelli. **Análise da Viabilidade de Motorização Elétrica do Soprador no Ciclo Regenerativo da Unidade de Craqueamento Catalítico Fluidizado em uma Refinaria**. 2011. Trabalho de conclusão de curso - (bacharelado - Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Disponível em <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/119221>> Acesso em 05 Ago 2017.

GERDAU, **Animações – Furo de Corrida do Alto Forno**. 2017. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/br/pt>> Acesso em 20 mai 2017.

HAYASHI, Tetsuro; ISHIZAKI, Kotaro; NAGATA, Kazuhiro. **Production of Pig Iron from Magnetite Ore–Coal Composite Pellets by Microwave Heating**. 2006. Artigo (trabalho científico) - Tokyo Institute of Technology - Department of Chemistry and Materials Science. 2006. Disponível em <https://www.jstage.jst.go.jp/article/isijinternational/46/10/46_10_1403/_pdf> Acesso em 05 Ago 2017.

IZIDORO, Eduardo Silva. SHITSUKA, Dorlivete. SHITSUKA, Ricardo. **Processamento do Minério de Ferro para Otimização da Fabricação por Redução Direta**. 2016. 8 f. Artigo (trabalho científico) – Universidade Federal de Itajubá. 2016. Disponível em: < <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/39022440.pdf>> Acesso em 25 mai 2017.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação Industrial e Controle de Poluição**. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

MAHAN, Bruce M.; MYERS, Rollie J.; **Química: um curso universitário**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher LTDA, 2002.

MARGERIE, Jean-Claude. **Technical and economic advantages of pig iron in the charges of cupolas or electric furnaces**. 1980. 60 f. Artigo (trabalho científico) - commission of the european communities - Centre Technique des Industries de la Fonderie.. Disponível em <http://dl.iran-mavad.com/sell/trans/en/pig%20advantage%20for%20scrap.pdf>> Acesso em 05 Ago 2017.

MATTEDI, A. MUNARO, C.J. PAES, A.A. SOUZA, T.A. **Implementação de controle de Temperatura e Pressão para um Piloto de Regeneradores de Alto-Forno**. 2013. 6 f. Artigo (trabalho científico) – Universidade Federal do Espírito Santo. 2013. Disponível em: <http://www.cricte2004.eletrica.ufpr.br/anais/induscon/2012/Data/iREP1764.pdf>> Acesso em: 15 jul 2017.

MCGANNON, Harold E. **The Making, Shaping and Treating of Steel**. Pittsburg: United States Steel Corporation, 1971.

MIRANDA, Luiz Eduardo. **Mecânica dos Fluidos**. 2001. 18 f. Notas (trabalho científico) – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia. Disponível em: <<http://www.engbrasil.eng.br/pp/mf/aula1.pdf>> Acesso em 20 set 2017.

MOTHÉ, Alice. **Utilização da lama de alto-forno em cerâmica vermelha**. 2008. 109 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 2008. Disponível em: <<http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/pdf-lama.pdf>> Acesso em 22 mai 2017.

MOURÃO, Marcelo Breda. **Introdução a Siderurgia**. São Paulo: ABM, 2007.

MUNARO, Celso. PAES, Alexandre. **Construção, modelagem e controle de um piloto de regenerador de alto forno**. 2011. 4 f. Artigo (trabalho científico) – Universidade Federal do Espírito Santo. 2011. Disponível em: <<http://www.sbm.org.br/dincon/2011/files/articles/032.pdf>> Acesso em: 15 jun 2017.

NIECKELE, Angela; MOSCKEM, Sergio; ORTEGA, Arturo; PIRES, Luis. **Análise de Transientes em Linhas para Alto Forno**. Curitiba: ABCM, 2006. Disponível em: <<http://www.simdut.com.br/Trabalhos/CIT06-0795.pdf>> Acesso em 07 Ago 2017.

OLIVEIRA, Vinicius de Moraes. **Estudo da Porosidade de Pelotas de Minério de Ferro para Altos Fornos Através de Adsorção Física**. 2010. 100 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8DJFX6/1246m.pdf?sequence=1>> Acesso em 06 jun 2017.

PEREIRA, Joaquim de Paula. **Desenvolvimento de um Compósito Cerâmico para Otimizar a Radiação Térmica em Materiais Refratários Al₂O₃-SiO₂-Cr₂O₃-SiC-Ca(AIO₂)₂**. 2016. 82 f. Dissertação (mestrado) – Fundação Oswaldo Aranha. 2016. Disponível em: http://web.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/joaquim-depaula.pdf> Acesso em: 26 mai 2017.

PICOLO, Ana Paula; RAMPINELLI, Giuliano Arns; RÜHLER, Alexandre J. **Uma Abordagem sobre a Energia Eólica como Alternativa de Ensino de Tópicos de Física Clássica**. Revista Brasileira de Ensino de Física. São Paulo, vol 36, no 4, out 2014.

PINHO, Marcelo Silva. **Reestruturação Produtiva e Inserção Internacional da Siderurgia Brasileira**. Campinas. 2001. 212 p.

POSO, Antonio Toledo. **A Siderurgia Brasileira e Mundial: o desenvolvimento desigual recente**. São Paulo. 2015.

PROENZA, Nestor. **Sistemas Fluidomecânicos**. 2014. 29 f. Apostila – Universidade Estadual Paulista. 2014. Disponível em: <<http://www2.feg.unesp.br> > Acesso em 02 jun 2017.

RIZZO, E.M.S. **Introdução aos processos siderúrgicos**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.

ROMEIRO, Solange. **Química na Siderurgia**. 1997. 39 f. Artigo (trabalho científico) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997. Disponível em: <http://www.quimica.seed.pr.gov.br/arquivos/File/AIQ_2011/siderurgia_ufrgs.pdf> Acesso em 25 mai 2017.

ROVIGO. **Ventiladores Centrifugo de Pás Radiais Retas**. Disponível em: <http://www.rovigometal.com.br/sistemas-de-exaustao_ventiladores-centrifugos.html> Acesso em 01 jun 2017.

SADEGHBEIGI, Reza. **Fluid Catalytic Cracking Handbook: Design, Operation and Troubleshooting**. Second edition Houston: GPP, 2000. 384 p.

SANTOS, Felipe Ludwig dos. **Dimensionamento e Projeto de um Ventilador Centrifugo**. 2013. 86 f. Dissertação (graduação) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2013. Disponível em: <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1879/TCC_EGM_FELIPE_L_DOS_SANTOS_2013_2_vers%C3%A3o_final.pdf?sequence=1> Acesso em: 15 jul 2017

SOLER E PALAU. **Lei dos Ventiladores**. Disponível em: <http://www.solerpalau.pt/formacion_01_15.html> Acesso em 25 mai 2017.

SOUZA, Zulcy de. **Projeto de Máquinas de Fluxo**. 1.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.


TREFILSUL. **Ventiladores Centrifugo de Pás Curvadas para Trás**. Disponível em: <<http://www.trefilsul.com.br/TTM-Ventiladores-Centrifugos-SIS-SID-LLS-LLD.php>> Acesso em 01 jun 2017.

VENTBRAS. **Ventilador Sirocco**. Disponível em: <<http://www.ventbras.com.br/produtos.php?id=1&categ=1>> Acesso em 01 jun 2017.

WURTH, Paul. **Recuperação de Calor de Gases de Regeneradores de Ar.** Disponível em: <<http://www.paulwurth.com/pt/NOSSAS-ATIVIDADES/Energia-e-Meio-Ambiente/Recupera%C3%A7%C3%A3o-de-calor-de-gases-de-regeneradores-de-ar>> Acesso em 28 mai 2017.


ANEXOS

Anexo 1: Ordem preventiva de lubrificação

ORDEM DE MANUTENÇÃO				
		Ordem Preventiva Preventiva Mecânica Lubrificação	Ordem Núm: 720022 Tipo: PREV	
Responsável: Metalurgia	Descrição: Preventiva Mecânica Rede de Ar Frio			
Emissão: 10/11/2017	Criticidade: Elevada			
Núm Plano: 4321	Loc. Inst.: Sala dos Moto-sopradores			
Início Prev. 11/11/2017	TAG Equipamento: MOTO-AF			
Fim Prev. 11/11/2017	Solicitante: Planejamento da Manutenção			
Operações				
OP	Descrição	Nº Pessoas:	H/h	Observações
01	PL MOTO-SOPRADORES 1 @ 5	1	1,5	
10	Efetuar Bloqueio no Local	-		
20	Efetuar Limpeza dos Mancais	-		
30	Lubrificar Mancais e Acoplamentos	-		
40	Efetuar Limpeza após as Atividades	-		
50	Retirar Bloqueio no Local	-		
60		-		
70		-		
80		-		
90		-		
100		-		
110		-		
120		-		
130		-		
140		-		
150		-		
160		-		
170		-		
180		-		
190		-		
200		-		
210		-		
220		-		
CAMPO DE CONFIRMAÇÃO				
OBS: Gentileza preencher as assinaturas juntamente a matrícula				
_____		_____		
Executante		Gestor da Área		
_____		_____		
Data de Execução		Data de Confirmação		


Fonte: Os autores, 2017.

Anexo 2: Ordem preventiva de inspeção – Modelo atual

 ORDEM DE MANUTENÇÃO				
Ordem Preventiva Inspeção Mecânica		Ordem Núm: 654321 Tipo: INSP		
Responsável: Metalurgia Emissão: 10/11/2016 Núm Plano: 1234 Início Prev: 11/11/2016 Fim Prev: 11/11/2016		Descrição: Inspeção Mecânica Rede de Ar Frio Criticidade: Elevada Loc. Inst.: Sala dos Moto-sopradores TAG Equipamento: MOTO-AF Solicitante: Planejamento da Manutenção		
Operações				
OP	Descrição	Nº Pessoas:	H/h	Observações
01	Inspeção Mecânica Moto-Sopradores	1	0,5	
10	INSP - FILTRO DE AR	-		
20	INSP - DUTO EXTERNO	-		
30	INSP - COIFA DO FILTRO	-		
40	INSP - DUTOS INTERNOS	-		
50	INSP - VALV ADMISSÃO	-		
60	Estanqueidade	-		
70	Fixação	-		
80	Vedação	-		
90	Acionamento	-		
100	INSP - VALV BORB FLUXO	-		
110	Estanqueidade	-		
120	Fixação	-		
130	Vedação	-		
140	Acionamento	-		
150	INSP - MOTO-SOPRADORES 1 @ 5	-		
160	Acoplamento	-		
170	Mancal	-		
180	Flange	-		
190	Verificação da Voluta	-		
200	Estanqueidade	-		
210	Eixo - Lub	-		
220				
CAMPO DE CONFIRMAÇÃO				
OBS: Gentileza preencher as assinaturas juntamente a matrícula				
<hr/> Executante		<hr/> Gestor da Área		
<hr/> Data de Execução		<hr/> Data de Confirmação		

Fonte: Os autores, 2017.

Anexo 3: Ordem preventiva de inspeção – Novo modelo

ORDEM DE MANUTENÇÃO				
		Ordem Preventiva Inspeção Mecânica	Ordem Núm: 123456 Tipo: INSP	
Responsável: Metalurgia	Descrição: Inspeção Mecânica Rede de Ar Frio			
Emissão: 10/11/2017	Criticidade: Elevada			
Nome Plano: INSP-2017	Loc. Inst.: Sala dos Moto-sopradores			
Início Prev. 11/11/2017	TAG Equipamento: MOTO-AF			
Fim Prev. 11/11/2017	Solicitante: Planejamento da Manutenção			
Operações				
OP	Descrição	Nº Pessoas:	H/h	Observações
01	Inspeção Mecânica Moto-Sopradores	1	1	
10	INSP - FILTRO DE AR	-		
20	INSP - DUTO EXTERNO	-		
30	INSP - COIFA DO FILTRO	-		
40	INSP - DUTOS INTERNOS	-		
50	INSP - VALV ADMISSÃO	-		
60	Estanqueidade	-		
70	Fixação	-		
80	Vedação	-		
90	Acionamento	-		
100	INSP - VALV BORB FLUXO	-		
110	Estanqueidade	-		
120	Fixação	-		
130	Vedação	-		
140	Acionamento	-		
150	INSP - MOTO-SOPRADORES 1 @ 5	-		
160	Fotos Termográfica	-		
170	Particulados no Rotor	-		
180	Ver. Estrutura	-		
190	Acoplamento	-		
200	Mancal	-		
210	Flange	-		
220	Verificação da Voluta	-		
230	Estanqueidade	-		
240	Eixo - Lub	-		
250				
CAMPO DE CONFIRMAÇÃO				
OBS: Gentileza preencher as assinaturas juntamente a matrícula				
_____		_____		
Executante		Gestor da Área		
_____		_____		
Data de Execução		Data de Confirmação		

Fonte: Os autores, 2017.

Anexo 4: Planilha de custos - completa

Período (2 meses)	ATUAL				NOVO MODELO			
	Custo com Planos de Manutenção	Custo Manutenção Corretiva	Total Custo	Custo com Planos de Manutenção	Custo Manutenção Corretiva	Total Custo	RETORNO	
1º Ano	R\$ 1.686,79	R\$ 8.240,00	R\$ 9.926,79	R\$ 2.336,79	R\$ 39.180,00	R\$ 41.516,79	R\$ -31.590,00	
	R\$ 1.686,79	R\$ 26.380,00	R\$ 28.066,79	R\$ 2.336,79	R\$ 8.240,00	R\$ 10.576,79	R\$ 17.490,00	
	R\$ 1.686,79	R\$ 8.715,00	R\$ 10.401,79	R\$ 2.336,79	-	R\$ 2.336,79	R\$ 8.065,00	
	R\$ 1.686,79	R\$ 26.380,00	R\$ 28.066,79	R\$ 2.336,79	-	R\$ 2.336,79	R\$ 25.730,00	
2º Ano	R\$ 1.686,79	R\$ 8.240,00	R\$ 9.926,79	R\$ 2.336,79	-	R\$ 2.336,79	R\$ 7.590,00	
	R\$ 1.686,79	R\$ 26.380,00	R\$ 28.066,79	R\$ 2.336,79	R\$ 8.715,00	R\$ 11.051,79	R\$ 17.015,00	
	R\$ 1.792,89	R\$ 9.263,17	R\$ 11.056,06	R\$ 2.483,77	R\$ 41.644,42	R\$ 44.128,20	R\$ 33.072,13	
	R\$ 1.792,89	R\$ 28.039,30	R\$ 29.832,19	R\$ 2.483,77	R\$ 8.758,30	R\$ 11.242,07	R\$ 18.590,12	
3º Ano	R\$ 1.792,89	R\$ 8.758,30	R\$ 10.551,19	R\$ 2.483,77	-	R\$ 2.483,77	R\$ 8.067,41	
	R\$ 1.792,89	R\$ 28.039,30	R\$ 29.832,19	R\$ 2.483,77	-	R\$ 2.483,77	R\$ 27.348,42	
	R\$ 1.792,89	R\$ 8.758,30	R\$ 10.551,19	R\$ 2.483,77	-	R\$ 2.483,77	R\$ 8.067,41	
	R\$ 1.792,89	R\$ 28.039,30	R\$ 29.832,19	R\$ 2.483,77	-	R\$ 2.483,77	R\$ 27.348,42	
4º Ano	R\$ 1.905,66	R\$ 9.309,19	R\$ 11.214,85	R\$ 2.640,00	R\$ 44.263,86	R\$ 46.903,86	R\$ 35.689,00	
	R\$ 1.905,66	R\$ 29.802,97	R\$ 31.708,64	R\$ 2.640,00	R\$ 9.309,19	R\$ 11.949,20	R\$ 19.759,44	
	R\$ 1.905,66	R\$ 9.845,83	R\$ 11.751,49	R\$ 2.640,00	-	R\$ 2.640,00	R\$ 9.111,49	
	R\$ 1.905,66	R\$ 29.802,97	R\$ 31.708,64	R\$ 2.640,00	-	R\$ 2.640,00	R\$ 29.068,63	
4º Ano	R\$ 1.905,66	R\$ 9.309,19	R\$ 11.214,85	R\$ 2.640,00	-	R\$ 2.640,00	R\$ 8.574,85	
	R\$ 1.905,66	R\$ 29.802,97	R\$ 31.708,64	R\$ 2.640,00	R\$ 9.845,83	R\$ 12.485,83	R\$ 19.222,81	
	R\$ 2.025,53	R\$ 10.465,13	R\$ 12.490,66	R\$ 2.806,06	R\$ 47.048,05	R\$ 49.854,11	R\$ 37.363,45	
	R\$ 2.025,53	R\$ 31.677,58	R\$ 33.703,11	R\$ 2.806,06	R\$ 9.894,74	R\$ 12.700,80	R\$ 21.002,31	
4º Ano	R\$ 2.025,53	R\$ 9.894,74	R\$ 11.920,27	R\$ 2.806,06	-	R\$ 2.806,06	R\$ 9.114,21	
	R\$ 2.025,53	R\$ 31.677,58	R\$ 33.703,11	R\$ 2.806,06	-	R\$ 2.806,06	R\$ 30.897,05	
	R\$ 2.025,53	R\$ 9.894,74	R\$ 11.920,27	R\$ 2.806,06	-	R\$ 2.806,06	R\$ 9.114,21	
	R\$ 2.025,53	R\$ 31.677,58	R\$ 33.703,11	R\$ 2.806,06	-	R\$ 2.806,06	R\$ 30.897,05	
TOTAL	R\$ 44.465,21	R\$ 458.393,16	R\$ 502.858,37	R\$ 61.599,76	R\$ 226.899,39	R\$ 288.499,15	R\$ 214.359,22	

Fonte: Os autores, 2017.