



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Curso de Engenharia Mecânica

MARCUS VINÍCIUS GONÇALVES DA LUZ

**SUBSTITUIÇÃO DAS CAIXAS D'ÁGUA DO FORNO DE GRELHA MÓVEL POR
CAIXAS SECAS DA USINA DE PELOTIZAÇÃO DA VALE EM SÃO LUÍS.**

SÃO LUIS/MA
2018

MARCUS VINÍCIUS GONÇALVES DA LUZ

**SUBSTITUIÇÃO DAS CAIXAS D'ÁGUA DO FORNO DE GRELHA MÓVEL POR
CAIXAS SECAS DA USINA DE PELOTIZAÇÃO DA VALE EM SÃO LUÍS.**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. MSc. Flavio Nunes Pereira
Coorientador: Wanner Vieira

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO ALUNO MARCUS VINÍCIUS GONÇALVES DA LUZ E ORIENTADA PELO(A) PROF. MSc. FLAVIO NUNES PEREIRA.

SÃO LUIS/MA
2018

Luz, Marcus Vinícius Gonçalves da.

Substituição das caixas d'água do forno de grelha móvel por caixas secas na usina de pelotização da Vale em São Luís / Marcus Vinícius Gonçalves da Luz. – São Luís, 2018.

69 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Me. Flávio Nunes Pereira.

1. Pelotização. 2. Forno de grelha móvel. 3. Caixa d'água.
4. Caixa seca. I. Título.

CDU 622.788

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**SUBSTITUIÇÃO DAS CAIXAS D'ÁGUA DO FORNO DE
GRELHA MÓVEL POR CAIXAS SECAS DA USINA DE
PELOTIZAÇÃO DA VALE EM SÃO LUÍS.**

Autor: Marcus Vinícius Gonçalves da Luz

Orientador: Prof. Me. Flavio Nunes Pereira

A banca examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta monografia.

Prof. Me. Flavio Nunes Pereira (Orientador)

Mestre em Engenharia Mecânica
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Reginaldo Nunes da Silva

Graduado em Engenharia Mecânica
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Diógenes Leite Souza

Graduado em Engenharia Mecânica
Universidade Estadual do Maranhão

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís - MA, 12 de dezembro de 2018.

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha família, que me deram toda a educação necessária para alcançar este objetivo. E a minha amada esposa Amanda Sousa Pessoa que me apoiou em todos estes momentos de luta.

Agradecimentos

Passamos por muitas dificuldades para alcançarmos os nossos objetivos, comigo não foi tão diferente, a insistência da minha mãe para que eu escolhesse a minha profissão e trilhasse pelo caminho da educação foi gigantesca. Hoje, minha mãe, colhemos parte dos frutos que ainda estão por vir, sei que ela sempre se dedicou para que eu tivesse a melhor educação possível, essa vitória é nossa. Portanto, o meu maior agradecimento vai para você e sei que ainda tenho muito ao que agradecer.

Agradeço profundamente também a minha amada esposa Amanda Sousa Pessoa, que me motivou a ampliar os meus horizontes, conquistar sempre o melhor para nos mantermos, o seu companheirismo, resiliência e a sua vontade de crescermos que cada vez mais nos engrandece de sonhos, juntos somos uma fortaleza, obrigado.

Gostaria também de agradecer ao meu orientador, Prof. Flavio Nunes Pereira por toda paciência e credibilidade ao trabalho, ao Analista de Operação Máster da Vale S.A. Wanner Vieira que me deu todo o apoio técnico e teórico para o desenvolvimento deste trabalho, ao gerente de Manutenção da Pelotização da Vale Carlos Fernando Bringhenti Pimentel pela autorização da utilização dos manuais de operação como fundamentação teórica, por fim ao Supervisor de PCM da Pelotização Wallace Barcelos pelas contribuições e conversas voltadas para a minha carreira e oportunidade de ingressar nessa grande companhia que é a Vale S.A.

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram com o meu desenvolvimento ao longo da minha vida profissional, em especial aos meus parceiros que conheci na Companhia de Bebidas das Américas – AmBev, Alessandra Gedeon, Cleydson Moraes e ao Eng. Leonam Moreira, por todo conhecimento atribuído a mim durante os dois anos que passei na AmBev. Agradeço também a Luciane Sá e ao Fabiano Ferreira grandes companheiros da Vale S.A. por todo apoio e compartilhamento de experiências que me ajudam a melhorar a cada dia.

Por fim, agradeço também a todos os meus amigos da Universidade por esses anos de diversão e muito aprendizado, espero um dia ter a oportunidade de trabalhar com vocês. Em especial gostaria de agradecer aos meus grandes amigos e também engenheiros que sempre me acompanharam e mais do que ninguém sabem o quanto foi difícil chegarmos todos até aqui, Lucas Sousa, Josué Cutrim e Alexandre Fernandes.

Resumo

Este trabalho visa a análise da substituição das caixas d'água de um Forno de Grelha Móvel da usina de Pelotização da Vale em São Luís do Maranhão por caixas secas. O forno é o principal responsável pela queima das pelotas da planta, processo essencial que garante que as pelotas tenham resistência mecânica suficiente para que elas possam suportar todo o processo de deslocamento ao longo das fases do processo e principalmente pelos impactos sofridos durante seu transporte nos transportadores por correia. Para resfriamento das vigas e componentes do forno de grelha móvel eram utilizadas caixas, por dentro destas caixas passava água corrente em grande volume, cerca de 1000 m³ diariamente, esta água trocava calor com a caixa e por conseguinte a caixa resfriava as estruturas do forno. Com o intuito de eliminar o consumo de água, facilidade e praticidade em manutenções, as caixas foram substituídas por caixas secas, com material refratário para proteger as estruturas, extinguindo-se assim o consumo de água, melhorando a segurança da área e facilitando todo e qualquer trabalho de manutenção que fosse destinado ao forno.

Palavra Chave: Pelotização, Forno de Grelha Móvel, Caixas d'água, Caixas secas.

Abstract

This work is aimed at the analysis of the Mobile Grid Oven rinsing boxes of the Vale Pelletizing area in São Luís do Maranhão by dry boxes. The main responsible for burning the pellets of the plant, the essential process that ensures that the skins are ineffective and those that are responsible for the conveyor process on the belt conveyors. The cooling of the beams and the components of the beam of high voltage particles, about 1000 m³ per day, this water exchange heat for a box and a cooled box like the structures of the furnace. With the aim of eliminating water consumption, ease and practicality in maintenance, as boxes were replaced by dry boxes, with refractory material to protect like the structures, thus extinguishing water consumption, safely to the area and facilitating the maintenance work that is commonly used in the furnace.

Key Words: Pelletizing, Straight-Grate, Water Tank, Dry Boxes.

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Fluxograma do processo de produção do aço a partir de tecnologias.	4
Figura 2.2 - Diferença visual entre o Minério Granulado, Sínter Feed e Pellet Feed.	4
Figura 2.3 - Fluxograma do processo de sinterização de minério de ferro.....	9
Figura 2.4 - Fluxograma de uma Usina de Pelotização.....	10
Figura 2.5 – Vista aérea da Usina de Pelotização de São Luís.	10
Figura 2.6 - Recuperadora de Finos.	11
Figura 2.7 - Processo de Moagem / Classificação.	13
Figura 2.8 - Espessador da usina de pelotização.....	13
Figura 2.9 - Foto do Filtro a Disco da UPSL.....	14
Figura 2.10 - Prensa de Rolos.....	15
Figura 2.11 – Misturador Horizontal.	16
Figura 2.12 - Vista de um Disco de Pelotização.	16
Figura 2.13 - Grelha Móvel vista lateral.	17
Figura 2.14 - Curva de aquecimento do Forno.	17
Figura 2.15 - Peneira Vibratória.	18
Figura 2.16 - Forno Vertical – Shaft Furnace.....	19
Figura 2.17 - Grelha Móvel-forno rotativo – Grate Kiln.....	19
Figura 2.18 - Desenho esquemático do processo de queima e foto do forno de Pelotização.	20
Figura 2.19 - Desenho esquemático do carro de grelha.	22
Figura 2.20 - Desenho esquemático do carro de grelha e selagens.....	23
Figura 2.21 - Acionamento da Grelha.....	23
Figura 2.22 - Esquema de funcionamento do Forno.	24
Figura 2.23 - Desenho técnico da Secagem Ascendente.	27
Figura 2.24 - Desenho técnico da Secagem Descendente.	28
Figura 2.25 - Desenho técnico da Pré-Queima.	30
Figura 2.26 - Desenho técnico da Queima e Pós-Queima.....	31
Figura 2.27 - Desenho técnico da zona de Resfriamento I.....	32

Figura 2.28 - Desenho técnico da zona de Resfriamento II.....	33
Figura 3.1 - Caixas d'água utilizadas no forno de grelha móvel	34
Figura 3.2 – Detalhe da situação das tubulações de água, mangotes e válvulas lado esquerdo. .	36
Figura 3.3 – Detalha da situação das tubulações de água, mangotes e válvulas lado direito	36
Figura 3.4 – Desenho esquemático da caixa seca interna.	37
Figura 3.5 – Detalhe os consoles de sustentação e caixa seca interna.	37
Figura 3.6 – Detalhe do console de sustentação parte externa e caixa interna.	38
Figura 3.7 – Fabricação do console da caixa seca externa.	38
Figura 3.8 – Desenho técnico da sustentação da parede transversal e caixa d'água transversal.	39
Figura 3.9 – Demolição da parede divisória do Forno e caixa d'água transversal.	40
Figura 3.10 – Detalhe da fixação da parede divisória tipo cortina.....	40
Figura 3.11 – Nova parede divisória do Forno.	41
Figura 3.12 - Posição das Medições.....	42
Figura 3.13 – Vista frontal do carro e detalhe da medição.....	42
Figura 4.1 – Vista lateral com imagem das paredes divisórias.....	43
Figura 4.2 – Parede divisória instalada.	44
Figura 4.3 – Redução da utilização de HH.....	48
Figura 4.4 – Folga entre selagem superior e a caixa seca externa.	49
Figura 4.5 – Selagem entre a selagem superior do carro e barra de aço.	50

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Descrição dos tipos e tamanhos das partículas do sinter feed.	7
Tabela 2.2 – Permanência da Pelota Crua por Tempo em cada zona do forno.	18
Tabela 2.3 – Dados de projeto da Grelha Móvel de São Luís.	21
Tabela 3.1 – Folha de dados Técnicos do bloco refratário (Brasilcast 665 E).	34
Tabela 3.2– Tipos, quantidade de peso das caixas secas.....	35
Tabela 4.1 – Resultados das Folgas entre a lateral do carro de grelha e as caixas secas.....	44

LISTA DE SIGLAS

ACNP – Apostila do Conhecimento Negócio Pelotização
ASTM – American Society of Testing and Materials
BO – Ventiladores de Sucção
CH – Chaminé
CSN – Companhia Siderúrgica Nacional
DIFN – Diretoria de Ferrosos Norte
DU/HO – Dutos
FR – Forno de Grelha Móvel
IBAR – Indústria Brasileira de Artigos Refratários
P – Medidor de Pressão
PC - Peça
PF – Ventiladores de Processo
PoQ – Pós-Queima
PP – Precipitador Eletrostático
PrQ – Pré-Queima
Q – Queima
Resf – Resfriamento primário e secundário
SA – Secagem Ascendente
SD – Secagem Descendente
SI – Silo de armazenamento
UPSL – Usina de Pelotização de São Luís
VD – Válvula Damper
WB – Caixa de vento

LISTA DE SIMBOLOS

Al_2O_3 – Óxido de Alumínio

CaO – Óxido de Cálcio

Fe_2O_3 – Óxido Férrico

SiO_2 – Dióxido de Silício

X – Folga de Projeto Superior (mm)

Y – Folga de Projeto Lateral (mm)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo Geral	2
1.1.2. Objetivo Especifico.....	2
2. REVISÃO TEÓRICA.....	3
2.1. Minério de Ferro.....	3
2.1.1. Minério Granulado.....	5
2.1.2. Sínter Feed.....	5
2.1.3. Pellet Feed	5
2.2. Tipos de processamento do minério	6
2.2.1. Sinterização	6
2.2.2. Pelotização	9
2.2.3. Empilhamento / homogeneização na Pelotização	11
2.2.4. Moagem na Pelotização	12
2.2.5. Espessamento na Pelotização	13
2.2.6. Filtragem na Pelotização	14
2.2.7. Prensa de rolos da Pelotização	14
2.2.8. Mistura na Pelotização	15
2.2.9. Pelotamento na Pelotização.....	16
2.2.10. Queima na Pelotização.....	17
2.2.11. Peneiramento na Pelotização.....	18
2.3. Tipos de Fornos utilizados na Queima em Usinas de Pelotização	19
2.4. Partes do Forno de Grelha Móvel da UPSL	21
2.4.1. Dados de projeto da Grelha Móvel.....	21
2.4.2. Carros de Grelha.....	21
2.4.3. Caixas de refrigeração.....	22
2.4.4. Acionamento	23
2.5. Zonas do Processo da Queima da UPSL	24
2.5.1. Secagem Ascendente	25
2.5.2. Secagem Descendente.....	27
2.5.3. Pré-queima	29
2.5.4. Queima.....	30

2.5.5.	Pós-queima.....	31
2.5.6.	Resfriamento I e Resfriamento II	32
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1.	Instalação do console de fixação das caixas secas internas e externas	36
3.2.	Instalação do console de fixação das caixas transversais.....	39
3.3.	Folgas entre carro de grelha e caixas secas	41
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1.	Resultado das medições das folgas superiores e laterais	44
4.2.	Economia.....	46
4.3.	Segurança	47
4.4.	Manutenção.....	47
4.5.	Problemas encontrados durante operação	48
4.6.	Barras de grelha para vedação	49
5.	CONCLUSÃO.....	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

Por muitos anos, os minérios carregados nos altos-fornos eram britados e parcialmente classificados na mina ou nas usinas siderúrgicas e assim, enquanto a fração grosseira era carregada, a fração fina acumulava-se continuamente em pilhas e bacias, sem uso econômico viável. Naquela época, a busca pelo aproveitamento desta fração fina do minério de ferro foi importante para o desenvolvimento das tecnologias de aglomeração que conhecemos nos dias de hoje, como são os casos da Sinterização e Briquetagem. (DINIZ, 2014).

Neste contexto, inicialmente foi desenvolvido o processo de Sinterização, que aproveita os finos de minérios de ferro com distribuição granulométrica composta de fração de tamanho desde 1.0mm até 0.15mm, e após alguns anos, surgiu o processo de Pelotização como uma alternativa à Sinterização para aproveitamento das frações menores que 0.15mm. (DINIZ, 2014).

A Pelotização envolve dois passos principais: a formação de pelotas verdes (pelotamento) e subsequente tratamento térmico (em fornos de Pelotização). (BARATI, 2008). Os principais processos comerciais para o tratamento térmico das pelotas são: forno de grelha móvel (straight-grate), sistema de móvel-forno rotativo (straight grate-rotary kiln) e fornos verticais (MEYER, 1980).

Essas indústrias incansavelmente buscam sempre por maneiras de otimização de processos e custos, a fim de se obter a maior qualidade possível do produto final, gastando menos e sempre tentando encontrar uma maneira de produzir sem prejudicar o meio ambiente.

A implementação de melhorias é uma das principais ferramentas que podem ser utilizadas para aperfeiçoar o processo e parâmetros operacionais de um forno de Pelotização. No presente trabalho, utilizaremos como base essa busca por melhoria de processos através de ideias simples, como por exemplo, a substituição dos robustos sistemas de resfriamento a base de caixas d'água internas, externas e transversais do Forno de Grelha Móvel da Usina de Pelotização da Vale, em São Luís, que eram estruturas em formato de paralelepípedo onde por dentro destes passava água corrente, com um único objetivo, realizar a troca de calor para resfriamento das estruturas principais do forno e equilíbrio térmico ambiente.

Veremos como as caixas secas internas, externas e transversais que foram instaladas estão dispostas no forno, utilizando um material a base de sílica e aluminoso (Brasilcast 665 E). Os problemas que foram encontrados durante e após a sua instalação e os benefícios de curto prazo que irão oferecer para a planta, tanto na questão da operação quanto no quesito manutenção e segurança.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do estudo é mostrar e analisar a substituição do sistema de resfriamento composto por caixas d'água internas, caixas d'água externas e caixas d'água transversal do Forno de Grelha Móvel, por um bloco tipo caixa seca composto por material refratário Brasilcast 665 E, no processo de queima de Pelotas da Usina de Pelotização da Vale S.A., em São Luís.

1.1.2. Objetivo Especifico

- Substituir as caixas d'água interna, externa e transversais do Forno.
- Garantir o deslocamento do carro após a substituição.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. Minério de Ferro

Cada dia se necessita de mais matérias-primas para atender às necessidades da população. Qualquer atividade que envolva a metalurgia, a indústria química, a construção civil ou até mesmo o cultivo da terra utiliza os minerais ou seus derivados. Os fertilizantes, os metais e suas ligas, o cimento, a cerâmica e o vidro são exemplos de produtos obtidos a partir de minerais (Luz et al., 2002).

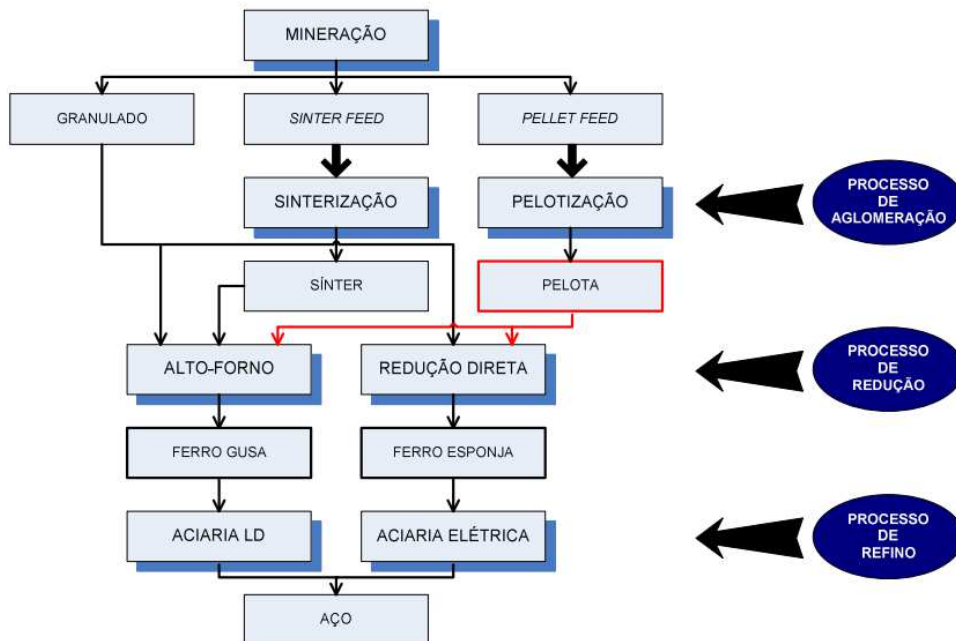
Mineral é toda substância sólida, inorgânica e cristalina, com composição química e propriedades físicas bem definidas, resultado de um processo geológico terrestre ou extraterrestre, sem intervenção humana. Minério é toda rocha constituída de um ou mais minerais valiosos, aproveitáveis economicamente. A parte mineral não aproveitável do minério é denominada ganga (Luz et al., 2002).

O ferro é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, representando cerca de 5% em massa, e é encontrado como constituinte, em maior ou menor quantidade, em todas as classes minerais. Como a combinação do ferro com outros compostos pode ocorrer de formas variadas, existem muitos minerais de ferro diferentes. Nas condições atuais, apenas os óxidos são utilizados para a extração de ferro (Augusto K., 2013).

Como nem sempre estão na forma em que serão utilizados pelas indústrias, seja por sua granulometria ou por conter impurezas indesejáveis ao processo, os minérios de ferro precisam passar pela etapa de Beneficiamento (Augusto K., 2013). Esta etapa visa purificar o minério, modificar sua granulometria, a sua forma e a concentração química de suas espécies componentes, através de métodos físicos ou químicos sem que haja alteração de sua constituição química (Luz & Lins, 2004).

A Figura 2.1 mostra o fluxograma com as etapas do processo de fabricação do aço a partir de tecnologias tradicionais, mostrando a rota do minério de ferro até o produto acabado. Em destaque na figura, se encontra uma das matérias-primas do processo, a pelota, que é o material de interesse do presente trabalho. Os produtos intermediários (ferro gusa e ferro-esponja) passam por outras etapas de refino, nas quais parte do carbono contido é removida juntamente com impurezas, até chegar ao aço (Augusto K., 2013).

Figura 2.1 - Fluxograma do processo de produção do aço a partir de tecnologias.



Fonte: AUGUSTO K., 2013.

De acordo com a Figura 2.2, é possível perceber que o tamanho caracteriza o minério.

Figura 2.2 - Diferença visual entre o Minério Granulado, Sínter Feed e Pellet Feed.



Fonte: CSN Mineração S.A., 2018.

Desta forma:

2.1.1. Minério Granulado

O minério de ferro granulado é obtido após alguns processos de britagem e peneiramento. Seu formato pode ser aplicado diretamente nos alto-fornos. Suas dimensões variam de 50mm à 6.3mm. (CSN – Companhia Siderúrgica Nacional, 2018).

2.1.2. Sínter Feed

É o minério de ferro mais utilizado pelas siderúrgicas no mundo e é obtido em fases posteriores do beneficiamento. Antes de ser utilizado no alto-forno, o sínter feed deve passar por um processo de aglomeração nas usinas de Sinterização. Suas dimensões variam de 6.3mm à 0.150mm. (CSN – Companhia Siderúrgica Nacional, 2018).

2.1.3. Pellet Feed

O minério mais fino é obtido após o processo de flotação. Para que possa ser utilizado na siderurgia, o pellet feed é processado pelas usinas de Pelotização. Em proporções menores, pode também ser misturado ao sínter feed e ser processado pelas usinas de Sinterização. Suas dimensões são inferiores à 0.150mm. (CSN – Companhia Siderúrgica Nacional, 2018).

Por fim, o sínter feed e pellet feed geralmente não são utilizados diretamente nos fornos de redução devido a sua granulometria. Estes materiais passam por processos de aglomeração, chamados sinterização e pelotização, gerando respectivamente sínter e pelota conforme a Figura 2.2, mostrado anteriormente (Augusto K., 2013). Os bolos de sínter têm estrutura irregular e muito porosa, e medem cerca de alguns centímetros. As pelotas são aproximadamente esféricas, com diâmetro de cerca de 12 mm, como no caso

da Vale. Isto proporciona a utilização destes finos de minério, que antes eram considerados rejeitos (Takehara, 2004).

2.2. Tipos de processamento do minério

Durante o século XX, as melhorias implementadas no altos-fornos eram limitadas. Por outro lado, surgiram grandes avanços na preparação do minério de ferro, através da aglomeração destes. Devido ao processo de contracorrente nos altos-fornos, onde no qual os sólidos descem contra o fluxo gasoso ascendente, finos de minério de ferro não podem ser utilizados diretamente no alto-forno. Se os finos fossem carregados diretamente no alto-forno, a permeabilidade da carga seria reduzida dificultando a passagem dos gases e a operação do alto-forno (LOPES M., 2012).

Embora muitas tentativas e investimentos têm sido tentadas, pesquisando-se rotas inovadoras, por vezes radicais, para o processamento destes finos, até o presente momento, nenhuma delas foi aprovada e consagrada em caráter industrial (MOURÃO, 2008).

A aglomeração continua sendo largamente usada destacando-se os processos de sinterização e pelletização (LANKFORD et. Al., 1985; MOURÃO, 2007). Enquanto nos altos-fornos a carvão vegetal a carga ferrosa é constituída tipicamente por minério de ferro granulado, nos altos-fornos a coque a carga ferrosa principal é o sínter (DAWSAN, 1993 a), na faixa de 65 a 85%. O restante é composto por minério de ferro granulado e ou pelotas 13 (SUSAKI, 2008).

2.2.1. Sinterização

O processo de sinterização consiste em aglomerar, por fusão incipiente, uma mistura de finos, porém não tão finos, de minério de ferro, de coque ou de carvão vegetal, de fundentes, de sínter de retorno e água. O sínter de retorno compreende os finos gerados

durante o processo de sinterização. Além destes materiais, resíduos portadores de ferro, carbono ou cal podem ser sinterizados (OLIVEIRA E. e MARTINS, 2003).

Especial atenção deve ser dada as partículas de minério de ferro, conhecidas como sinter feed, que podem ser classificadas como supergrossas, nucleantes, intermediárias, aderentes e superfinas. As partículas supergrossas, intermediárias e superfinas devem ser minimizadas na composição da mistura. As supergrossas não apresentam a capacidade de aderir às partículas mais finas ao redor e não contribuem para o fenômeno de microaglomeração. Já as partículas intermediárias não se comportam nem como nucleantes e nem como aderentes. Por último, as superfinas causam a perda de permeabilidade do leito de sinterização (VIEIRA et al., 2003), mas podem ser usadas desde que estas passem por um processo de micropelotização (PEREIRA, 2004). A Tabela 2.1 fornece o tamanho e a descrição de cada partícula.

Tabela i – Descrição dos tipos e tamanhos das partículas do sinter feed.

Tipos de Partículas	Faixa granulométrica (mm)	Descrição
Supergrossas	>6,3	Não apresentam a capacidade de aderir às partículas mais finas ao redor e não contribuem para o fenômeno de microaglomeração.
Nucleantes	1,0 – 6,3	Apresenta a capacidade de aderir as partículas mais finas ao redor e constitui-se nos núcleos dos aglomerados. Tamanho ideal de 1 até 3mm.
Intermediárias	0,3 – 1,0	Não se comportam nem como nucleantes e nem como aderentes
Aderentes	0,1 – 0,3	Formam a camada aderente ao redor do núcleo microaglomerado.
Superfinas	<0,1	Causam a perda de permeabilidade do leito de sinterização. Para serem usadas necessitam ser micropelotizadas.

Fonte: VIEIRA et al., 2003.

O processo, inicia-se na dosagem de todas as matérias primas de fina granulometria, no misturador adicionando água, formando micro pelotas. A adição de água é

fundamental para o crescimento do material que está sendo misturado pois, gera uma tensão superficial que mantém os grãos coesos.

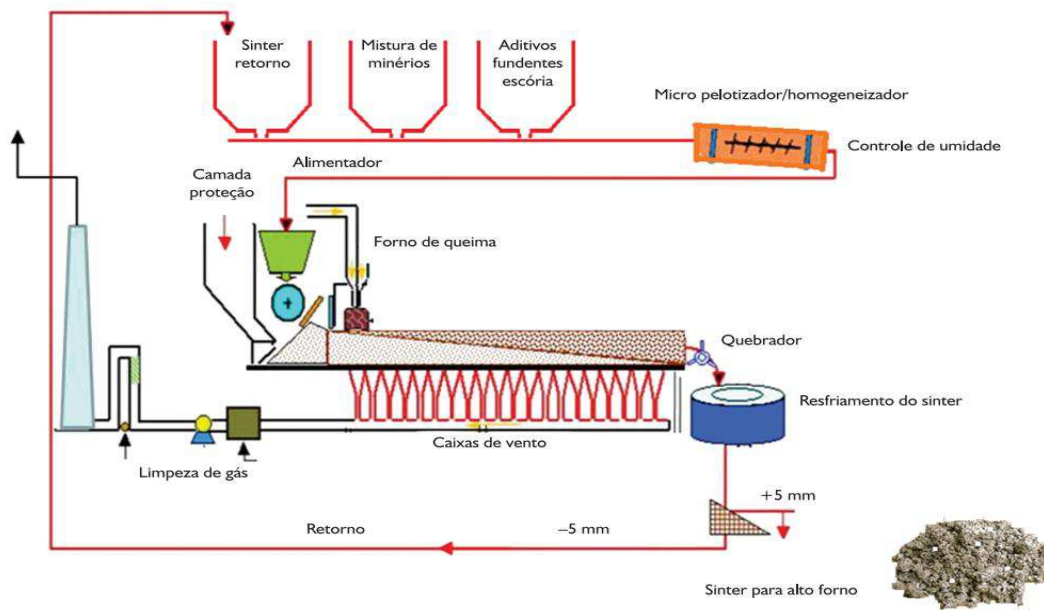
A adição de água é fundamental na formação e crescimento das quase-partículas, pois gera uma tensão superficial que mantém os grãos coesos, denominada de tensão neutra. No entanto esta não é suficiente para manter a coesão das partículas devido a densidade destas e também pela evaporação da água durante o processo de sinterização. Portanto aglomerantes precisam ser adicionados com o objetivo de aumentar a viscosidade da fase líquida dentro dos capilares e propiciar o aparecimento de pontes cerâmicas ou na formação de cálcio-ferritas (LOPES M., 2012).

Esse material misturado é distribuído na esteira da máquina de sínter pelos silos de estocagens, a mistura a sinterizar é carregada sobre a esteira de grelhas e posta sob alta temperatura pelo forno de ignição a aproximadamente 1200°C.

Iniciando o processo de sinterização dessa massa que sofre combustão pelo ar succionado de cima para baixo ao longo do leito, a frente de sinterização termina no final da máquina de sínter onde a massa de sínter passa ainda em um resfriador, ao sair da máquina o bolo de sínter passa pelas etapas de briquetagem e peneiramento que prepara o material para ser enviado para os altos-fornos.

Após o processo, forma-se o aglomerado sólido e poroso denominado sínter. as partículas superfinais geradas no processo são succionadas e direcionadas para o precipitador eletrostático, o pó coletado é reaproveitado no processo, a sinterização que exerce importante processo no controle ambiental pois, é a maior consumidora de rejeitos gerados nos processos de produção da usina, estes retornam como matérias prima no processo de sinterização. Todo o processo descrito pode ser observado na Figura 2.3.

Figura 2.3 - Fluxograma do processo de sinterização de minério de ferro.

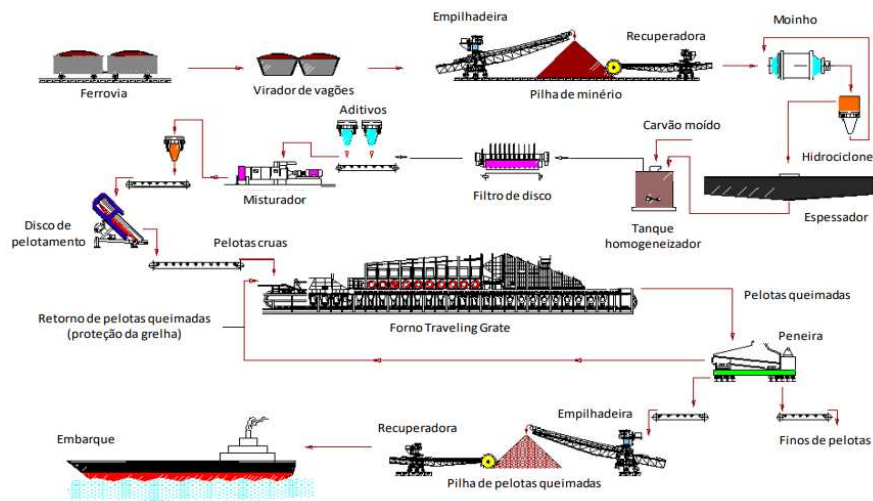


Fonte: CASTRO J., FRANÇA A., GUILHERME V. e ZASAKI Y., 2013.

2.2.2. Pelotização

Com a degradação das reservas de minério de ferro, os processos de aglomeração (sinterização e pelotização) passaram a desempenhar um importante papel na preparação de matérias-primas para alimentação em altos-fornos e fornos de redução direta. (MOURÃO, 2008).

Figura 2.4 - Fluxograma de uma Usina de Pelotização.

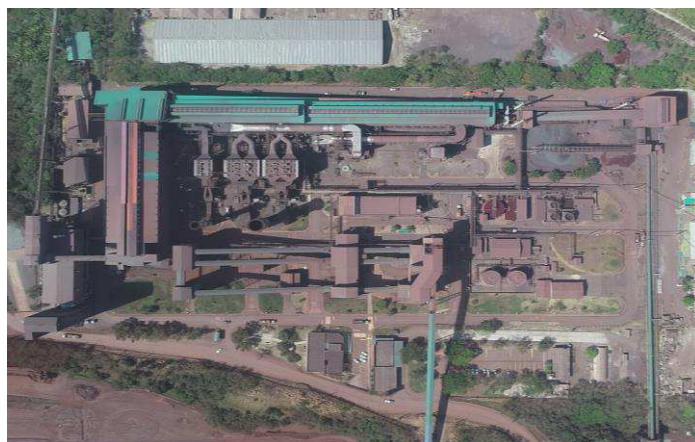


Fonte: Adaptado de MOURÃO, 2017.

A Pelotização gera um produto (Pelotas) de melhores propriedades físicas, químicas e metalúrgicas se comparada com outros processos de aglomeração, como a sinterização. Pelotas são esferas produzidas a partir de minérios de ferro com diferentes composições químicas e mineralógicas que possuem propriedades desejáveis como (Meyer, 1980):

- Distribuição estreita de tamanhos (entre 9 e 15 mm de diâmetro);
- Grande concentração de Ferro (mais de 63%);
- Elevada resistência mecânica;
- Baixa tendência a abrasão;

Figura 2.5 – Vista aérea da Usina de Pelotização de São Luís.



Fonte: Equipe de engenharia da Vale, 2018.

2.2.3. Empilhamento / homogeneização na Pelotização

O processo de empilhamento/homogeneização tem como finalidade minimizar a instabilidade das características físicas e químicas das diversas matérias-primas. Parâmetros importantes a serem considerados na formação das pilhas são: teor de SiO₂ (Sílica), índice de moabilidade e gêneses dos minérios. O empilhamento é realizado pela Recuperadora de Finos, conforme mostrado na Figura 2.6.

Figura 2.6 - Recuperadora de Finos.



Fonte: SILVA, 2008.

Em algumas usinas, a etapa de formação das pilhas de finos permite a adição de fundentes e/ou combustíveis sólidos (antracito ou coque verde de petróleo). Nesta etapa, tanto a formação quanto a recuperação das pilhas podem influir diretamente na qualidade da pelota a ser produzida. (ACNP – Apostila Conhecimento do Negócio Pelotização – Vale, 2013).

2.2.4. Moagem na Pelotização

Este processo é a segundo maior custo no processo de pelotização de minério de ferro. É nesta etapa que a mistura de minérios e aditivos sofrem cominuição com o objetivo de adequar a superfície específica e granulometria. De acordo com as características da mistura que alimenta a moagem e também das características regionais, o circuito de moagem pode ser aberto, sem a bateria de ciclones, ou fechado incluindo a bateria de ciclones. A etapa de ciclonagem é responsável pela classificação da polpa moída, separando a fração fina (produto final) da grosseira que retorna para remoagem. Na moagem em circuito fechado há necessidade ainda da instalação de espessador visando retirar o excesso de água. Os principais fatores a serem considerados visando aperfeiçoar a operação da moagem (ACNP – Apostila Conhecimento do Negócio Pelotização – Vale, 2013):

- Taxa de alimentação do moinho e aferição da balança controladora de alimentação;
- Nível de silo de alimentação do moinho;
- Nível de poço de polpa moída;
- Densidade descarga – tanto para o circuito fechado quanto para o aberto;

De acordo com as características de cada tipo de pelota a ser produzida são fixados valores de superfície específica, que de acordo com os padrões atuais variam de 1.830 a 2.100 cm²/g. A moagem é geralmente conduzida em moinhos de bolas (figura 2.7), tendo como corpos moedores esferas ou “cylpebs” (cones truncados) de aço ou ferro fundido. (SILVA, 2008).

Figura 2.7 - Processo de Moagem / Classificação.



Fonte: APOSTILA CONHECIMENTO DO NEGÓCIO PELOTIZAÇÃO (ACNP) – VALE, 2013.

2.2.5. Espessamento na Pelotização

Este processo é necessário apenas nas plantas com circuito de moagem fechado e a úmido, devido à baixa densidade da polpa na saída dos ciclones. Nesta etapa é realizado o adensamento da polpa, elevando-se a porcentagem de sólidos de 20% para 70%. Toda a água gerada no overflow do espessador pode ser recuperada como água de processo (alimentação da moagem). A figura 2.8 mostra o espessador. O principal fator crítico de controle é a densidade da polpa recalçada na saída do espessador, devendo ser aproximada de 2,5 kg/L. (ACNP – VALE, 2013).

Figura 2.8 - Espessador da usina de pelotização.



Fonte: ACNP - VALE, 2013.

2.2.6. Filtragem na Pelotização

O processo de filtragem requer nas plantas com circuito de moagem a úmido, para adequar o percentual de umidade da polpa moída à etapa de aglomeração. Normalmente, no processo de pelotização de minério de ferro, são utilizados filtros de disco rotativos a vácuo. O ciclo de operação de um filtro a vácuo é constituído por formação da torta, secagem / sopro-descarga. (ACNP – VALE, 2013).

Figura 2.9 - Foto do Filtro a Disco da UPSL.



Fonte: Autor.

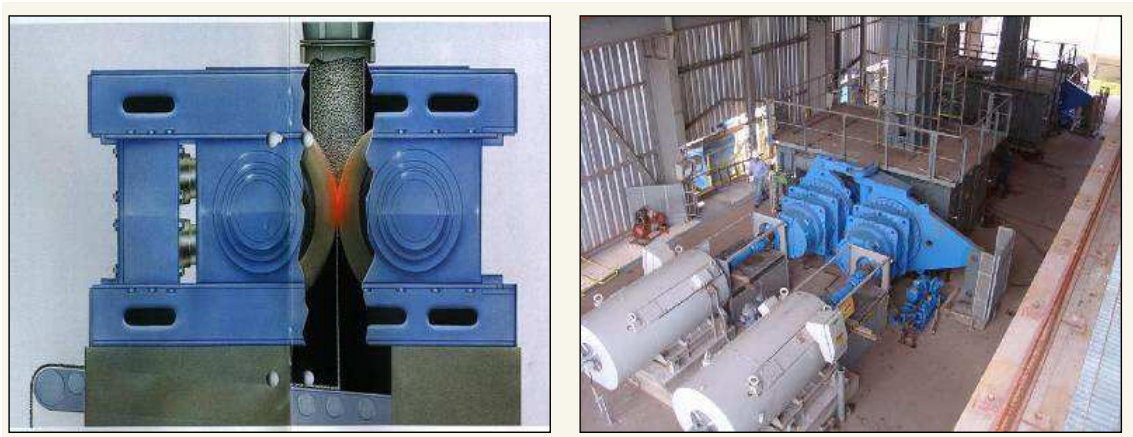
2.2.7. Prensa de rolos da Pelotização

A tecnologia de cominuição com aplicação de altíssimas pressões específicas às partículas de minério. Bastante utilizada para desgargalamento de moagem (aumento produtividade e redução consumo energético), quando instalada após a filtragem. Assim, é possível moer a mistura abaixo dos valores especificados (polpa mais “grosseira”) e com isto otimiza-se significativamente o rendimento da filtragem, quer em produtividade quer em umidade da polpa retida. Os principais fatores a serem considerados na operação de prensagem são (ACNP – VALE, 2013):

- Monitoramento do desgaste dos rolos;
- Nível de silo da prensa;

- Nível da coluna de alimentação;
- GAP dos rolos;
- Pressão rolos e do cilindro de nitrogênio;
- Torque rolos;
- Velocidade rolos;
- Umidade da polpa retida;

Figura 2.10 - Prensa de Rolos.



Fonte: ACNP - VALE, 2013.

2.2.8. Mistura na Pelotização

O processo de mistura garante a homogeneização do aglomerante, fundentes e combustíveis sólidos moídos adicionados à polpa retida a pelotizar na etapa de dosagem. É uma etapa crítica no processo de pelotização devido às baixas dosagens dos aglomerantes orgânicos e também a boa eficiência de mistura garante o bom desempenho do pelotamento, com impacto direto sobre a qualidade das pelotas cruas. (ACNP – VALE, 2013).

Figura 2.11 – Misturador Horizontal.



Fonte: ACNP – VALE, 2013.

2.2.9. Pelotamento na Pelotização

O processo de formação de pelotas cruas com tamanho e resistência mecânica adequada ao processamento térmico. O mecanismo de formação das pelotas cruas é baseado na ação de forças capilares no sistema composto pelas partículas – água – ar.

Figura 2.12 - Vista de um Disco de Pelotização.

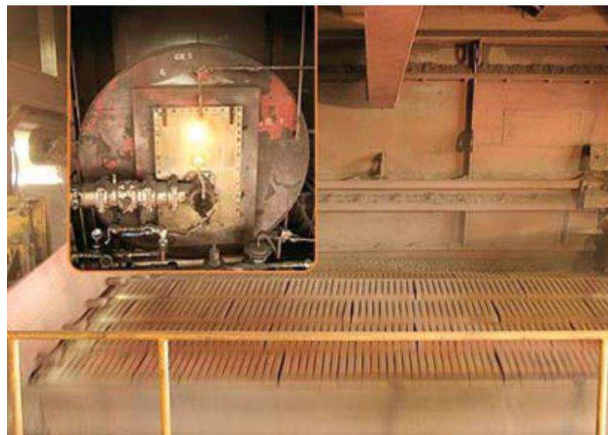


Fonte: Autor.

2.2.10. Queima na Pelotização

Ao sair do disco ou do tambor, as pelotas seguem para um forno – semelhante ao da sinterização – para serem “queimadas”. No interior do forno, o aquecimento acontece gradativamente, até alcançar uma temperatura de 1.350 °C, o que garante a consolidação das partículas. A queima tem a função de proporcionar alta resistência mecânica às pelotas. Depois da queima, a pelota pode resistir a cargas maiores de 300 kg. (ACNP – VALE, 2013).

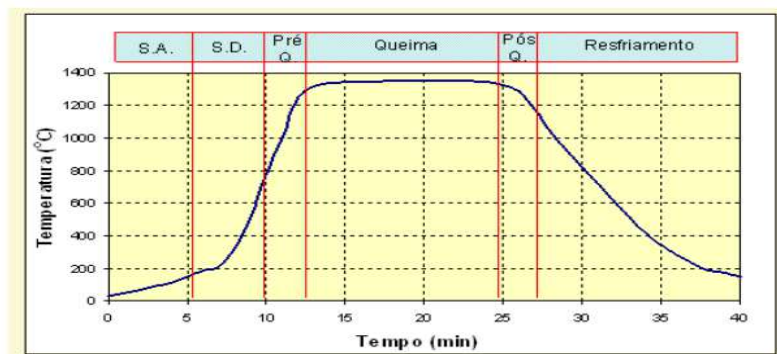
Figura 2.13 - Grelha Móvel vista lateral.



Fonte: Curso de Mineração Básico – Vale, 2013.

Abaixo, segue a curva de temperatura do forno, por zona.

Figura 2.14 - Curva de aquecimento do Forno.



Fonte: FERNANDES, 2008.

Na Tabela 2.2, podemos notar quanto tempo a pelota passa em cada zona.

Tabela ii – Permanência da Pelota Crua por Tempo em cada zona do forno.

Zona	Tempo	(%)
Secagem Ascendente	5 minutos	12.8
Secagem Descendente	4 minutos e 20 segundos	10.5
Pré-Queima	3 minutos	7.6
Queima	12 minutos e 20 segundos	30.8
Pós-Queima	2 minutos e 20 segundos	5.8
Resfriamento	13 minutos	32.5

Fonte: Adaptado de FERNANDES, 2008.

2.2.11. Peneiramento na Pelotização

O peneiramento é a última fase do processo, para fazer os ajustes finais na granulometria das pelotas. Daí em diante é seguir, quase sempre por correia transportadora, para o pátio do porto e embarcar para o cliente. (ACNP – VALE, 2013).

Figura 2.15 - Peneira Vibratória.

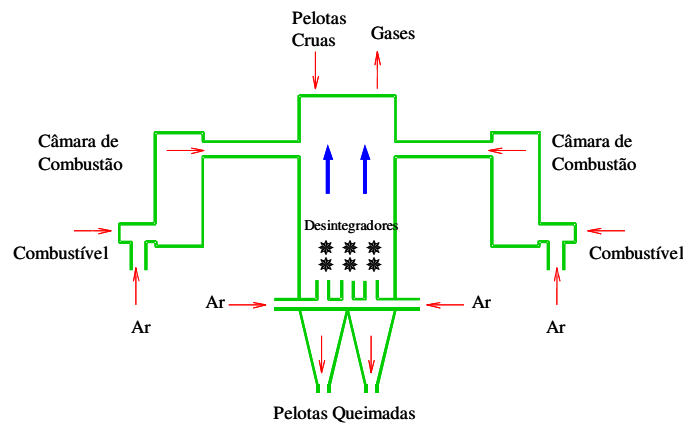


Fonte: SILVA, 2008.

2.3. Tipos de Fornos utilizados na Queima em Usinas de Pelotização

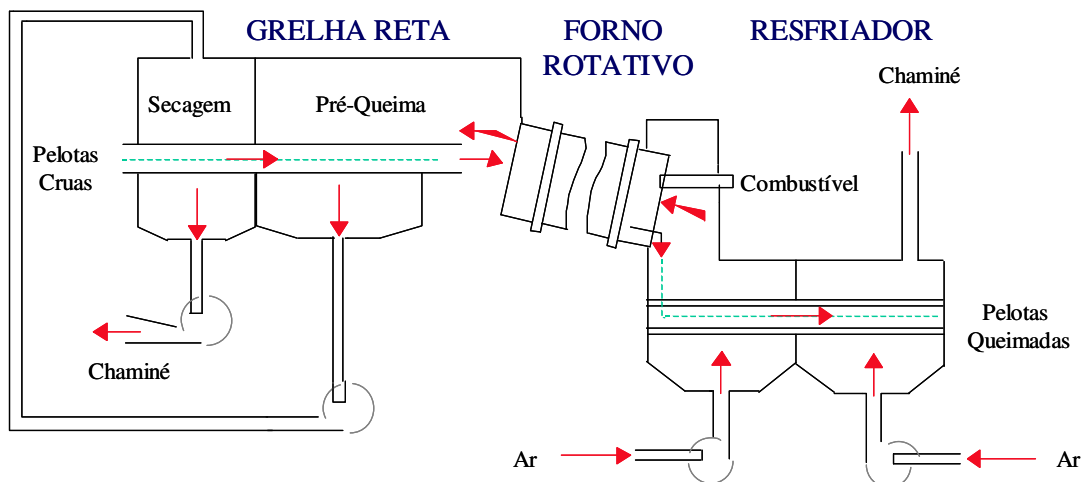
Como a Queima é a operação unitária responsável também por conferir às pelotas cruas alta resistência física e propriedades metalúrgicas adequadas ao uso nos reatores de redução. Atualmente três tipos de fornos são utilizados na etapa de queima das pelotas: forno vertical (shaft furnace), grelha móvel-forno rotativo (grate kiln) e grelha móvel (traveling grate), sendo este último utilizado na Usina de Pelotização de São Luís. (ACNP – VALE, 2013).

Figura 2.16 - Forno Vertical – Shaft Furnace.



Fonte: SILVA, 2008.

Figura 2.17 - Grelha Móvel-forno rotativo – Grate Kiln.

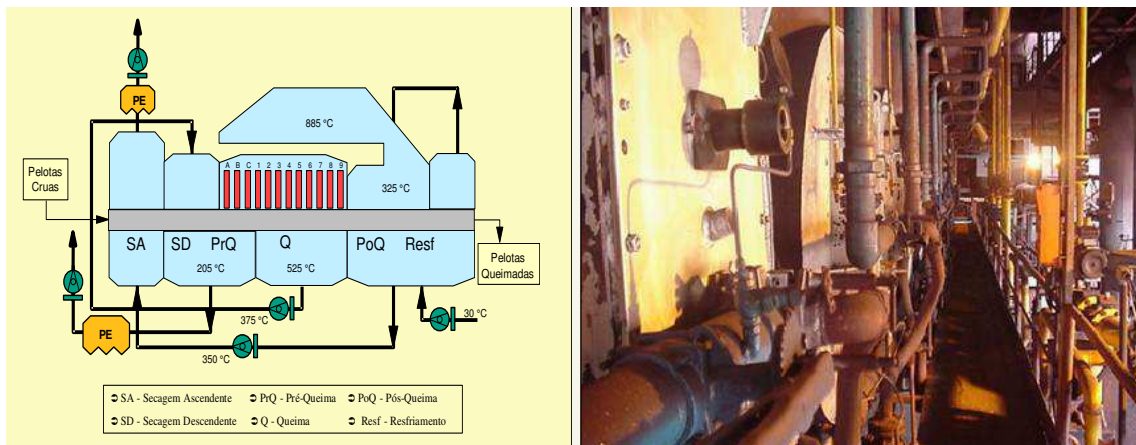


Fonte: SILVA, 2008.

A combinação entre o calor (temperatura de queima) fornecido com o tempo de processamento da pelota crua, possibilita as reações de consolidação dos constituintes internos – óxido de ferro, calcário calcítico/dolomítico, levando à produção de pelotas queimadas com diversas microestruturas e qualidades física/metalúrgica. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001).

Durante a queima, diversos parâmetros devem ser monitorados ou controlados visando garantir a qualidade do produto final assim como, a eficiência do processo: altura da camada de forramento, altura da camada total, distribuição das pelotas cruas nos carros de grelha, nível do silo de camada de forramento, velocidade da grelha, pressões nas caixas de vento nas diversas zonas do forno, temperaturas dos gases que passam pelos ventiladores de queima e recuperadores, temperaturas dos grupos de queima, formação de cascão nas câmaras de combustão, pressão de óleo/gás nas linhas dos queimadores. A figura 2.18 apresenta o desenho esquemático do processo de queima e a foto do forno de usina de pelotização. (ACNP – VALE, 2013).

Figura 2.18 - Desenho esquemático do processo de queima e foto do forno de Pelotização.



Fonte: SILVA, 2008.

2.4. Partes do Forno de Grelha Móvel da UPSL

2.4.1. Dados de projeto da Grelha Móvel

Tabela iii – Dados de projeto da Grelha Móvel de São Luís.

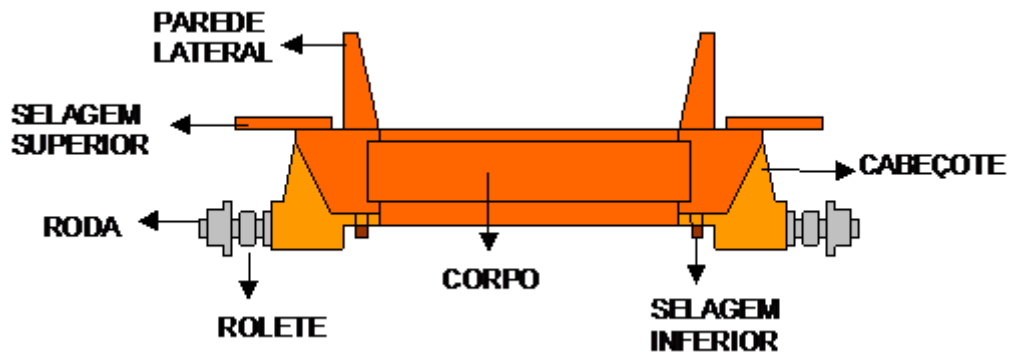
DADOS DE PROJETO DA GRELHA MÓVEL		
Capacidade nominal	t/h	760
Comprimento das zonas de processo	m	192
Dist. entre acionamento e abaixamento	m	205,1
Dimensões dos carros	m	4 x 1,5
Numero de carros		282
Velocidade nominal	m/min	4,4 ~ 4,9
Range de velocidade	m/min	1.47 ~ 7.35

Fonte: DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001.

2.4.2. Carros de Grelha

São carros colocados sobre a grelha. Sua função é transportar as pelotas cruas através das diversas zonas de processo do forno para promover o tratamento térmico aplicado às pelotas. Eles são compostos de dois cabeçotes, quatro rodas, quatro roletes (ou buchas), paredes laterais (inferior e superior) e o corpo propriamente dito. O corpo é constituído de uma liga de aço fundida aço ASTM 297 em forma quadrangular e simétrica, com quatro seções onde são colocadas as barras de grelha. O corpo é dimensionado de forma tal que possa ser virado quando estiver empenado (causado por estresse térmico ou mecânico, devido longo tempo de operação), até determinado limite. Este limite máximo de empeno do corpo dos carros (10 mm) deve ser respeitado à risca para evitar que ele tenha que ser sucateado antes do tempo previsto. A exposição dos carros de grelha à temperaturas acima de 1.000°C pode provocar sérios danos à sua estrutura, comprometendo sua vida útil, além de correr o risco de travar a grelha. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001).

Figura 2.19 - Desenho esquemático do carro de grelha.



Fonte: DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001.

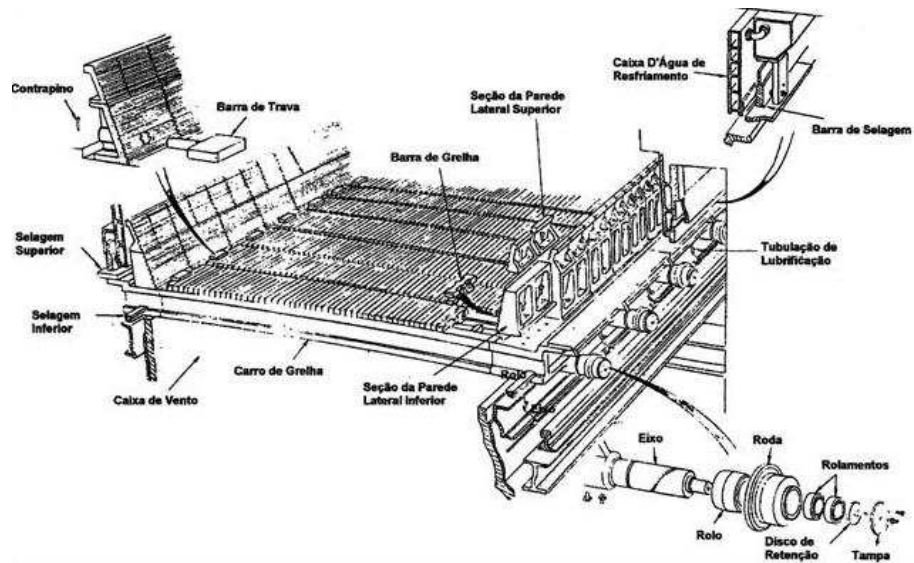
2.4.3. Caixas de refrigeração

Ao longo das paredes laterais do forno são instaladas as caixas de refrigeração. São denominadas 4 tipos de caixas (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001) :

- Caixa interna: Parte interna do forno na base das paredes;
- Caixa externa: Interface interna/externa;
- Caixa viga: Apoio para as caixas internas (se encaixam); e
- Caixa transversal: Instalada na base das paredes transversais do forno que dividem as zonas do forno.

Todas estas caixas têm a função de vedação e resfriamento das partes metálicas do forno. O líquido refrigerante é a água fornecida pela torre de resfriamento ou ar fornecido pelo ventilador BO-851K-01.

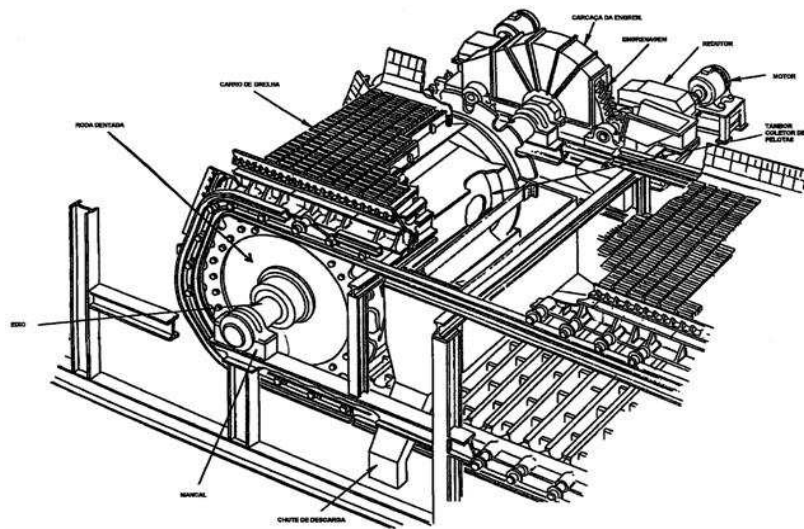
Figura 2.20 - Desenho esquemático do carro de grelha e selagens.



Fonte: DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001.

2.4.4. Acionamento

Figura 2.21 - Acionamento da Grelha.



Fonte: DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001.

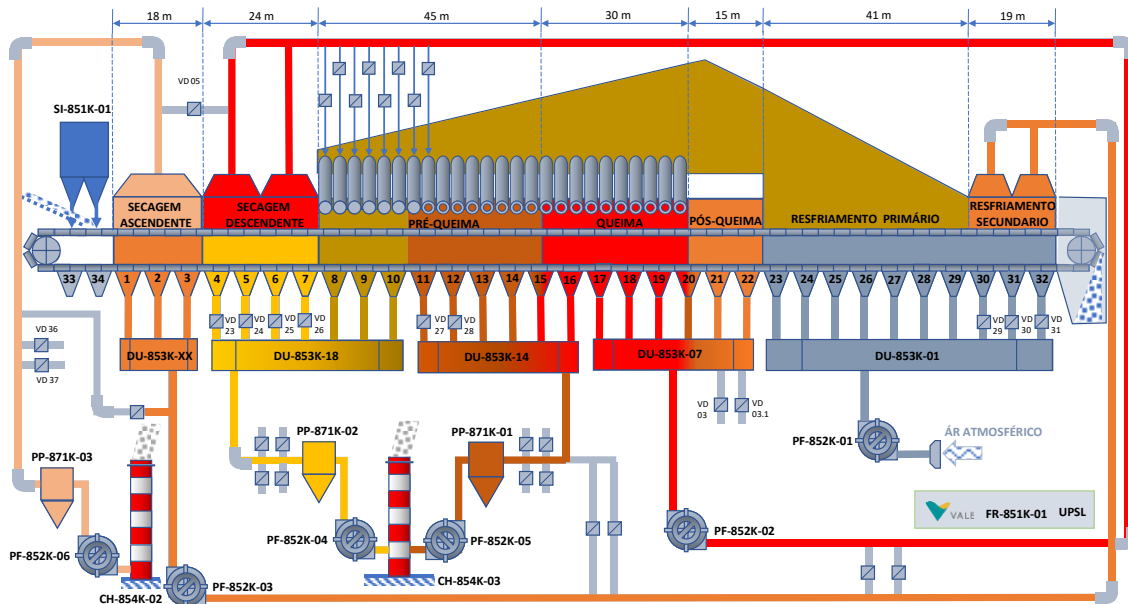
O sistema é constituído por um motor elétrico de corrente alternada de potência relativamente baixa (110 kW), um redutor com uma grande relação de redução acoplado

a uma caixa de engrenagem que transmitirá o torque necessário à duas rodas dentadas denominadas levantadoras (motrizes), montadas em um eixo único e apoiadas em mancais. É na região das rodas levantadoras que se processa a alimentação dos carros de grelha. Entre o motor e o redutor existe um sistema de freios que tem a função de parar a grelha imediatamente após o desligamento do motor. Este freio é muito útil para as manutenções, como troca de carros de grelha. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001).

Para o perfeito funcionamento do sistema de acionamento é fundamental que não haja falta de lubrificação, desalinhamentos, caixas de vento com excesso de pelotas ou qualquer outro problema que aumente o atrito da grelha móvel.

2.5. Zonas do Processo da Queima da UPSL

Figura 2.22 - Esquema de funcionamento do Forno.



Fonte: Autor.

2.5.1. Secagem Ascendente

É o primeiro estágio do processo. Gases provenientes da câmara do resfriamento secundário na região final do forno, são recuperados pelo ventilador PF-852K-03, através dos dutos DU-852K-02/03, para as caixas de vento WB-851K-01 à 03 que são correspondentes à secagem ascendente. Nas caixas de vento da secagem ascendente, a temperatura deve estar em torno de 315°C e a pressão fica em torno de +400 a +500 mm H₂O enquanto que na câmara relativa a esta região, estes valores oscilam em torno de 105°C a 180°C e -10 a -15 mm H₂O, respectivamente. Os gases da câmara são succionados pelo ventilador de exaustão PF-852K-06 através do duto DU-853K-21 e processados no precipitador eletrostático PP-871K-03 para retirada de particulados e lançados na atmosfera. Em todas as zonas do processo é necessário que seja feita uma análise separada das temperaturas e pressões de processo nas caixas de vento e no forno. O ventilador de processo que faz o controle de pressão da câmara na secagem ascendente é o PF-852K-06. A velocidade de rotação deste ventilador é controlada por um indicador e controlador de velocidade (inversor de frequência - 52S61). Este inversor de frequência recebe indicação do controlador de pressão (51P35). Existem dois medidores de pressão na câmara (51P31 e 51P32) que podem enviar informação para este controlador. Porém, apenas a informação de um destes medidores é receptada no 51P35 pois existe uma chave manual (51H31) que seleciona qual informação que será enviada. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001).

Antes do ar succionado pelo ventilador ser descartado para atmosfera, o mesmo é processado no precipitador eletrostático PP-871K-03, onde o material particulado é retirado. Antes do precipitador, existe um indicador e controlador de temperatura (53T08) que possui sets nos seguintes valores:

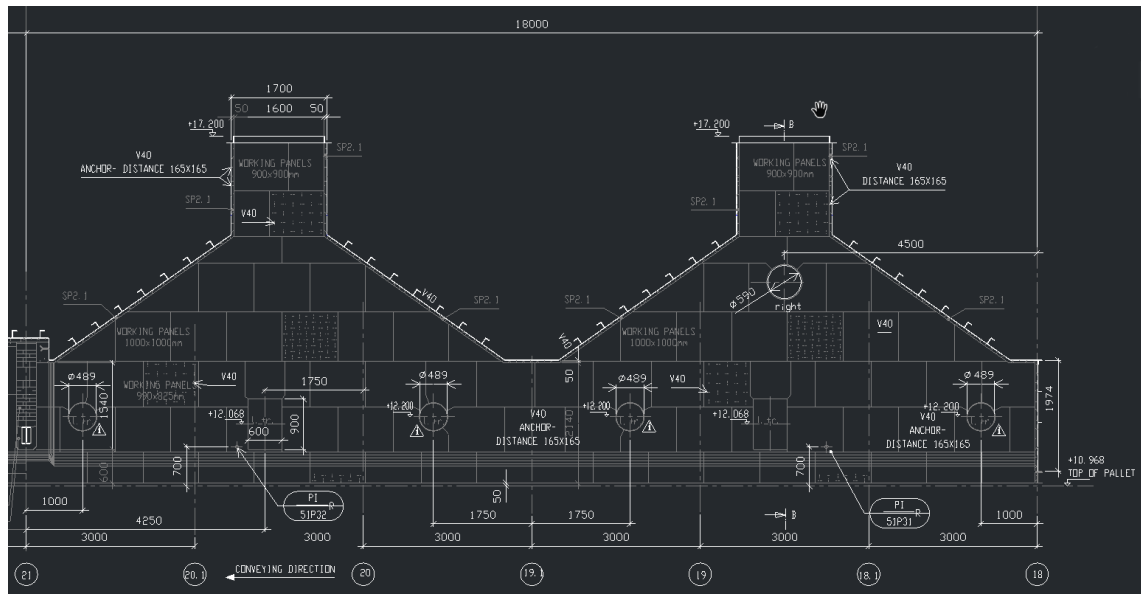
- 105°C: Alarme de temperatura baixa;
- 125°C: Temperatura de referência para o controlador; e
- 180°C: Alarme de temperatura alta.

Se a temperatura cair para menos do que 105°C, haverá formação de H₂SO₄ na saída da chaminé CH-854K-02. Portanto, quando o alarme de baixa temperatura for acionado, os bleed in's VD-853K-36 e 37 são totalmente fechados. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001).

Caso a temperatura no 53T08 se eleve acima de 125°C, este controlador atua abrindo automaticamente os bleed in's para diminuir esta temperatura. Se mesmo depois de abrir totalmente os bleed in's, a temperatura continuar a subir e chegar a 180°C, um alarme é acionado na sala de controle para que seja tomada alguma ação, visando a queda desta temperatura.

O ventilador de processo PF-852K-03 faz a exaustão dos gases da câmara de resfriamento II para as caixas de vento da secagem ascendente. A pressão nessas caixas de vento é controlada por um indicador/controlador de pressão (51P02) que está localizado na caixa de vento WB-851K-02. Este controlador está ligado ao damper VD-853K-01 no duto DU-853K-04 que desvia o ar de processo direto para o precipitador PP-871K-03, bypassando as caixas de vento da secagem ascendente. A pressão setada no 51P02 deve ser de 480 mmH₂O. Quando ocorrer um aumento de pressão, o controlador atua automaticamente abrindo o damper descrito, aliviando a pressão nas caixas de vento na secagem ascendente. Durante o estágio de secagem ascendente, a umidade que está confinada nos capilares e poros das pelotas cruas é evaporada por gases quentes. Quando o gás de secagem flui através do primeiro leito de pelotas (parte inferior do leito), ele absorve uma parte da umidade dessas pelotas. A temperatura de entrada dos gases da secagem ascendente decresce de acordo com a troca de calor com o leito de pelotas cruas. Quando a temperatura dos gases estiver próxima de 100°C, uma fração da água evaporada se condensará quando encontrar o leito de pelotas úmidas e frias da parte superior do leito. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001).

Figura 2.23 - Desenho técnico da Secagem Ascendente.



Fonte: mg Engineering Lurgi, 2000.

2.5.2. Secagem Descendente

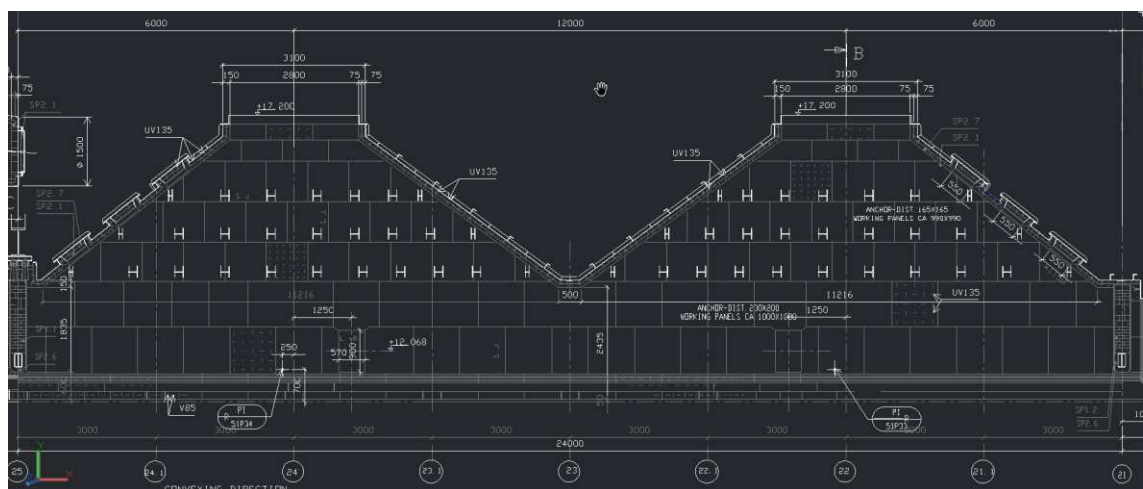
A secagem descendente é a segunda região do processo. Os gases que provém das caixas de vento da queima são recuperados pelo ventilador de processo PF-852K-02 através dos dutos DU-853K-07 e 10 para a câmara de secagem descendente. Portanto, o fluxo de gases atravessa esta região da zona superior para a zona inferior do forno. A temperatura na câmara deve ser aproximadamente de 320 a 360°C e a pressão em torno de zero a +6 mm H₂O enquanto que nas caixas de vento, 150°C e -300 a -500 mm H₂O respectivamente. Os gases das caixas de vento são retirados pelo ventilador de exaustão PF-852K-04 pelo duto DU-853K-18, processados no precipitador PP-871K-02 e lançados na atmosfera. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001).

Foi visto que na secagem ascendente ocorre um efeito danoso ao leito superior das pelotas que pode ocasionar um excesso de umidade. A combinação da secagem ascendente e secagem descendente é aplicada para superar este efeito danoso. Durante a secagem ascendente o leito inferior será secado e aquecido primeiro. Logo durante a subsequente secagem descendente, os leitos superiores de pelotas são secados e

aquecidos e o fluxo de gases irá de encontro às pelotas secas e aquecidas dos leitos inferiores não ocorrendo o fenômeno visto na secagem ascendente que é a queda da temperatura dos gases abaixo do ponto de orvalho. Portanto, a combinação dessas fases do processo promove a secagem mais eficiente de todo o leito de pelotas. A temperatura inicial dos gases de secagem é limitada pela temperatura de choque das pelotas. Se a temperatura estiver muito alta, a taxa de transferência de calor para as pelotas será também alta, conseqüentemente, a formação e saída do vapor d'água dos interstícios das pelotas será acelerada podendo ocasionar trincas e ainda crepitação das pelotas, deteriorando a qualidade e comprometendo um bom funcionamento do forno. A pressão também deve ser mantida nos valores esperados; se for muito alta, pode provocar deformação e trincas nas pelotas do leito superior que estão com alta umidade e plasticidade, se a pressão estiver muito abaixo da região de pré-queima, gases com altas temperaturas dessa região podem se transferir para a secagem descendente provocando o choque térmico descrito acima. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001).

Para controle da pressão nesta região, e conseqüentemente da taxa de secagem, existem dampers (VD-853K-23 a 26) instalados em todas as caixas de vento da secagem descendente. Esses dampers são operados pela sala de controle através de indicadores/controladores de abertura (51H01 a 51H04 respectivamente).

Figura 2.24 - Desenho técnico da Secagem Descendente.



Fonte: mg Enginering Lurgi, 2000.

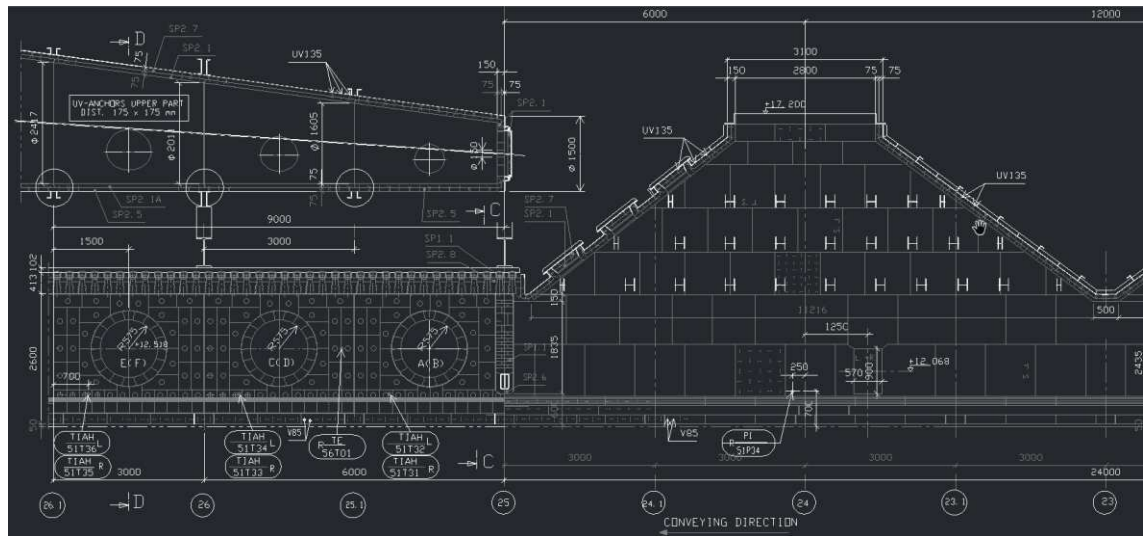
2.5.3. Pré-queima

Após a etapa de secagem das pelotas, segue a 3ª região de processo do forno que é a pré-queima. Os gases de processo desta região são originados em duas zonas. A primeira é na etapa de resfriamento primário, os gases são recuperados através do tubulão HO-851K-01, mecanismo denominado de recuperação direta, a temperatura dos gases é de aproximadamente 1.000°C. Os gases do tubulão são transferidos para a câmaras através de canais de descida. A segunda fonte de gases da pré-queima é das caixas de vento da queima em torno de 320°C a 360°C. Assim como na secagem descendente, os gases são recuperados pelo ventilador PF-852K-02 através dos dutos DU-853K-03 e 10. Parte do fluxo é desviado para o duto DU-853K-13, que então é direcionado para a zona de pré-queima. Os gases das caixas de vento são retirados pelos ventiladores PF-852K-04/05 pelos dutos DU-853K-18 e 14, passam pelos precipitadores PP-871K-01/02 e posteriormente são descartados. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001).

Os 7 primeiros grupos de controle não são equipados com queimadores, portanto, o controle de temperatura é realizado através da mistura controlada dos gases (Válvulas Dampers). A temperatura nas paredes aumenta com o avanço da região, de 330°C para 830°C. Nas caixas de vento a temperatura aumenta gradativamente com o avanço da região de 110°C até 300°C. A partir da 8ª câmara, queimadores são instalados para aumentar a temperatura dos gases de 830° até 1.330°C (temperatura de queima) e nas caixas de vento avançam de 300°C até 500°C. A pressão do forno é levemente negativa (-4 a -10 mm H₂O) enquanto que nas caixas de vento varia em torno de -200 a -500 mm H₂O. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001).

Esta é a etapa do processo onde ocorre o início de endurecimento das pelotas secas. A pré-queima do forno de São Luís é longa (45 m) propiciando uma rampa amena de aumento de temperatura. Essa característica se deve ao tipo de minério que será queimado, que é muito hidratado (possui grande quantidade de minério reagido quimicamente com a água), portanto, a água cristalizada é evaporada nesta região.

Figura 2.25 - Desenho técnico da Pré-Queima.



Fonte: mg Engineering Lurgi, 2000.

2.5.4. Queima

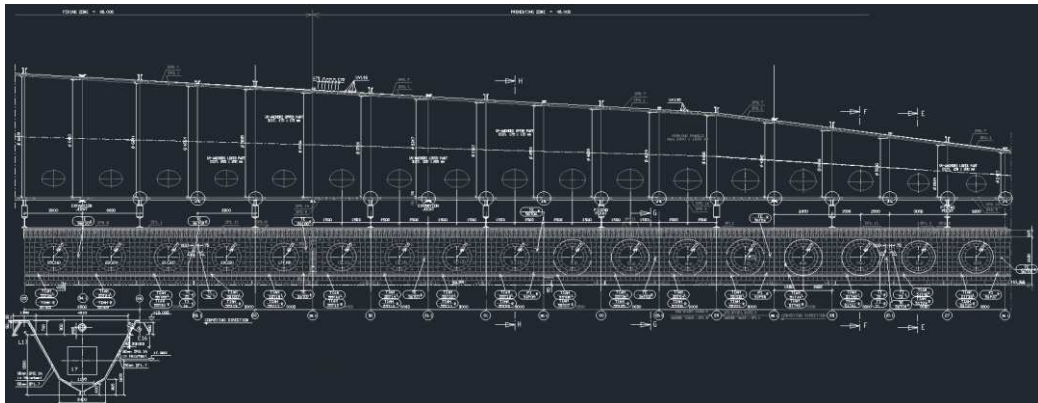
A queima estende-se da caixa de vento WB-851K-15b até WB-851K-20a. Esta região engloba 20 câmaras, sendo 10 de cada lado do forno, todas elas com queimadores. Os gases dessa região provêm somente do tubulão de recuperação direta com temperatura em torno de 1.000°C e são direcionados para todas as câmaras através Esta é a etapa de efetivo endurecimento das pelotas. As pelotas são queimadas por transferência de calor através de convecção entre os gases de processo e o leito de pelotas. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001). A esta temperatura as forças de ligação que são características para o processo de queima de pelotas são estabelecidas basicamente por:

- Crescimento dos cristais e recristalização da hematita; e
- Reação da escória formada pelos constituintes.

2.5.5. Pós-queima

A 5ª zona de processo e menor região de reação do forno com apenas 15 m de comprimento. A pós-queima é introduzida para otimizar a recuperação de calor. Os gases quentes relativos às primeiras caixas de vento do resfriamento primário são forçados diretamente através do leito de pelotas sem consumo adicional de óleo. O fluxo de ar no resfriamento é ascendente enquanto que na pós-queima é descendente. É importante evidenciar a importância desta zona para a qualidade das pelotas. Nesta região é onde ocorre a queima da última camada (camada inferior) do leito de pelotas, portanto, se a pós-queima não for eficiente, a qualidade das pelotas será comprometida. A região de pós-queima é curta e estende-se da caixa WB-851K-20b à WB-851K-22. O controle de temperatura e pressão é feito pelo ventilador de processo PF-852K-02. A pressão nesta região deve variar de -200 mmH₂O até -400 mmH₂O enquanto que a temperatura de 250°C à 400°C. A pressão e temperatura do forno não são diretamente controlados na pós-queima. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001).

Figura 2.26 - Desenho técnico da Queima e Pós-Queima.

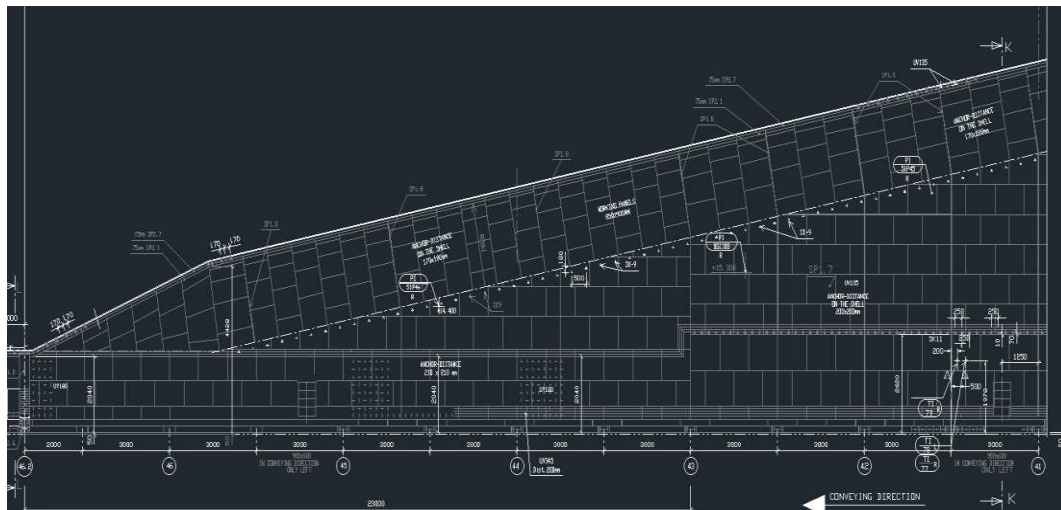


Fonte: mg Engineering Lurgi, 2000.

2.5.6. Resfriamento I e Resfriamento II

As duas últimas regiões do forno. O ventilador PF-852K-01 fornece ar à temperatura ambiente (30°C) para estas regiões através do duto DU-853K-01. O fluxo de resfriamento é ascendente. A zona de resfriamento possui um comprimento total de 60 m sendo 41 m para o resfriamento primário e 19 m para o resfriamento secundário. Em consequência de estar localizada em seguida da pós-queima, a zona de resfriamento primário promove gases de processo com altas temperaturas (~1.000°C), enquanto que na zona de resfriamento secundário os gases da câmara estão em torno de 315°C. Mas o que realmente difere estas zonas é o destino de recuperação desses gases. Na câmara de resfriamento I, os gases passam pelo tubulão de recuperação direta. Já os gases na câmara de resfriamento II são recuperados para a secagem ascendente. As pelotas quentes são cuidadosamente resfriadas para uma temperatura desejada de cerca de 100 - 120°C, para proteção dos transportadores de correia posteriores na área de peneiramento. (DIFN – Sistema A6 – Queima – Vale, 2001).

Figura 2.27 - Desenho técnico da zona de Resfriamento I.



Fonte: mg Engineering Lurgi, 2000.

Figura 29 - Caixas d'água utilizadas no forno de grelha móvel



Fonte: Autor.

O material utilizado é o Brasilcast 665 E – 0270/Ver.00, é um material em peça de concreto refratário e aluminoso vibrado e curado. Sua composição química segue na tabela 3.1.

Tabela iv – Folha de dados Técnicos do bloco refratário (Brasilcast 665 E).

Composição Química	Unidade	Valor Típico	Faixa
SiO ₂	%	28,0	25,0/32,0
Al ₂ O ₃	%	65,0	62,0/68,0
Fe ₂ O ₃	%	0,9	≤1,5
CaO	%	1,3	≤2,0

Fonte: IBAR: Indústria Brasileira de Artigos Refratários Ltda, 2015.

Os tipos e quantidades seguem na Tabela 3.2:

Tabela v – Tipos, quantidade de peso das caixas secas

Descrição	Qtd	Unidade de medida	MARCA	PESO (kg)	TOTAL (kg)
CAIXA SECA TIPO 2 (MACHO)	620	PC	BRASILCAST 665 E	54,89	34031,8
CAIXA SECA TIPO 3 (FÊMEA)	520	PC	BRASILCAST 665 E	54,89	28542,8
CAIXA SECA TIPO 1 (TOPO)	120	PC	BRASILCAST 665 E	48,79	5854,8
					68429,4

Fonte: IBAR: Indústria Brasileira de Artigos Refratários Ltda, 2017.

Em 2016, foram realizadas inspeções e avaliações técnicas do Forno de Grelha Móvel da UPSL, com intuito de validar a integridade de equipamentos e demais componentes mecânicos, estruturais, refratário, isolamento térmico, hidráulicos, pneumáticos, lubrificação centralizada, sistema de combustão, etc.

Durante esta avaliação foi executado inspeção visual das caixas d'água de refrigeração do forno. Após esta inspeção, foi concluído que o sistema de refrigeração do projeto original colapsou vindo a provocar a perda total da integridade estrutural das caixas d'água de refrigeração.

Portanto, para implantação do novo projeto, todos os componentes do projeto original instalados deverão ser desmontados e sucataados, incluindo: Caixas d'água interna, externa, transversais e caixas viga suporte, tubulação de alimentação e retorno de água de refrigeração, mangotes, válvulas, bombas, tanques, etc.

Figura 30 – Detalhe da situação das tubulações de água, mangotes e válvulas lado esquerdo.



Fonte: Equipe de engenharia da Vale, 2018.

Figura 31 – Detalha da situação das tubulações de água, mangotes e válvulas lado direito

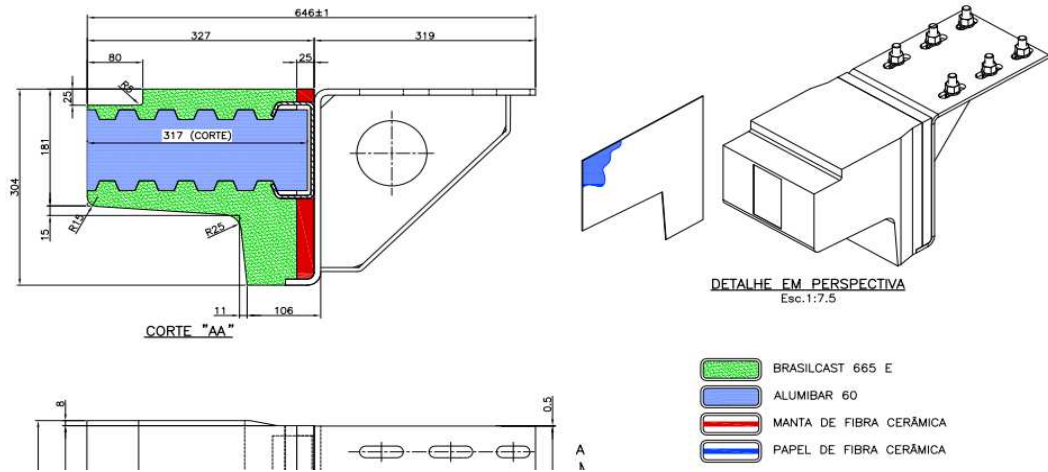


Fonte: Equipe de engenharia da Vale, 2018.

3.1. Instalação do console de fixação das caixas secas internas e externas

Para que as caixas secas internas e externas fossem fixadas, foi necessário que fosse instalado de consoles (vigas de apoio) abaixo da viga de sustentação longitudinal do Forno de Grelha Móvel, conforme mostrado no detalhe da Figura 3.3.

Figura 32 – Desenho esquemático da caixa seca interna.



Fonte: IBAR: Adaptado de Indústria Brasileira de Artigos Refratários Ltda, 2015.

Nas Figuras 3.5 e 3.6, notamos a instalação que foi realizada, para apoio da caixa seca interna e apoio para viga da caixa seca externa.

Figura 33 – Detalhe os consoles de sustentação e caixa seca interna.



Fonte: Equipe de engenharia da Vale, 2018.

Figura 34 – Detalhe do console de sustentação parte externa e caixa interna.



Fonte: Equipe de engenharia da Vale, 2018.

Na Figura 3.7 segue a vista isométrica do suporte para a fixação da caixa seca externa.

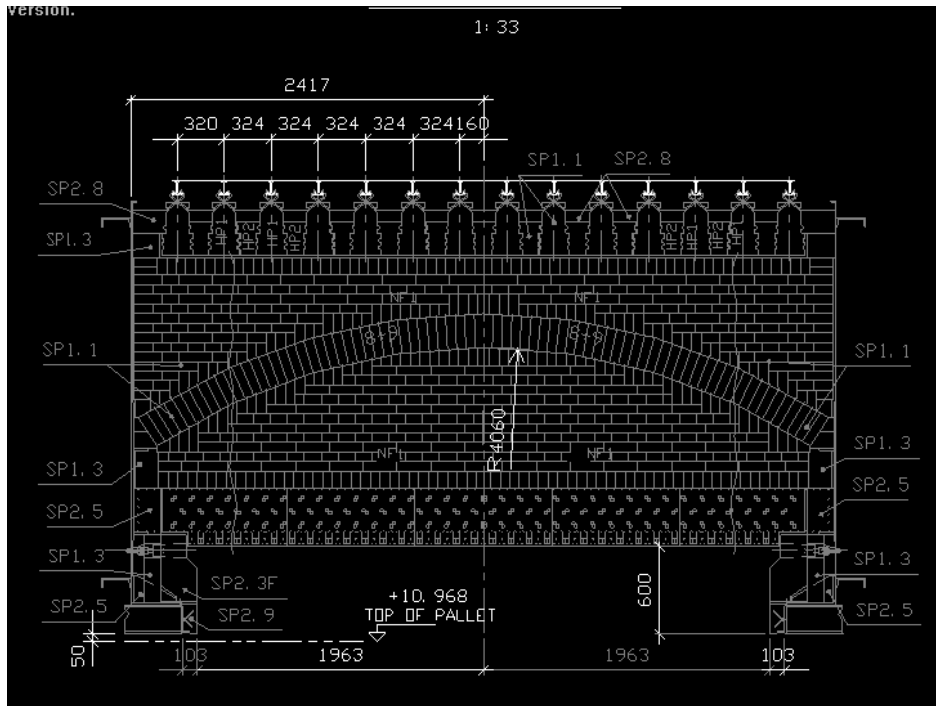
Figura 35 – Fabricação do console da caixa seca externa.



Fonte: Equipe de engenharia da Vale, 2018.

3.2. Instalação do console de fixação das caixas transversais

Figura 36 – Desenho técnico da sustentação da parede transversal e caixa d'água transversal.



Fonte: Desenho Vale: 851K-12-0498, 2000.

Como todo o sistema de água foi retirado, por consequência não haveria mais linhas de água para continuar abastecendo as 5 paredes transversais que dividem as áreas do forno. Além disso, o problema de vazamento de água em cima do leito de pelotas cruas, ainda poderia ser possível, mesmo que em uma probabilidade menor.

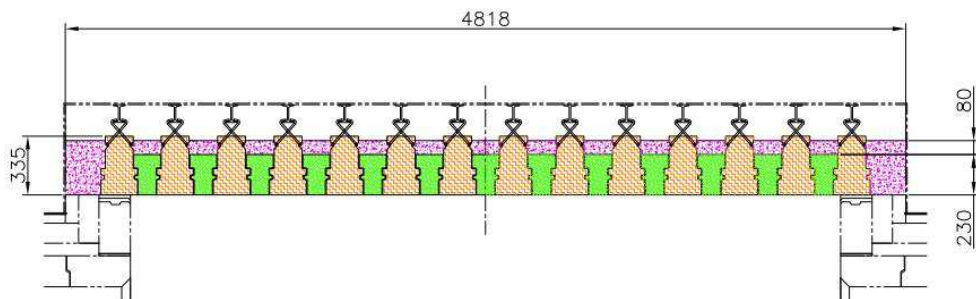
Logo, houve a necessidade de também se criar um projeto para substituir essas caixas d'água transversais. Ou seja, como antes a parede divisória ficava totalmente apoiada sobre a caixa d'água transversal, com o novo projeto a parede passa a ficar pendurada na parte superior do forno. Agora a parede divisória passa a ser chamada de “cortina”. Utilizando o Brasilcast 570, um material bem mais leve e menor se comparado com Brasilcast 665 E (material das caixas secas internas e externas).

Figura 37 – Demolição da parede divisória do Forno e caixa d'água transversal.



Fonte: Equipe de engenharia da Vale, 2018.

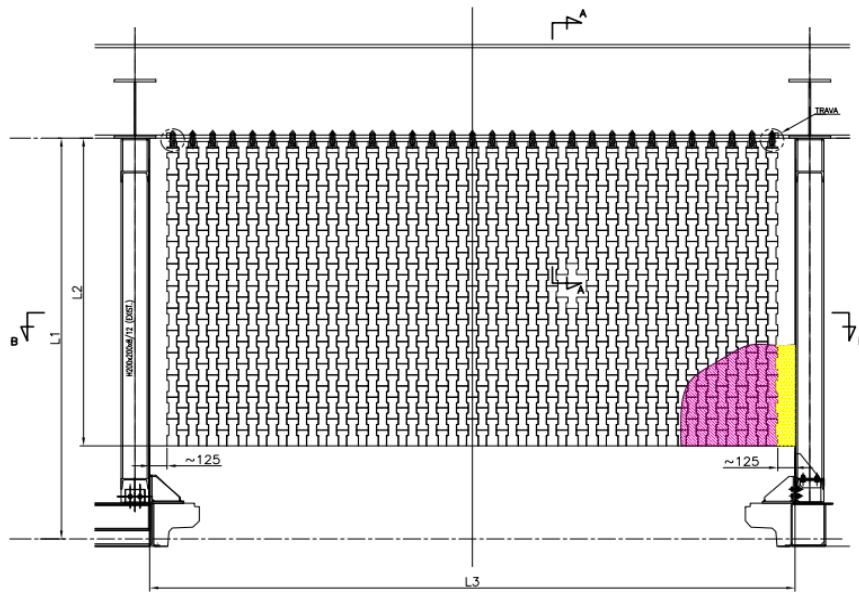
Figura 38 – Detalhe da fixação da parede divisória tipo cortina.



Fonte: Adaptado de Indústria Brasileira de Artigos Refratários Ltda, 2015.

O material utilizado nessa composição é o BRASILCAST 570 e o MULIBAR 72, materiais comumente utilizados em refratários.

Figura 39 – Nova parede divisória do Forno.



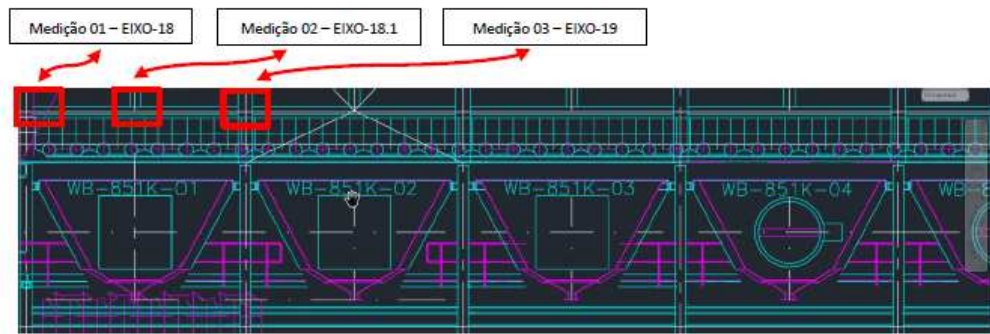
Fonte: Adaptado de Indústria Brasileira de Artigos Refratários Ltda, 2015.

3.3. Folgas entre carro de grelha e caixas secas

Nesta etapa, após a implantação, foi necessária a realização de inspeções e verificações dimensional das folgas laterais e folgas superiores entre as laterais do carro de grelha em relação aos blocos refratários tipo caixa seca interna e em relação às caixas secas externas do forno para certificação das medidas de folgas orientadas pelo novo projeto. Esta medição serviu para garantir que o carro ao percorrer a extensão do forno pelos trilhos não viesse a arrancar as caixas seca superior e inferior.

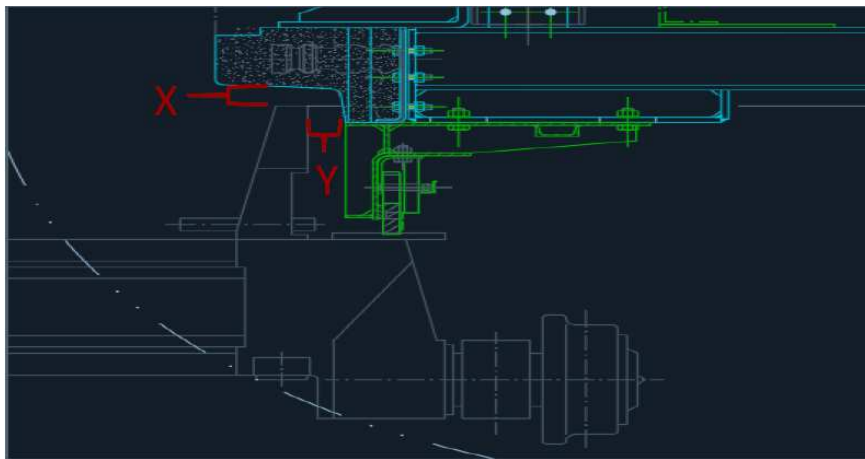
As medições das folgas entre a Lateral do Carro de Grelha em relação aos blocos refratários e caixas secas externas foram feitas a cada 3 metros usando como referência os eixos do Forno conforme mostrado abaixo no sentido de fluxo de rolamento da grelha, esta metodologia foi utilizada do Eixo-18 até o Eixo-50 tomando como referência um carro de grelha deslocando o mesmo em toda a extensão do forno. Durante as medições e inspeção, foi observado o comportamento do carro em relação ao alinhamento do mesmo, nos trilhos retos superiores bem como a verificação das folgas laterais e superiores. Os resultados dessas medições, encontram-se no Item 4.

Figura 40 - Posição das Medições



Fonte: Autor.

Figura 41 – Vista frontal do carro e detalhe da medição.



Fonte: Adaptado de mg Engineering Lurgi, 2000.

X → Folga entre a lateral superior do carro de grelha e os blocos refratário tipo caixa seca interna:

Folga de projeto: $X=58$ mm.

Y → Folga entre as laterais do carro de grelha e as caixas secas externas:

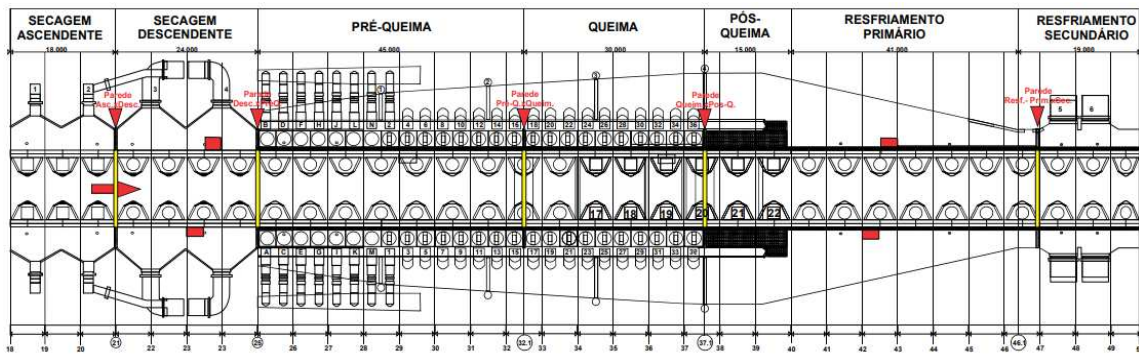
Folga de projeto: $Y=60$ mm.

Durante as medições, foi feita a verificação do trilho de translação das rodas do carro grelha, preparação de ferramentas para deslocamento do carro de grelha sobre os trilhos retos superiores, deslocamento do carro sobre os trilhos retos superiores em toda extensão da grelha e verificação dimensional das folgas superior e lateral, no caso da última, conforme mostrado na Figura 3.44.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o que foi descrito, após a implantação por parte da equipe de projeto da Vale, foram realizados testes e os resultados seguem detalhados neste capítulo.

Figura 42 – Vista lateral com imagem das paredes divisórias.



Fonte: Equipe de engenharia da Vale, 2018.

Após a instalação das caixas, como descrito no item 3.4, foi necessário realizar o deslocamento do carro ao logo do trilho do forno com o intuito de encontrar não conformidades, ou possíveis estruturas que impedissem o translado do carro. Os resultados seguem no item 4.1.

Na Figura 4.1, podemos observar em evidência as 5 paredes divisórias que foram instaladas, o registro fotográfico da parede segue na figura a seguir.

Figura 43 – Parede divisória instalada.



Fonte: Equipe de engenharia da Vale, 2018.

Como mostrado acima, o resultado é satisfatório, pois, todas as paredes transversais não usam mais água, além disso, o seu tempo de montagem utilizando o Brasilcast foi inferior ao tempo de montagem utilizando caixa d'água.

4.1. Resultado das medições das folgas superiores e laterais

Tabela vi – Resultados das Folgas entre a lateral do carro de grelha e as caixas secas.

ZONAS	EIXOS	LADO ESQUERDO FORNO		LADO DIREITO FORNO	
		D _{superior}	D _{lateral} (mm)	D _{superior}	D _{lateral}
Secagem Ascendente	18-18.1	80	75	85	70
	18.1-19	75	78	65	82
	19-19.1	70	65	75	80
	19.1-20	76	63	60	80
	20-20.1	78	80	75	85
	20.1-21	75	70	72	80
	21-21.1	75	65	85	82

Secagem Descendente	21.1-22	76	72	80	75
	22-22.1	85	68	65	95
	22.1-22	80	62	70	75
	22-22.1	85	65	75	70
	22.1-23	90	75	80	70
	23-23.1	78	75	72	62
	23.1-24	78	65	58	65
	24-24.1	80	55	65	70
	24.1-25	80	58	60	82
Pré-Queima	25-25.1	85	55	75	78
	25.1-26	90	50	70	85
	26-26.1	95	65	82	82
	26.1-27	95	55	95	80
	27-27.1	100	55	90	70
	27.1-28	82	75	80	62
	28-28.1	95	55	80	65
	28.1-29	60	70	80	70
	29-29.1	60	85	55	82
	29.1-30	55	75	50	85
	30-30.1	57	60	50	80
	30.1-31	55	70	60	65
	31-31.1	75	60	60	78
	31.1-32	58	72	55	78
32-32.1	60	80	60	65	
Queima	32.1-33	50	95	60	80
	33-33.1	60	85	70	75
	33.1-34	55	80	55	60
	34-34.1	55	75	65	60
	34.1-35	50	85	70	60
	35-35.1	55	85	60	65
	35.1-36	62	90	60	70
	36-36.1	72	72	68	60
	36.1-37	51	84	74	60
	37-37.1	52	57	60	45
Pós-Queima	37.1-38	57	53	63	50
	38-38.1	61	74	70	55
	38.1-39	66	63	68	60
	39-39.1	68	77	68	55
	39.1-40	55	74	68	55
Resfriamento Primário	40-40.1	50	72	45	45
	40.1-41	60	70	42	57
	41-41.1	65	70	53	53
	41.1-42	60	80	76	83
	42-42.1	55	70	50	82

	42.1-43	65	50	50	70
	43-43.1	67	55	55	69
	43.1-44	66	58	65	69
	44-44.1	62	65	72	77
	44.1-45	65	75	65	78
	45-45.1	65	65	60	74
	45.1-46	60	70	45	72
	46-46.2	58	85	57	58
Resfriamento Secundário	46.2-47	52	63	53	65
	47-47.1	57	74	83	72
	47.1-48	58	72	82	70
	48-48.1	60	68	70	65
	48.1-49	62	65	69	74
	49-49.1	65	72	60	68
	49.1-50	60	78	60	80

Fonte: Autor.

Com base nos resultados obtidos durante inspeção e execução das atividades descritas no item 3 onde foram checados todos os detalhes dimensionais do projeto do refratário e da lateral do carro de grelha, verificamos a não existência de desvios, o que nos mostra que os referidos componentes inspecionados e analisados estão em conformidade com o projeto do fabricante, uma vez que as folgas são maiores ou bem próximas das folgas que recomenda o projeto.

4.2. Economia

As caixas d'água do projeto original do Forno de Grelha Móvel (FR_851K_01), trouxe uma economia tanto em energia elétrica quanto em água tratada por dia, o consumo médio de água tratada por dia era de 1000m³.

Em um bairro, onde o consumo médio é de 10 m³ por dia de água logo, é provável que esta quantidade de água fosse o suficiente para abastecer aproximadamente 100

residências. Por fim, a quantidade de água utilizada pelas caixas d'água foi reduzida em 100%.

4.3. Segurança

Em termos de segurança, pode-se dizer que foram sanadas condições inseguras na área (exposição do empregado ao risco), pois, por dentro das caixas d'água, passavam água à alta temperatura e constantemente os mangotes de entrada e saída eram danificados ou até mesmo a própria estrutura do da caixa d'água furava, podendo assim atingir algum emprego. Entre as condições inseguras sanadas, destacam-se:

- Batida contra: quando a pessoa bate o corpo ou parte do corpo em alguma estrutura instalada na área.
- Superfícies quentes: sanada a condição de queimaduras causadas por superfícies quentes.
- Queda de mesmo nível: ocorre o trabalhador caminha e tropeça em algum equipamento ou componente causando a sua queda.
- Queda de objetos: queda da estrutura ou outros componentes da estrutura que podem se desprender do equipamento por fragilidade na sua estrutura.

4.4. Manutenção

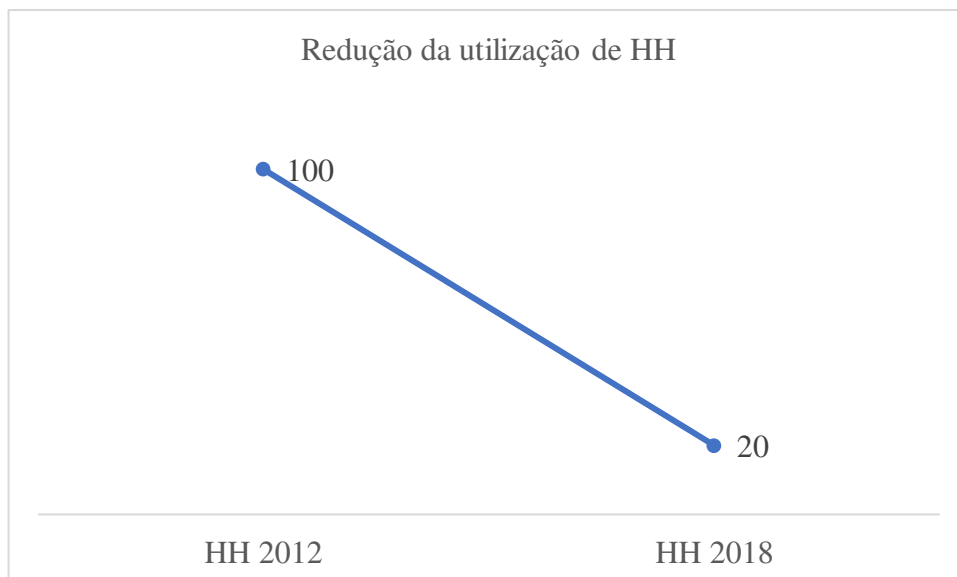
O ganho em manutenção é evidente, pois, pelo fato de as caixas d'água funcionarem a alta temperatura, caso algum problema ocorresse, era necessário que o Forno estivesse a uma temperatura acessível para que a equipe de manutenção corretiva pudesse atuar.

Para que isto ocorresse, era necessário que a Usina ficasse parada por horas, acarretando um grande prejuízo, fora o tempo de reaquecimento.

Desta forma, os ganhos foram em HH (homem-hora), pois, no Forno, deixaram de existir manutenções corretivas nas caixas d'água internas, externas e manutenções nos mangotes da linha de água de alimentação/retorno. Além disso, houve também redução de custos em materiais.

Observando a Figura 4.3, podemos perceber que esta redução em termos de HH, chegou a marca de 80% de redução, considerando que o HH se manteve com o mesmo índice de mobilização desde 2012.

Figura 44 – Redução da utilização de HH



Fonte: Autor.

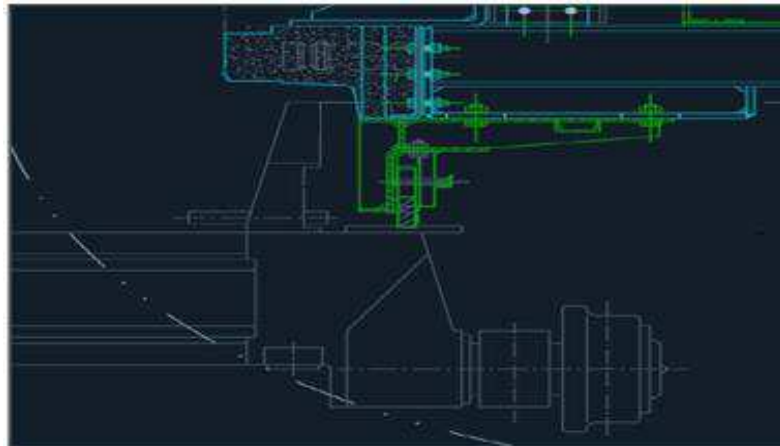
4.5. Problemas encontrados durante operação

Durante a retomada de operação da Usina, alguns blocos de caixa seca interna, se soltaram arrastando outros blocos para o interior do forno e outra parte foi transportada com o leito de pelotas, por outro lado, a mobilização de recursos e tempo de reparo foi inferior se comparado com a manutenção das caixas d'água.

4.6. Barras de grelha para vedação

Além da instalação das caixas secas internas, externas e transversais, surgiu um novo problema, após a instalação as caixas deixavam um espaço entre a barra de selagem superior do carro de grelha e a própria caixa seca. Conforme mostrado a seguir.

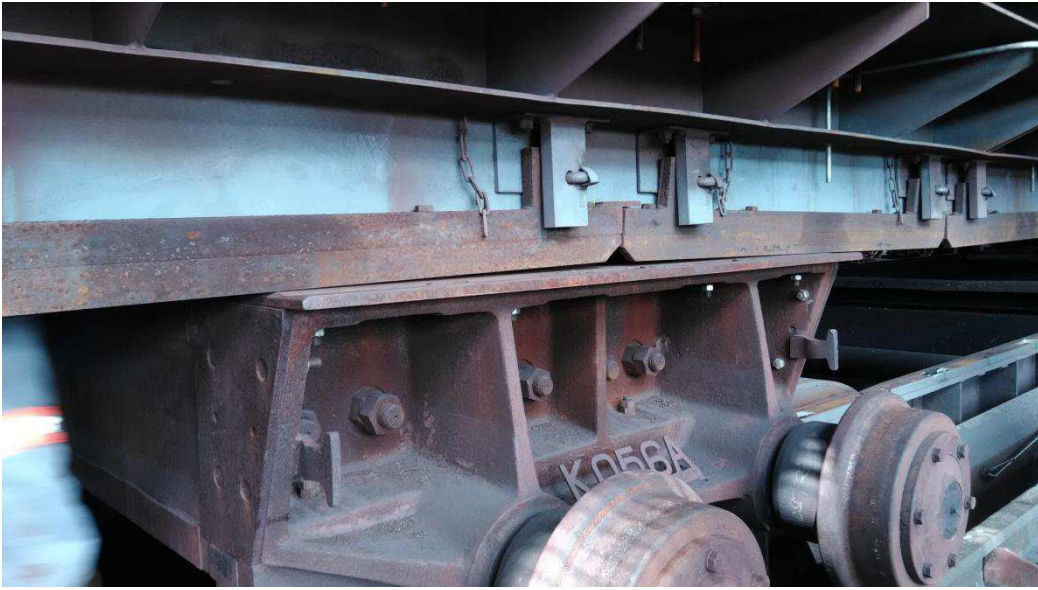
Figura 45 – Folga entre selagem superior e a caixa seca externa.



Fonte: Adaptado de mg Enginnering Lurgi, 2000.

Para que o problema fosse sanado, fizemos a instalação de barras de aço de cerca de 1 pol (25,4mm) para que o ar quente que circula dentro do forno não escoasse para o lado de fora, vindo a causar algum acidente. Além disso, para evitarmos sobrecarga no Acionamento da Grelha, também foi necessário a instalação de um sistema de lubrificação centralizada, para facilitar o deslizamento da barra de aço sobre a selagem superior do carro. Na Figura 4.5, segue o resultado da adaptação.

Figura 46 – Selagem entre a selagem superior do carro e barra de aço.



Fonte: Autor.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou através de revisão teórica e com uso principalmente do registro fotográfico de como uma mudança e ideia tão simples pode acarretar uma economia gigantesca.

Na montagem das caixas d'água, eram utilizados inúmeros recursos, a mobilização de mão de obra era grande deixando a manutenção muito comprometida caso houvesse algum serviço de emergência. Eram mobilizados, caminhão munck para transporte das caixas d'água, pois eram pesadas, andaimes dependendo da altura, máquinas de solda caso fosse necessário apenas a recuperação, conjunto oxi-corte caso fosse necessário a remoção, talha elétrica para transporte até o andar de montagem, caixa de ferramentas, etc., ou seja, antes era bem mais complicado a mobilização de bastante gente e recursos gera uma preocupação em torno da Segurança das pessoas que estão trabalhando e pelo fato de a manutenção ser terceirizada a cultura de segurança ainda não é tão difundida se comparada com a Vale. A preocupação maior também era na desmobilização pois, a equipe de manutenção provavelmente estaria cansada e era necessário também retirar todo o material e ferramental excedente para que a Usina pudesse retomar a operação.

Na montagem das caixas secas, pelo fato de ela apresentar dimensões muito menores cerca de 327x304mm, conseguimos mobilizar no máximo 3 pessoas para realizarmos a troca de um bloco de caixa seca externa, além disso, pelo fato de elas serem fixadas por tirantes a troca pode ser realizada in loco, ou seja, com um ferramental básico e com o material necessário para substituição da caixa seca, tendo em vista que dificilmente será necessário remover o console. Claro que isso só é possível, se o forno estiver a uma temperatura acessível, por isso é importante ressaltar que mesmo com as caixas secas a temperatura no interior do forno ainda é bastante elevada e não é possível a troca de qualquer caixa seca seja ela interna ou externa com o Forno de Grelha Móvel funcionando.

No caso das caixas secas internas, para a substituição de um ou mais blocos é necessário a parada total do Forno, pelo fato de a caixa encontrar-se dentro da região de maior fluxo de calor e temperatura, geralmente a manutenção dessas caixas secas

internas precisam ser realizadas com a usina totalmente parada e durante uma parada a quente ou a frio (grandes paradas programadas para manutenções prioritárias).

Por outro lado, durante a retomada da operação da Usina alguns blocos de caixa seca, se desprenderam do console. O que nos levou a concluir que a preparação do material e a fixação dos mesmos foram inadequadas, pois, todos os parafusos tinham um torque específico de aperto, pode ser que alguma equipe se desatentou neste quesito. Além disso, para manter uma caixa justa a outra era necessário a utilização de uma argamassa aluminosa, que tinha a função de vedação, ou seja, não deixar de forma alguma que o ar a alta temperatura escoasse por pequenos espaços que fossem deixados pelas imperfeições e, manter as caixas presas umas as outras. Porém, foi possível notar a diferença neste problema, conforme dito anteriormente, a mudança trouxe uma grande economia em termos de orçamento e ganhos em tempo de manutenção.

Fica como sugestão de possibilidade de trabalhos futuros que possuem o potencial de agregar valores mais científicos a este trabalho e resultados, voltados a um estudo do perfil de temperatura da parede divisória entre cada zona do Forno de Grelha Móvel. Outro trabalho também interessante seria sobre a modelagem matemática de operação do Forno de Grelha Móvel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUGUSTO, Karen Soares. Identificação automática do grau de maturação de pelotas de minério de ferro. Dissertação (Mestrado). o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos da PUCRio. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO, p. 25 – 28, 2013.

BARATI, M. Dynamic simulation of pellet induration process in straight-grate system. *International Journal of Mineral Processing*, v. 89, n. 1-4, 30-39p, December 2008.

CASTRO José; FRANÇA Alexandre; GUILHERME Vagner. e SAZAKI Yasushi. Estudo numérico da influência de propriedades de amolecimento e fusão na cinética de formação de $(\text{CaFe}_2\text{O}_4\text{-Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5)$ na Sinterização do Minério de Ferro. *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 16-27, jan.-mar. 2013.

CSN Mineração S.A. MINÉRIO DE FERRO. Disponível em: <http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=61062&conta=45>. Acesso em: 25 de novembro de 2018.

DAWSAN, P.R. Recent Developments in Iron Ore Sintering - Part 1 Introduction. *Ironmaking and Steelmaking*, v. 20,n.2, p. 135-136, 1993 a.

DINIZ, Eduardo José. Pelotização de Minério de Ferro. 2014. 17p. Bacharelado em Engenharia de Minas. Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete. FUPAC Lafaiete, Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais.

IBAR: Indústria Brasileira de Artigos Refratários Ltda. Folha de Dados Técnicos: BRASILCAST 665 E. 2015.

EQUIPE DE ENGENHARIA DA VALE EM SÃO LUÍS. UPSL – USINA DE PELOTIZAÇÃO. São Luís – MA 2018.

FERNANDES, R.b. Pelotização de Minério de Ferro. Vitória – ES. Brasil 2008.

LANKFORD, W.T. Jr.; SAMWAYS, N. L.; CRAVEN, R.F.; MCGANNON, H.E. The Making, Shaping and Treating of Steel, 10.ed., Pittsburgh (USA): The AISE Steel Foundation, 1985. cap.5, p.304-312.

LOPES, Marcelino Vieira. Caracterização de Sínter de Minério de Ferro para Uso em Altos-Fornos a Carvão Vegetal. 2012. 32p. Dissertação (Mestrado). – Engenharia de Materiais – Mestrado Profissional, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

LUZ, A. B.; et al. Tratamento de Minérios. CETEM. Rio de Janeiro – RJ, 2002.
MAATEM, L. V. D.; POSTMA, E. HERIK, J. V. D. Dimensionality Reduction: A Comparative Review. Tilburg University, 2009.

MEYER, K. Pelletizing of Iron Ores. Berlin: Springer-Verlag, 1980.

MG ENGINNERING LURGI, Forno de Grelha Móvel da UPSL – Usina de Pelotização de São Luís, VALE S.A. 2000.

MOURÃO, J. M. ASPECTOS CONCEITUAIS RELATIVOS À PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIOS DE FERRO. Vitória – ES, Brasil. 15 p. 2017

MOURÃO, J. M. The growing importance pelletizing for iron ore mining and iron production. 3rd International Meeting on Ironmaking and 2nd International Symposium on Iron Ore. São Luís City, Brazil: 428-439 p. 2008.

MOURÃO, Marcelo B. et al. Siderurgia para não siderurgistas. Programa de Educação Continuada, São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2003.

OLIVEIRA, Eduardo Reis de; MARTINS, Jader. Emprego de resíduos siderúrgicos e pellet feed minipelotizados na sínterização de minério de ferro. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 56(4): p. 249-254, out/dez 2003a.

SILVA, Luciano Martins. INFLUÊNCIA DA UMIDADE NO PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO. 2008. 28 p. Curso Técnico em Metalurgia, Faculdade do Centro Leste – UCL.

SUSAKI, Katsujiro. Fundentes e Escorificantes. Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico – situação atual com tendências 2025. São Paulo: CGEE, 2008. 25p.

TAKEHARA, Lucy. Caracterização geometalúrgica dos principais minérios de ferro brasileiros: fração Sinter Feed. 2004. Tese (Doutorado em Geociências) -Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004

VALE S.A. CURSO DE MINERAÇÃO BÁSICO – OPERAÇÃO. 2013.

VALE S.A. MÓDULO 2 - APOSTILA DO CONHECIMENTO DO NEGÓCIO PELOTIZAÇÃO – OPERAÇÃO. 2013.

VALE S.A. SISTEMA A6 – QUEIMA – DEPARTAMENTO DE FERROSOS NORTE – DIFN. GEPEN-01-3-02-045. 2001.

VIEIRA, Cláudio B et al. Avaliação técnica de minérios de ferro para sinterização nas siderúrgicas e minerações brasileiras: uma análise crítica. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 56(2): p.97-102, abr. jun. 2003.