

**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
DE CONSELHEIRO LAFAIETE
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ANÁLISE DO PROCESSO DE DESSULFURAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO
PARA IDENTIFICAR AS NÃO CONFORMIDADES E PROPOR MEDIDAS DE CONTROLE**

**ANALYSIS OF THE DESULFURATION PROCESS: A CASE STUDY TO
IDENTIFY NON-CONFORMITIES AND PROPOSE CONTROL MEASURES**

Arthur da Silva Fernandes

Jussara Fernandes Leite

Rodovia MG 482 - Gigante, Conselheiro Lafaiete - MG, 36400-000- Brasil
181-005173@aluno.unipac.br, jussara.leite@unipac.br

Resumo:

Uma das etapas da siderurgia para a produção do aço é a aciaria, que possui máquinas e equipamentos que vão transformar o ferro gusa em aço. O ferro gusa possui em sua composição impurezas como o enxofre. A retirada do enxofre é feita pelo processo de dessulfuração. Nesse contexto, esta pesquisa teve como o objetivo de identificar não conformidades no processo de dessulfuração e apresentar medidas para neutralizá-las. Desta forma, esta pesquisa é um estudo de caso, que foi realizado em uma empresa siderúrgica localizada na cidade de Ouro branco -MG. Ela possui características bibliográfica, descritiva, explicativa e exploratória, com dados qualitativos e quantitativos. Por meio do desenvolvimento da pesquisa, foram identificadas não conformidades como entupimento de linhas, falha de válvulas, dificuldade nas especificações de cal e magnésio, vazamentos de nitrogênio por toda a planta além de compactação dentro dos vasos. Como medidas de controle foram propostas capacitação de operadores, planos de manutenção, disponibilidade de peças sobressalentes, sistema de vibração dos silos e grupo de melhoria continua.

Palavras-chave: Dessulfuração. Não Conformidades. Medidas de controle. Enxofre. Ferro Gusa

1 INTRODUÇÃO

A siderurgia é considerada um dos principais segmentos da metalurgia. Área dedicada a produção do ferro fundido e tratamento de aço. O aço possui propriedades como resistência a altas

temperaturas, durabilidade e baixo custo de manutenção. Ele é usado nas diferentes áreas produtivas como a automotiva, transportes, construção civil e outras.

Em uma das etapas da siderurgia para a produção do aço está a aciaria que possui máquinas e equipamentos que vão transformar o ferro gusa em aço. Para que isso aconteça é necessário que haja o refino primário na qual é retirado alguns componentes como silício, manganês, enxofre e principalmente o carbono. Já no refino secundário são feitas correções mais específicas, fazendo a correção de outros elementos químicos com adição de ferro-ligas. O equipamento comumente utilizado para essas correções é o Forno-Panela. Após esse momento, o aço líquido é solidificado via lingotamento convencional ou lingotamento contínuo que geraram a matéria prima para a etapa seguinte da siderurgia nomeada laminação.

O ferro gusa, matéria prima foco desse estudo, possui em sua composição ferro, carbono, silício, manganês, enxofre, fósforo, sendo as principais impurezas o carbono, enxofre e o fósforo. Sua obtenção é através do Alto Forno no qual é produzido com minério de ferro aglomerado em forma de sinter ou pelotas, adição de fundentes além do uso de coque metalúrgico.

O enxofre é desejado quando se procura fabricar aços de corte fácil para fabricação em série de peças. Entretanto os aços que possuem baixos teores de enxofre têm-se refletido em melhores valores de mercado devido ao seu alto nível de resistência mecânica na aplicação.

Sendo assim, para a retirada do enxofre, ainda como gusa, utiliza-se equipamentos de dessulfuração. Esses equipamentos tem potencial de trabalharem altos níveis de enxofre e entregarem ao gusa com valores mínimos. As possibilidades de dessulfuração vão de tratamentos ainda nos carros torpedos - utilizado para transporte de gusa - ainda podendo ser tratado diretamente nas painéis com revestimento refratário. Nesse último, ainda pode ser dessulfurado através de inserção de lança de injeção, ou através do equipamento Kambara Reator (KR).

Dentro do cenário, na empresa onde esta pesquisa foi realizada, encontram-se dificuldades de se utilizar as plantas de dessulfuração de forma eficiente, sem que gere atrasos de produção. Então este trabalho tem por motivação identificar não conformidades no processo de dessulfuração e apresentar medidas para neutralizar as não conformidades.

2 REVISÃO DA LITERATURA

As usinas siderúrgicas integradas possuem a capacidade de produzir aço iniciando seu processo a partir do recebimento de minério de ferro, passando pela coqueria, sinterização, alto forno, aciaria e laminações dentro de uma mesma unidade. A Figura 1 ilustra o processo siderúrgico integrado.

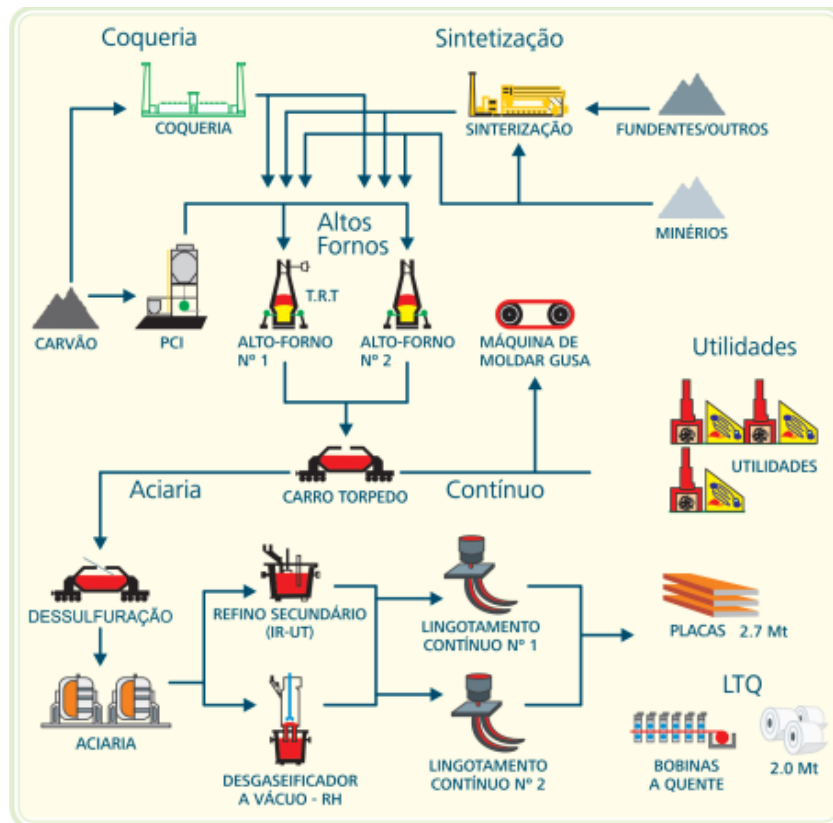


Figura 1 – Fluxograma do Processo Siderúrgico integrado

Fonte: Silva (2011)

2.2 Coqueria

O coque é obtido através do processo de “coqueificação”, que consiste no aquecimento do carvão mineral em câmaras fechadas, dispostas de diversas baterias de fornos individuais de destilação na ausência de oxigênio. Após esse processo, o coque é descarregado em altas temperaturas e resfriado bruscamente com água ou nitrogênio.

Silva (2011) informa que a produção do coque metalúrgico gera diversos subprodutos, e um dos mais úteis dentro da usina, esta o gás de coqueria. Esse combustível pode ser utilizado para aquecimento da própria coqueria, assim como pré-aquecimento de ar no alto forno e nos fornos de aquecimento. A Figura 2 apresenta as etapas da produção do coque.

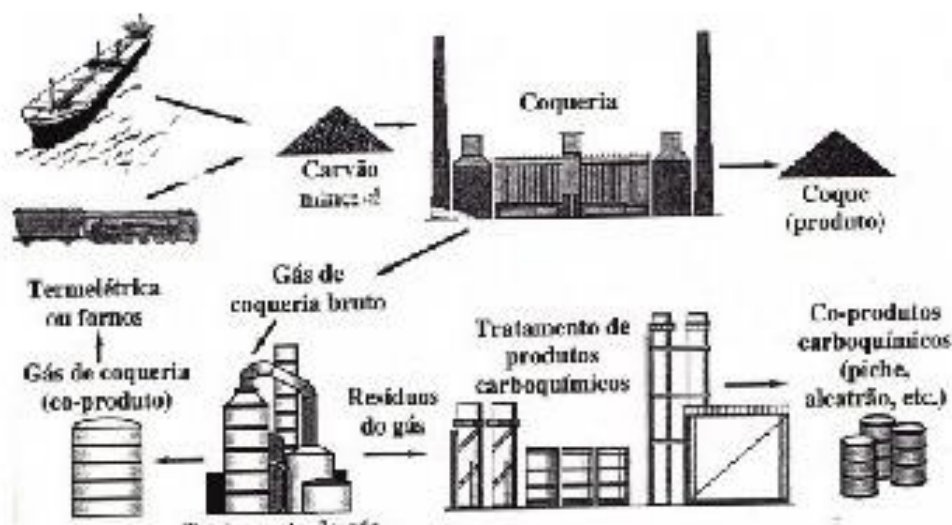


Figura 2 – Fluxo de produção de coque

Fonte: Villanova, (2010)

2.3 Sinterização

“A sinterização é um processo de aglomeração dos minérios de ferro que emprega o chamado sinter feed, minério com granulometria entre 0,1 a 9,5 mm” (MOURÃO 2007). Dentro dessa aglomeração, ainda incluem outros fundentes e adições e seu produto final é o sinter.

O processo se inicia na dosagem das matérias primas de fina granulometria que passa por um misturador e com adição de água, formam pequenas pelotas. Essa mistura é colocada em esteira de grelhas e levada a altas temperaturas, em torno de 1200° C, iniciando assim o processo de sinterização dessas pelotas. Essas pelotas são aquecidas por uma frente de combustão, alimentada por ar succionado ao longo do leito.

Silva (2011) esclarece que o fim da etapa de sinterização termina com o resfriamento da massa sinterizada, que será britada e peneirada, formando assim o material sinter que será utilizado no alto forno.

O fluxograma da etapa de sinterização pode ser observado na Figura 3.

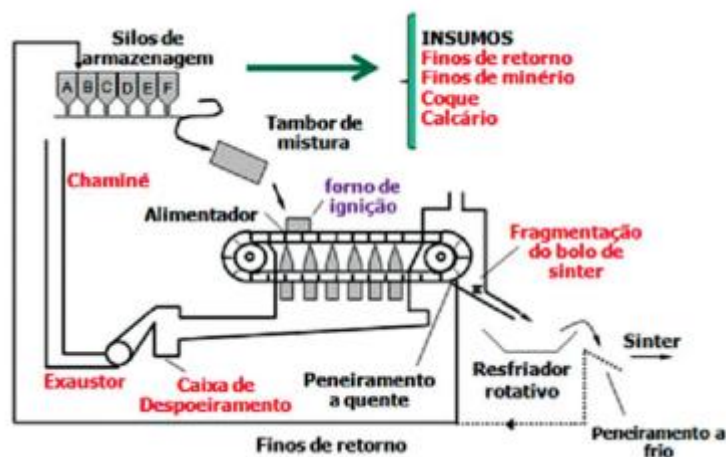


Figura 3 – Fluxo de produção de sinter

Fonte: Silva, (2007)

2.4 Alto Forno

“O alto-forno é um reator térmico no qual a carga sólida é descendente e os gases redutores ascendentes. É um equipamento contínuo e seu funcionamento é ininterrupto por anos”. (GOMES 2015). O alto forno tem como função principal a produção do ferro gusa, que é a matéria prima do aço.

O fluxo de materiais dentro de um alto forno pode ser observado na figura 4.

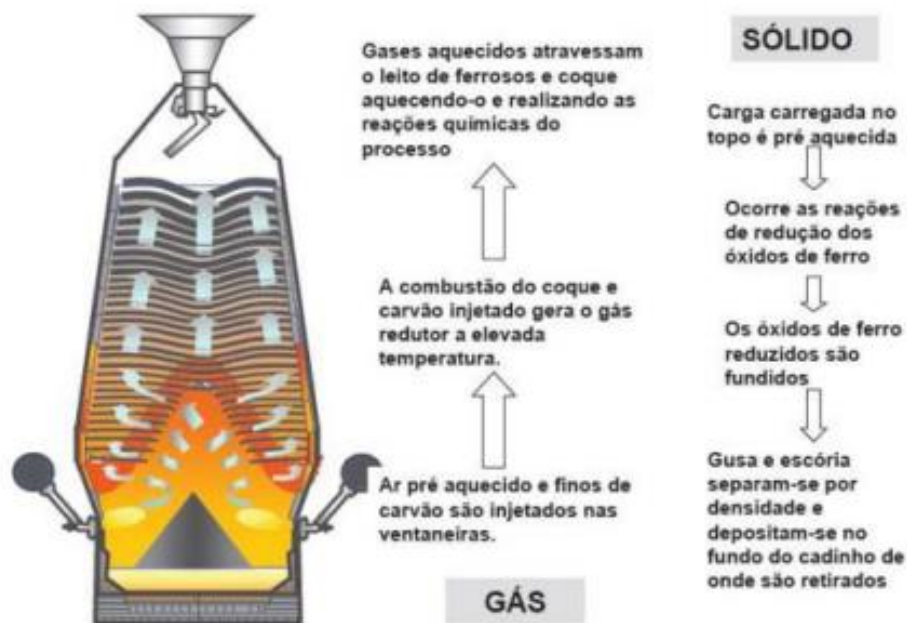


Figura 4 – Fluxo de materiais dentro do alto forno

Fonte: Gomes, (2015)

2.4 Aciaria

Segundo Mourão (2007), a aciaria é o setor da usina siderúrgica que faz a transformação do ferro gusa em aço líquido, e posteriormente em produto semi acabado sendo eles, placa bloco e tarugo. Na aciaria o gusa/ aço passam por alguns tratamentos na qual necessitam de retirada ou inclusão de elementos químicos. Para retirada de enxofre é utilizado alguns equipamentos de dessulfuração, já para a transformação do gusa em aço o equipamento utilizado é o conversor. Para tratamento do aço, já no refino secundário são utilizados os fornos de panela, RH e estação de borbulhamento, até que o aço chegue as torres de lingotamento no qual passaram pela sua conformação mecânica.

Segundo Silva (2012), o objetivo principal da dessulfuração é fazer com que o enxofre encontrado no gusa seja retirado em forma de escória que ficará por cima do banho de gusa e posteriormente removido por uma pá refratária, fazendo-se assim eficiente o processo podendo ser passado para a etapa seguinte do processo produtivo de aço.

Na Figura 5, pode ser observado um desenho esquemático de dessulfuração em carro torpedo.

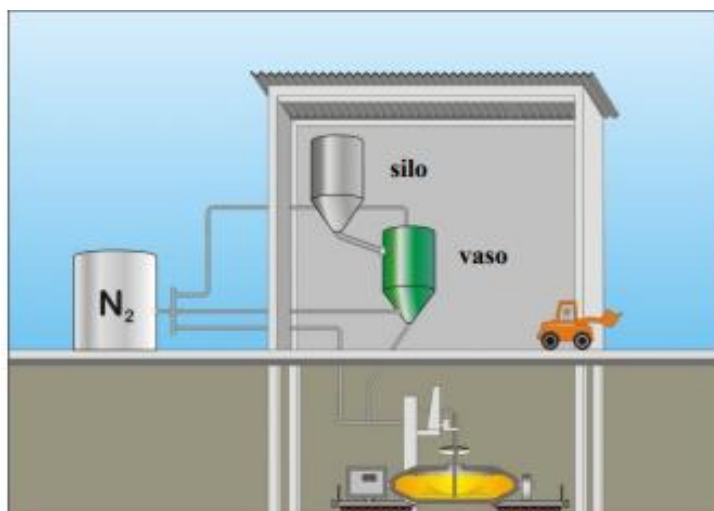


Figura 5 – Desenho esquemático de dessulfuração em carro torpedo

Fonte: Silva (2012)

O tratamento em carros torpedos consiste na adição de um material dessulfurante que é avaliado de acordo com a necessidade da empresa. Por meio de uma lança refratária, o material é arrastado através de um vaso que é pressurizado com nitrogênio. Nesse processo tem-se uma perda significativa de temperatura do gusa, e com isso pode acarretar em formação de cascão no torpedo,

diminuindo a capacidade de carga do carro torpedo. Além disso, é necessário um tempo elevado de tratamento girando em torno de 30 a 60 minutos, de acordo com o teor de enxofre contido no ferro gusa. Outro ponto relevante é o fato de não ser possível a retirada de escoria no torpedo, fazendo com que exista possibilidade de reversão de enxofre no metal. Sendo assim, é entendido como um equipamento de dessulfuração emergente, sendo usado em necessidades extremas. (SILVA 2012)

3 MÉTODOS

Em se tratando dos meios de pesquisa, este trabalho se qualifica como bibliográfico devido ao uso de literaturas existentes voltado para a área de usina siderúrgica, com detalhamento em uso de equipamentos de dessulfuração de ferro gusa, sendo utilizado artigos, livros e documentos internos da empresa.

O estudo de caso foi realizado em uma empresa siderúrgica localizada na cidade de Ouro Branco -MG, com o objetivo de identificar não conformidades no processo de dessulfuração e apresentar medidas para neutralizar as não conformidades.

Ainda quanto aos procedimentos, foi feito um questionamento com colaboradores da célula que também fazem uso dos equipamentos, para entender a melhor forma de sua utilização.

Quanto a abordagem se caracteriza como qualitativa, pois se utilizou de dados gerados a partir do questionamento, visando a melhor forma de utilizar os equipamentos de dessulfuração.

Quanto aos objetivos se caracteriza como descritiva, pois descreve a logística da dessulfuração no processo. Caracteriza-se também como exploratório, visto que se pretende gerar maior familiaridade para todos aqueles que necessitam da utilização desses equipamentos.

4. O ESTUDO

Neste capítulo é apresentado como é o processo de dessulfuração na empresa onde foi realizado esta pesquisa, como também as não conformidades e as medidas para reduzir ou eliminar as não conformidades.

4.1 Dessulfuração em panela

O processo de dessulfuração, na empresa onde foi realizada esta pesquisa, acontece em panelas refratárias onde é pesado o produto, após o ferro gusa sair do alto forno. Nesse processo é

injetado um material dessulfurante normalmente a base de cal, com opção de inclusão de magnésio e carbureto de cálcio. A injeção pode ser por lança refratária, ou pelo agitador, no qual é inserido no banho de gusa e faz-se uma mistura por rotação do gusa.

A Figura 6 apresenta um desenho esquemático de dessulfuração em panela.

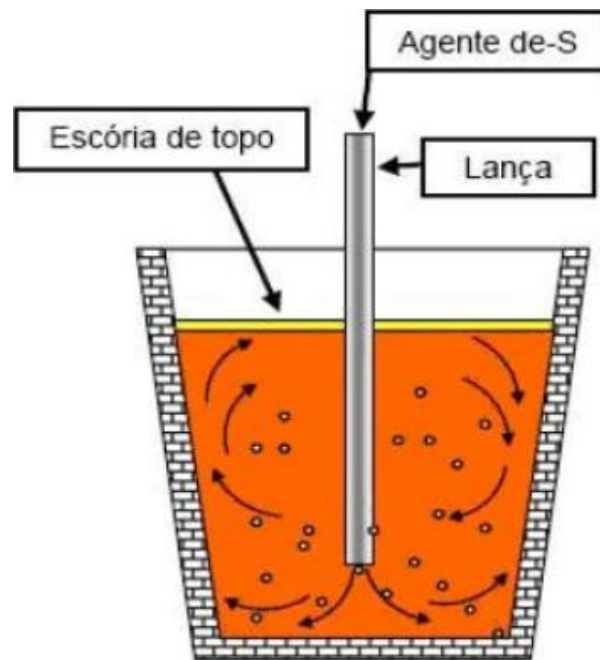


Figura 6 – Desenho esquemático de dessulfuração em panela

Fonte: Filho (2018)

Esse processo possui os princípios de funcionamento da dessulfuração em carro torpedo, ou seja, a lança de injeção é inserida na panela de transferência de gusa, sendo essa lança rotativa ou não como representado na imagem. O material reagente tem a função de captar todo o enxofre contido no gusa e submergir em forma de escoria, que será posteriormente retirada. Ele é visto como mais vantajoso no quesito tempo, qualidade e confiabilidade. O tempo de tratamento de uma panela de gusa gira em torno de 11 a 18 minutos, a variar pelo teor de enxofre no gusa como pode ser descrita na tabela a seguir:

Tabela 1 – Tempo no Processo de Dessulfuração

S inicial (%)	T médio(min)
15-20	12,5
21-25	13,38
26-30	14,36
31-35	15,4
36-40	16,24
41- max	18,38

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

A tabela exemplifica na coluna a esquerda o percentual de enxofre que pode ser encontrado nas panelas refratárias antes de qualquer tratamento. A coluna a direita nos mostra o tempo médio que esse gusa leva para ser tratado, ou seja, todo o processo de injeção de material no gusa até o fim do tratamento. Assim, para uma variação de enxofre em torno de 15 a 20% sabe-se que o tempo de tratamento é de 12,5 min em média.

O processo de dessulfuração na empresa onde foi realizado este estudo é composto por 2 silos de cal pulverizado com capacidade de 40 ton cada, 2 silos de magnésio com capacidade de 40 ton cada e um silo de carbureto com capacidade de 50 ton. Além disso tem-se 3 vasos de pressão com capacidade de 5 ton cada, um para cada tipo de material. Esses são pressurizados por nitrogênio a uma pressão de aproximadamente 9kg e responsáveis por empurrar o material até a lança refratária para tratamento do gusa. Para que não haja nenhuma reação inesperada, ambos os materiais chegam até a lança em uma linha de arraste em comum, ou seja, eles terão reação conjunta no tratamento.

A Figura 7 ilustra silos e vasos de um processo de dessulfuração.

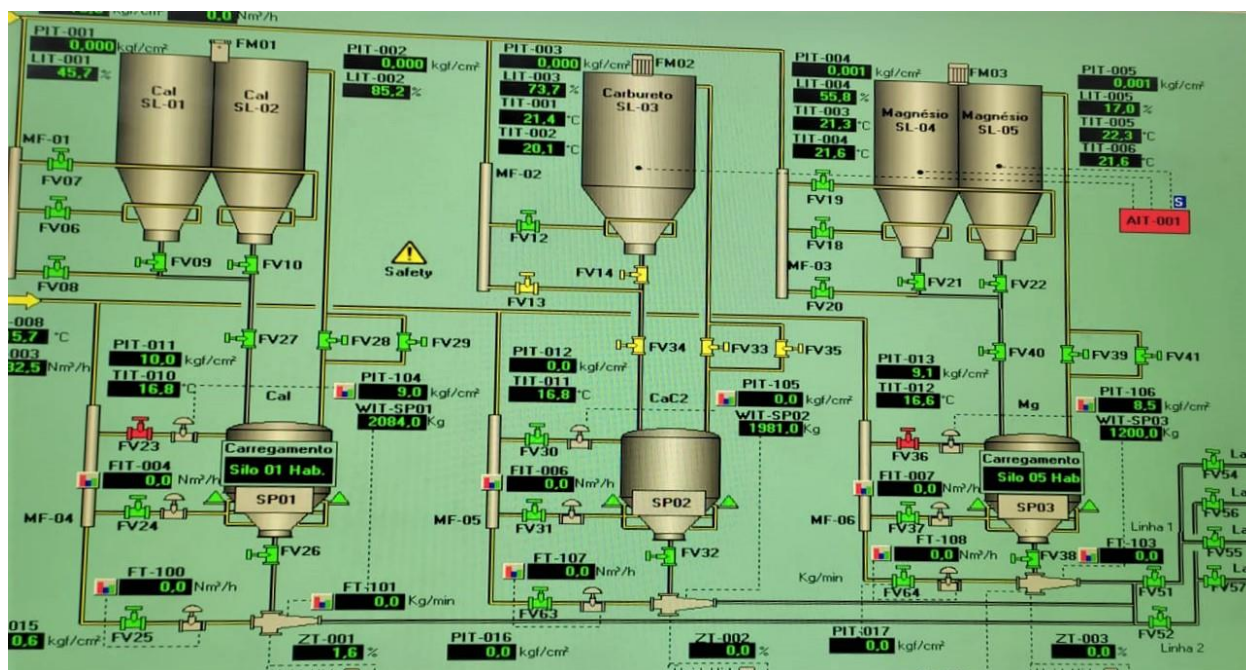


Figura 7 – Representação dos silos e vasos da dessulfuração

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

O equipamento conta com dois boxes de tratamento, cada uma com duas lanças refratárias, sendo uma em operação e uma reserva, para em caso de obstrução ou danos adversos, o equipamento não fique indisponível e possa ser feita a troca.

O Equipamento dessulfuração em lança é responsável por tratar o ferro gusa com níveis altos de enxofre em sua composição, ou seja, ele irá causar uma reação em meio ao gusa utilizando cal e magnésio. Esses produtos farão com que o enxofre seja concentrado em forma de escória que ficará na superfície. No entanto, para que esse tratamento seja realmente efetivo, a escória deve ser retirada, e pra isso é utilizado um skimmer, caso contrário, ao ser enviado para o conversor, a reação é reversiva, e com isso é gerado um desperdício e perda de qualidade

A Figura 8 apresenta a imagem da tela principal do programa de funcionamento da dessulfuração

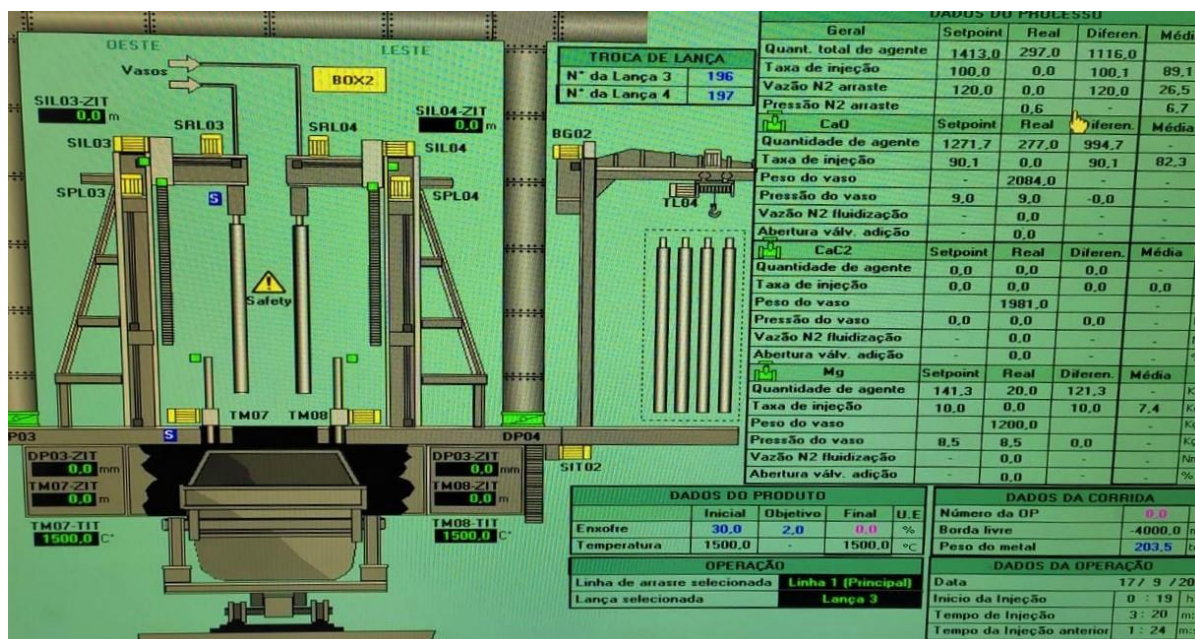


Figura 8 – Programação da planta de dessulfuração em lança

Fonte: Dados da pesquisa (2022)

Na figura 8 tem-se a tela na qual se consegue dar os comandos de funcionamento do equipamento, assim como a alteração de parâmetros como o enxofre inicial, e o objetivo que esse tratamento possui. Além disso, pode-se acompanhar todo o tratamento observando quanto de cal, Mg e CaC2 foi injetado na panela(real), quanto cada material precisa ser injetado(setpoint), quanto falta até o fim do tratamento(diferença) e a média de injeção que demonstra a estabilidade do tratamento.

4.2 Problemas Identificados no Processo de Dessulfuração

A partir das observações realizadas no processo de Dessulfuração, foram identificados diversos problemas que fazem com que o volume produzido seja inferior ao da capacidade de produção, como também a qualidade do gusa seja afetada. A planta possui um grande potencial na entrega da qualidade exigida, no entanto, por ser um equipamento que está em rampa de produção, ela apresenta alguns problemas de operação. Esses problemas podem ser observados a seguir.

Dentre os problemas de desempenho do equipamento, temos as obstruções da linha de arraste. Normalmente acontecem devido à problemas nos materiais: cal e magnésio. Esses materiais são extremamente finos e variações na granulometria podem prejudicar o arraste de ambos causando entupimentos.

Ainda sobre os materiais, o magnésio possui apenas dois fornecedores autorizados no Brasil. Isso, leva a uma dificuldade de encontrar no mercado produto com a especificação requerida (granulometria exigida na planta) pela empresa. A cal apesar de ter maior número de fornecedores, tem-se a dificuldade na exigência da granulometria também, com isso ambos os materiais passam por constantes testes de fornecedores.

A compactação dos materiais pode ocorrer se o mesmo ficar longos períodos sem ser utilizado nos vasos de pressão. Com isso, na oportunidade de uso, é possível que placas se soltem das paredes dos silos, causando um bloqueio na saída do vaso de pressão, e nesse caso o processo pode ser interrompido.

Algumas válvulas do equipamento apresentam constantes falhas de abertura e fechamento, seja por excesso de material, seja por falha de sensores de posição. Com isso caso seja necessário utilizar o equipamento, ele não estará disponível até que essas falhas sejam corrigidas.

Foi identificado diversos vazamentos de nitrogênio em toda a planta de dessulfuração. Vazamentos esses em válvulas e mangotes, que diminuem a pressão de nitrogênio necessária para abastecimento e pressurização dos vasos.

A planta de dessulfuração por ser um equipamento novo em testes, não possuía peças sobressalentes para reparos imediatos e corretivos. Com isso a planta fica indisponível por falta de peças.

4.3 Medidas de Melhorias para o Processo de Dessulfuração

A partir dos problemas encontrados, foi sugerido a empresa, uma capacitação aos operadores com treinamentos a fim de poder identificar possíveis sinais de entupimento da linha de arraste e inspeção visual das válvulas da planta.

Outra medida sugerida é a realização de um plano de manutenção preventiva e preditiva para que as falhas de válvulas e vazamentos de nitrogênio fossem reduzidas. Com isso, um ganho na disponibilidade do equipamento.

Foi sugerido um estudo sobre as peças que mais se desgastam ou apresentam defeitos para que houvessem reposições imediatas em necessidade.

É proposto também um sistema de vibração dos vasos de pressão para que não houvesse compactação de material nas paredes dos vasos, reduzindo assim geração de placas dentro do silo.

Foi sugerido um grupo de melhoria continua que pudessem usar ferramentas da qualidade como seis sigma, afim de sanar defeitos e aumentar a disponibilidade do equipamento, e por consequência geração de maiores lucros para a organização.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A siderurgia é um dos principais segmentos da metalurgia, área dedicada a produção de aços e ferros fundidos. Para que ela aconteça, pode-se dividir em 4 etapas principais sendo elas: Preparação de carga, redução, refino e laminação. Nesse artigo foi destacado um dos processos que acontecem na etapa de refino, a dessulfuração

O processo de dessulfuração consiste em reduzir o teor de enxofre no ferro gusa. Esse é prejudicial na qualidade final do aço, pois um aço com alto teor de enxofre diminui a resistência ao impacto, e aumenta sua fragilidade.

O equipamento em estudo se trata de um tratamento em lança diretamente na panela refratária, e o mesmo vem apresentando alguns problemas operacionais (não conformidades) como entupimento de linhas, falha de válvulas, dificuldade nas especificações de cal e magnésio, vazamentos de nitrogênio por toda a planta além de compactação dentro dos vasos.

Como medidas de controle foram propostas capacitação de operadores, planos de manutenção, disponibilidade de peças sobressalentes, sistema de vibração dos silos e grupo de melhoria continua. Acredita-se que com essas propostas o equipamento conseguirá entregar melhores resultados, aumentar sua disponibilidade, e reduzirá as perdas de produção, e por consequência maior, um aumento dos lucros da empresa.

REFERÊNCIAS

FILHO, Francisco Alberto Marreiros Da Rocha, **Estudo da Perda de Ductibilidade a Quente e Resistência á Corrosão de Vergalhões Laminados Com e Sem a Utilização da Etapa de Reaquecimento**. Dissertação de pós graduação em engenharia e ciência dos materiais na universidade federal do ceara. Fortaleza: 2017

FILHO, Amilton Carlos Pinheiro Cardoso, **Bibliografia do Curso de Pré Tratamento do Gusa**. Apresentado em uma usina siderúrgica em Ouro Branco. Minas Gerais: 2018

GOMES, Thiago de Moraes. **Impacto das Propriedades das Pelotas de Minério de Ferro no Processo de Produção de Gusa no Alto Forno.** Contribuição técnica ao 16º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro. Rio de Janeiro: 2015

MOURÃO, Marcelo Breda, **Introdução a Siderurgia.** Apresentado a Associação brasileira de Metalurgia e Materiais. São Paulo: 2007.

SILVA, José Nazareno Santos. **Siderurgia.** Monografia Apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. Curso de Metalurgia IFPA. Belém do Pará: 2011

SILVA, Marcos Antônio, **Avaliação da utilização de agentes dessulfurantes a base de carbureto de cálcio contendo sodalita em substituição à fluorita em carro torpedo.** Dissertação de mestrado para Universidade Federal de Minas Gerais UFMG. Minas Gerais: 2012

VILLANOVA, Rodrigo Lupinacci, **Introdução à tecnologia metalúrgica:** aula 2. Aspectos gerais sobre a siderurgia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. UFRS :Campus Caxias do Sul, 2010