

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

FILIFE PASCOAL CARNEIRO
GERMAN JEFFERSON SILVA PENA
RIAN RODRIGUES S. P. DOS SANTOS
WANDERSON GLAUCO ALVES JUNIOR

ANÁLISE DE UM SISTEMA DE GRANULAÇÃO DE ESCÓRIA DE ALTO FORNO

VOLTA REDONDA

2018

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

ANÁLISE DE UM SISTEMA DE GRANULAÇÃO DE ESCÓRIA DE ALTO FORNO

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

Alunos:

Filipe Pascoal Carneiro
German Jefferson Silva Pena
Rian Rodrigues S. P. dos Santos
Wanderson Glauco Alves Junior

Orientador:

Prof. DSc. Alexandre Fernandes Habibe

Co-orientador:

Prof. DSc. Alexandre Alvarenga Palmeira

VOLTA REDONDA

2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

Filipe Pascoal Carneiro

German Jefferson Silva Pena

Rian Rodrigues S. P. dos Santos

Wanderson Glauco Alves Junior

Prof. DSc. Alexandre Fernandes Habibe

Prof. DSc. Alexandre Alvarenga Palmeira

ANÁLISE DE UM SISTEMA DE GRANULAÇÃO DE ESCÓRIA DE ALTO FORNO

Banca examinadora:

Prof. DSc. Alexandre Fernandes Habibe

Prof. DSc. Alexandre Alvarenga Palmeira

Prof. Esp. Antônio de Pádua Sobreira Leal

DEDICATÓRIA

Dedicamos nosso trabalho primeiramente a Deus, pois sem ele nada seria possível. Dedicamos também aos nossos familiares e amigos que nos apoiaram e nos compreenderam em momentos difíceis e de grande luta para conclusão do curso, se fazendo presente e nos dando toda a força necessária durante toda essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer, em especial, a Deus por nos ter dado toda a força necessária para a conclusão do curso, nos fortalecendo a cada ano perante todas as dificuldades e obstáculos enfrentados.

Agradecemos também aos nossos familiares e amigos que tanto nos apoiaram e se mostraram ser fundamentais para a conclusão do curso, que, desde o início também nos deram força e motivação para chegar onde hoje chegamos.

A todos os mestres do UniFOA que foram responsáveis por nos guiar e nos orientar, desde o primeiro período até hoje, nos formando não apenas como profissionais, mas também como grandes cidadãos. Nosso sincero agradecimento a todos, muito obrigado.

EPÍGRAFE

“O insucesso é apenas uma oportunidade
para recomeçar com mais inteligência”.

Henry Ford

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. Este estudo realiza uma análise de um sistema de granulação de escória de alto forno. Esta análise mostra que podemos ter um ganho significativo em relação ao custo benefício com a produtividade. Onde foi visto a possibilidade de melhorar o sistema de filtragem e da cristalização da escória granulada. Para essa criação de uma nova forma de trabalho, aplicam-se conceitos técnicos da engenharia de processo e manutenção, sugerindo implantações de telas de filtragem, alteração da caixa de pressão, revisão dos planos de manutenção e também a aplicação da ferramenta de qualidade 5W2H. Por fim um laudo técnico financeiro que atesta as vantagens da utilização das metodologias apresentadas. 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.

ABSTRACT

With the current market, the production of pig iron from the use of blast furnace is inconsistent, requiring that the processes that support it are variable. Therefore, it is evident the ability to manifest in search of better results. This study is an analysis of a blast furnace slag granulation system. This analysis shows that it can have a payweight in the cost with the price benefit with the productivity. Where it was possible to improve the filtration system and the crystallization of granulated slag. For the production of a new form of works, the same-the-samples, the analysis of plant and maintenance, proposed the implant of deilations of storage, modified of box of pressure, review the plans of maintenance and the application and the application of software of 5W2H. Finally, a financial report that addresses the advantages of using the methodologies. It is hoped that the results obtained, systems similar to the company may be able to perfect their processes, reduce their chances and overcome the risks to employees.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. METODOLOGIA	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Alto Forno	20
3.1.1 Cadinho	21
3.1.2 Furos de corrida	23
3.1.3 Ventaneiras	25
3.1.4 Rampa.....	27
3.1.5 Ventre	28
3.1.6 Cuba	28
3.1.7 Goela	29
3.1.8 Topo.....	30
3.2 Redução Minério de Ferro	32
3.2.1 Sinterização	34
3.2.2 Pelotização.....	35
3.2.3 Briquetagem.....	36
3.3 Regeneradores	37
3.4 Co-produtos Gerados nas Indústrias de Ferro Gusa a Carvão Vegetal	40
3.5 Formação da Escória	41
3.5.1 Processos de granular escória	42
3.5.2 Produto final e sua utilização	45
3.5.3 Vantagens da escória granulada de alto forno	46
4. ESTUDO DE CASO	47
4.1 Cenário	47
4.1.1 Torre de refrigeração	53
4.1.2 Silos de armazenamento de água	54
4.1.3 Bomba centrífuga	55
4.1.4 Tubulações e conexões	56
4.1.5 Válvulas pneumáticas e manuais.....	57
4.1.6 Filtro cesto duplex.....	58
4.1.7 Caixa de pressão	59
4.1.8 Tanque de resfriamento	60

4.1.9	Canaleta e caixa receptora	61
4.1.10	Tanque de captação	62
4.1.11	Baia de armazenamento.....	63
4.1.12	Braço giratório com talha elétrica.....	64
4.2	Problemas Gerados	66
4.3	Resolução Proposta.....	67
4.3.1	Planos de manutenção	73
4.4	Aplicação da Ferramenta 5W2H.....	74
5.	ANÁLISE TÉCNICA E FINANCEIRA.....	75
6.	CONCLUSÃO	80
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
8.	ANEXOS	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma metodologia aplicada	16
Figura 2: Alto forno – Modelo antigo	19
Figura 3: Estrutura do alto forno e principais dispositivos de funcionamento	21
Figura 4: Esquema do furo de corrida alto forno	24
Figura 5: Esquema de ventaneiras alto forno.....	26
Figura 6: Esquema da rampa de alto forno	27
Figura 7: Esquema da cuba de alto forno	28
Figura 8: Esquema da goela do alto forno	30
Figura 9: Esquema do topo do alto forno	31
Figura 10: Esquema de funcionamento de regeneradores de alto forno.....	38
Figura 11: Regeneradores de alto forno.....	39
Figura 12: Retirada do gusa, escória e dos gases	41
Figura 13: Descarte da escória	42
Figura 14: Escória líquida em contato com a água	43
Figura 15: <i>Layout</i> do circuito (vista superior).....	44
Figura 16: Armazenamento da escória para vendas.....	45
Figura 17: Silos de armazenamento de água.....	47
Figura 18: Escória líquida em contato com a água	48
Figura 19: <i>Layout</i> da escória saindo do canal de corrida até o tanque de resfriamento	49
Figura 20: Tanque de captação.....	49
Figura 21: Fluxograma de processo.....	50
Figura 22: Especificação da torre de refrigeração.....	53
Figura 23: Silos de armazenamento de água.....	54
Figura 24: Especificação das bombas.....	55
Figura 25: Especificações das tubulações e conexões	56
Figura 26: Especificação das válvulas	57
Figura 27: Especificação do filtro cesto.....	58
Figura 28: Especificação da caixa de pressão	59
Figura 29: Tanque de resfriamento	60
Figura 30: Canaleta e caixa receptora	61
Figura 31: Tanque de captação.....	62
Figura 32: Baía de armazenamento de escória.....	63

Figura 33: Especificação braço giratório	64
Figura 34: Esquema de organização de tarefas.....	65
Figura 35: Problemas, causas e efeitos	67
Figura 36: Falta de tela de filtragem saída tanque de resfriamento	68
Figura 37: Telas de filtragem existentes montada na canaleta	68
Figura 38: Tela de filtragem.....	69
Figura 39: Canaleta de escoamento	70
Figura 40: Tanque de captação com detalhe de posição das grades filtrantes.....	70
Figura 41: Elemento filtrante tipo cesto	71
Figura 42: Bico de jateamento.....	72
Figura 43: Caixa de pressão proposta	73
Figura 44: Gráfico de custos de manutenção modelo atual	76
Figura 45: Gráfico de custos de manutenção modelo proposto.....	77
Figura 46: Comparativo dos custos de manutenção	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Teor dos elementos constituintes do pó e lama do AF	40
Tabela 2: Composição do gás de AF	40
Tabela 3: Anomalias ambientais e operacionais	51
Tabela 4: Equipamentos.....	51
Tabela 5: Divisão de funções.....	65
Tabela 6: Aplicação ferramenta 5W2H.....	75
Tabela 7: Custos e retorno	79

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASME	American Society of Mechanical Engineers
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
AF	Alto Forno
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Planilha de custos - completa.....	84
---	----

1. INTRODUÇÃO

De acordo com McGannon (1971), 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 na 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.

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 granulação de escória de um alto forno em uma empresa fictícia que chamaremos de “a empresa”, pois a mesma é impactada negativamente pelas falhas de manutenção e projeto, 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 ocorrente no sistema de filtragem da água utilizada no sistema e melhorar a condição atual de má cristalização da escória. Pois devido as falhas no sistema de filtragem da água, isso acarreta vários problemas, desde o excesso de escória no tanque de captação, cavitação das bombas elevatórias devido entupimento das válvulas de pé e até a grande quantidade de escória enviada para as torres de refrigeração. Também temos outro problema gerado devido à má cristalização da escória, esse problema é oriundo devido o mau direcionamento do jato de água na escória líquida. Essa situação impacta diretamente no produto final.

E em seguida propor ações corretivas para os problemas encontrados, utilizando ferramentas 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 adotarem-se as medidas propostas.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada parte do princípio de uma empresa e segue o fluxograma a seguir:

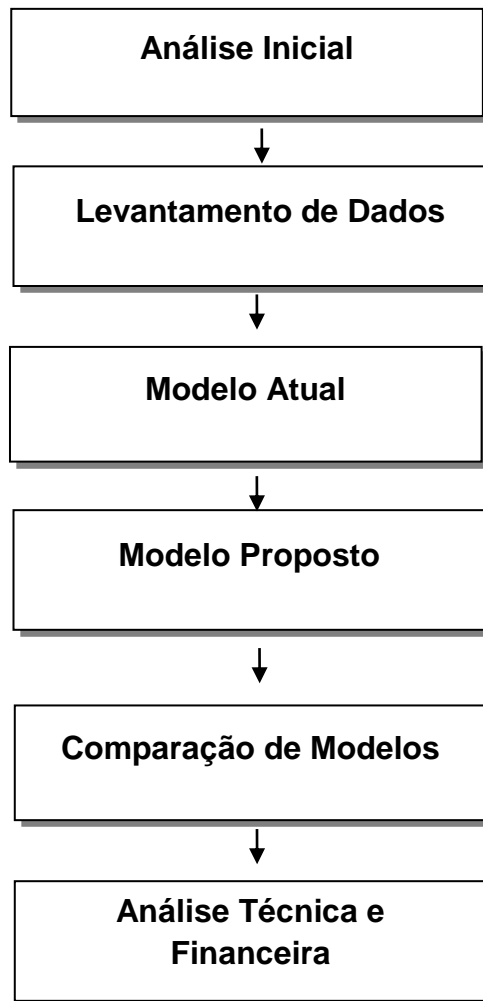


Figura 1 - Fluxograma metodologia aplicada.

Fonte: Os autores, 2018

As etapas apresentadas na figura 1 serão detalhadas a seguir:

- **Análise Inicial**

As análises empregadas neste trabalho foram levantadas no mês de fevereiro com término em novembro de 2018 em uma indústria siderúrgica, que por motivos profissionais não permitiu a citação de sua razão social, sendo assim para fins

teóricos chamaremos de “a empresa”, que está atualmente localizada na cidade de Barra Mansa, interior do estado do Rio de Janeiro, e seu produto final consiste em tubos feitos de ferro fundido centrifugados. A empresa é contemplada por várias máquinas e equipamentos que suprem a necessidade de produção.

- **Levantamento de Dados**

Serão levantados através de estudos acadêmicos e recolhimento de informações todos os dados necessários de projeto e de processo, para a obtenção de informações confiáveis sobre o sistema.

- **Modelo Atual**

Será revelado o atual modelo utilizado pela “a empresa”, apontando assim as propriedades de seu funcionamento e revelando os pontos que devem ser retrabalhados para melhor rendimento do sistema.

- **Modelo Proposto**

O capítulo quatro irá demonstrar um modelo de funcionamento alternativo para que o sistema de granulação de escória da “empresa” passe a trabalhar de uma forma mais eficiente, extraíndo da melhor forma a confiabilidade de suas máquinas e periféricos

- **Comparação de Modelos**

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 dois anos de uso do sistema.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

“De acordo com Mahan e Myers (2002), desde a antiguidade, o ferro é uma das matérias primas mais empregadas pelo homem até a modernidade, 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”.

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. “Já dizia Arrivabene (2003), que 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, elevando a produção de uma forma jamais vista antes, atingindo uma capacidade de produção diária de 1500 quilogramas de ferro”.

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. “Almeida, Luz e Sampaio (2010), disseram que por consequência 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”, como pode ser visto na figura 2 apresentada abaixo.

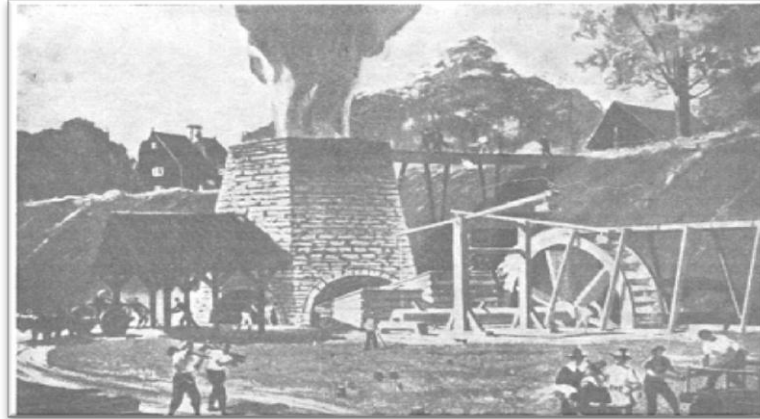


Figura 2: Alto forno – Modelo antigo.

Fonte: Marafigo; Rosa, 2010

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, já dizia Pinho (2001), 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”.

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. “Pinho (2001), disse então que a

partir do início do século XX os investimentos destinados aos setores tecnológicos cresceram, em busca de uma diminuição dos impactos resultantes da produção”.

“De acordo com Almeida, Luz e Sampaio (2010) o minério de ferro se tornou um dos pilares para a evolução humana, culminando no que se tem atualmente de mais tecnológico”. “Conforme Pinho (2001), tal desenvolvimento foi apenas viabilizado devido a esta matéria prima inicial”.

“Pinho (2001),disse que 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”.

3.1 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. “A proposta do Mothé (2008), é a redução dos minérios de ferro em sua forma rudimentar modificando assim sua composição química e sua forma física”. “De acordo com Mourão (2007), os minérios extraídos são em sua grande maioria hematita (Fe_2O_3) e magnetita (Fe_3O_4), assim permitindo a obtenção de ferro gusa”.

“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 conforme figura 3.

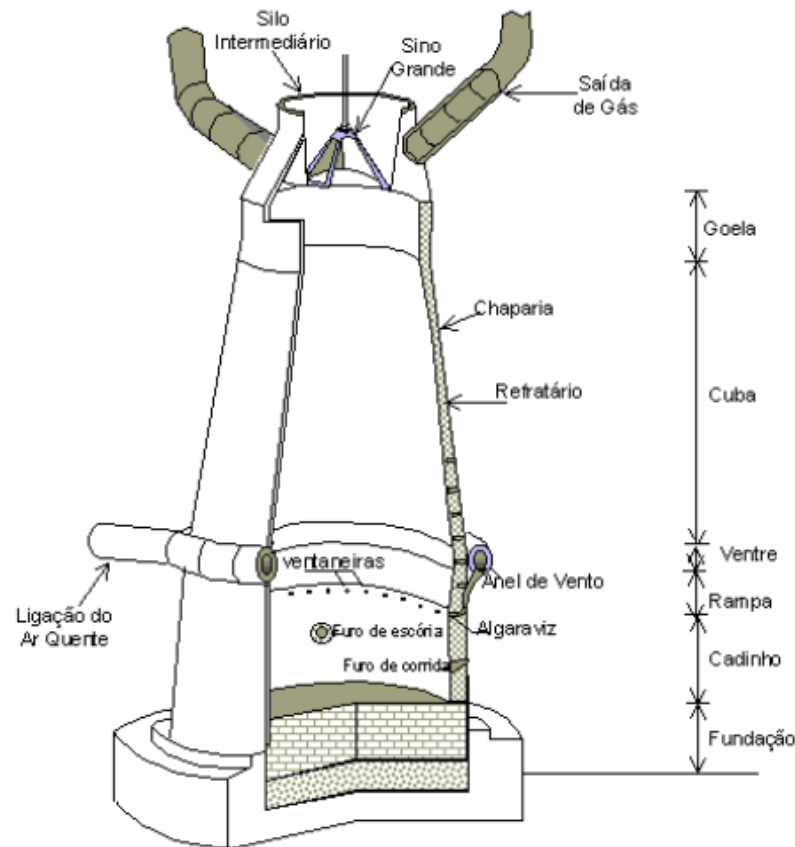


Figura 3: Estrutura do alto forno e principais dispositivos de funcionamento.

Fonte: Araújo, 2005

3.1.1 Cadinho

“Araújo (2005), diz que 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 à frente”. “Chiaverini (1996) e Rizzo (2005), diziam que 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 silício-aluminosa ou de blocos de carbono em virtude de sua considerável condutibilidade e baixo coeficiente de dilatação”.

“Segundo Araújo (2005) e Chiaverini (1996), o resfriamento pode ser realizado através de dois métodos, primeiramente com *staves*¹, que são placas de

¹ “O conceito original de resfriamento com *staves* dito por ARAÚJO (2005), 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

padrão retangular de ferro fundido acompanhadas de 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) 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”.

“McGannon (1971), disse que 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”.

convertida em vapor com absorção de calor sem haver mudança na temperatura do meio de resfriamento”.

Araujo (2005) e McGannon (1971), diziam que 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”.

“Conforme Araújo (2005) e Chiaverini (1996), 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”.

3.1.2 Furos de corrida

“De acordo com Araújo (2005) e Chiaverini (1996), por volta de 1 metro do fundo do cadinho, próximo a sua seção mais ínfima, se encontra o chamado furo de corrida do gusa. 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”, conforme pode ser visto na figura 4.

² A utilização de água é rejeitada, 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.

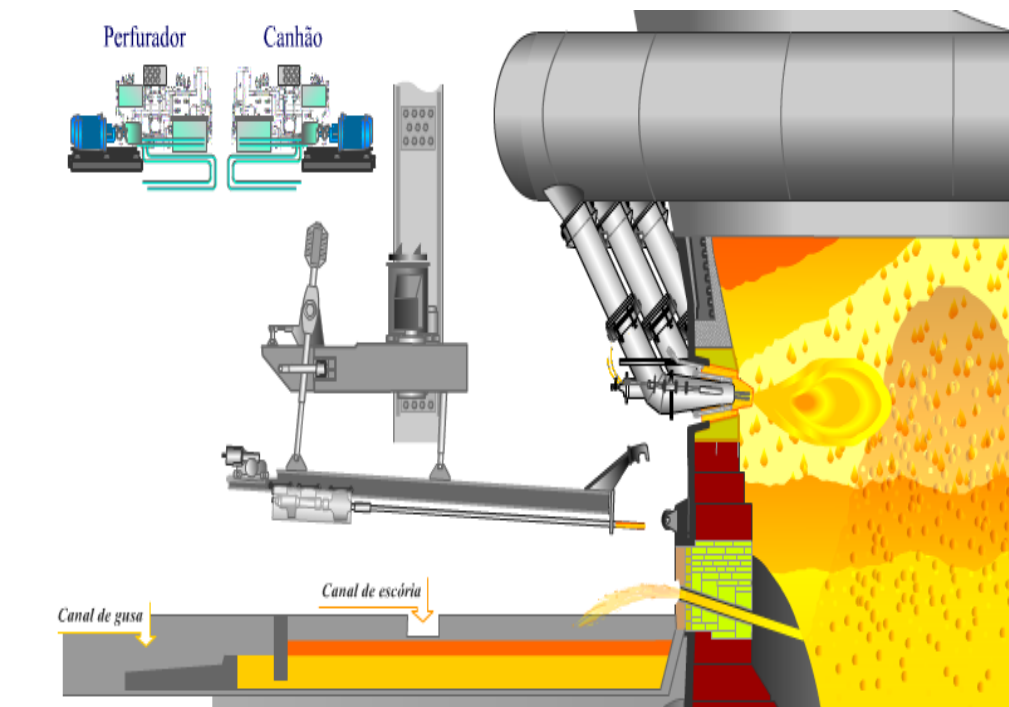


Figura 4: Esquema do furo de corrida alto forno

Fonte: Gerdau, 2017

“Já diziam Araújo (2005) e Chiaverini (1996), que 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”.

“De acordo com Araújo (2005) e 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) e Chiaverini (1996) disseram que 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”.

“Segundo (2005) e 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”.

3.1.3 Ventaneiras

“Araújo (2005), Batista (2009) e Chiaverini (1996), dizem que 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”.

“Conforme Araújo (2005) e Chiaverini (1996), as ventaneiras são acopladas ao anel de vento por meio da utilização de tubos, o mesmo é responsável pela condução e distribuição do ar previamente aquecido que será injetado 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

³ Segundo profissionais da área, os furos de corrida da escória não estão obrigatoriamente em os altos fornos, sua presença ou ausência podem variar de acordo com o projeto de cada empresa ou indústria. Para grandes altos fornos como o da CSN em Volta Redonda, o AF-3 construído com 3 furos de gusa e um furo de escória. Na primeira reforma, o furo de escória, que nunca foi usado, foi substituído por um quarto de furo de gusa.

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 devem ser dimensionados para constante inspeção ou manutenção do refratário, usualmente em pares duplos”, conforme figura 5 abaixo.

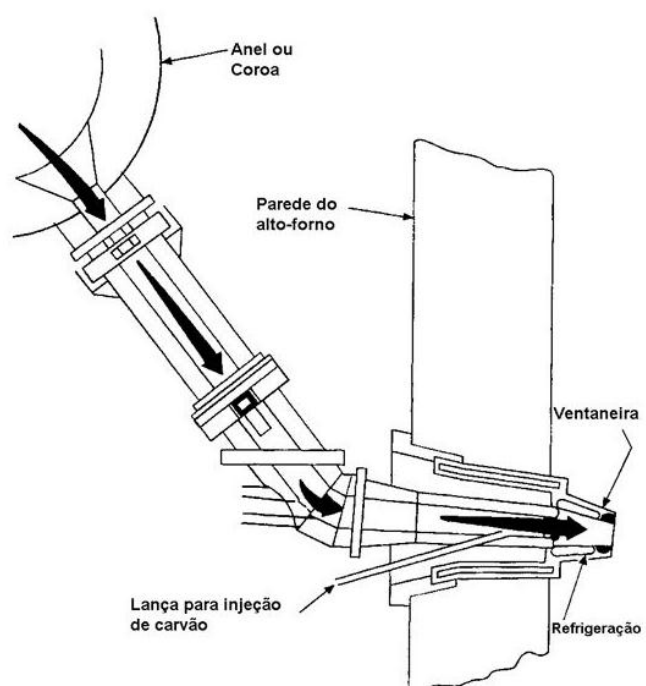


Figura 5: Esquema de ventaneira alto forno

Fonte: Lionidas, 2017

“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.

“Conforme Araújo (2005) e Chiaverini (1996), 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”.

⁴ Portinholas de acesso.

3.1.4 Rampa

De acordo com Araújo (2005) e Chiaverini (1996), a rampa é a ligação entre a cuba e o cadinho⁵, dotada de um padrão tronco cônico, aonde suavemente, seu diâmetro se torna maior ao passo que se aproxima da cuba. Possui uma inclinação de aproximadamente 76° a 82° com a horizontal. A região mais quente do alto forno é o anel de queima, fica situado um pouco acima das pontas internas das ventanearas, na base da rampa, divisa com as zonas das ventanearas, com temperaturas de 2300 a 2350 C. O resfriamento da rampa 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”, conforme figura 6 abaixo.

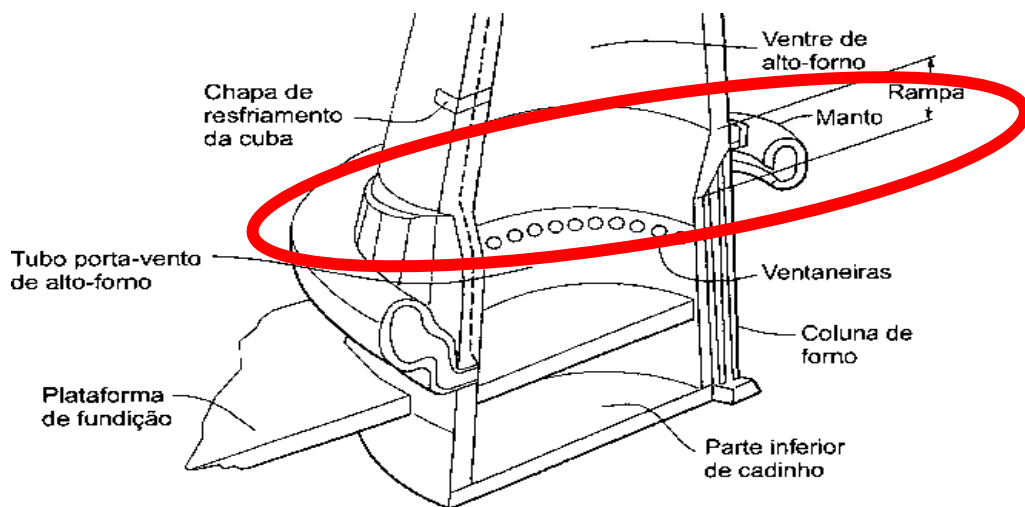


Figura 6: Esquema da rampa de alto forno

Fonte: Marafigo; Rosa, 2016

“Araújo (2005) e Chiaverini (1996), dizem que 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 são utilizados os *staves*, do tipo de circulação

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

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”.

“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.

3.1.5 Ventre

“Araújo (2005) diz que a região onde se dá a ligação entre a rampa e a cuba, em certos projetos não ocorrem a presença desta, com ligação da rampa de forma direta à cuba”.

3.1.6 Cuba

De acordo com Chiaverini (1996), a cuba, assim como a rampa, tem sua geometria de formato tronco-cônica, 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, conforme figura 7 abaixo.

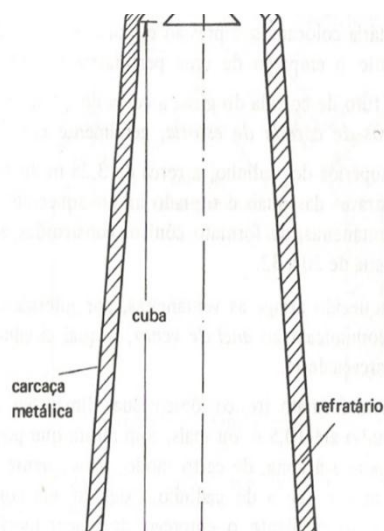


Figura 7: Esquema da cuba de alto forno

Fonte: Chiaverini, 1996

“Segundo Araújo (2005) e 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”.

“Conforme Araújo (2005) e Chiaverini (1996), um revestimento de material refratário de considerável espessidão 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) e Chiaverini (1996), diz que 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”.

“Em certos sistemas de construção, como o americano, por exemplo, Araújo (2005), diz que 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.

3.1.7 Goela

“Segundo Mourão (2007), 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”, conforme figura 8.

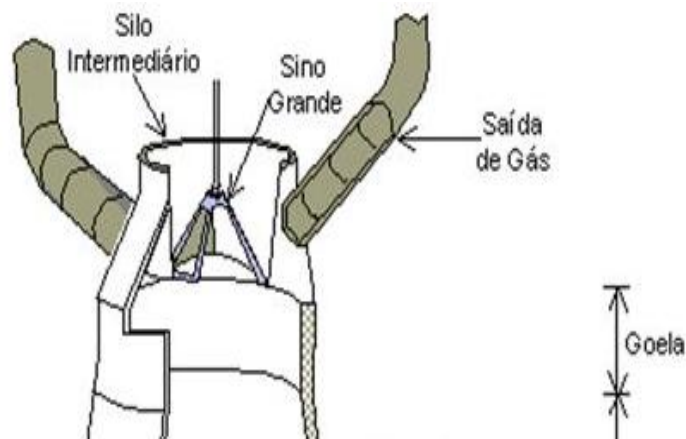


Figura 8: Esquema da goela do alto forno

Fonte: Araújo, 2005

“Araújo (2005), diz que 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.

De acordo com 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.

3.1.8 Topo

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*, conforme figura 9.

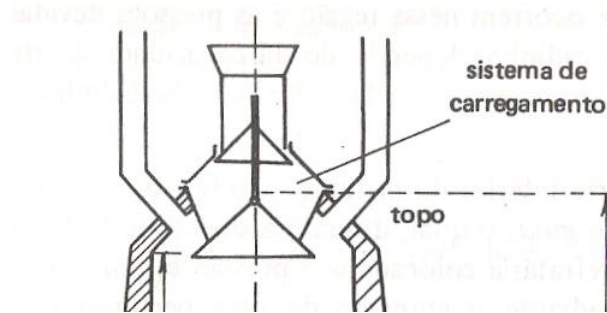


Figura 9: Esquema do topo do alto forno

Fonte: Chiaverini, 1996

Araújo (2005) e Chiaverini (1996), dizem que 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 dos *skips*, 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.

“Segundo Araújo (2005) e 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”.

3.2 Redução do Minério de Ferro

A constituição do minério de ferro coletado não se dá meramente por óxidos de ferro, além destes, 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

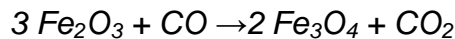
Carvalho (2013), Izidiro; Shitsuka D.; Shitsuka R. (2016) e Poso, (2015) dizem que usualmente no Brasil, os minerais férricos extraídos possuem além de uma alta concentração de ferro, uma considerável concentração de titânio e compostos de sódio e potássio. Por conta disso a utilização do minério de 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.

De acordo com Carvalho (2013), Izidiro; Shitsuka D.; Shitsuka R. (2016) e 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% dos minérios 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

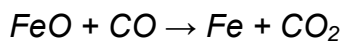
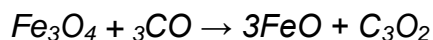
eliminação das partículas presentes de oxigênio. Este processo se dá no Alto forno. Que ao se depositar a matéria prima neste, a mesma passa a ser aquecida a altas temperaturas na faixa de até 1650 °C. Onde se dá a redução do ferro e a consequente transformação do mesmo em ferro gusa líquido, um dos três produtos da redução, que são definidos pelo já dito ferro gusa, como também a escória e os gases.

“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:

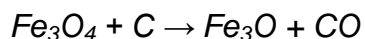
redução da Hematita:



redução da Magnetita:



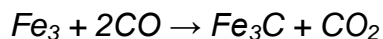
por meio da utilização de Coque:



por meio da dissociação do Carbonato de Cálcio:



Carburação:



“Segundo Araújo (2005), Carvalho (2013) e Chiaverini (1996), porém para isso é necessário que haja aglomeração, isto é, uma homogeneidade granulométrica com resistência mecânica satisfatória para que uma boa permeabilidade à 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”.

“Já diziam Araújo (2005), Carvalho (2013) e Chiaverini (1996), que na atualidade, encontram-se diversas formas de estabelecer a aglomeração dos minérios, sendo as mais usadas em larga escala de produção, a sinterização, a pelletização 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”.

3.2.1 Sinterização

“De acordo com Araújo (2005), Brito, Lourenço, Medeiros (2007) e Chiaverini (1996), 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”.

“Conforme Araújo (2005), Brito, Lourenço, Medeiros (2007) e 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”.

“Segundo Araújo (2005) e 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 sínter, que é o produto final, ainda é extremamente elevada, podendo facilmente superar 750 °C,

⁶ Usualmente coque ou antracito.

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 sínter. 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), Brito, Lourenço, Medeiros (2007) e Chiaverini (1996), dizem que 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 minérios de ferro já possuem compostos de caráter ácido 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 é bem fina, pois o CaO livre, ao ser hidratado posteriormente pode vir a desassociar do sínter. Feito isso, a matéria prima está pronta para ser carregada no alto forno”.

“Segundo Araújo (2005), Brito, Lourenço, Medeiros (2007) e 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”.

3.2.2 Pelotização

“É uma técnica ainda nova comparada as outras, já diziam Araújo (2005) e Chiaverini (1996), 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 umedecidos para serem sujeitos à queima 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 queimadas possuem uma resistência mecânica inferior à adequada.

“De acordo com Araújo (2005) e 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”.

“Segundo Araújo (2005) e Chiaverini (1996), a pelotização, 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 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”.

3.2.3 Briquetagem

“Almeida, Luz, Sampaio (2010) e Araújo (2005), dizem que 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

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

devidas. Essa compactação do material, ocasionalmente, pode viabilizar economicamente o transporte e armazenamento destes materiais, além dos benefícios tecnológicos”.

“Os briquetes são sujeitos a tratamentos de endurecimento, já dizia Almeida, Luz, Sampaio (2010) 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”.

“Segundo Almeida, Luz, Sampaio (2010) e Araújo (2005), 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”.

“De acordo com Almeida, Luz, Sampaio (2010) e 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”.

3.3 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, P. 82)”, conforme figura 10.

⁸ Câmaras regenerativas.

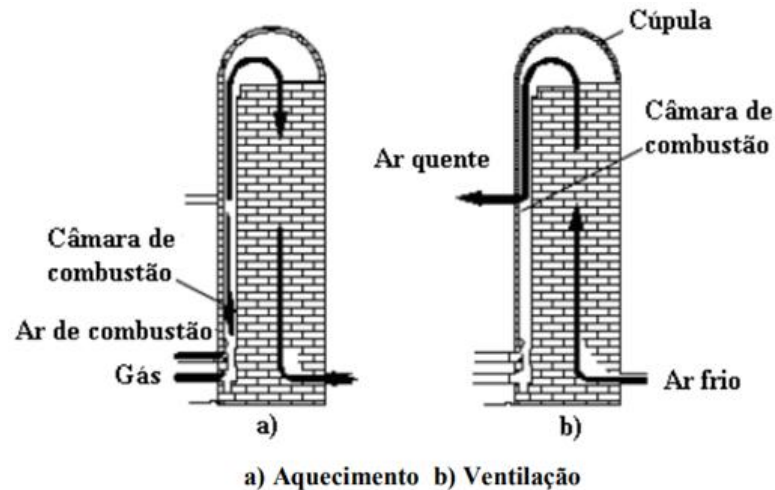


Figura 10: Esquema de funcionamento de regeneradores de alto forno

Fonte: Munaro, 2011

“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 quanto a do gás de exaustão (Munaro, 2011, P.4)”.

“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, 2013, P. 6)”.

“Segundo a Wurth (2016), 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. Altos fornos com eficácia produtiva de até 4000 toneladas diárias usualmente são alimentados por três regeneradores, conforme figura 11. 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”.



Figura 11: Regeneradores de alto forno

Fonte: Wurth, 2016

“De acordo com Dalsamo (2013) e Wurth (2016), os regeneradores 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 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”.

“Araújo (2005) já dizia que 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”.

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.

3.4 Co-produtos Gerados nas Indústrias de Ferro Gusa a Carvão Vegetal

Durante o processo de produção de ferro-gusa são geradas grandes quantidades de resíduos. Dentre eles: a escória de alto-forno, pó de balão, gás e lama de alto-forno.

A geração de pó de alto-forno (pó de balão) ocorre pelo arraste de material particulado que sai do interior do reator juntamente com o gás do alto-forno, para tubulações que os levam para o sistema de limpeza de gás. Este sistema recolhe a maior fração de particulados a seco e a úmido, gerando estes dois resíduos siderúrgicos (pó e lama de alto-forno); as frações químicas de cada um são apresentadas na tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Teor dos elementos constituintes do pó e da lama do AF.

Fonte: Souza, 2010

Mn	P	C	Fe	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
0,45	0,05	27,5	59,84	2,15	8,01	2,00

O gás de alto-forno tem em sua composição química características importantes na avaliação de aspectos operacionais no interior de aproveitamento dos gases redutores durante o processo de produção do ferro-gusa, abaixo na tabela 2 a composição do gás de AF.

Tabela 2: Composição do gás de AF

Fonte: Souza, 2010

CO	H ₂	H ₂ O	CH ₄	N ₂	CO ₂
22,15	5,46	9,88	1,02	46,73	14,76

Dentre os co-produtos apresentados serão abordadas no capítulo a seguir as escórias, tendo em vista o foco deste trabalho, será dada ênfase nas de alto-forno, destacando aspectos como: tipos, características, geração, vantagens e aplicações na construção civil.

3.5 Formação da Escória

Segundo Almeida (2014), a escória é um resíduo da indústria siderúrgica e é obtida em estado líquido nos altos-fornos durante a fabricação de ferro-gusa. A qualificação de “resíduo” que se dá à escória e a outras adições deve ser considerada circunstancial, este termo se dá a um material sem destino, mas a partir do momento em que tenha uma aplicação poderá ser qualificado como um “subproduto”.

“De acordo com Silva (2005), na eliminação das impurezas, ou “gangas”, dos metais, as escórias são materiais resultantes da adição de carvão (finos), como combustível, fundentes em geral como calcário, originando um material constituído fundamentalmente por sílico-aluminatos de cálcio e, secundariamente, por sulfetos de cálcio e manganês, além de óxidos de ferro e manganês. O uso de fundentes (CaO , MgO , CaF_2 e em alguns casos, um fundente ácido SiO_2) é possível reduzir o ponto de fusão da ganga e, assim, obter, por meio de reações químicas, a uma temperatura entre 1350°C e 1500°C , a escória líquida, facilmente separada do metal em função da sua fusibilidade, atividade química, poder de dissolução e baixa densidade”.

Em cada corrida, a escória e gusa líquidos são vazados, conforme as figuras 12 e 13 a seguir.

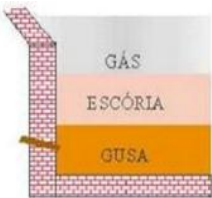
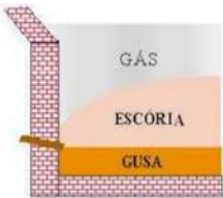

Etapas de Formação da Escória		
		
No início da corrida o nível do gusa normalmente está acima do nível do furo, conseqüentemente o gusa geralmente é o primeiro material a sair.	Quando o nível de gusa abaixa até o nível do furo, inicia-se a saída da escória. Devido a sua alta viscosidade a superfície da escória tende a abaixar na região acima do furo.	Quando a superfície da escória atinge o furo o gás começa a sair, é o final da corrida. Neste instante, devido à superfície, parte ainda fica dentro do alto forno.

Figura 12: Retirada do gusa, escória e dos gases.

Fonte: Os autores, 2018



Figura 13: Descarte da escória

Fonte: Os autores, 2018

3.5.1 Processos de granular escória

Ribeiro (2009), diz que conforme a NBR 5019/82 a escória pode ser definida da seguinte maneira “produto líquido ou pastoso produzido durante operações pirometalúrgicas, geralmente contendo sílica, que se torna sólida à temperatura ambiente”.

Todo o processo de granulação ocorre de forma automática, sendo este constituído por um circuito fechado de água de resfriamento, ou seja, a água de resfriamento sai do silo de água com pressão através de bombas ou por gravidade, é levada por tubulações ao canal de escória do alto forno, onde ocorre um caixa de jato que faz com que ganhe mais velocidade gerando atrito (choque térmico) com a escória quando ela é granulada, como pode ser visto na figura 14.

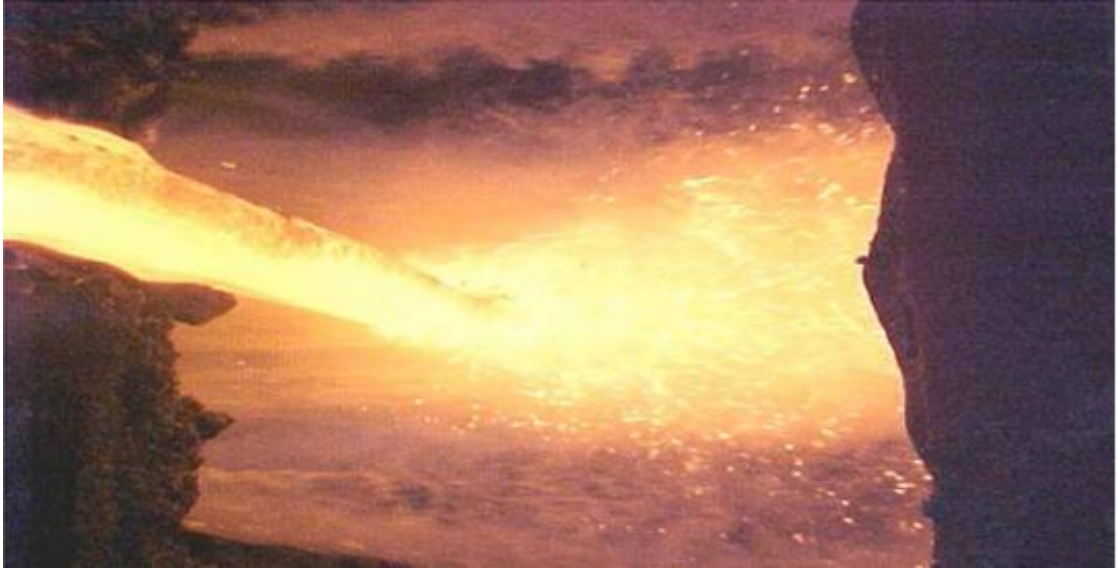


Figura 14: Escória líquida em contato com a água

Fonte: Os autores, 2018

Após a granulação a escória é depositada em um tanque de resfriamento, logo após é retirada por pás mecânicas pesadas e transportada ao pátio ou destinadas diretamente aos clientes. A água desta baia “escoa” até um tanque para um sistema de tratamento para que a mesma seja tratada. Deste tanque a água é retirada através de uma bomba e levada novamente ao silo. Ao ser retirada a água do tanque a temperatura da água é monitorada e se constatada a elevação desta temperatura um sistema de refrigeração de água nos silos é acionado durante sua deposição. Após a água ser depositada no silo, a mesma retorna ao sistema dando continuidade na granulação da escória conforme a figura 15.

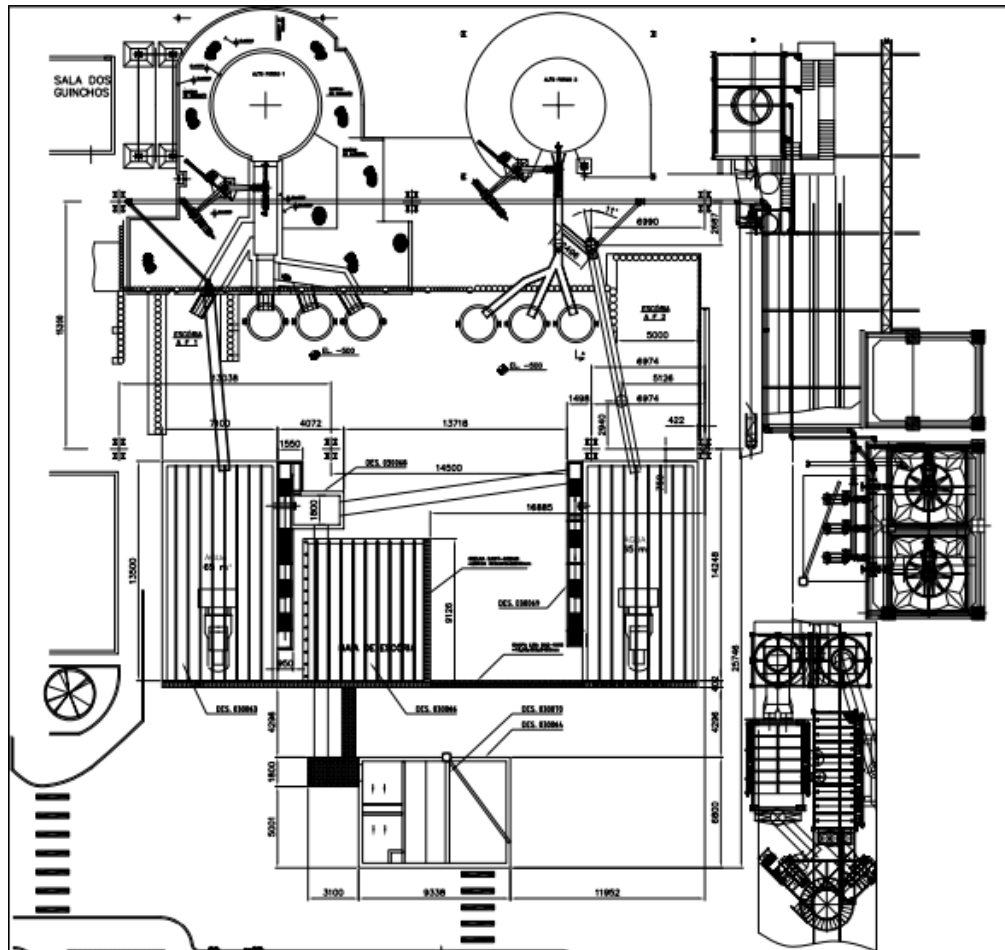


Figura 15: *Layout* do circuito (vista superior)

Fonte: Os autores, 2018

Segundo Almeida (2014), no processo a escória se solidifica tão rápido que o tempo de solidificação é insuficiente para permitir a formação de núcleos cristalinos, preservando, deste modo, a característica de hidraulicidade.

De acordo com Silva (2005), como resultado, tem-se uma escória como material granular, apresentando formato anguloso, textura superficial áspera e coloração esbranquiçada, amarelada, acinzentada ou acastanhada. A distribuição granulométrica desse material é similar à da areia natural, aproximadamente 0,2 mm de diâmetro, e densidade aparente próxima a 1,0 g/cm³. Quanto maior a rapidez que se processa o resfriamento, maior será o grau de vitrificação e maiores as potencialidades hidráulicas das escórias, inviabilizando a formação de núcleos cristalinos, mantendo, deste modo, as características hidráulicas necessárias para produzir, por ativação ou combinação com a cal liberada pela hidratação do clínquer, produtos aglomerantes similares aos gerados pelo cimento Portland, com ampla

utilização na produção de agregados graúdo e miúdo, argamassas, painéis, tijolos e blocos de vedação vertical, além de pré-fabricados e artefatos de concreto e, principalmente, como adição a cimentos e concretos. No Brasil quase a totalidade das usinas com altos-fornos tem sua produção de escória obtida por esse processo.

3.5.2 Produto final e sua utilização

Nas últimas décadas a escória do alto forno era considerada um desperdício do processo, hoje granulada tem uma opção muito atrativa, de resíduo passou a ser um subproduto muito atrativo e valioso à indústria do cimento como pode ser visto na figura 16.

“Masacuto (2005), diz que no Brasil, a fabricação de cimento com escória se iniciou no ano de 1952 pela empresa Cimento Tupi S.A, em Volta Redonda no estado do Rio de Janeiro com uma fabricação de 72 mil toneladas, escória então fornecida pela empresa CSN no ano de 1954 chegando a 50% fornecido de escória”.

“Segundo Tomaz (2012), a principal característica da escória granulada do alto forno a carvão é a sua capacidade hidráulica potencial, permitindo que, quando moída, ela endureça (propriedade cimentante), substituindo parte do clínquer Portland, na fabricação de cimentos. O maior mercado para a escória granulada de alto-forno é a construção civil. Um dos maiores ganhos significativos é a redução de emissão de CO₂ na atmosfera durante a produção do clínquer, há também uma redução na exploração das reservas naturais de calcário e argila, matérias primas do clínquer Portland”.



Figura 16: Armazenamento da escória para vendas

Fonte: Os autores, 2018

3.5.3 Vantagem da escória granulada de alto forno

A escória granulada de alto forno pode trazer as seguintes vantagens:

- Maiores resistências finais e maior durabilidade;
- Menor risco de fissuração (baixo calor de hidratação da escória granulada de alto forno);
- Melhor trabalhabilidade e plasticidade;
- Maiores resistências finais: os concretos feitos com cimentos de alto forno tendem a apresentar valores finais de resistência mais elevados, se comparado com concretos produzidos com alguns tipos de cimentos;
- Menores porosidade e permeabilidade. Isso favorece a durabilidade;
- Contribuição para prevenção de reações álcalis-agregado (ASTM C989 - 97);
- Aumento da resistência à corrosão por cloretos e sulfatos (NBR 5737).

Conforme características das escórias granuladas de alto forno, existem várias aplicações como: bases de estrada, asfalto, terraplanagem, agregado para concreto, cimento (grande utilização da escória de alto forno granulada devido a sua hidraulicidade); aplicações especiais (lastro ferroviário, material para cobertura, isolamento, vidro, filtros, condicionamento de solo e produtos de concreto). Existem empresas que utilizam a própria escória de alto forno para fabricação interna de cimento.

4. ESTUDO DE CASO

Como objeto de estudo do trabalho desenvolvido, será utilizado o sistema de granulação de escória de alto forno de uma empresa fictícia que chamaremos de “a empresa”. O sistema possui um conjunto de equipamentos e acessórios bem estruturados e em condições que permitem o seu funcionamento.

4.1 Cenário

No atual cenário da “empresa”, tem-se um sistema de circuito fechado de água, com abastecimento somente para reposição. O sistema é composto de cinco etapas de funcionamento até o encerramento do ciclo conforme abaixo.

1ª Etapa - Abastecimento e Reposição dos Silos

Nesta etapa ocorre o abastecimento dos silos de armazenamento de água (reposição automática através de válvula elétrica controlada por chave bóia), cada silo comporta uma quantia de 100m³ de água totalizando 200m³ de água armazenada para o funcionamento do sistema conforme figura 17. Com uma reposição aproximada de 14m³ de água semanalmente no sistema (informações monitoradas por dois meses com o sistema em operação).

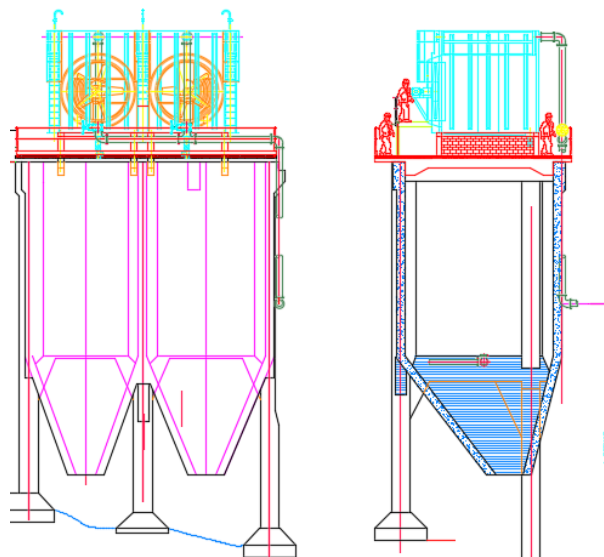


Figura 17: Silos de armazenamento de água

Fonte: Os autores, 2018

2ª Etapa – Granulação

A escória líquida é transportada através do canal de escória até o granulador (equipamento), onde a água em contato com a escória através de impacto (pressão gerada por uma bica estreita) e choque térmico (gerado através da água que estava armazenada a uma temperatura de aproximadamente 32°C), conforme figura 18. Este processo realiza a granulação de escória, que é armazenada próximo no canal de escória do alto forno.



Figura 18: Escória líquida em contato com a água

Fonte: Os autores, 2018

3ª Etapa - Separação da Água da Escória

A escória em processo de granulação é transportada através de um canal de transporte que entra em contato com uma chapa defletora para auxiliar na granulação da escória. A escória granulada é despejada em um tanque de resfriamento, onde acontece a separação da água e da escória conforme figura 19, a água é transportada dos tanques 1 e 2, onde já sofrerá uma pré filtragem através de grades de retenção que retêm as partículas maiores.

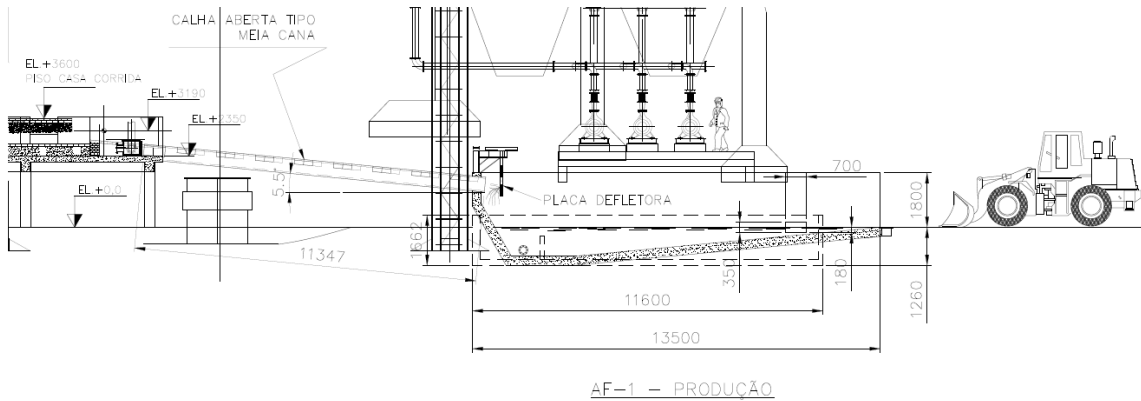


Figura 19: *Layout* da escória saindo do canal de corrida até o tanque de resfriamento
 Fonte: Os autores, 2018

4ª Etapa - Decantação dos Particulados

A água chega das duas baias por vias subterrâneas ao tanque de decantação figura 20, onde há a segregação dos particulados no fundo do tanque para posterior transporte para as torres de refrigeração que são ativadas através de um termostato que envia a informação sobre temperatura da água quando se encontra acima da sua temperatura.

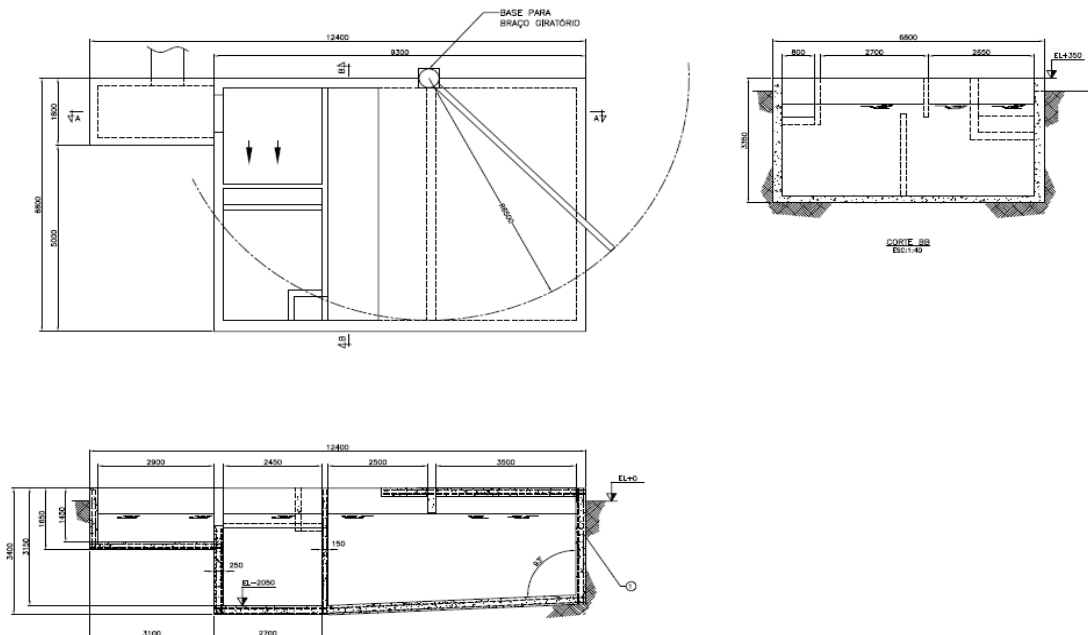


Figura 20: Tanque de captação
 Fonte: Os autores, 2018

5ª Etapa - Depósito de Água no Silo

Após chegar ao silo de armazenamento com uma temperatura entre 36°C e 41°C a água tem tempo suficiente para abaixar mais a temperatura para algo em torno de 32°C e 34°C, até iniciar novamente o ciclo para o bom funcionamento de cada etapa.

Abaixo na figura 21, está mostrado o fluxograma de processo do sistema de granulação de escória.

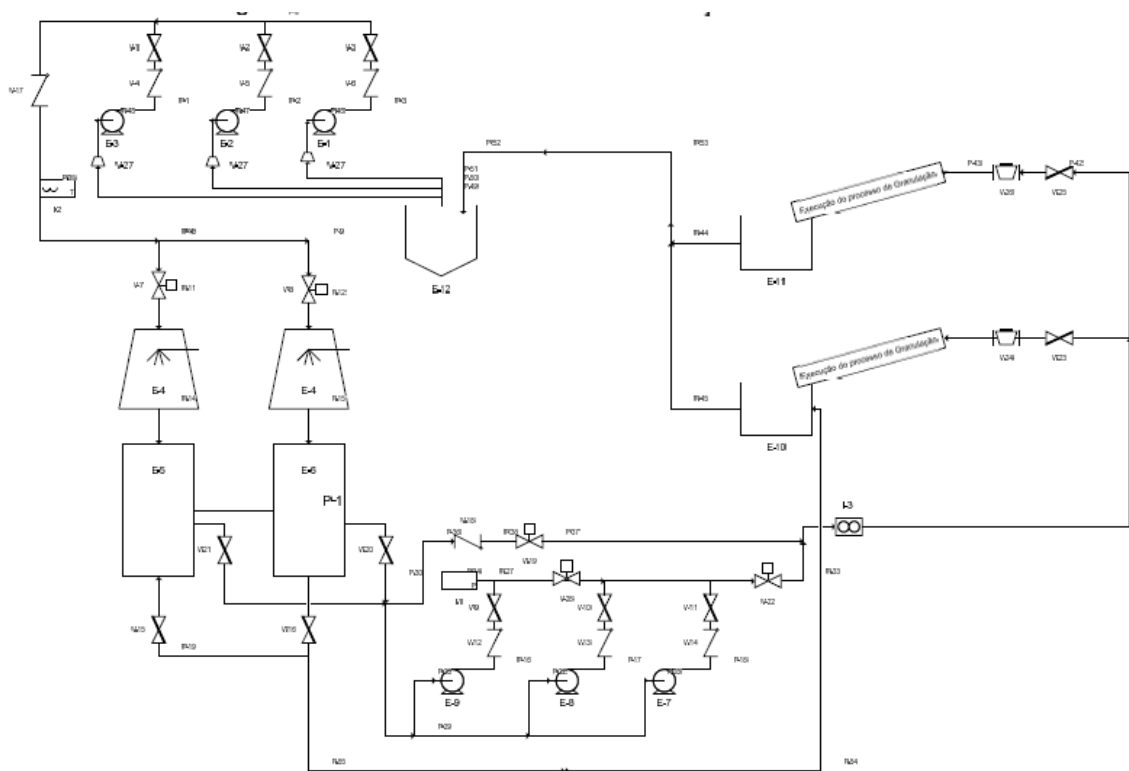


Figura 21: Fluxograma de processo

Fonte: Os autores, 2018

O sistema de granulação de escória atual da empresa, juntamente com os outros subprodutos gerados pelo alto forno geram graves impactos no custo final do produto além de prejuízos ambientais que serão listados na tabela 3. A empresa não utiliza ferramentas para o controle de custos, quebras e administração do setor de subprodutos do seu alto forno, transmitindo assim a toda fábrica prejuízos que podem ser sanados com estudos baseados nos conceitos de engenharia mecânica.

Tabela 3: Anomalias ambientais e operacionais

Fonte: Os autores, 2018

Sistema Atual de Granulação
Anomalias
Atraso na abertura do alto forno, podendo gerar desligamento do alto forno
Custo e retrabalho na limpeza na geração da escória bruta
Impacto ambiental no transbordamento de água por falhas nas bombas elevatórias
Entupimento nas válvulas de pé das bombas por excesso de particulados no tanque de decantação.
Custo elevado em intervenções mecânicas e elétricas
Custo elevado com reparos nas bombas

O conjunto de equipamentos utilizados atualmente pela empresa, que pode ser visto na tabela 4 gera um alto nível de manutenção visto que não tem uma metodologia padrão para sua utilização e nem um sistema de análise de falhas que poderiam sanar futuros problemas.

Tabela 4: Equipamentos

Fonte: Os autores, 2018

Sistema Atual de Granulação
Equipamentos
Torre de resfriamento
Silo de armazenamento de água
Bombas centrifugas
Tubulações e conexões
Válvulas pneumáticas e manuais
Filtro cesto duplex
Caixa de pressão
Tanque de resfriamento
Canaleta e caixa receptora
Tanque de captação
Baia de armazenamento de escória
Braço giratório com talha elétrica

A empresa que tem como enfoque a produção de tubos a partir de ferro fundido nodular tem sua demanda de produção inconstante o que exige que o processo se alterne de acordo com o período mercantil vivido, isto é, a produção do

alto forno irá se modificar durante o tempo, alternando conseqüentemente a geração de subprodutos como é o caso da escória.

A seguir, para um melhor entendimento de todo o sistema operacional da granulação de escória, apresenta-se os equipamentos dos principais itens citados na tabela acima.

4.1.1 Torre de Refrigeração

Responsável por refrigerar água que é bombeada pelas bombas elevatórias de água quente que chegam a 60°C através de um sistema de gotejamento e hélice de ventilação que fazem o papel de refrigerar a 30°C. A torre está mostrada na figura 22.

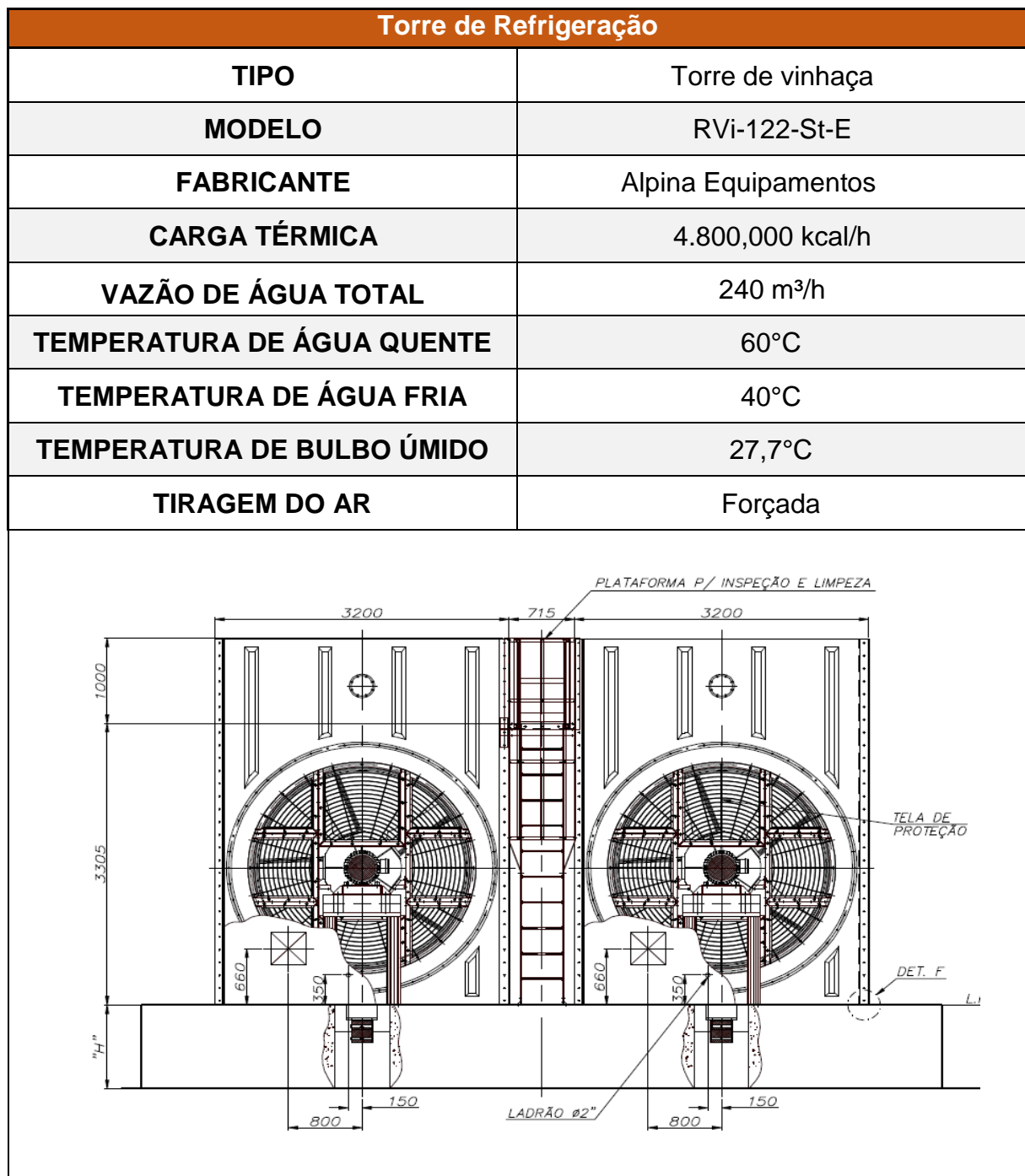


Figura 22: Especificação da torre de refrigeração

Fonte: Os autores, 2018

4.1.2 Silos de armazenamento de água

Responsáveis por armazenar a água que sai das torres de resfriamento que posteriormente será bombeada para o granulador de escória. Conforme mostrado na figura 23 a seguir.

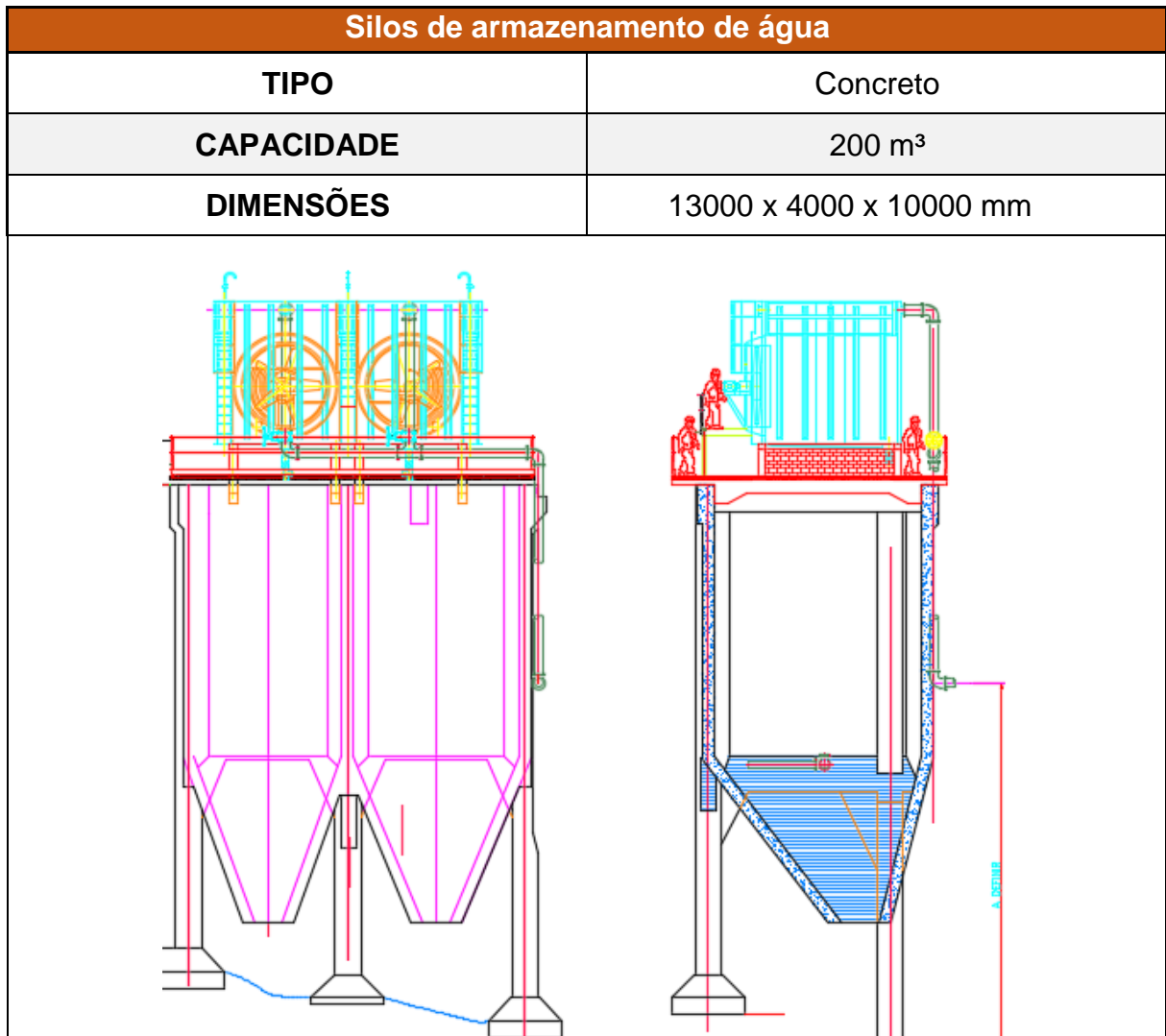


Figura 23: Silos de armazenamento de água

Fonte: Os autores, 2018

4.1.3 Bomba centrífuga

No sistema temos duas etapas onde utilizamos as bombas:

1° Etapa: onde tem três bombas de pressão que tem por finalidade transportar a água dos silos de armazenamento até o granulador.

2° Etapa: Onde tem três bombas elevatórias que tem por finalidade transportar a água do tanque de captação até as torres de resfriamento. A bomba e mostrada na figura 24 a seguir.

Bomba centrífuga	
TIPO	Horizontal de polpa
MODELO	HM150 EHC-S C5
TAMANHO	Frame 400
FABRICANTE	Metso
VAZÃO	240 m ³ /h
ALTURA CARGA TOTAL	35,2m
POTÊNCIA CONSUMIDA	44 cv
VELOCIDADE DA BOMBA	1168 rpm
DENSIDADE DA POLPA	1013 kg/m ³
DENSIDADE DO SÓLIDO	1265 kg/m ³
MOTOR	60 cv – 4p – 220V – 60 Hz – IP 66

Figura 24: Especificação das bombas.

Fonte: Os autores, 2018

4.1.4 Tubulações e conexões

Responsável pelas interligações de todos os equipamentos, desde a válvula de pé até da bomba localizada no tanque de captação até o granulador. Ver na figura 25 a seguir.

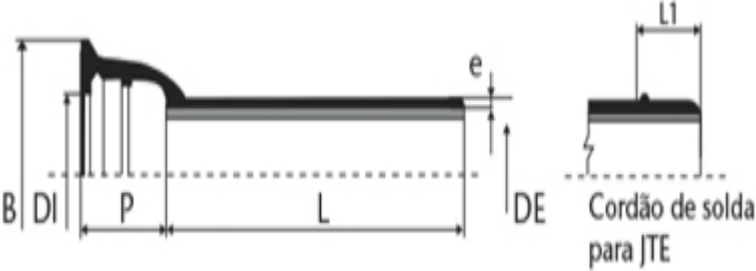
Tubulações e conexões	
MATERIAL	Tubo de ferro fundido dúctil
REVESTIMENTO	Argamassa cimento alto forno
CLASSE	K7
TIPO	Montagem ponta bolsa e flangeado
DIÂMETRO	200 mm
COMPRIMENTO	150 m
FABRICANTE	Saint-Gobain Canalização
NORMA	NBR 7675
	

Figura 25: Especificações das tubulações e conexões.

Fonte: Os autores, 2018

4.1.5 Válvulas pneumáticas e manuais

Responsável para isolar ou regular a vazão de uma rede. O elemento de vedação tem a forma de um disco móvel e borrachas fixas. Sua função no sistema consiste em manobras conforme o sistema estará operando. Ver na figura 26 a seguir.

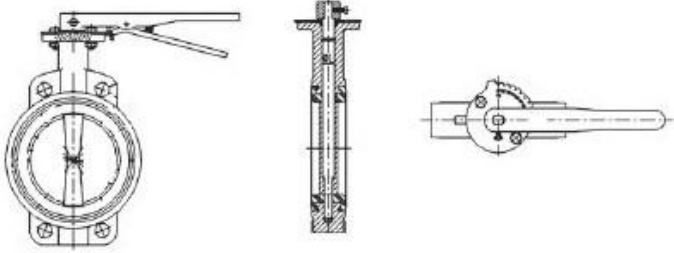
Válvulas pneumática e manuais	
TIPO	Borboleta
ACIONAMENTO	Manual / Automático
FABRICANTE	Niagara
PRESSÃO DE SERVIÇO	10,3 BAR
	

Figura 26: Especificação das válvulas.

Fonte: Os autores, 2018

4.1.6 Filtro cesto duplex

Responsável de eliminar o excesso de particulado (escória) que não foi retido nos sistemas de gradeamentos anteriores até o tanque de captação. Evitando que envie este particulado para as torres de resfriamento e silo de armazenamento. Ver na figura 27 a seguir.

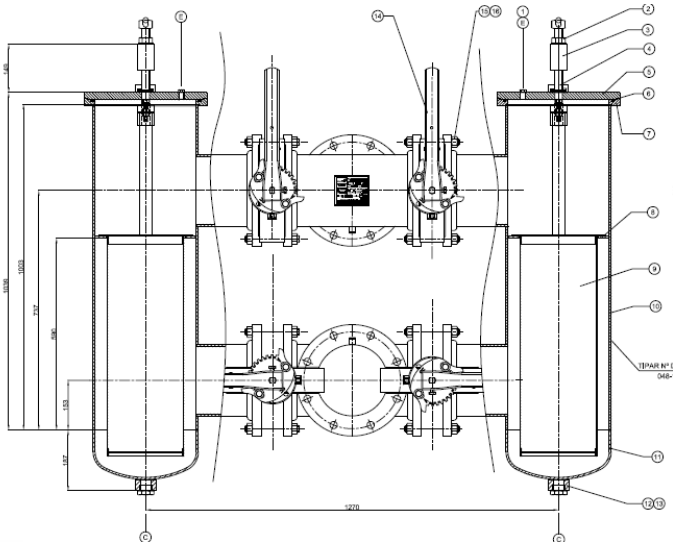
Filtro cesto duplex	
TIPO	Cesto duplex
MODELO	PFSO-AC-8-F-TP3-M35-B
FABRICANTE	Purifil Filtros
VAZÃO	240 m ³ /h
PRESSÃO DE TRABALHO	10,5 kgf/cm ²
GRAU DE RETENÇÃO	500 micra
NORMA	ASME SEÇÃO VIII DIV. 1 ED. 2007
	

Figura 27: Especificação do filtro cesto.

Fonte: Os autores, 2018

4.1.7 Caixa de pressão

Responsável por distribuir o jato de água com pressão adequada no canal de granulação de forma que a escória líquida entre em contato e tenha o melhor resultado na granulação. Ver na figura 28 a seguir.

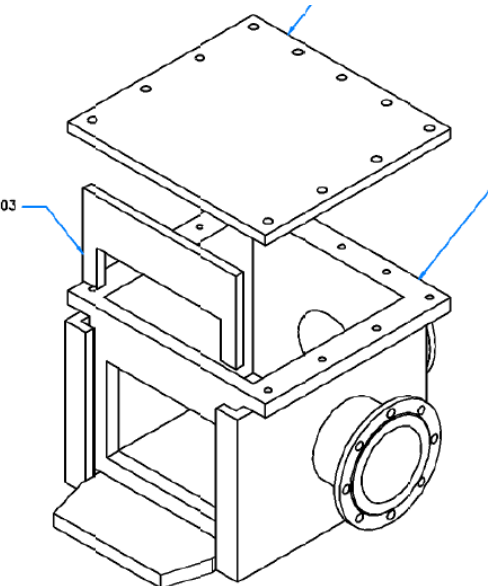
Caixa de pressão	
TIPO	Flangeado com limitador de fluxo
MATERIAL	Ferro fundido
DIMENSÕES	910 x 660 x 530 mm
	

Figura 28: Especificação da caixa de pressão

Fonte: Os autores, 2018

4.1.8 Tanque de resfriamento

Responsável por resfriar a escória recente granulada, também armazenar temporariamente a mesma e separar a água da escória. Ver na figura 29 a seguir.

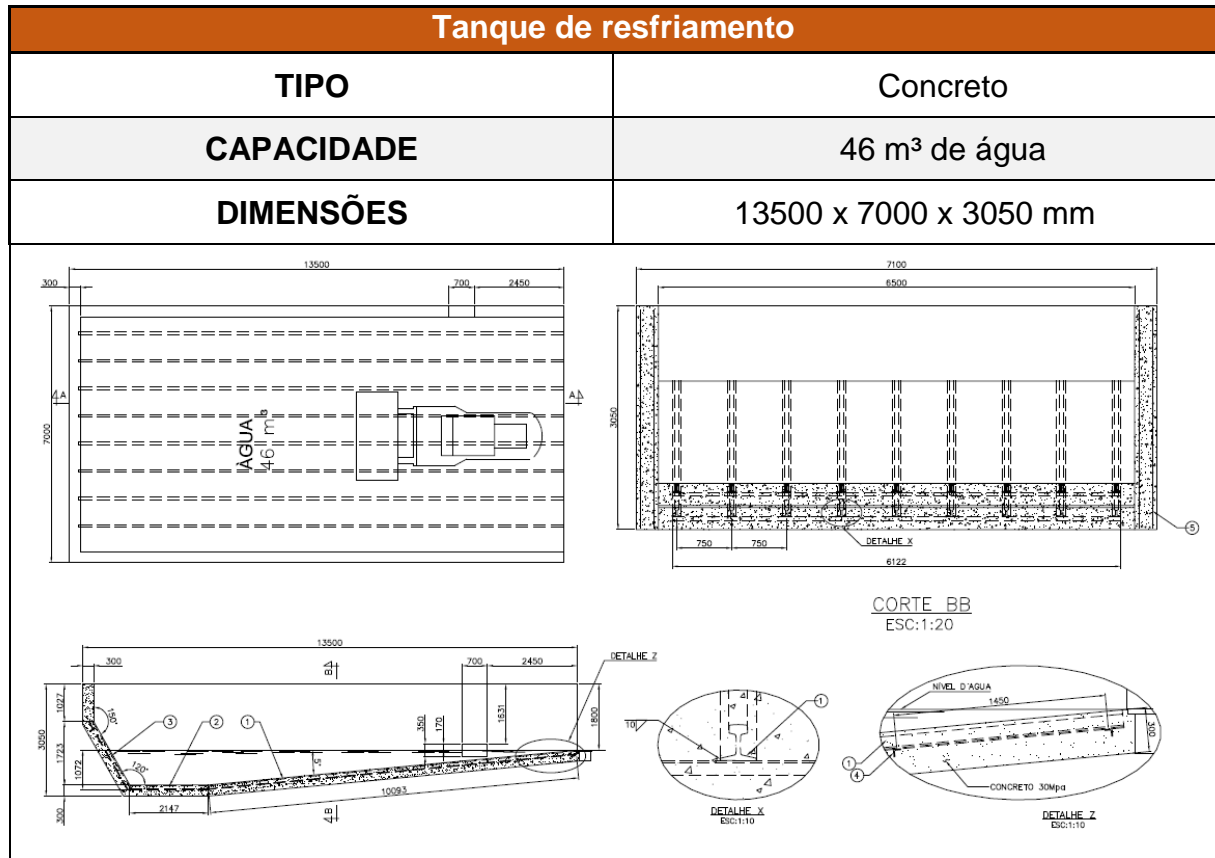


Figura 29: Tanque de resfriamento

Fonte: Os autores, 2018

4.1.9 Canaleta e caixa receptora

Responsável pelo transporte da água do tanque de resfriamento até o tanque de captação. Onde são despostas de telas de filtragem em locais estratégicos com finalidade de retirar a escória granulada que por ventura se exceda do tanque de resfriamento. Ver na figura 30 a seguir.

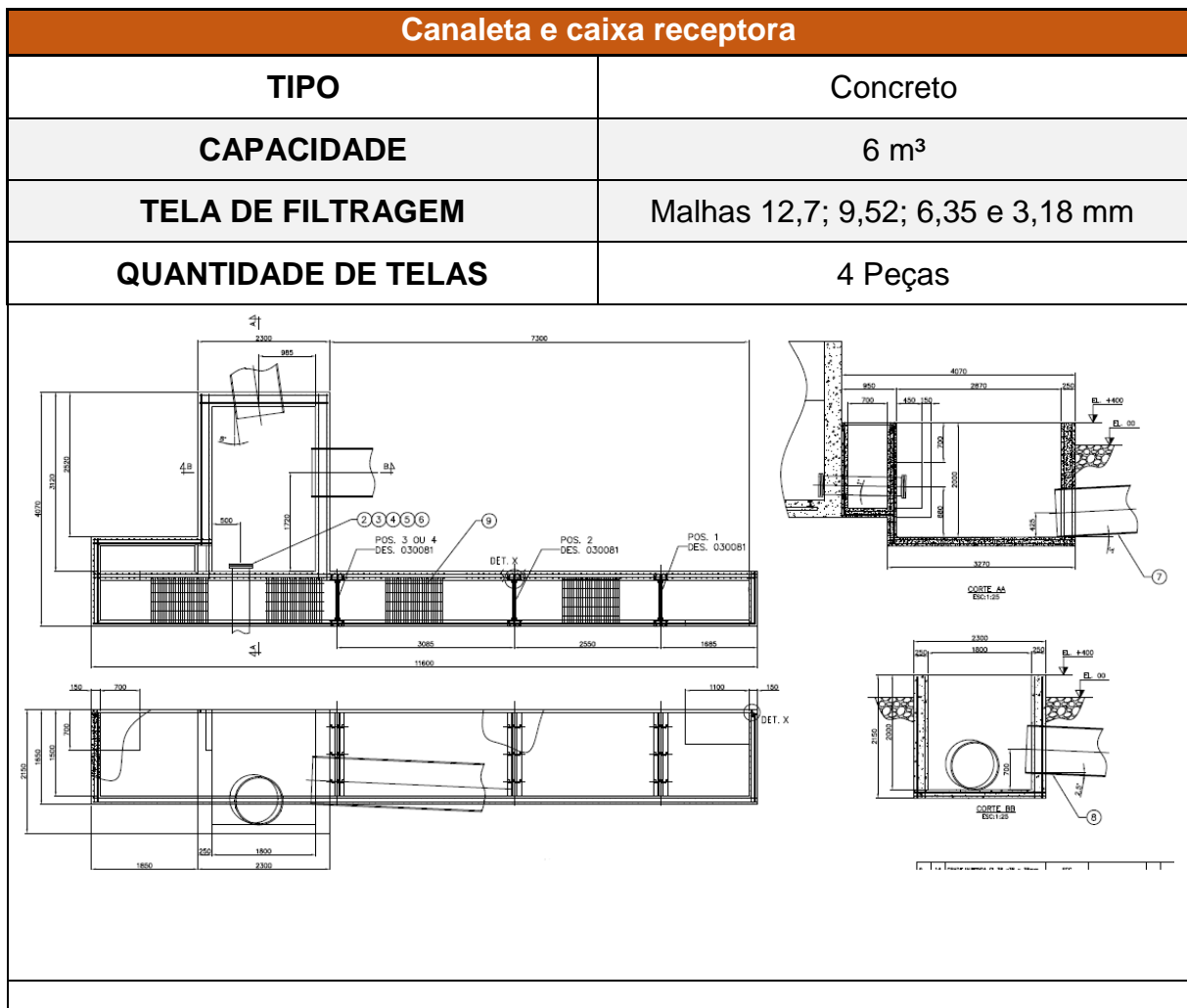


Figura 30: Canaleta e caixa receptora

Fonte: Os autores, 2018

4.1.10 Tanque de captação

Responsável por armazenar a água que vem do tanque de resfriamento e posteriormente através das bombas elevatórias bombear para as torres de refrigeração. Ver na figura 31 a seguir.

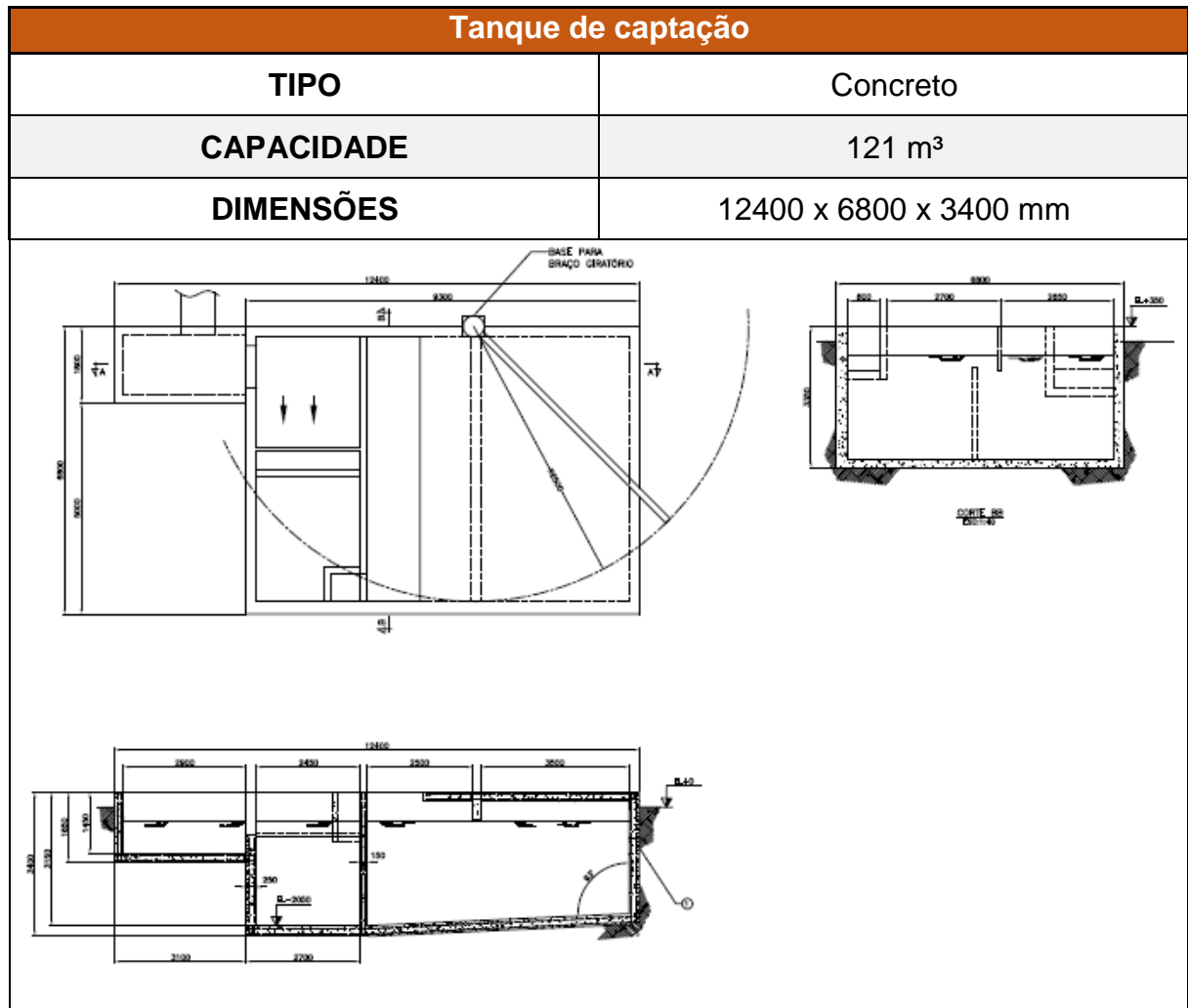


Figura 31: Tanque de captação

Fonte: Os autores, 2018

4.1.11 Baia de armazenamento

Responsável por armazenar a escória retirada do tanque de resfriamento, retirando o excesso de água até ser transportada ao destino final (venda ou local apropriado para armazenagem). Ver na figura 32 a seguir.

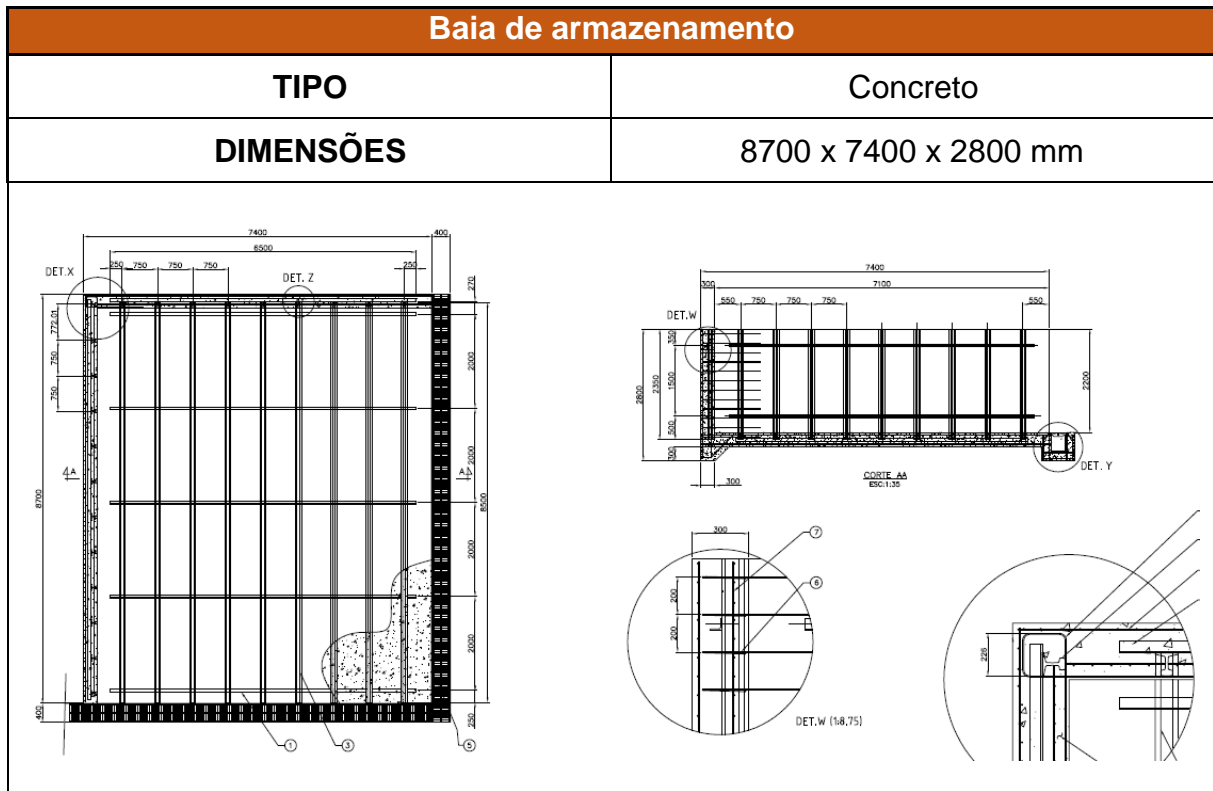


Figura 32: Baia de armazenamento de escória

Fonte: Os autores, 2018

4.1.12 Braço Giratório com talha elétrica

Responsável por auxiliar nas manutenções no local do tanque de captação e no local das bombas de pressão. Disposto nestes locais, pois tem a limitação de equipamentos de movimentação de carga devido ao acesso. Estes equipamentos têm por sua finalidade auxiliar nas atividades de limpeza do tanque e manutenções nas bombas. Ver na figura 33 a seguir.

Braço giratório	
TIPO	Giratório de coluna – Com Talha
CAPACIDADE DE CARGA	2000 kg
CURSO DE ELEVAÇÃO	4500 mm à 9000 mm
CURSO DE TRANSLAÇÃO	5000 mm
ÂNGULO DE GIRO	270° Limitado
FABRICANTE	Alphatec

Figura 33: Especificação braço giratório.

Fonte: Os autores, 2018

Para que todos esses conjuntos de equipamentos operem de forma harmoniosa e com um alto rendimento, tem-se uma equipe de colaboradores que se dividem de acordo com a tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Divisão de funções

Fonte: Os autores, 2018

Colaboradores X Quantidades	
Operadores	3
Técnicos inspetores	2
Mecânicos	2
Eletricista	2

As funções observadas anteriormente seguem o padrão visto no esquema da figura 34, abaixo.

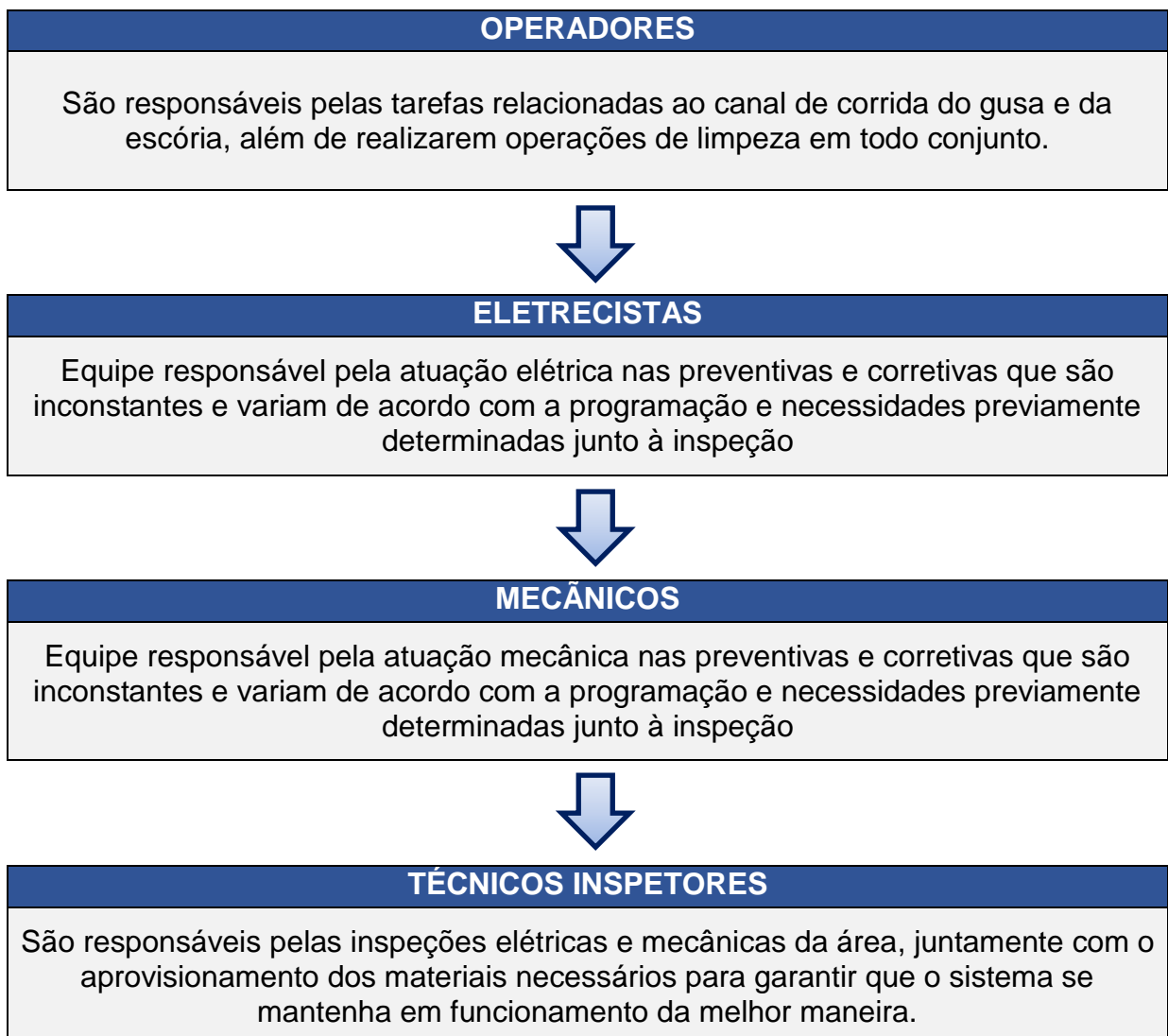





Figura 34: Esquema de organização de tarefas

Fonte: Os autores, 2018

4.2 Problemas Gerados

Com o atual funcionamento do sistema instalado na empresa, é possível notar a existência de determinados problemas que geram falhas no sistema, isto é, há probabilidade de perdas no rendimento, podendo gerar paradas de produção e acidentes ambientais. Os levantamentos expõem de maneira objetiva a relação de problemas com suas características, conforme figura 35, abaixo.

Problemas	Possíveis Causas	Efeito	Ilustração
Baixa eficiência e parada das bombas	Falha sistema filtragem	Impacto na produtividade	
Cristalização da escória	Falha no processo de resfriamento	Perda de escória que poderia ser vendida, impacto negativo no custo	
Transbordamento no tanque de captação	Falha sistema de filtragem / falta de limpeza dos tanques	Impacto ambiental e transtorno operacional	


Granulometria inadequada na formação	Falta de dimensionamento correto do jateamento de água	Má qualidade da escória	
--------------------------------------	--	-------------------------	--

Figura 35: Problemas, causas e efeitos

Fonte: Os autores, 2018

4.3 Resolução Proposta

Para que o sistema atual de granulação de escória da “empresa” estudada nesse trabalho passe a operar de uma forma a garantir uma melhor eficiência e conseqüentemente um menor custo, serão apresentados a seguir modelamentos baseados nos conceitos de engenharia mecânica para minimizar ou dirimir os problemas listados na figura 35.

A ideia inicial tem como objetivo a melhoria no sistema de filtragem através de medidas técnicas e operacionais. Foi observado que no projeto inicial o sistema de canaletas de escoamento contemplava um número de quatro (4) telas de malhas distintas para realizar a segregação da escória (filtragem). Porém ao realizar uma inspeção no local juntamente com questionamentos realizados com colaboradores que atuam diretamente no local (operação e manutenção) foi comprovado que atualmente o sistema está com uma defasagem de duas (2) telas em seu sistema de escoamento conforme figuras 36 e 37, o que contribui de forma significativa para os problemas que estão relacionados com o sistema de filtros.



Figura 36: Falta de tela de filtragem saída tanque de resfriamento

Fonte: Os autores, 2018



Figura 37: Telas de filtragem existentes montada na canaleta

Fonte: Os autores, 2018

Além disso, foi observado e constatado que no tanque de captação, o projeto não contempla um sistema de filtragem por telas apenas por decantação, o que gera uma baixa eficiência na captação de particulados de escória.

Outro ponto referente ao sistema de filtros que foi avaliado na “empresa” é que o filtro duplo cesto atualmente encontra-se sem seu elemento filtrante, transformando-o apenas em um equipamento de passagem de fluxo “by-pass” assim não realizando a filtragem da água enviada para as torres de refrigeração.

Como medida corretiva referente ao sistema de segregação de material particulado, este estudo propõe a volta da condição inicial do projeto, instalando novamente as telas de filtragem na canaleta respeitando as malhas ideais para cada posição restringindo o excesso da passagem de escória para o tanque de refrigeração.

A primeira tela de filtragem conforme especificada na figura 38 deve ser montada na saída do tanque de refrigeração no local indicado na figura 36 anteriormente citada, que usa uma malha de 12,7 mm, que retém os maiores particulados. A segunda (posição 1) será montada logo no início da canaleta, onde se usa também uma malha de 12,7 mm. A terceira (posição 2) será montada aproximadamente no meio da canaleta, onde se monta-se mais uma tela com malha 9,52 mm. Já a quarta (posição 3) tela deve ser montada no final da canaleta, antes da saída para o tanque de captação. Neste ponto deve-se avaliar a granulometria do particulado, pois temos dois tipos de grades a serem empregadas, malha 6.35 ou 3,18 mm conforme indicações da figura 39.

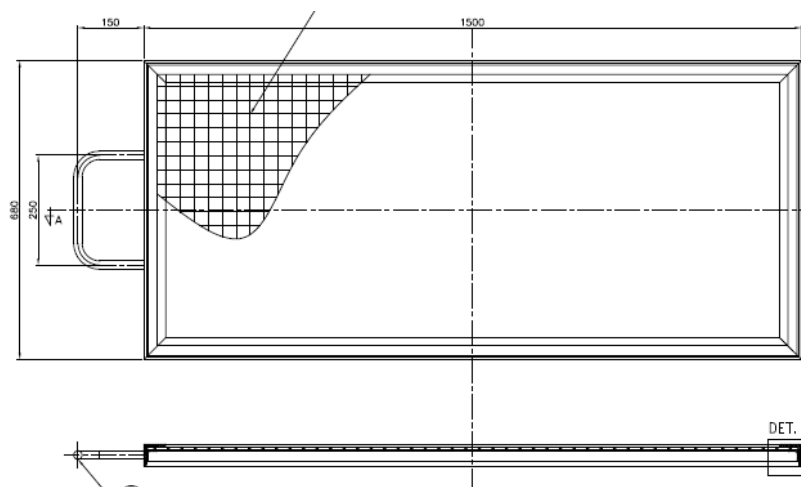


Figura 38: Tela de filtragem

Fonte: Os autores, 2018

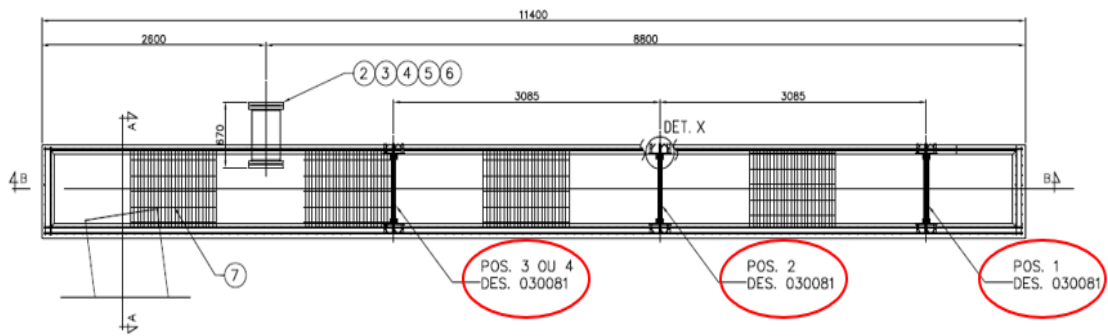


Figura 39: Canaleta de escoamento

Fonte: Os autores, 2018

Devido as grandes quantidades de particulados no tanque de captação propõe-se a instalação de grades com malhas distintas em local estratégico para que possa “afinar” a filtragem de particulados. Devemos empregar as grades logo na primeira parte do tanque conforme figura 40, assim o material ficará decantado no local e melhorando a quantidade de particulado para o restante do tanque.

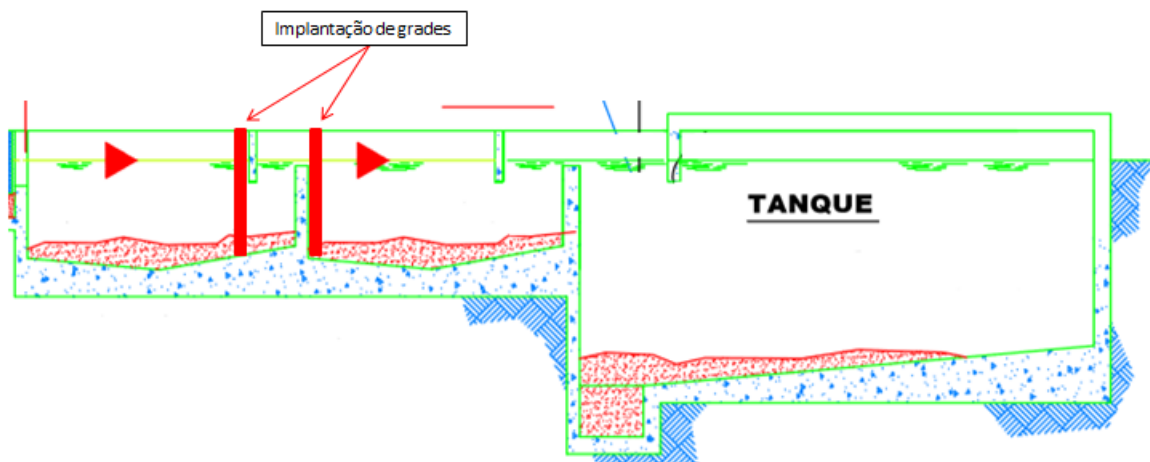


Figura 40: Tanque de captação com detalhe de posição das grades filtrantes

Fonte: Os autores, 2018

A ação corretiva proposta referente ao filtro duplo cesto é a remontagem do elemento filtrante, mostrado na figura 41 com cesto perfurado malha 4,0 mm e a verificação periódica de limpeza e inspeção de desgaste do mesmo. Para evitar que envie particulado de escória para as torres de refrigeração e silo de armazenamento de água.



Figura 41: Elemento filtrante tipo cesto

Fonte: Os autores, 2018

A necessidade de trabalhar dessa forma tem seu fundamento baseado na física e mecânica dos fluidos onde temos dentro de suas grades de conhecimentos o conceito de filtragem, isto é, a segregação de materiais sólidos de líquidos a fim de se obter um fluido mais “puro” permitindo assim sua melhor utilização em áreas dentro da indústria.

No caso específico da “empresa” estudada nesse trabalho, o processo de filtragem da escória tem papel primordial dentro das etapas do processo, isto porque influencia diretamente na qualidade da escória granulada e na manutenção dos ativos da indústria, visto que atualmente tem-se grandes problemas conforme listados na figura 35 anteriormente citada.

Apesar das medidas propostas referentes ao sistema de filtragem terem grande impacto na resolução das falhas que ocorrem atualmente no sistema, ainda assim é necessário realizar um estudo sobre a correta maneira do jateamento de água que sai da caixa de pressão, isto porque atualmente na “empresa” não se tem uma peça dimensionada para o processo, tem-se apenas um elemento capaz de lançar a água sem nenhum padrão previamente estabelecido conforme figura 42.



Figura 42: Bico de jateamento

Fonte: Os autores, 2018

A sugestão proposta pela equipe é baseada em visitas técnicas realizadas em outras plantas, nas quais a metodologia de granulação de escória ocorre de maneira distinta, porém mais eficaz.

Foi observado que para realizar a padronização do jateamento de água variando de acordo com a demanda do processo é necessário a implementação de um equipamento denominado “Caixa de Pressão”, que tem por objetivo realizar o correto direcionamento com a vazão exigida de água para que a granulação ocorra de forma correta, evitando assim a pelotização da escória, transformando-a em um material mais homogêneo e facilitando na filtragem.

Abaixo a figura 43 exemplifica o equipamento proposto para “empresa” implementar em sua planta.

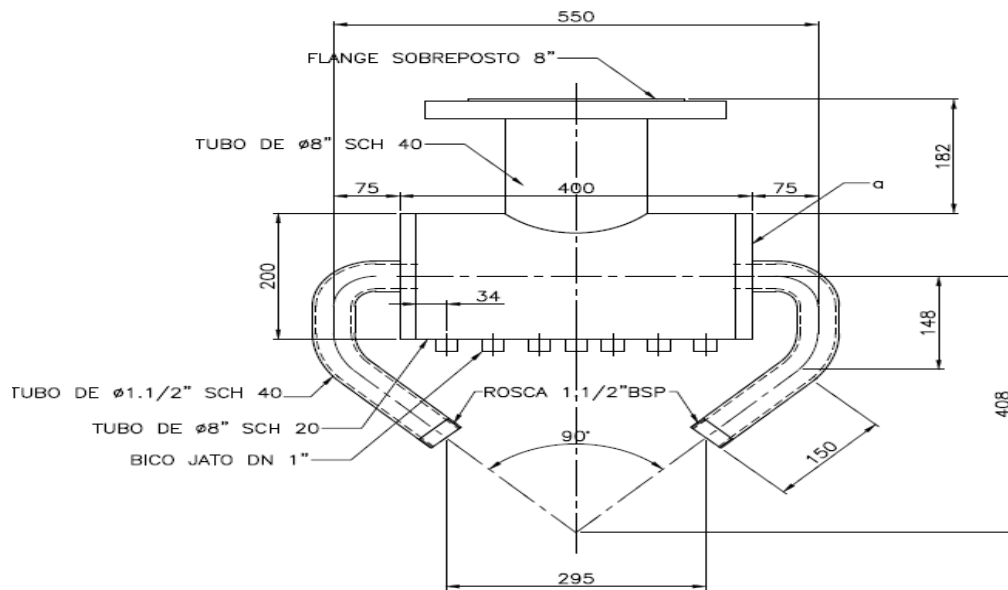


Figura 43: Caixa de pressão proposta

Fonte: Os autores, 2018

4.3.1 Planos de manutenção

Em alinhamento com as alterações propostas acima, este trabalho sugere uma otimização no planejamento das atividades de manutenção relacionadas ao sistema de granulação de escória da “empresa”, que hoje em dia trabalha apenas com preventiva nas bombas de granulação.

Sugere-se inicialmente a revisão dos planos de prevenção, a fim de se confirmar a correta distribuição de mão de obra e material para a correta manutenção da rede. Aplicando essa mão de obra em pontos de maior criticidade ao invés de desperdiçar este tempo em locais com tendência de menor risco de falha.

A tendência é aumentar a periodicidade dos planos de lubrificação, manutenção mecânica para mensal, pois os mesmos são quinzenais. Outro ponto sugerido é atuar de maneira mais eficiente com a troca das correias das bombas para uma periodicidade de 6 meses. Pois hoje não tem um ponto específico de troca programada do material, podendo gerar falhas indesejadas do equipamento. Também atuar na lubrificação otimizando a quantidade de graxa a ser aplicada a fim de evitar desperdícios conforme recomendações do fabricante do equipamento.

Posteriormente à revisão, o estudo propõe a criação de planos de inspeção e limpeza periódicas para os tanques e calhas do sistema de escoamento da granulação.

Estes pontos de limpeza sugerem-se inicialmente a limpeza das telas de filtragem diariamente pela equipe da operação aplicando o sistema de Gestão Autônoma (GA). Outra sugestão é a implantação inicial de limpeza dos tanques e calhas mensalmente com o caminhão denominados multi vácuo, alto vácuo e alta pressão por empresa terceirizada. Este intuito é manter a limpeza dos tanques e calhas para que a água escoe de melhor forma e também manter a capacidade de armazenagem de água no sistema.

4.4 Aplicação da Ferramenta 5W2H

“De acordo com Endeavor (2015), a fim de garantir a correta e eficaz implementação das sugestões feitas pelo grupo, também foi criado um plano de atividades para a resolução de falhas na “empresa”. Para isso foi utilizada a ferramenta 5W2H, sendo que a mesma foi aplicada conforme tabela 6 abaixo. A ferramenta 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 as dúvidas que possam surgir ao longo de um processo ou de uma atividade”.

Tabela 6: Aplicação ferramenta 5W2H

Fonte: Os autores, 2018

5W2H		
<i>What?</i> O quê?	Revisar Sistema de Filtragem da Granulação e Alterar Projeto Caixa de Pressão	Criar Plano de rotina, monitoramento e limpeza
<i>Who?</i> Quem?	Engenharia / Manutenção / Operação	Produção / Manutenção
<i>Where?</i> Onde?	Sistema de granulação de escória	Canaletas e Tanques
<i>When?</i> Quando?	Início imediato	Início imediato
<i>Why?</i> Por que?	Maior desempenho, reduzir custos e aumentar a produtividade	Para garantir a disponibilidade/operacionalidade do sistema
<i>How?</i> Como?	Revisando os projetos	Através do software de manutenção
<i>How Much?</i> Quanto?	Custo definido na análise financeira	Sem custo financeiro diretamente ao associado

5. ANÁLISE TÉCNICA E FINANCEIRA

Após a realização de um estudo, é de suma importância a realização do levantamento de custos a fim de tornar as hipóteses apresentadas algo viável e chamativo para a empresa em questão. Para fins teóricos, serão considerados os gastos relacionados ao sistema de granulação da empresa estudada com base nos anos de 2017 a 2018. É válido ressaltar que será considerado uma inflação anual constante de aproximadamente 2,95% conforme IBGE (2017).

Em 2017 e 2018 a empresa teve altos custos referentes a materiais de reposição (sobressalentes) e um alto custo de mão de obra em corretiva devido a quebras e a indisponibilidade produtiva do sistema. Através de levantamentos realizados com dados internos, foi observado que nos anos analisados, foi gasto

anualmente uma média de R\$ 67.578,94 em manutenção preventiva, sendo que neste valor está inclusa a mão de obra de colaboradores das equipes de manutenção mecânica e elétrica, o que corresponde a R\$ 57.960,00. Foi gasto também uma média de R\$ 9.618,94 referente a materiais necessários para as preventivas, ou seja, desde os EPI's da equipe, graxa LUBRAX IND LITH EP 2, Correias GATES 5V - 950, Gaxetas QUIMGAX 2202 bitola 1/2" e demais materiais de uso comum. É válido ressaltar que considerando conforme acima informado as preventivas que são atualmente realizadas são apenas relacionadas as bombas de granulação.

Já em manutenções corretivas, foi totalizado um gasto anual de R\$ 124.200,00 referente a uma média mensal de R\$10.350,00, gastos com intervenções não programadas para limpeza de tanques e calhas, desentupimentos de válvulas de pé com crivo e desmontagem de filtros para desobstrução de vias. Neste caso das corretivas, considera-se que atualmente tem-se a contratação quinzenal de uma terceira que realiza serviços com caminhões denominados multi vácuo, alto vácuo e alta pressão.

Abaixo na figura 44, gráfico com os custos de manutenção atual estimados em 4 anos.

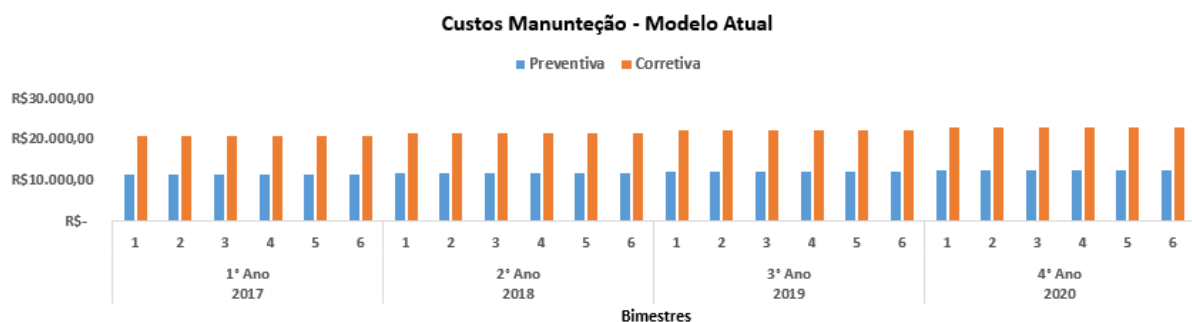


Figura 44: Gráfico de custos de manutenção modelo atual

Fonte: Os autores, 2018

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 com o novo sistema aplicado, pode-se se traçar a nova projeção de custos de manutenção. Tal projeção é contemplada pelos planos preventivos de lubrificação, manutenção mecânica e elétrica, porém com os mesmos revisados exceto da elétrica, gerando um novo custo anual de aproximadamente R\$ 39.330,43. Este valor caiu em relação aos planos atuais, pois foi aumentado a periodicidade dos planos de lubrificação, manutenção mecânica, pois inicialmente era quinzenal e passou a ser mensal. Não foi só alterado a periodicidade, más também foram alteradas as atividades para ser mais eficientes e de forma mais preventiva, substituindo materiais por vida útil estimada evitando parada indesejadas de manutenção. Neste valor estão inclusos a mão de obra de colaboradores das equipes de manutenção mecânica e elétrica, o que corresponde a uma média R\$ 34.020,00. Também tem uma média gasta com materiais durante estas preventivas de R\$ 5.310,43.

A manutenção corretiva também acompanhou essa projeção e caiu significativamente para o valor anual de R\$ 41.400,00 referente a uma média mensal de R\$ 3.450,00.

Esta análise proposta tem como objetivo, logo no início, a implantação da nova caixa de pressão que tem um custo estimado de R\$ 5.000,00. Montagem das telas de filtragem com um custo estimado de R\$ 7.800,00. Um custo de planejamento de R\$ 5.280,00, o qual será revisado nos planos. No total deste investimento será gasto um valor estimado de investimento de R\$ 18.080,00.

Abaixo na figura 45, gráfico com os custos de manutenção proposto estimados em 4 anos.

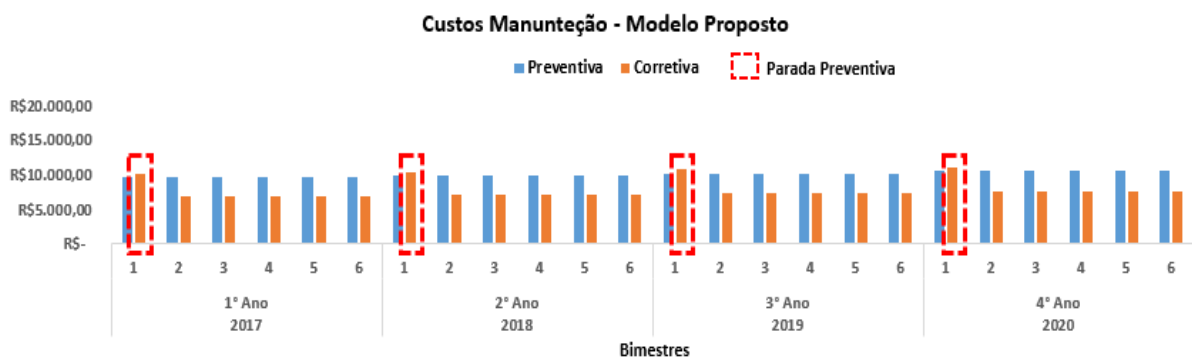


Figura 45: Gráfico de custos de manutenção modelo proposto

Fonte: Os autores, 2018

Após a implementação da hipótese apresentada, conclui-se que a tendência do aparecimento de falhas o sistema de granulação de escória será minimizado, de forma que, como esperado seja possível projetar-se um custo médio anual menor de apenas R\$ 102.170,43 que quando comparado com o custo gerado na antiga metodologia de trabalho, observa-se um ganho de R\$ 374.608,95 para um mesmo período de quatro anos, ou seja, uma redução de 47% de custos de manutenção em uma projeção de 4 anos conforme o comparativo da figura 46 abaixo.

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

Abaixo na figura 46, gráfico com o comparativo estimados dos custos do modelo atual com o modelo proposto em uma projeção de 4 anos.

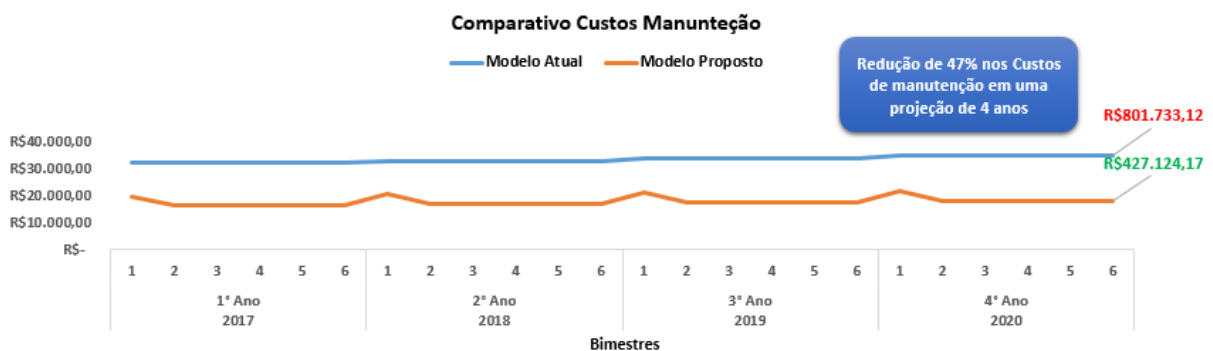


Figura 46: Comparativo dos custos de manutenção

Fonte: Os autores, 2018

Para a criação das figuras vistas anteriormente, foi necessário a elaboração de uma planilha de custos detalhada, que pode ser vista no anexo 1, onde é possível realizar uma análise financeira bimestral dos modelos em questão. A seguir na tabela 7, apresenta-se a mesma de forma compacta para a melhor visualização dos custos totais gerados.

Tabela 7: Custos e retorno

Fonte: Os autores, 2018

		ATUAL	NOVO MODELO	
	Período (2 meses)	Total Custo	Total Custo	RETORNO
1° Ano 2017	1	R\$ 31.963,16	R\$ 19.695,07	R\$ 12.268,08
	2	R\$ 31.963,16	R\$ 16.495,07	R\$ 15.468,08
	3	R\$ 31.963,16	R\$ 16.495,07	R\$ 15.468,08
	4	R\$ 31.963,16	R\$ 16.495,07	R\$ 15.468,08
	5	R\$ 31.963,16	R\$ 16.495,07	R\$ 15.468,08
	6	R\$ 31.963,16	R\$ 16.495,07	R\$ 15.468,08
2° Ano 2018	1	R\$ 32.906,07	R\$ 20.276,08	R\$ 12.629,99
	2	R\$ 32.906,07	R\$ 16.981,68	R\$ 15.924,39
	3	R\$ 32.906,07	R\$ 16.981,68	R\$ 15.924,39
	4	R\$ 32.906,07	R\$ 16.981,68	R\$ 15.924,39
	5	R\$ 32.906,07	R\$ 16.981,68	R\$ 15.924,39
	6	R\$ 32.906,07	R\$ 16.981,68	R\$ 15.924,39
3° Ano 2019	1	R\$ 33.876,80	R\$ 20.874,22	R\$ 13.002,58
	2	R\$ 33.876,80	R\$ 17.482,64	R\$ 16.394,16
	3	R\$ 33.876,80	R\$ 17.482,64	R\$ 16.394,16
	4	R\$ 33.876,80	R\$ 17.482,64	R\$ 16.394,16
	5	R\$ 33.876,80	R\$ 17.482,64	R\$ 16.394,16
	6	R\$ 33.876,80	R\$ 17.482,64	R\$ 16.394,16
4° Ano 2020	1	R\$ 34.876,16	R\$ 21.490,01	R\$ 13.386,15
	2	R\$ 34.876,16	R\$ 17.998,37	R\$ 16.877,79
	3	R\$ 34.876,16	R\$ 17.998,37	R\$ 16.877,79
	4	R\$ 34.876,16	R\$ 17.998,37	R\$ 16.877,79
	5	R\$ 34.876,16	R\$ 17.998,37	R\$ 16.877,79
	6	R\$ 34.876,16	R\$ 17.998,37	R\$ 16.877,79
TOTAL 4 Anos		R\$ 801.733,12	R\$ 427.124,17	R\$ 374.608,95

6. CONCLUSÃO

Após o discorrimento deste trabalho e com as evidências apresentadas, pode-se observar um ganho significativo em relação ao custo benefício com a produtividade. A viabilidade da granulação da escória sem dúvidas para os altos fornos é importantíssima, mas em tempos competitivos é preciso buscar todos meios alternativos, otimizando o processo eliminando todas as perdas através de um trabalho com excelência.

No processo estudado, foi visto que erros de conservação e manutenção podem causar perdas, retrabalhos e custos, mas com trabalho em conjunto entre a operação, manutenção e engenharia, estes erros podem ser minimizados ou até mesmo evitados.

A partir de então, foi elaborada uma solução hipotética para resolução de tais problemas, que consistiu em alterar do sistema de filtragem de água atual, substituir a caixa de pressão para melhor direcionamento do jato de água e ainda em uma revisão dos planos de manutenção de todo o sistema, para que assim pudesse ser extraído um melhor rendimento dos equipamentos atuando de forma mais eficaz.

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.

Além do estudo técnico demonstrado, foi realizado um levantamento financeiro a fim de expor as vantagens da utilização das metodologias apresentadas, evidenciando assim que a empresa estudada não necessitaria de um investimento inicial de grande porte, e que representaria um ganho significativo de aproximadamente R\$ 374.608,95 para o período que foi analisado, ou seja, uma redução de 47% de custos de manutenção em uma projeção de 4 anos conforme o comparativo dos modelos atual e proposto.

Com isso conclui-se que o gerenciamento das metodologias de produção e manutenção são fatores de alta relevância no meio industrial, e que não devem ser apenas demonstrados no papel, mas sim aplicados no cotidiano das empresas para que os recursos que não são aproveitados em sua totalidade e que geram diversos infortúnios possam se tornar ferramentas benéficas à manutenção, gerando assim mais uma fonte de redução de custos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

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

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

MARAFIGO, Aline Aidil de; ROSA, Willian Bella. **Produção do Ferro Gusa**. 2010 Artigo (trabalho científico) – Colégio D. Pedro I – Curso Técnico Metalurgia. 2010. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABGv0AB/tcc-produo-ferro-gusa>> Acesso em: 05 Junho 2018.

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

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

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

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

LIONIDAS, Elery. **Partes do Alto Forno e suas zonas**. 2018. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgOS4AH/2-partes-alto-forno>> Acesso em: 02 Junho 2018.

GERDAU, **Animações – Furo de Corrida do Alto Forno**. 2017. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/br/pt>> Acesso em: 10 Junho 2018.

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: 14 Maio 2018.

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

BATISTA, Arnaldo. **Utilização do gás de alto-forno para produção de energia na indústria siderúrgica de minas gerais.** 2009. 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: 28 Julho 2018.

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: 27 Julho 2018.

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

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

ROMEIRO, Solange. **Química na Siderurgia.** 1997. 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: 20 Junho 2018.

BRITO, Iran Gomes de; LOURENÇO, Jorge Magner; MEDEIROS, Katarine. **Um Estudo Teórico sobre a Metalurgia do Pó.** 2007. 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 Junho 2018.

PEREIRA, Joaquim de Paula. **Desenvolvimento de um Compósito Cerâmico para Otimizar a Radiação Térmica em Materiais Refratários $Al_2O_3-SiO_2-Cr_2O_3-SiC-Ca(AIO_2)_2$.** 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: 12 agosto 2018.

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.sbmec.org.br/dincon/2011/files/articles/032.pdf>> Acesso em: 05 Agosto 2018.

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 Julho 2018.

WURTH, Paul. **Recuperação de Calor de Gases de Regeneradores de Ar**. Disponível em: <<http://www.paulwirth.com/pt/NOSSAS-ATIVIDADES/Energia-e-Meio-Ambiente/Recupera%C3%A7%C3%A3o-de-calor-de-gases-de-regeneradores-de-ar>> Acesso em 03 Agosto 2018.

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

DALMASO, Roberto. MUNARO, Celso. **Instrumentação, Modelagem e Controle de Vazão e Temperatura de um Piloto de Regenerador de Alto Forno**. 2013. Artigo (trabalho científico) – Universidade Federal do Espírito Santo. 2013. Disponível em: <<https://proceedings.sbmac.org.br/sbmac/article/viewFile/64/64>> Acesso em: 15 Julho 2018.

ALMEIDA, Gyselle Maciel de. **Utilização de Escória Produzida em Alto Forno a Carvão Vegetal como Agregado Graúdo e Miúdo para Concreto**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2014. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/7918>> Acesso em: 18 Julho 2018.

RIBEIRO, Lilian. **Automação e Instrumentação Inteligente em um Processo de Granulação da Escória**. Novembro 2009. Disponível em: <http://labsoft.com.br/arquivos/artigos/CT-145_09.pdf> Acesso em: 01 Agosto 2018.

THOMAZ, Eduardo. **Escória de Alto Forno. Parte 1 – Fabricação**. 2017 Disponível em: <quarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos.../escoria_fabricacao.pdf> Acesso em: 28 Julho 2018.

MASACUTO, Carlos. **Utilização de Escória de Alto Forno à Carvão Vegetal como Adição no Concreto**. Dezembro 2005. Disponível em: <taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258498/1/Massucato_CarlosJose_M.pdf> Acesso em: 01 Julho 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Inflação Ano 2017**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>> Acesso em: 23 Setembro 2018.

SOUZA, C. S. **Análise Energética do Processo de Produção de Ferro Gusa em Altos-Fornos**: Identificação de oportunidades em redução de emissões de gases de efeito estufa. Aracruz, 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental), Faculdade de Aracruz. Aracruz, 2010.

SILVA, J.G. **Análise do Ciclo de Vida de Tijolos Prensados de Escória de Alto Forno**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2005.

ENDEAVOR. **5W2H: O que é e como aplicar**. Disponível em: <<https://endeavor.org.br/5w2h/>> Acesso em: 10 Setembro 2018.

8. ANEXOS

Período (2 meses)	ATUAL				NOVO MODELO				RETORNO
	Custo com Planos de Manutenção	Custo Manutenção Corretiva	Total Custo	Custo com Planos de Manutenção	Custo Manutenção Corretiva	Total Custo	RETORNO		
1º Ano 2017	R\$ 11.263,16	R\$ 20.700,00	R\$ 31.963,16	R\$ 9.595,07	R\$ 10.100,00	R\$ 19.695,07	R\$ 12.268,08		
	R\$ 11.263,16	R\$ 20.700,00	R\$ 31.963,16	R\$ 9.595,07	R\$ 6.900,00	R\$ 16.495,07	R\$ 15.468,08		
	R\$ 11.263,16	R\$ 20.700,00	R\$ 31.963,16	R\$ 9.595,07	R\$ 6.900,00	R\$ 16.495,07	R\$ 15.468,08		
	R\$ 11.263,16	R\$ 20.700,00	R\$ 31.963,16	R\$ 9.595,07	R\$ 6.900,00	R\$ 16.495,07	R\$ 15.468,08		
	R\$ 11.263,16	R\$ 20.700,00	R\$ 31.963,16	R\$ 9.595,07	R\$ 6.900,00	R\$ 16.495,07	R\$ 15.468,08		
	R\$ 11.263,16	R\$ 20.700,00	R\$ 31.963,16	R\$ 9.595,07	R\$ 6.900,00	R\$ 16.495,07	R\$ 15.468,08		
2º Ano 2018	R\$ 11.595,42	R\$ 21.310,65	R\$ 32.906,07	R\$ 9.878,13	R\$ 10.397,95	R\$ 20.276,08	R\$ 12.629,99		
	R\$ 11.595,42	R\$ 21.310,65	R\$ 32.906,07	R\$ 9.878,13	R\$ 7.103,55	R\$ 16.981,68	R\$ 15.924,39		
	R\$ 11.595,42	R\$ 21.310,65	R\$ 32.906,07	R\$ 9.878,13	R\$ 7.103,55	R\$ 16.981,68	R\$ 15.924,39		
	R\$ 11.595,42	R\$ 21.310,65	R\$ 32.906,07	R\$ 9.878,13	R\$ 7.103,55	R\$ 16.981,68	R\$ 15.924,39		
	R\$ 11.595,42	R\$ 21.310,65	R\$ 32.906,07	R\$ 9.878,13	R\$ 7.103,55	R\$ 16.981,68	R\$ 15.924,39		
	R\$ 11.595,42	R\$ 21.310,65	R\$ 32.906,07	R\$ 9.878,13	R\$ 7.103,55	R\$ 16.981,68	R\$ 15.924,39		
3º Ano 2019	R\$ 11.937,48	R\$ 21.939,31	R\$ 33.876,80	R\$ 10.169,53	R\$ 10.704,69	R\$ 20.874,22	R\$ 13.002,58		
	R\$ 11.937,48	R\$ 21.939,31	R\$ 33.876,80	R\$ 10.169,53	R\$ 7.313,10	R\$ 17.482,64	R\$ 16.394,16		
	R\$ 11.937,48	R\$ 21.939,31	R\$ 33.876,80	R\$ 10.169,53	R\$ 7.313,10	R\$ 17.482,64	R\$ 16.394,16		
	R\$ 11.937,48	R\$ 21.939,31	R\$ 33.876,80	R\$ 10.169,53	R\$ 7.313,10	R\$ 17.482,64	R\$ 16.394,16		
	R\$ 11.937,48	R\$ 21.939,31	R\$ 33.876,80	R\$ 10.169,53	R\$ 7.313,10	R\$ 17.482,64	R\$ 16.394,16		
	R\$ 11.937,48	R\$ 21.939,31	R\$ 33.876,80	R\$ 10.169,53	R\$ 7.313,10	R\$ 17.482,64	R\$ 16.394,16		
4º Ano 2020	R\$ 12.289,64	R\$ 22.586,52	R\$ 34.876,16	R\$ 10.469,53	R\$ 11.020,48	R\$ 21.490,01	R\$ 13.386,15		
	R\$ 12.289,64	R\$ 22.586,52	R\$ 34.876,16	R\$ 10.469,53	R\$ 7.528,84	R\$ 17.998,37	R\$ 16.877,79		
	R\$ 12.289,64	R\$ 22.586,52	R\$ 34.876,16	R\$ 10.469,53	R\$ 7.528,84	R\$ 17.998,37	R\$ 16.877,79		
	R\$ 12.289,64	R\$ 22.586,52	R\$ 34.876,16	R\$ 10.469,53	R\$ 7.528,84	R\$ 17.998,37	R\$ 16.877,79		
	R\$ 12.289,64	R\$ 22.586,52	R\$ 34.876,16	R\$ 10.469,53	R\$ 7.528,84	R\$ 17.998,37	R\$ 16.877,79		
	R\$ 12.289,64	R\$ 22.586,52	R\$ 34.876,16	R\$ 10.469,53	R\$ 7.528,84	R\$ 17.998,37	R\$ 16.877,79		
TOTAL 4 Anos	R\$ 282.514,19	R\$ 519.218,93	R\$ 801.733,12	R\$ 240.673,58	R\$ 186.450,60	R\$ 427.124,17	R\$ 374.608,95		

Anexo 1: Planilha de custos - completa

Fonte: Os autores, 2018

