



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
CAMPUS ALTO PARAPEBA
ENGENHARIA CIVIL

ROBERTO LOPES DA SILVA

**SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE VAPOR D'ÁGUA DURANTE RESFRIAMENTO
DE ESCÓRIA NO DRY PIT NO ALTO-FORNO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso
de Engenharia Civil da Universidade Federal de São
João del-Rei *Campus* Alto Paraopeba como requisito
à obtenção do título de Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mariana Arruda Pereira.

OURO BRANCO
MARÇO-2024

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB) e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ, com os dados fornecidos pelo (a) autor (a)

TERMO DE APROVAÇÃO
ROBERTO LOPES DA SILVA
SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE VAPOR D'AGUA DURANTE VAZAMENTO DE
ESCÓRIA NO ALTO-FORNO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João Del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: Ouro Branco, 01 de março de 2024.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Professora Orientadora Dr^a. Mariana Arruda Pereira

Professora Dr^o.Carmen Miranda Lage

Professora Dr^a Eliane Prado Cunha Costa dos Santos

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
1.INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	7
2.1 OBJETIVO GERAL	7
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	7
3.0 SOFTWARE UTILIZADOS	8
4.0 REFERENCIAL TEÓRICO	8
4.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA EM ALTO FORNOS	8
4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE VAZAMENTO DE ESCÓRIA DE ALTO-FORNO	12
5.0 PATOLOGIAS NO CONCRETO CAUSADO PELA PRESENÇA DE VAPORES TOXICOS.....	16
6.0 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS CAUSADAS PELA PRESENÇA DE VAPORES TÓXICOS	18
7.0 PROPOSTA DE PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE EXAUSTÃO DE VAPOR DO <i>DRY PIT</i>	21
7.1 ESTRUTURA METÁLICA.....	21
7.2 FECHAMENTO LATERAL.....	28
7.3 COBERTURA.....	29
7.4 SISTEMA DE SUÇÇÃO DE VAPORES	29
7.4.1 ESPECIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS PARA DUTOS E COIFAS	30
7.4.2 ESPECIFICAÇÕES DE EXAUSTOR E MOTOR PARA SISTEMA DE EXAUSTÃO	31
8.0 FUNDAÇÕES	32
9.0 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E HIDROSSANITÁRIAS	33
10.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
11.0 CONCLUSÃO.....	35
12.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

RESUMO

Numa usina siderúrgica integrada tem em sua planta o principal equipamento, os altos-fornos, que são utilizados para reduzir minério de ferro, com auxílio de um combustível, que pode ser coque ou carvão vegetal, para obtenção do ferro gusa, que é a principal matéria-prima para produção de aço (MORÃO, 2007). O processo de produção de ferro gusa gera subprodutos como: escória de alto-forno, gases de topo, denominado gás de alto-forno (GAF). O manuseio inadequado desses subprodutos pode trazer impactos negativos ao meio ambiente e às estruturas. Sendo assim, torna-se necessário sua disposição adequada e até mesmo o seu emprego em processos de reciclagem.

Este estudo tem como objetivo propor um sistema de captação de vapores tóxicos, a partir do entendimento do processo de produção do ferro gusa, com o foco na etapa de vazamento e resfriamento de escória de altos fornos, pois é nessa etapa de produção que causa impacto negativo ao meio ambiente, nas estruturas metálicas e de concreto nos edifícios industriais, onde estão localizados os altos fornos, 'devido à geração de vapor rico em enxofre que em contato com o oxigênio do ar produz chuva ácida.

Para reduzir a contaminação do ar causado pelo vapor tóxico gerado no *dry pit* (que significa poço seco) e manter as estruturas integras dentro de sua vida útil, foi proposto a concepção de um sistema de exaustão que será fixado em um galpão industrial. Esse sistema irá coletar o vapor e enviá-lo para a célula de tratamento e recirculação de água.

Dessa forma, vamos reduzir custos com manutenção, recuperação estrutural do concreto e estruturas de aço, melhorar o planejamento de paradas operacionais dos altos-fornos e garantir um local mais seguro para pessoas e equipamentos.

Palavras Chaves: escória de alto-forno, vapor tóxico, patologias de estruturas, meio ambiente.

1.INTRODUÇÃO

O processo de produção de ferro gusa em altos-fornos gera subprodutos como: escória de alto forno, gases de topo denominado gás de alto-forno (GAF) que tem na sua composição química (CO, CO₂, H₂, N₂, O₂) e vapores provenientes de resfriamento lento da escória em pátios especiais denominado *dry pit* (CARVALHO FILHO, 2019). A composição química da escória de alto-forno, em geral, varia dentro de limites relativamente estreitos. Os elementos que participam da composição química da escória são os óxidos de cálcio (Ca), alumínio (Al) e magnésio (Mg). Têm-se ainda, em quantidades menores, FeO, MnO, TiO₂, enxofre, entre outros (CARVALHO FILHO, 2019).

Segundo Carvalho filho (2019), ao bascular a escória no *dry pit* e efetuar resfriamento lento gera vapores tóxicos ricos em elementos químicos, sendo que, o principal deles é o enxofre, que ao reagir com oxigênio contido na atmosfera produz ácido sulfúrico (H₂SO₄) produzindo chuva ácida, provocando deterioração em estruturas de concreto armado, estruturas metálicas e prejudicando a qualidade do ar no entorno.

Tendo em vista a importância da preservação ambiental e proteção das estruturas metálicas e de concreto armado dos prédios dos altos-fornos e adjacências. O presente estudo propõe-se a elaborar um projeto para minimizar os impactos causado pela atividade de vazamento de escória e o lançamento dessa escória no *dry pit*, seguido de um resfriamento lento da escória, que gera vapor tóxico contaminado com elementos químicos.

Sendo assim, visa-se encontrar meios de coletar esse vapor e, em seguida, direcioná-lo à célula de tratamento e recirculação de água. Esse trabalho, traz a proposta de um projeto que seja capaz de coletar esse vapor, com intuito de proteger as estruturas de aço, estruturas de concreto e preservação do meio ambiente.

Essa proposta, é uma construção de um galpão de estrutura metálica que servirá de suporte para um sistema de sucção do vapor. Assim, espera-se utilizar o rejeito (água) nas dependências da usina, através da célula de tratamento e recirculação de água, para resfriamento de equipamentos. Com a instalação desse sistema espera-se uma melhoria no ambiente em torno dos altos-fornos e diminuição de custos com manutenção das estruturas.

Diante de um cenário competitivo entre as empresas um fator que está sempre em evidência é o cuidado com o meio ambiente. Para Silva Cavalcante (2012), a estratégia ambiental em sua nova fase, com a crescente preocupação com as questões ambientais,

motivou os setores produtivos a adotar equipamentos de controle de poluição. Assim, esse trabalho tem como objetivo de analisar e fazer uma síntese do processo siderúrgico de produção de ferro gusa com o foco no vazamento de escória, no sentido de criar uma instalação que minimiza o impacto das emissões de vapores na atmosfera, promovendo melhoria da qualidade do ar.

Para o desenvolvimento do presente trabalho será realizada pesquisa bibliográfica e de campo além de estudo de caso.

A pesquisa bibliográfica, baseia-se em conhecimentos teóricos sobre construção de edifícios industriais, tendo como um recurso técnico para elaborar o projeto de galpão em estrutura metálica e construção de sistema de exaustão de vapor composto por coifas, dutos metálicos e motor de exaustão industrial.

O estudo de caso será desenvolvido, em sua totalidade, por pesquisa de campo através de coleta de dados sobre dimensões, composição química do vapor e layout em planta.

Assim, o trabalho de conclusão de curso estrutura-se em sete capítulos, apresentando-se primeiro a descrição do processo de produção de ferro gusa. No segundo descrição do processo de vazamento de escória, terceiro e quarto capítulos descrever as patologias nas estruturas metálicas e de concreto geradas pelo vapor tóxico e o quinto a idealização de um projeto de construção do galpão de estrutura metálica que servirá de suporte para o sistema de exaustão. O sexto capítulo demonstra a análise de resultados e o sétimo capítulo a conclusão do trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo propor a construção de uma estrutura metálica que servirá de suporte para um sistema de exaustão para coletar vapores tóxicos provenientes do resfriamento lento de escória de alto-forno em pátio especial denominado dry pit, visando preservar as estruturas e diminuir a poluição atmosférica.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Como objetivos específicos podemos citar:

- Revisão bibliográfica sobre processos siderúrgico de produção de ferro gusa e escória.
- Verificação dos agentes agressivos presente no ambiente e as patologias;

- Idealização de projeto de um galpão industrial;
- Idealização de projeto de um sistema de sucção de vapores;

3.0 SOFTWARE UTILIZADOS

- ✓ Autodesk Auto CAD 2021;
- ✓ Robot structural Analysis Professional 2024.

4.0 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE FERRO GUSA EM ALTO FORNOS

De acordo com Mourão (2007), o alto-forno é considerado como o principal forno de redução de minério de ferro, devido sua alta produtividade.

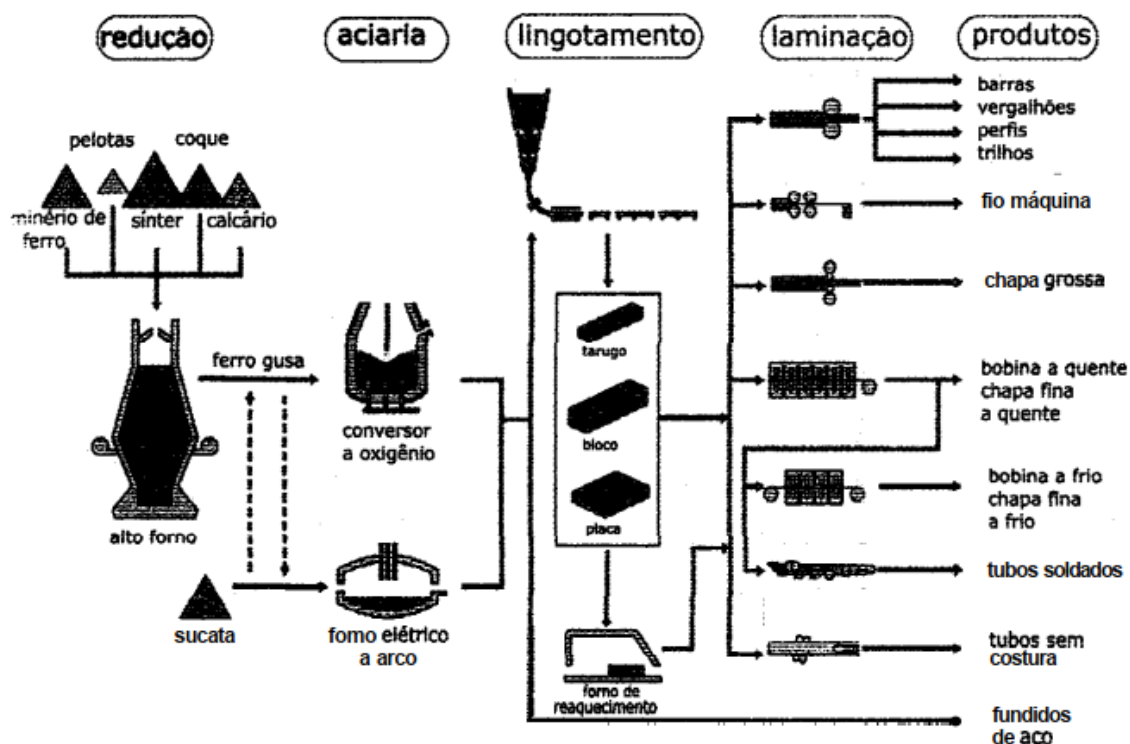
Pode-se conceituar que o alto-forno é um reator inflexível, pois opera com especificações definidas de material metálico e coque (ou carvão vegetal), o que gera altos custos de produção.

Atualmente, os altos-fornos em geral possuem as seguintes características: cuba de 20 a 30 metros de altura, com revestimento externo de chapas de aço e interno de tijolos refratários com placas de cobre refrigeradas com água com objetivo de produzir ferro gusa, material líquido composto de ferro, carbono e outros elementos (MORÃO, 2007).

De tal forma que, para conseguir produzir os produtos citados, é utilizado como matéria-prima: sinter, minério granulado ou em pelota e coque metalúrgico. O processo tem como objetivo garantir a qualidade do produto (ferro gusa) e respeitar o tempo de entrega para não ocorrer atraso no processo produtivo e consequentemente atraso de entrega do produto final ao cliente.

O ferro gusa é transportado em equipamentos denominado carro torpedo até a aciaria onde é convertido em aço pelo processo de injeção de oxigênio e outros componentes, no qual o ferro gusa é oxidado, em fornos denominado convertedor LD, vazado em placas de aço e entregue ao lingotamento contínuo, onde passa por um processo de resfriamento e transformado em tarugo, blocos ou placas. É possível visualizar na figura 1 o fluxograma simplificado do processo siderúrgico.

Figura 1: Fluxograma simplificado do processo siderúrgico



Fonte: Mourão, 2007

O processo no alto-forno é bem definido e constituído de várias etapas como: pesagem da carga, alimentação da carga, redução química da carga metálica, vazamento de ferro gusa e vazamento de escória (RIZZO,2019).

Segundo Morão (2007) o alto-forno é constituído de cinco partes: topo, cuba, ventre, rampa e cadinho. No topo é onde ocorre a alimentação da carga metálica e coque é composto também por tubulações que coleta o GAF (Gás de alto-forno), com um sistema de vedação para impedir a passagem desses gases para a atmosfera. Na região da cuba ocorre as reações de redução indireta de óxidos de ferro, com o aumento da temperatura e com o poder de redução do gás, ocorre a fusão do metal e escorificação de impurezas.

O minério que possui alto teor de óxido de ferro, é reduzido a ferro metálico através da reação de oxirredução envolvendo o minério e uma fonte de carbono, podendo ser o coque ou carvão vegetal, gerando calor e agente redutor, proporcionando aquecimento, redução e a fusão da carga metálica e simultaneamente é gerado o subproduto a escória que contém as impurezas das reações químicas de redução, fazendo com que o teor de óxidos na escória sejam baixo. No ventre, que fica abaixo da cuba, é onde ocorre a maior parte de amolecimento da carga.

Na rampa ocorre gotejamento do ferro gusa e da escória, havendo, reações de dessulfuração e no cadinho é armazenado por um período o ferro gusa e a escória até que ocorra o vazamento (CARVALHO FILHO, 2019).

A produção do ferro gusa líquido, a formação de escória e a coleta do gás de topo têm uma duração média de 6 a 8 horas. para a carga metálica (minério + combustível) transformar em ferro gusa (MORÃO, 2007).

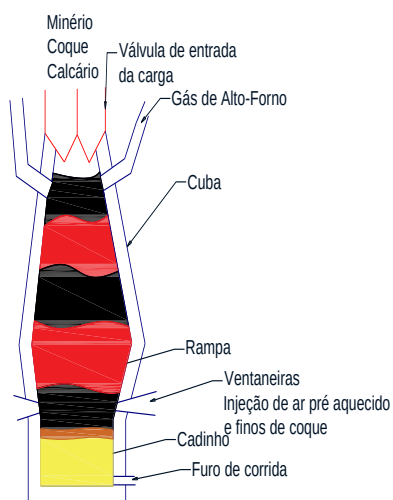
No topo do forno, os materiais ferrosos são carregados e descem por gravidade reagindo com os gases que sobem, pois na parte inferior do forno é injetado ar pré-aquecido, com temperaturas variando de 900 a 1350 °C, o ar pré-aquecido é injetado por ventaneiras de cobre refrigeradas. (MORÃO, 2007).

De acordo com Morão (2007) durante a redução do minério é gerado um gás denominado GAF (gás de alto-forno) que é composto por (CO, CO₂, H₂, O₂, N₂) que possui baixo poder calorífico. Esse gás sai pelo topo do forno em tubulações e passa por um processo de limpeza para retirar particulados e em seguida é acumulado em um gasômetro, esse gás pode ser utilizado nas unidades da usina para aquecer equipamentos ou em termoelétricas (MORÃO, 2007).

Para se produzir uma tonelada de ferro gusa são necessários 1700kg de minério de ferro, 400 a 600Kg de coque ou outro combustível, 140 Kg de cal ou magnésia e 1600 a 2000 Kg de ar (RIZZO, 2019).

A produção de ferro gusa em altos-fornos está representada na Figura 2 e a Figura 3 mostra uma vista aérea de um alto-forno.

Figura 2: Representação esquemática do processo de produção de gusa, vista frontal em corte.



Fonte: Autoria própria

Figura 3: Vista aérea de um alto-forno.



Fonte: Rizzo, 2009

O ferro gusa assume grande importância na sociedade moderna, pois é a principal matéria-prima de fabricação do aço. Assim, há inúmeras aplicações do aço na sociedade e de acordo com (CERUTI, 2021) isso acontece devido a versatilidade que o material oferece, não apenas para a indústria, mas para a sociedade como um todo. O aço está sempre presente em diversas ocasiões do dia a dia das pessoas, ele é um material fundamental para diversos setores, está presente nos nossos meios de transporte, nas nossas residências, trabalhos, escolas, hospitais ou ambientes de lazer.

Há muitos produtos provenientes do aço, por isso, entender as rotas alternativas de produção de ferro gusa, compreender a importância de meios de produção mais sustentável, com menos impactos ambientais e menores custos, bem como todas as tecnologias envolvidas nos processos, é um grande passo para o desenvolvimento de um país.

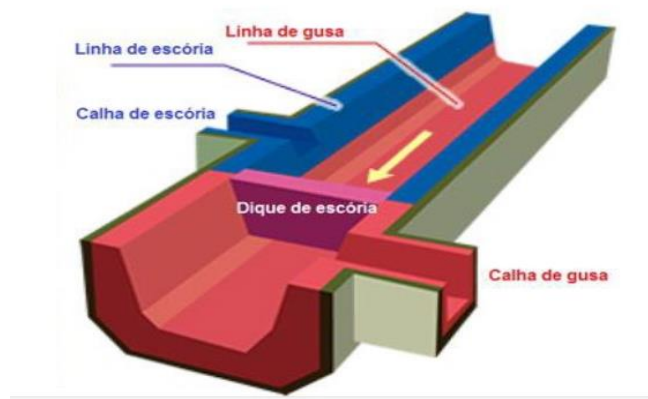
4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE VAZAMENTO DE ESCÓRIA DE ALTO-FORNO

A produção de ferro gusa se realiza em unidades industriais chamadas altos-fornos, nas quais se reduzem os óxidos contidos nos minérios de ferro e se separam as impurezas que os acompanham, essas impurezas são denominadas escória (MOURÃO, 2007).

Desse modo, as escórias se formam pela fusão das impurezas do minério de ferro, juntamente com adição de fundentes (calcário, dolomita e as cinzas do coque). A escória fundida é uma massa que, por sua insolubilidade e menor densidade, sobrenada no ferro gusa.

Rizzo (2019) destaca que os altos-fornos de grandes dimensões, usualmente possuem um canal principal composto por uma carcaça metálica móvel, revestida de material refratário, que é ligada ao furo de corrida, através de uma calha metálica fixa. No canal principal existe uma barreira denominada dique de escória (ou skimmer), que tem a função de reter a escória sobrenadante no metal, desviando-a para um outro canal lateral (canal secundário de escória) como podemos observar na Figura 4 (RIZZO, 2009).

Figura 4: Canal de Alto Forno



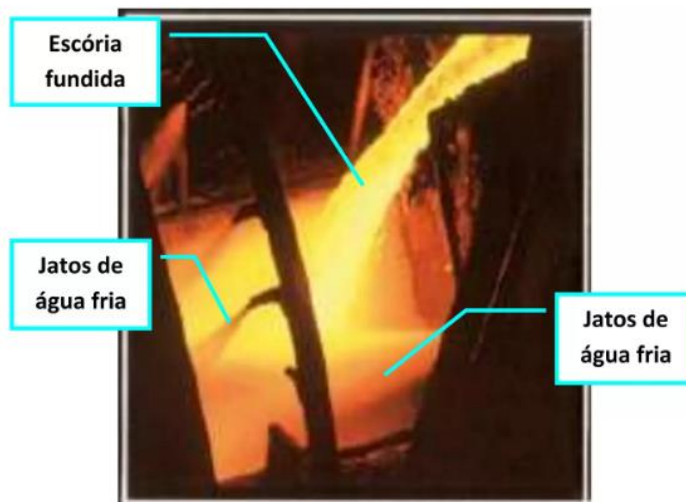
Fonte: Rizzo, 2009

Assim, a escória passa pelo canal secundário e vai até o granulador de escória ou em potes de escórias, que em seguida, esse pote com escória é basculado em um pátio especial denominado *dry pit*. Esses dois procedimentos são:

- ✓ Resfriada com água ou granulada (granulador)

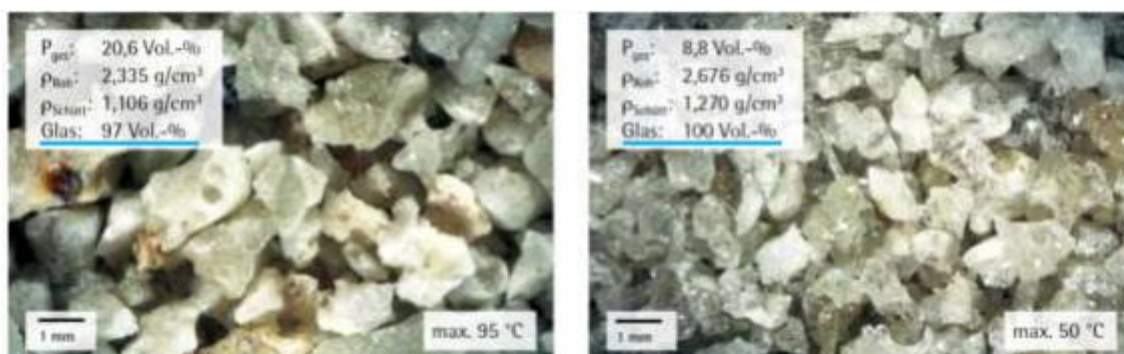
A escória líquida é transportada para os granuladores, pela calha de escória. Em seguida, é resfriada bruscamente por meio de jatos de água sob alta pressão. Não havendo tempo suficiente para formação de cristais, essa escória se granula "vitrificando" e recebe o nome de escória granulada de alto-forno (CARVALHO FILHO, 2019). Devido ao seu grande potencial hidráulico (endurecer após moída, quando em contato com água), essa escória tem um mercado amplo, principalmente para cimenteiras e concreteiras, nas quais pode ser moída e utilizada na fabricação de cimento e concreto (CARVALHO FILHO, 2019). Na figura 5 é demonstrado um granulador de escória e na Figura 6 o aspecto físico de escória granulada.

Figura 5: Granulador de escória



Fonte: Carvalho Filho (2009)

Figura 6: Escória granulada de alto forno



Fonte: Carvalho Filho (2009)

✓ Esfriadas ao ar e cristalizada (*Dry pit*)

Carvalho Filho (2019) esclarece que, para substituir os granuladores, quando este está em manutenção ou a sua capacidade máxima é atingida, a escória é vazada em estado líquido em equipamentos denominado potes de escória e esses potes são transportados e basculados no *dry pit*, onde são resfriadas ao ar. Por ser um processo lento, os seus componentes formam distintas fases cristalinas e, com isto, não adquirem poder de aglomerante hidráulico. Segundo Carvalho Filho (2019) essa escória recebe o nome de escória bruta de alto-forno, podendo ser britada e utilizada como material inerte em diversas aplicações, substituindo materiais pétreos. A Figura 7 apresenta o procedimento de basculamento da escória no *dry-pit* e na Figura 8 pode-se visualizar o aspecto físico da

escória bruta de alto-forno que foi submetida ao resfriamento lento ao ar livre no dry pit (CARVALHO FILHO, 2019).

Figura 7: Escória sendo basculada no pátio Dry pit



Fonte: Carvalho Filho (2009).

Figura8: Escória bruta de alto forno



Fonte: Carvalho Filho (2009)

Dessa forma, quando o granulador estiver fora de operação por motivo de manutenção ou limpeza, a escória é direcionada ao *dry pit* através de potes de escória para ser resfriada ao ar livre, por aproximadamente de 6h a 8h, gerando grande quantidade de vapor, a formação do vapor é lenta e contínua. Por isso, é necessário que haja um sistema de captação desse vapor.

5.0 PATOLOGIAS NO CONCRETO CAUSADO PELA PRESENÇA DE VAPORES TOXICOS

De acordo com o dicionário Houaiss, patologia é o ramo da medicina que se dedica ao estudo das doenças, de suas causas, seus sintomas e suas alterações no organismo. A palavra patologia tem origem grega de "phatos" que significa sofrimento, doença, e "logia" que é ciência, estudo.

Nazário e Daniel (2011) destacam que essa palavra vem sendo empregada também em outras áreas, como por exemplo na construção civil, no qual o estudo é feito para identificar defeitos que ocorrem nos componentes de concreto armado nas edificações.

Sendo assim, é importante investigar e descobrir as causas dessas falhas e indicar a solução mais adequada por meio de inspeções e análises. Visto que, o surgimento de patologias em uma obra de concreto armado pode ter a sua origem durante as etapas de concepção, execução e na utilização de uma construção (SOUZA; RIPPER, 1998).

No presente trabalho vamos analisar as patologias que tem a sua origem na utilização dos edifícios industriais onde está localizado os altos-fornos. A degradação do concreto quanto à sua utilização pode ser classificada de origem mecânica, física, química e biológica (SANTOS,2014).

As causas mecânicas são quando ocorre em estruturas de concreto que são submetidas aos esforços mecânicos como choques, impactos, recalque diferencial nas fundações, acidentes imprevistos como explosões, tempestades ou abalos sísmicos (SOUZA E RIPPER,1998). As causas físicas são vistas como desgastes na estrutura, erosão, abrasão e cavitação e, também, por exposição e mudanças de temperatura, umidade, pressão e carga estrutural destacam Souza e Ripper (1998).

As causas químicas de deterioração do concreto, Ferreira (2000) destaca que grande parte das patologias do concreto é proveniente de ataques químicos produzidos por fluídos que penetram pelos poros do concreto alcançando sua parte interna. Esses fluidos podem penetrar o concreto de três formas (FERREIRA ,2000):

- ✓ Por difusão, quando as concentrações de íons do fluído agressivo e o concreto possuem uma diferença, provocando assim penetração por difusão;
- ✓ Por pressão hidrostática, quando há diferença de pressão em superfícies opostas do elemento estrutural contidos por fluídos agressivos;
- ✓ Por forças capilares, que é quando o fluído penetra no concreto por algum mecanismo capilar.

Os efeitos das reações químicas no concreto armado aparecem de forma física e nocivas na estrutura, diminuindo a sua resistência e aumentando sua porosidade e permeabilidade surgindo fissuras e lascamentos (MEHTA E MOTEIRO,2008).

É preciso, também, citar um fenômeno que ocorre, com muita frequência, em um ambiente industrial agressivo como o da indústria siderúrgica, que é a carbonatação do concreto. Para Papadakis et al (1991) esse processo se caracteriza por uma reação físico-química que ocorre entre os elementos químico do cimento e o gás carbônico (CO_2) presente na atmosfera que resulta na formação do carbonato de cálcio (CaCO_3) no cobrimento superficial do concreto, que forma uma camada com uma alcalinidade menor que a não afetada pelo fenômeno. Agindo de fora para dentro no concreto a carbonatação vai atingindo profundidade até alcançar as armaduras e, assim, iniciando a corrosão Papadakis,etal(2018).

A carbonatação ocorre da seguinte forma segundo Papadakis, et al (1991):

- ✓ A água (H_2O) penetra no concreto pelas fissuras;
- ✓ Assim forma uma fina camada de água;
- ✓ A água dissolve o Cálcio (Ca) formando hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$);
- ✓ O gás carbônico (CO_2) entra nos poros, também pelas fissuras;
- ✓ O gás carbônico reage com a água, formando ácido carbônico (H_2CO_3);
- ✓ O ácido carbônico (H_2CO_3) reage com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) formando carbonato de cálcio (CaCO_3) (cristais);
- ✓ O consumo de Cálcio (Ca) diminui o pH do concreto, deixando o aço exposto à corrosão.

É importante lembrar que a corrosão somente ocorre quando há presença de umidade, dióxido de carbono e oxigênio. A umidade é aumentada devido a presença de vapores tóxicos advindos do dry pit e o dióxido de carbono, gás gerado no processo de produção de ferro gusa.

O concreto armado (concreto mais aço) agem perfeitamente em sintonia e equilíbrio, pois o pH elevado do concreto protege o aço. Quando ocorre a carbonatação, o pH do concreto diminui consideravelmente desprotegendo o aço, e o deixando mais suscetível a corrosão afirma Papadakis, et al (1991).

A carbonatação, geralmente é um grande facilitador para a corrosão das armaduras de aço na estrutura de concreto armado (CASCUDO,1997). Essa manifestação patológica causa a perda de resistência mecânica, da elasticidade, ductilidade entre outras propriedades essenciais e se torna visível a partir do surgimento de fissuras e trincas nas

peças e também com o deslocamento das camadas de concreto deixando as armaduras expostas.

De acordo com Souza e Ripper (2009) nos casos de deslocamento do concreto com barras de aço pouco danificadas, recomenda-se limpar a região, deixando pelo menos 2 cm de distância do concreto, remover a ferrugem e aplicar anticorrosivo nas barras de aço. Após este processo deve-se recompor a parte fragmentada do concreto com argamassa estrutural de alta resistência. No caso em que a manifestação esteja avançada e as barras de aço estejam muito comprometidas, deve-se escorar a área, isolar o local e consultar um projetista a fim de se avaliar e dimensionar uma possível recuperação estrutural.

Conforme Souza e Ripper (2009) a recuperação estrutural pode ser basicamente concebida de duas formas: uma que compreende o reforço estrutural, na qual essa estrutura estará submetida a novas ações sejam elas quais for e a outra que compreende a reconstituição geométrica do local a fim de recuperar a estrutura para resistir aos esforços inicialmente avaliados. Para cada forma de recuperação estrutural há avaliação da extensão, a maneira a qual será a execução e como será o impacto nos custos, que indicarão a viabilidade de manter ou não a estrutura.

6.0 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS CAUSADAS PELA PRESENÇA DE VAPORES TÓXICOS

Em obras construídas em estruturas metálicas as manifestações patológicas são variadas, sendo as mais comuns e de maior ocorrência aquelas ligadas à corrosão, seja localizada ou generalizada, deformações e flechas excessivas, flambagem local ou global, fissuras e propagação de fissuras (HELENE, 2003).

Segundo Helene (1986), a corrosão é uma interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica.

As patologias causadas por corrosão em estruturas metálicas em áreas industriais com alta umidade e atmosfera agressiva enquadra na categoria C5-I muito alta (industrial), área de indústria com alta umidade e atmosfera agressiva no exterior e no interior das edificações ou áreas com condensação quase permanente com alta poluição, (ABNT NBR 8800, 2008). Diante disso, é fundamental identificar as causas e suas consequências e buscando possíveis soluções e sugerindo metodologias corretivas e principalmente, preventivas, agregando conhecimento de casos.

Custo de manutenção corretiva é disparadamente mais oneroso do que medidas preventivas ou de um projeto tecnicamente bem elaborado e executado (HELENE ,1993).

Assim sendo, segundo Bellei (2000) é durante a montagem de peças de estruturas metálicas, sendo através de soldagem ou peças parafusadas, pode-se destacar que tipos de corrosões vão prevalecer e com isso definir o tipo de proteção e manutenção que deve atuar nesse local, seja o tipo de corrosão localizada quando atua em um ponto específico ou corrosão generalizada.

Segundo a NBR8800(2008, p.163) "A localização do elemento constituinte da estrutura também influencia a corrosão. Em estruturas externas (isto é, aquelas expostas diretamente à atmosfera), parâmetros climáticos, tais como, chuva, nível de insolação e quantidade de poluentes, afetam a corrosão".

Dessa maneira, proteções são necessárias para o maior aproveitamento da vida útil e oferecer melhor qualidade a esse material. Neto e Cunha (2020), em um estudo das patologias em estruturas metálicas, assinalam que as corrosões são classificadas em diversos tipos, sendo que, as principais são: alveolar, puntiforme ou pitting (por pites), por esfoliação, galvânica que estão demonstradas nas Figuras 9, 10, 11 e 12. Os principais locais que atuam esses tipos de corrosão estão na ligação entre as peças metálicas, sejam soldadas ou parafusadas e também nos locais de ligação entre concreto e estrutura metálica e ligações entre a fundação e a estrutura, que são gravemente ampliadas por umidade elevada e grande concentração de gases advindo do processo de produção de ferro gusa.

Figura 9: corrosão alveolar



Fonte: Neto e Cunha (2020)

Figura 10: corrosão por pites



Fonte: Neto e Cunha (2020)

Figura 11: corrosão por esfoliação



Fonte: Neto e Cunha (2020)

Figura 12: corrosão galvânica ou eletroquímica



Fonte: Neto e Cunha (2020)

7.0 PROPOSTA DE PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE EXAUSTÃO DE VAPOR DO DRY PIT

A proposta de projeto refere-se a um galpão de estrutura metálica com a finalidade de servir como suporte para um sistema de exaustão de vapores do *dry pit* de escória, medindo 15 x 42,0 m, com área construída de 630 m².

7.1 ESTRUTURA METÁLICA

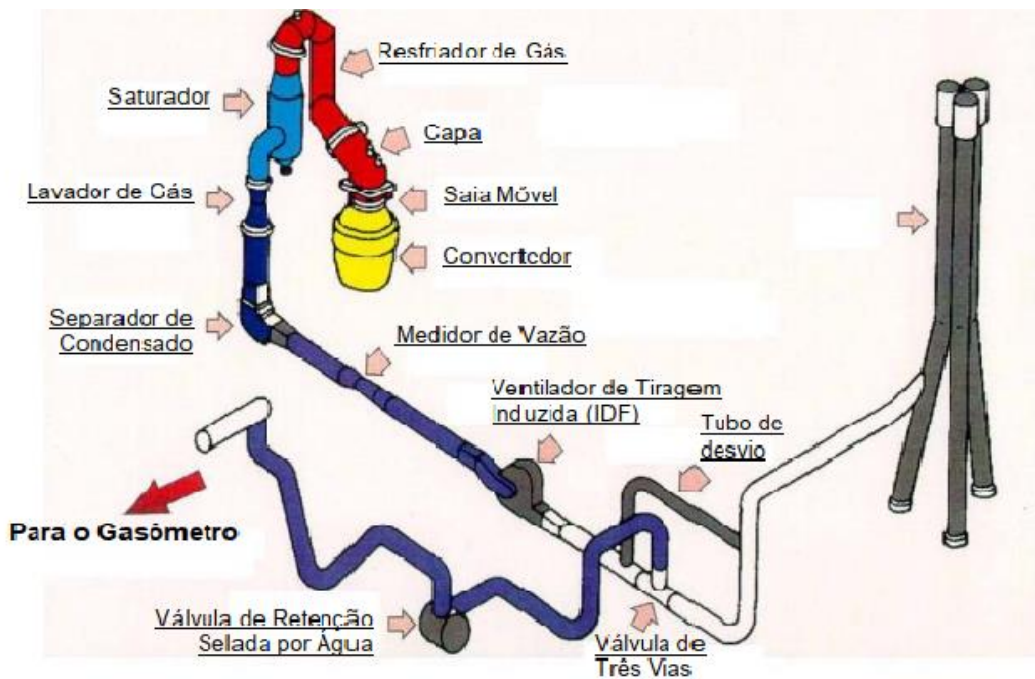
O projeto do galpão foi projetado em estrutura metálica com perfis soldados e laminados, em conformidade com as normas brasileiras. Esse galpão servirá de suporte para o sistema de exaustão de vapor.

Para construir o galpão serão utilizados perfis H, W, U, L e DL de aços estruturais fornecidos pela própria empresa. A Figura 15 apresenta a vista frontal do galpão, a Figura 16 vistas lateral e Figura 17 a vista superior da estrutura metálica com o sistema de exaustão. Apresenta-se na Figura 18 detalhes do galpão de estrutura metálica feito no Robot structural análises. Nesse software, é inserido o tipo de aço, seção transversal dos elementos, peso próprio da estrutura do galpão (Fg1), peso próprio das coifas (Fg2), peso das telhas (Fg3) carga de ventos a 0 graus (Fqv0) e a 90 graus (Fqv90) na cobertura, no sotavento e barlavento, sobrecarga na cobertura de 0,15KN/m² (Fq1) (norma), três combinações últimas normais e cálculos do momento máximo, força cortante, reações de apoio, deformações e razões de apoio.

Esse sistema de exaustão de vapor foi inspirado no sistema BAUMCO de despoeiramento, captação e lavagem de gás de aciaria (LDG) da Arcelor Mittal, esse sistema é adotado também na Gerdau Açominas.

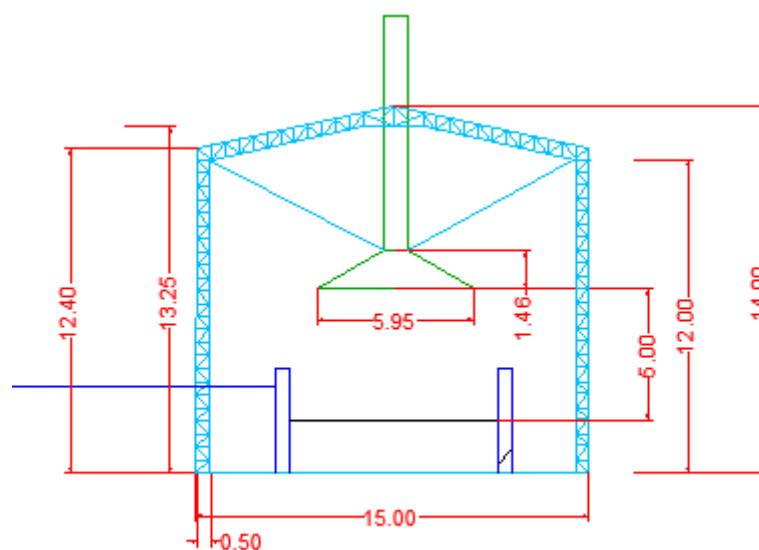
No sistema BAUMCO o gás gerado nos convertedores é succionado por um ventilador de tiragem induzida (IDF) e passa por um sistema de lavagem, resfriamento, separação de pó e condensado, no final desse processo, o gás “limpo”, pode ser queimado em torres de queima (Chaminé) ou desviado para o gasômetro. Esse processo da aciaria pode ser visualizado na Figura 14 (BARBOSA, YOSHIKAWA, *et al.*, 2005).

Figura 14: Diagrama esquemático do Sistema de Recuperação de LDG



Fonte: (BARBOSA, YOSHIKAWA, *et al.*, 2005)

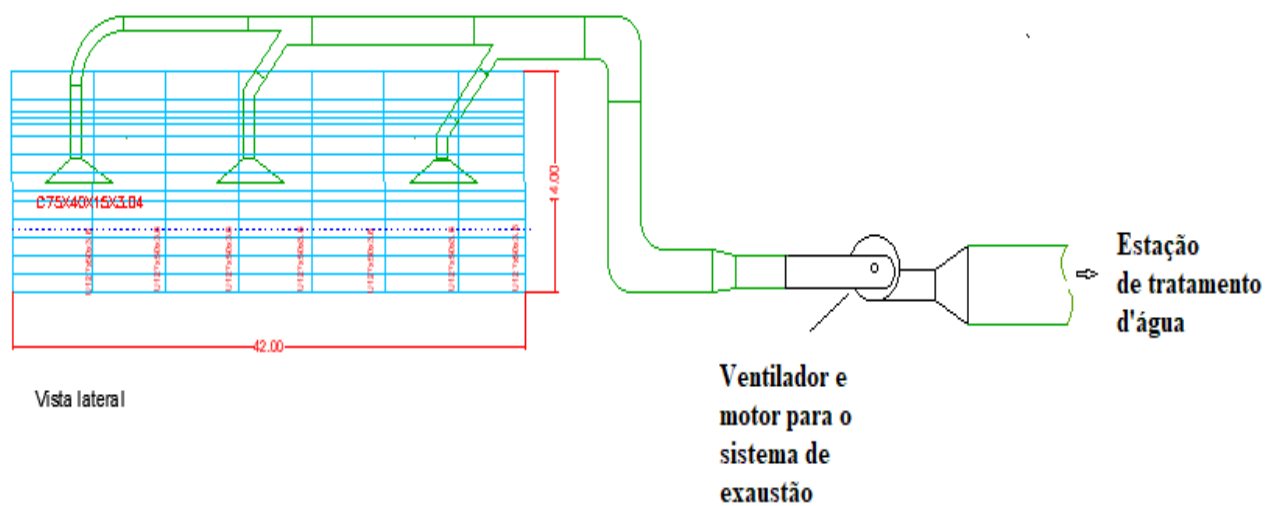
Figura 15: Vista frontal da estrutura metálica com o sistema de exaustão, medidas em metro.



Vista Frontal

Fonte: Autoria Própria

Figura 16: Vista lateral da estrutura metálica com sistema de exaustão, medidas em metro.



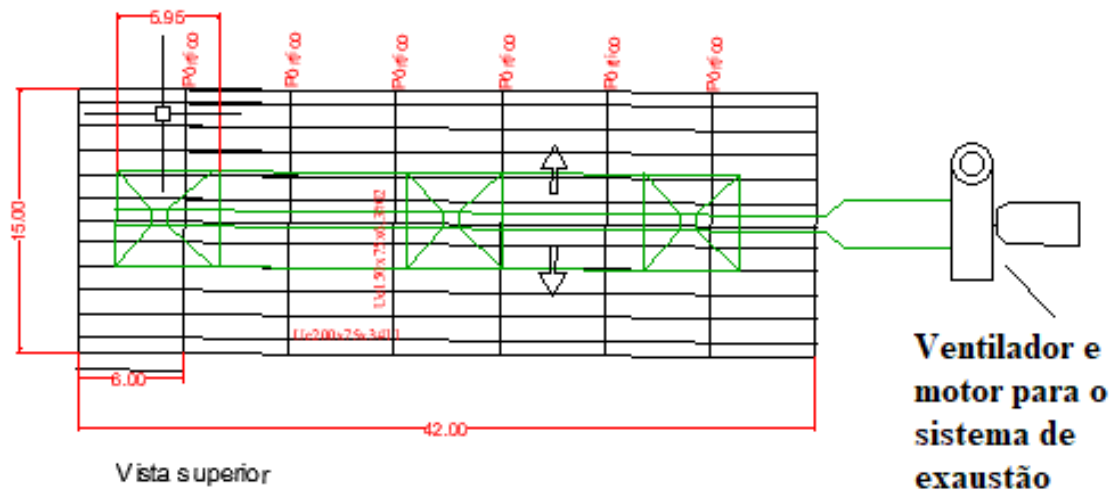
Vista lateral

Ventilador e motor para o sistema de exaustão

Estação de tratamento d'água

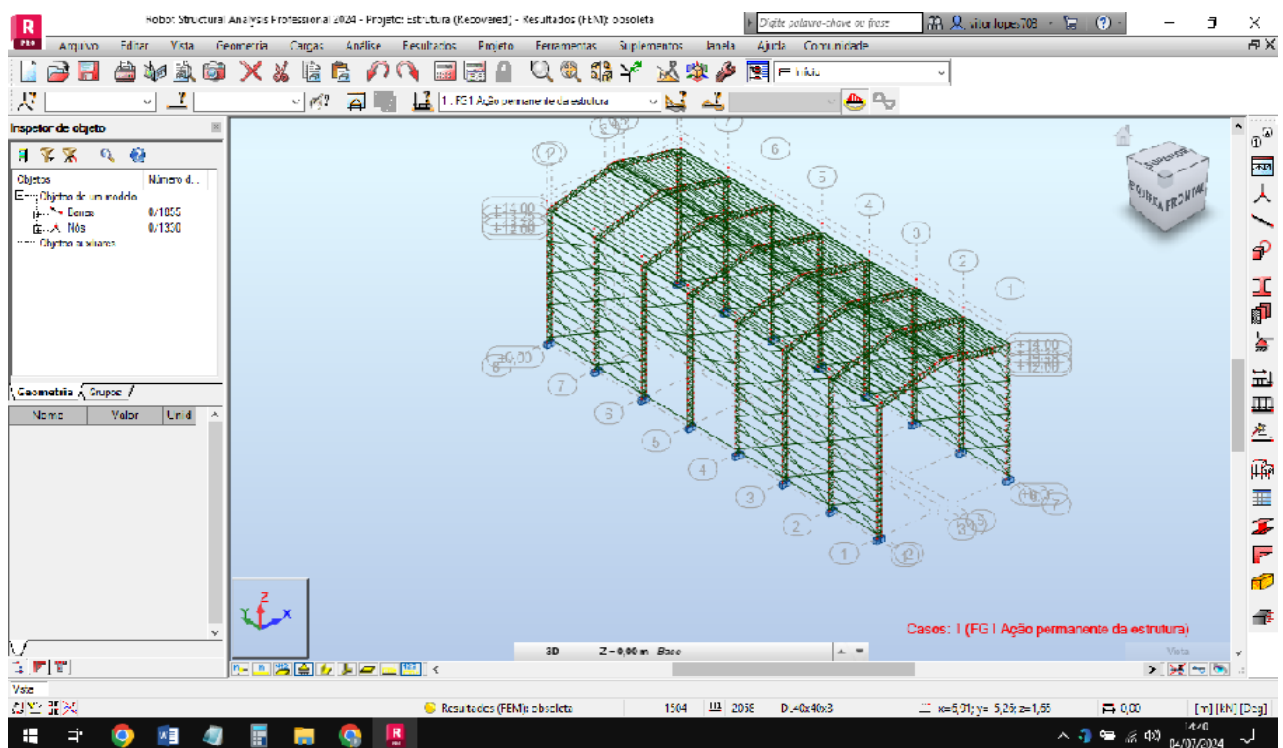
Fonte: Autoria Própria

Figura 17: Vista superior da estrutura metálica com sistema de exaustão, em metros.



Fonte: Autoria Própria

Figura 18: Detalhe do galpão feito no Robot structural análises



Fonte: Autoria Própria

A estrutura conta com dois módulos igualmente simétricos com as seguintes dimensões principais: pé direito da edificação de 12 m, largura de 15 m e comprimento de 42,0 m.

Os fechamentos laterais e cobertura, deverão ser executados em telhas inclinadas, com calhas simples e tubos de descida, darão drenagem adequada ao telhado (qualquer substituição do material de fechamento deverá ser verificada). Os dados preliminares do projeto.

Local: Gerdau Açominas, Ouro branco-MG

Dados do galpão:

Largura:15m

Comprimento:42m

Altura até o topo da cumeeira:14m

Altura até o banzo inferior da viga treliçada:12m

Espaçamento entre pórticos:6,0m

Cobertura e fechamento lateral: Telhas trapezoidais;

Sistema estrutural transversal: Formados por pórticos bi engastados com pilares laminados e vigas treliçadas compostas por perfis laminados a frio.

Sistema estrutural longitudinal: Formado por meio de contraventamentos verticais e horizontais

Ligações: pilar-fundação do tipo engastada; viga treliçada-pilar do tipo flexível, viga de travamento-pilar do tipo flexível;

Os perfis de aço utilizados na estrutura e suas propriedades de seção transversal e massa linear estão disponíveis na Tabela 1 e Tabela 2, para os perfis laminados e os formados a frio respectivamente. Os elementos de interface concreto e aço na Tabela 3, elementos de ligação estão disponíveis na Tabela 4.

Tabela 1: Perfis laminados utilizados

Elemento	Perfil	Área(cm ²)	Ix(cm ⁴)	Iy(cm ⁴)	It(cm ⁴)	Massa linear (Kg/m)
Pilar	W360x122(H)	155,3	36599	6147	212,7	122
Contenção vertical						
Contenção horizontal	DL40x40x3	0,47	0,1386	6,9	12,2810	1,6
Contraventamentos						
Laterais e cobertura	L12x12x0,5	5,8	36	9	0,44	4,6

Fonte: autoria própria

Tabela 2: Perfis laminados a frio utilizados

Elemento	Perfil	Área (cm ²)	Ix(cm ⁴)	Iy(cm ⁴)	It(cm ⁴)	Massa Linear (Kg/m)
Terça travessa	DL40x40x3	11,4	694	87	0,34	8,95
Banzo Superior	C76x6	21,9	718	116	4,67	17,17
Banzo inferior						
2 Diagonais externas	C76x6	17,6	595	95	2,33	13,8
Diagonais centrais						
Montante	L12x12x0,5	8,7	311	49	0,26	6,87
Mão Francesa						
Escora de beiral	HP200x53	68,1	4,977	1,973	31,93	53,0

Fonte: Autoria Própria

Tabela 3: Elementos de interface aço-concreto

Componente	Material	Dimensões e características	Tensão resistente (Mpa)
Solda filete	E70XX	SMAW, de ângulo de fábrica, pernas de 8mm e 10mm	$f_w=485\text{Mpa}$
Porcas	ASTM A563	1 ½"	$f_u=520\text{Mpa}$
Arruelas	ASTM F436	1 ½"	$f_u=520\text{Mpa}$
Parafusos de ancoragem	ASTM A307	Ø 38,1mm, L=626mm Massa 21,33Kg	$f_u=415\text{Mpa}$
Placas de base	ABNT MR-250	580mmx580mmx38mm Massa 100,35Kg	$f_y=250\text{Mpa}$

Fonte: Autoria Própria**Tabela4: Elementos de ligação**

Componentes	Material	Dimensões e características	Tensões resistente
Parafusos	ASTM A307	1/2", 3/4", e 1"	$f_u=415\text{Mpa}$
Porcas	ASTM A307	1/2", 5/8", 3/4"	$f_u=415\text{Mpa}$
Arruelas	ASTM S307	1/2", 5/8", 3/4"	$f_u=415\text{Mpa}$
Cantoneira	ABNT MR-250	L76,2x76,2x6,3-150mm	$f_y=250\text{Mpa}$
Cantoneira	ABNT MR-250	L76,2x76,2x6,3-100mm	$f_y=250\text{Mpa}$
Chapa de extremidade	ABNT MR-250	254x440x12,7	$f_y=250\text{Mpa}$
Chapa de extremidade	ABNT MR-250	80x80xx6,3	$f_y=250\text{Mpa}$
Chapa de emenda	ABNT MR-250	360x150x6,3	$f_y=250\text{Mpa}$
Chapa de emenda	ABNT MR-250	360x75x6,3	$f_y=250\text{Mpa}$
Chapa de emenda	ABNT MR-250	220x75x6,3	$f_y=250\text{Mpa}$
Chapas gosset	ABNT MR-250	6,3mm-formas variadas	$f_y=250\text{Mpa}$
Solda de filete	E70XX	SMAW, de ângulo de fábrica, pernas variadas	$f_w=485\text{Mpa}$

Fonte: autoria própria

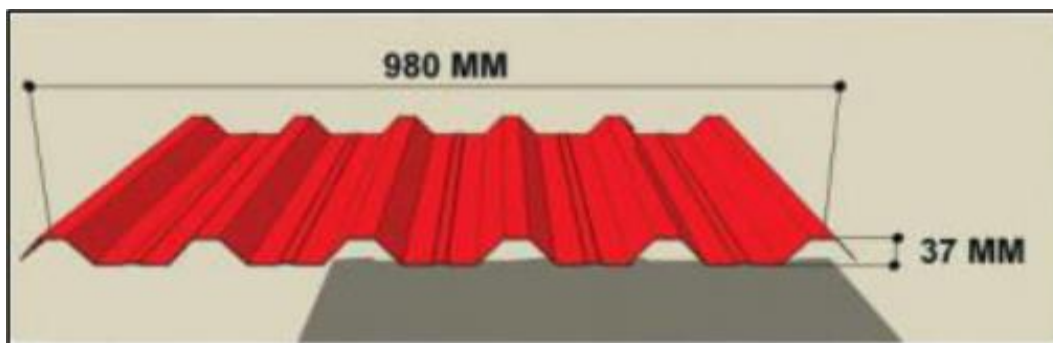
7.2 FECHAMENTO LATERAL

Para o fechamento lateral serão utilizadas telhas trapezoidais fabricadas em aço galvanizado, que oferece alta proteção contra a corrosão. As telhas metálicas estão disponíveis pré ou pós pintados. A telha escolhida, é do tipo trapezoidal, modelo 40, fabricada pela empresa Santo André (2023), com as seguintes especificações:

- ✓ Resistência: 1,10 KN/m², para dois apoios com vão de 2,00m;
- ✓ Espessura: 0,43mm;
- ✓ Aço galvanizado pré-pintado;
- ✓ Peso: 4,21 Kg/m² (considerando a sobreposição na largura);

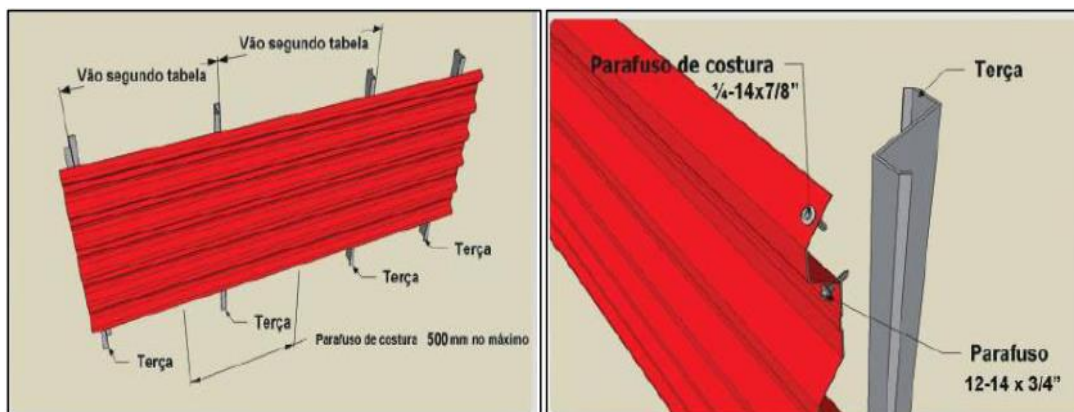
A largura (direção das terças) útil é de 980 mm comprimento de até 15 m, estão demonstradas nas figuras 19 e 20.

Figura 19: Telha tipo trapezoidal



Fonte: Santo André (2023)

Figura 20: Detalhe da fixação do fechamento lateral

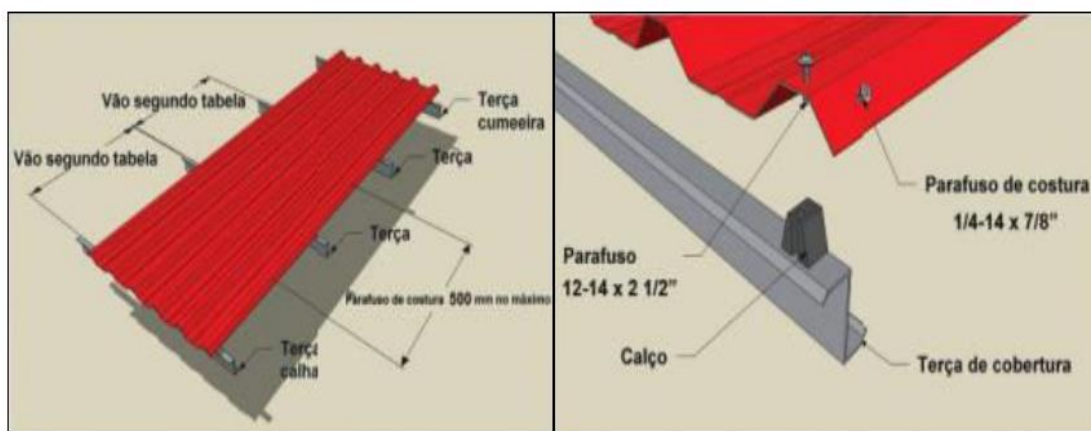


Fonte: Santo André (2023)

7.3 COBERTURA

A cobertura será composta por duas águas e serão usadas tesouras com perfis metálicos devidamente espaçadas e telhas trapezoidais 40 (Santo André), com espessura de 0,43 mm, galvanizadas. Apresenta-se na figura 21 o detalhamento das dimensões e montagem nas terças.

Figura 21: Detalhe da fixação da cobertura



Fonte: Santo André (2023)

7.4 SISTEMA DE SUCÇÃO DE VAPORES

O sistema de exaustão de vapores, provenientes do resfriamento natural de escória no *dry pit*, foi projetado como um sistema completo, esse projeto foi baseado em observações, e através de comparação com o sistema de despoeiramento da aciaria foi feito uma simulação do sistema na área do *dry pit* nos altos-fornos, em um contexto de descoberta. O sistema é composto por exaustor axial/centrifugo acoplado em um motor de 5,5Kw e 1800 rpm com vazão máxima de 15600 m³/h (na entrada do exaustor), que será fixado no piso.

Além disso, o sistema será composto também por 3 coifas, dutos, tanque de captação (não foi representado no trabalho) levando-se em conta o volume de vapor produzido, devido a limitações na coleta de dados sobre o volume de vapor, esse volume foi estipulado em aproximadamente 10000m³. As coifas (captadores dos vapores) de base quadrada (5,95m x 5,95m). As coifas devem ser construídas em chapas de aço inoxidável com no mínimo 0,94 mm de espessura.

A altura da base das coifas em relação ao topo da escória no *dry pit* é de aproximadamente 5,00 m para suportar a temperatura da escória e melhorar a eficiência de sucção.

Para fazer a exaustão do vapor serão utilizados dutos galvanizados de seção quadrada de 1,60mx1,60m e de 100 m de comprimento e um exaustor industrial, motor trifásico e rotação fabricado em aço carbono e com pintura anti-corrosão com chapa de 2mm de espessura com rotor específico para a função de balanceamento estático e dinâmico, para fazer a exaustão. Esse exaustor deverá ser calculado para fazer exaustão através de 3 coifas e inclui também os suportes que serão necessários para fixar o exaustor no local, bem como o sistema elétrico de partida, controle e instrumentação.

7.4.1 ESPECIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS PARA DUTOS E COIFAS

A seguir estão descritas as especificações dos dutos e coifas do sistema de exaustão

✓ Dutos Metálicos

Propõe-se a construção de dutos metálicos, de seção quadrada 1,60mx1,60m, deve-se utilizar chapas de aço galvanizadas, com revestimentos de 250 g/m² de zinco, conforme ABNT-NBR 7008-6, com no mínimo 1,37 mm de espessura ou aço inoxidável com no mínimo 1,09 mm de espessura. Outros materiais são permitidos, desde que proporcionem resistência ao fogo e à corrosão, estanqueidade e rugosidade interna equivalentes aos dutos de aço, e estejam em conformidade com a NBR 7008-6, sendo necessário 60,00m² de chapa.

✓ Coifas

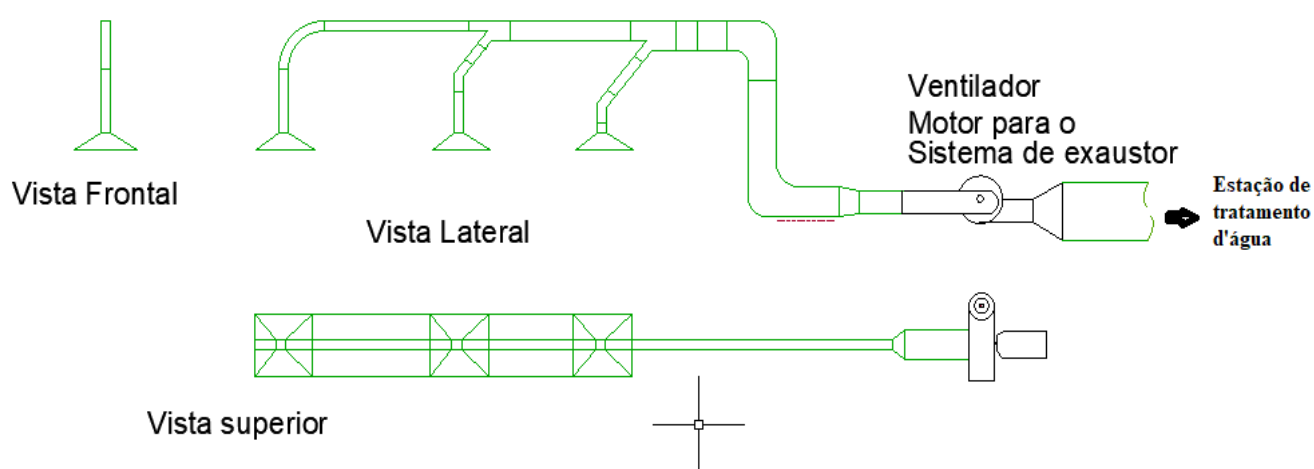
Coifas (captor dos vapores) de base quadrada (5.95m x 5.95m) com aresta de 1.46m resultando em um perímetro igual a 23.8m.

Elas devem ser construídas em chapas de aço inoxidável com no mínimo 0,94mm de espessura ou chapa de aço carbono galvanizadas, com revestimento de 250g/m² de zinco, conforme ABNT-NBR7008-6, com no mínimo 1,09 mm de espessura ou outro material que proporcione equivalente resistência mecânica ao fogo e à corrosão

A altura mínima da base coifa em relação ao topo da escória no *dry pit* é h=5,0m. para suportar a temperatura elevada da escória e melhorar a eficiência de sucção.

Ao entrar em contato com a estrutura do sistema de exaustão, o vapor pode estar com a temperatura igual ou superior a 100°C, havendo a necessidade de se prever o uso de materiais, na construção dos dutos e do ventilador, que suportem estas temperaturas com garantia da vida útil do equipamento. Pode-se também adaptar essas peças para receber resfriamento indireto, com água vindo da célula de recirculação de água. Apresenta-se na Figura 22 um desenho esquemático do sistema de exaustão.

Figura 22: desenho esquemático do sistema de exaustão



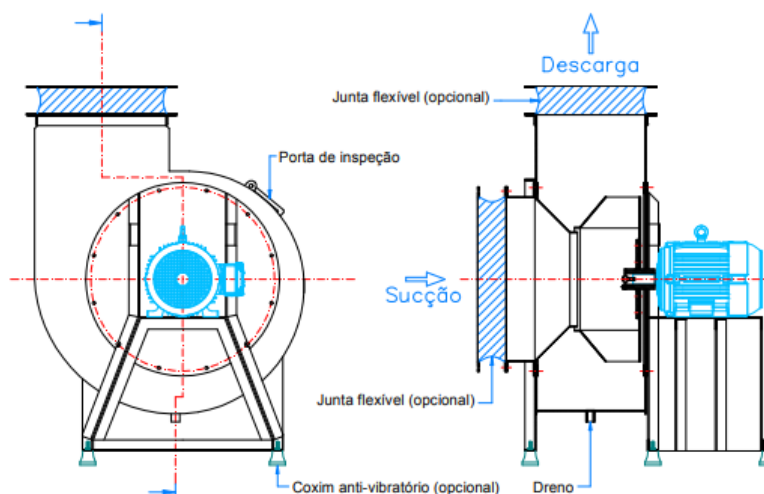
Fonte: Autoria Própria

7.4.2 ESPECIFICAÇÕES DE EXAUSTOR E MOTOR PARA SISTEMA DE EXAUSTÃO

✓ **Exaustor:**

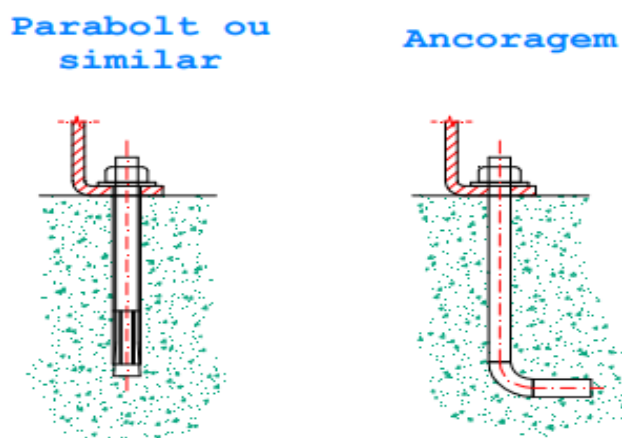
Exaustor axial/centrífugo, com pás inclinadas para trás e baixo nível de ruídos-vazão mínima de 15600m³/h, elevação de pressão estática mínima de 60mm.c. a (milímetros de coluna d'água) ou aproximadamente 59, 18mmca. A instalação deve ser provida de suportes com amortecimento de vibrações; acoplamento do motor ao ventilador pode ser direto ou por meio de correia e polia. É apresentado na Figura 23, detalhes de sua fixação no piso e a figura 24 os tipos de fixação utilizados.

Figura 23: Detalhe da fixação no piso



Fonte: Catálogo da Brasfaiber (2023)

Figura 24: Tipos fixação utilizados



Fonte: Catálogo da Brasfaiber (2023)

- ✓ Motor para o ventilador: Motor trifásico de 5.5Kw

8.0 FUNDAÇÕES

De acordo com prévias análises de solo do terreno, as fundações serão do tipo estacas escavadas com trado mecânico conforme projeto de fundações NBR 6122/2019.

9.0 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E HIDROSSANITÁRIAS

Será executada de acordo com as normas da ABNT NBR 14039/2003 - instalações elétricas de média tensão e ABNT NBR 5626/1998 - Instalações prediais de água fria.

10.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou compreender o processo de produção de ferro gusa com o foco no vazamento de escória no dry pit, seguido de resfriamento lento ao ar livre e, por meio de uma investigação criteriosa observou-se que essa atividade gera vapor tóxico que contamina a atmosfera, intensifica e acelera o aparecimento de patologias em estruturas de concreto armado e estruturas de aço. Foi destacado uma maneira de reduzir a poluição atmosférica, dentre os diversos métodos de prevenção ou correção para evitar ao máximo essas patologias.

Por meio do acompanhamento foi possível observar a importância de eliminar fontes de poluição. Souza e Ripper (2019) destaca que preservar o patrimônio é mais econômico do que a sua demolição e reconstrução. Além disso, com o passar do tempo poderemos avaliar a preservação e o desempenho das estruturas dentro de sua vida útil e acompanhar a diminuição do tempo destinado à manutenção através de indicadores pré-estabelecidos. Esses resultados contribuirão de forma eficaz com planejamento da rotina de trabalho, pois se trata de uma área com poucas oportunidades de parada de produção como é a dos altos-fornos.

Como medida preventiva sugeriu-se a construção de um sistema de exaustão de vapores tóxicos fixado em um galpão de estrutura metálica, que mitiga uma fonte importante causadora de poluição atmosférica e que intensifica o desenvolvimento das patologias em estruturas de concreto e em estruturas metálicas.

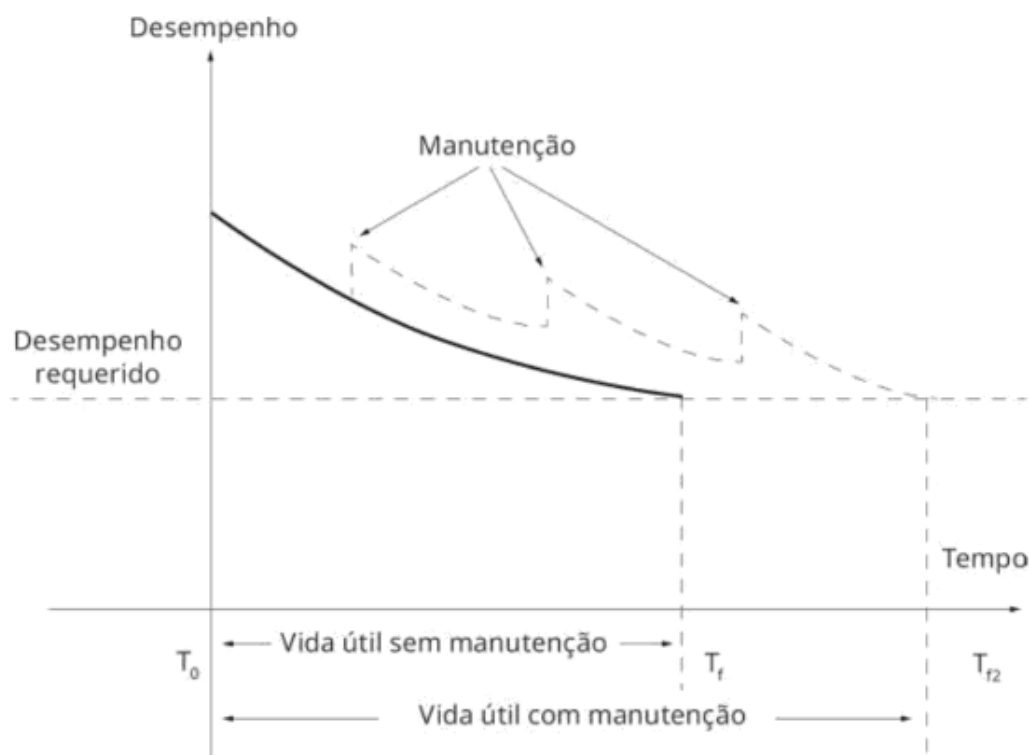
Associado à instalação do sistema de exaustão de vapor como ação preventiva, deve-se adotar outras medidas que contribui para reforçar essa proteção, como por exemplo, realização de manutenções preventivas. De acordo com a NBR 5674 (ABNT,2012, p.3), “[...] a manutenção preventiva tem como característica a programação dos serviços com antecedência, através de inspeções e recomendações de solicitações dos usuários, focando na durabilidade que o sistema foi projetado”.

Em unidades de uma empresa siderúrgica, as estruturas de concreto e as metálicas são de grande importância para o processo produtivo, assim como para a integridade das

peçoas, instalações e do meio ambiente. Se tratando de prevenção sugeriu-se proteger as estruturas já existentes em relação ao ambiente externo com telha de cobertura e de fechamentos laterais. A pintura industrial é um dos métodos de proteção anticorrosiva mais utilizados. Outra forma de proteção para as estruturas de aço é o processo de galvanização ou zincagem que consiste em preservar o aço contra a corrosão recobrindo-o com uma camada de zinco metálico (BELLEI, 2004).

Diante deste cenário, criar e manter um plano de inspeções realizadas com intervalos regulares de tempo junto com um plano de manutenção, para levantar informações de possíveis degradações e efetuar intervenções, onde um componente é reparado ou substituído com o propósito de reduzir a possibilidade de falha ou degradação do funcionamento da unidade inteira pode evita grandes prejuízos. Para Bolina, Tutikian e Helene (2019) há uma recuperação do desempenho perdido das edificações através de cada execução de manutenção bem elaborada, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 25. Dessa forma, pode-se garantir, também, a prevenção de acidentes por condições inseguras no local de trabalho.

Figura 25: Desempenho de uma edificação ao longo do tempo.



Fonte: Bolina, Tutikian e Helene (2019).

11.0 CONCLUSÃO

Por meio da revisão de literatura e do protótipo proposto, nota-se que é possível a minimização de impacto ambiental, mitigação de agentes patológicos nas estruturas de concreto e de aço, além da possibilidade de captura de vapores tóxicos, resultado do resfriamento lento de escória no dry pit. A condução do vapor permite, inclusive, que este seja tratado e utilizado como insumo no processo produtivo.

Espera-se com isso, a redução de custos com manutenção, paradas operacionais e aumento da vida útil das estruturas, levando em consideração principalmente o processo de produção de ferro gusa e do subproduto da escória de alto-forno.

Com a concepção de um sistema de exaustão, além de garantir a captação desse vapor tóxico, o sistema permite armazenar esse vapor em um tanque. Quando o vapor mudar para o estado líquido, terá como resultado água ácida, que pode ser enviada ao

sistema de tratamento de água para corrigir seu pH com adição de soluções neutralizadoras, como por exemplo o carbonato de sódio ou carbonato de potássio em dosagens adequadas para não aumentar a dureza da água, tornando-a mais neutra possível e podendo assim, ser utilizada nos sistemas de resfriamento de equipamentos. O ácido gerado pode ser também tratado e comercializado.

Conclui-se nesse trabalho a importância do controle da poluição gerada por atividades nas unidades da indústria siderúrgicas bem como a preservação da integridade das estruturas através de inspeções periódicas e plano de manutenção, além de garantir a segurança dos usuários dos edifícios e a preservação ambiental.

12.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Victor D. J. *et al.* Patologias na Construção Civil. **Pesquisa e ação**, v. V, n. n4, dez. 2019. Disponível em: <https://revistas.brazcubas.br>. Acesso em: 12 Outubro 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR8800- Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674 Manutenção de edificações: Requisitos para o Sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro, p. 3. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7008-6 Chapas de bobinas de aço revestidas com zinco ou liga de zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente**. Rio de Janeiro, p. 9. 2021.

BARBOSA, Alexandre R. *et al.* Sistema de controle de distribuição de gás de aciaria da companhia siderúrgica de tubarão. **IX SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS**, Vitória, 05 a 07 Outubro 2005. 03. Disponível em: <https://br.search.yahoo.com/>. Acesso em: 21 Maio 2024.

BELLEI, I.H. **Edifícios industriais em aço. Projeto e cálculo**. São Paulo: Pini, v. II, 2004.

BOLINA, Fabrício L.; TUTIKIAN, Bernado F.; HELENE, do Lago P. R. **Patologias de estruturas**. São Paulo: Oficina de textos, 2019. ISBN ISBN 978-85-7975-339-8.

C.S TOMAZ, Eduardo. **ime.eb.br**, 2010. Disponível em: http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/cimentos_concretos/escoria_fabricacao.pdf. Acesso em: 28 setembro 2023.

CARVALHO FILHO, Pedro A. Escórias de Alto-Forno. **Brasil.Arcelor Mittal**, 2019. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/coprodutos/coprodutos/escoria-alto-forno>. Acesso em: 5 Setembro 2023.

CASCUDO, Oswaldo. **O controle da corrosão em armadura em concreto-Inspeções e técnica eletroquímica**. Goiana: ufg, 1997. 237 p. ISBN 8572740961, 9788572740968.

CERUTI, Margarete. Saiba mais sobre a presença do aço no dia a dia e sua importância. **ArcelorMittal**, 9 Abril 2021. Disponível em: <https://blog.arcelormittal.com.br/presenca-do-aco-no-dia-a-dia/>. Acesso em: 15 Janeiro 2024.

EMPRESA GERDAU. Gerdau mais. **Comercial gerdau**, 2022. Disponível em: <https://mais.gerdau.com.br/cotacao/>. Acesso em: 4 Outubro 2023.

ENGENHARIA DE PROCESSOS. Brasfaiber. **Brasfaiber tecnologia em ventilação industrial Eireli**, 05 maio 2021. Disponível em: <https://www.brasfaiber.com.br/>. Acesso em: 12 Abril 2024.

FERREIRA, Rui M. Avaliação de ensaios de durabilidade do Betão. **Universidade do Minho, Escola de Engenharia**, Braga, Setembro 2000. 246. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/40>. Acesso em: 12 Outubro 2023.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Afiliada, 1992. Disponível em: <https://www.academia.edu/>. Acesso em: 14 Outubro 2023. Ebook, pdf.

GODIM, Jesse. 1 vídeo (16,24min). Método de cálculo para combinações de ações no ELU. **Publicado pelo canal Engenharia em curso**, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/>. Acesso em: 21 Outubro 2023.

HELENE, Paulo R. D. L. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Reabilitar, 2003. 213 p. Disponível em: repositorio.usp.br.

LAPA, J S. Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto. **Monografia especialização (Especiализação em construção civil)**, Universidade federal de Minas Gerais, 2008. Disponível em: <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos>. Acesso em: 14 Outubro 2023.

MEHTA; MONTEIRO, Paulo. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais**. Tradução de Marcos Meireles. 2ª. ed. São Paulo: Ibracon, 2008. Disponível em: <https://www.academia.edu/95750182>. Acesso em: 12 Outubro 2023.

MORÃO, Marcelo B. **Introdução à siderurgia**. São Paulo: ABM, 2007.

MOREIRA DE SOUZA, Vicente C. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, v. 1, 1998.

MOREIRA DE SOUZA, Vicente C.; RIPPER, Tomaz. Patologia, Recuperação de estruturas de concreto. In: MOREIRA DE SOUZA, Vicente C.; RIPPER, Tomaz **Patologia, Recuperação de estruturas de concreto**. 1ª. ed. São Paulo: Pini, v. I, 2009. Cap. 3.6, p. 245. ISBN 85-7266-096-8. Disponível em: <https://www.academia.edu/>. Acesso em: 08 abr. 2024.

NAZÁRIO, Daniel; ZANCAN, Evelise C. Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal de Criciúma. **UNESC-Universidade do extremo sul catarinense**, Sul Catarinense, Julho 2011. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/151>. Acesso em: Quinta feira jan. 2024.

O que é e como ocorre a carbonatação no concreto. **Tecnosil**, 8 Março 2018. Disponível em: <http://tecnosilbr.com.br>. Acesso em: 12 Outubro 2023.

PALMEIRAS, Enio M. **Geossintéticos em geotecnia e Meio ambiente**. 2ª. ed. São Paulo: Oficinas de texto, v. 1, 2018.

RIZZO, Ernandes M. D. S. **Processo de fabricação de ferro-gusa em alto-forno**. 1ª. ed. São Paulo: ABM, v. 1, 2009. 278 p.

SANTO ANDRE DISTRIBUIDORA. **Santo André**, 2023. Disponível em: https://www.sandre.com.br/telha_trapezoidal_40. Acesso em: 4 outubro 2023.

SANTOS, Camila D. F. Patologia de estruturas de concreto armado, Santa Maria, 19 Dezembro 2014. 91.

SILVA CAVALCANTI, Pedro P. Gestão ambiental na indústria siderúrgica, aspecto relacionado a emissões atmosférica. **Monografias Poli**, Rio de Janeiro, Setembro 2012. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10004547.pdf>. Acesso em: 19 Setembro 2023.

TÉCNICAS, ASSOCIAÇÃO B. D. N. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto**. Rio de Janeiro. 2008.

VAGELIS, Papadakis G.; VAYENAS, Costas G.; FARDIS, Michael N. Modelagem fundamental e investigação experimental de concreto carbonatação. **Portal**

internacional de resumo de concreto,Diário de Materiais, 88, 1 Julho 1991. 363-373.

Disponível em: <https://www.concrete.org/>. Acesso em: 19 Janeiro 2024.