



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

DANYEL FIGUEREDO CEZANA

KELLY BARBOSA SILVA CEZANA

***ANÁLISE E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA BAIA DE
ESCÓRIA DE ACIARIA DE USINA SIDERÚRGICA***

OURO BRANCO-MG

DEZEMBRO-2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

CAMPUS ALTO PARAOPÉBA

DANYEL FIGUEREDO CEZANA

KELLY BARBOSA SILVA CEZANA

***ANÁLISE E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA BAIA DE
ESCÓRIA DE ACIARIA DE USINA SIDERÚRGICA***

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.

Orientador: Reinaldo Antônio dos Reis

OURO BRANCO-MG

DEZEMBRO-2022

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)

C425a

Cezana, Danyel; Cezana, Kelly.

ANÁLISE E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA BAIA DE
ESCORIA DE ACIARIA DE UMA USINA SIDERÚRGICA / Kelly
Barbosa Silva Cezana, Danyel Figueredo Cezana;
orientador Reinaldo Antônio dos Reis. -- Ouro Branco,
2022.

51 p.

Monografia (Graduação - Engenharia Civil) -
Universidade Federal de São João del-Rei, 2022.

1. Recuperação de estruturas. 2. Manutenção civil.
3. Usina Siderúrgica Integrada. 4. Concreto Armado.
5. Aço. I. Reis, Reinaldo Antônio dos.

DANYEL FIGUEREDO CEZANA

KELLY BARBOSA SILVA CEZANA

***ANÁLISE E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA BAIÁ DE
ESCÓRIA DE ACIARIA DE USINA SIDERÚRGICA***

***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 14/12/2022

COMISSÃO EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 REINALDO ANTONIO DOS REIS
Data: 19/12/2022 23:35:03-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Reinaldo Antônio dos Reis
Professor Orientador

Documento assinado digitalmente
 PAULO ROBERTO BORGES
Data: 20/12/2022 19:59:25-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Paulo Roberto Borges
Professor de Engenharia Civil da UFSJ

Documento assinado digitalmente
 JOAO PAULO OLIVEIRA NUNES DE LIMA
Data: 21/12/2022 20:00:39-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

João Paulo Oliveira Nunes de Lima
Engenheiro Civil

AGRADECIMENTOS

A Deus por nos abençoar a cada novo amanhecer, nos presentear com a dádiva da dedicação, do sucesso e discernimento para lutar e seguir firme em nossos propósitos.

A Universidade Federal de São João del Rei que se fez presente em cada passo ao longo dessa jornada, pela disposição de recursos e acolhimento que nos proporciona um sentimento de segunda casa.

Aos nossos Pais, pela solidez e fonte de amor, depositando confiança e esperança em nós, no sentimento de que nos tornemos pessoas melhores a cada dia e profissionais capacitados e empáticos na construção de um futuro melhor.

A todos os professores que em sua profissão inspiradora na construção do conhecimento, nos motiva a alçar voos altos e desperta em nós nosso potencial.

A todos os profissionais e técnicos e as pessoas que de forma direta ou indireta contribuiu para a nosso aprendizado e formação.

Porque somos mortais, curtamente mortais, inevitavelmente mortais, tendemos a acreditar que tudo o que dura mais do que nós, é eterno. Nossa crença, em realidade, é simplesmente desejo, ou talvez mentira que nós pregamos, por querermos acreditar que tudo aquilo que fazemos, que construímos, ou de que participamos da criação, brilhará para sempre no infinito”.

(Vicente de Souza Brandão)

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
SUMÁRIO	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 A RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL AGREGADA Á MANUTENÇÃO CIVIL.....	11
1.2 PROCESSO RESULTANTE DA ESCÓRIA DURANTE O REFINO DO AÇO...	13
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
3.1 BAIA DE ESCÓRIA DA ACIARIA.....	16
3.2 ANÁLISE DE POSSÍVEIS FALHAS	21
3.2.1 Resistência do concreto armado a altas temperaturas	21
3.2.2 Resistência do concreto armado a fadiga devido impacto	29
3.3 METODOLOGIA DA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DA BAIA DE ESCÓRIA	32
3.3.1 Determinação do comprimento de ancoragem da armadura de aço	33
3.3.2 Emendas das barras	36
3.3.3 Ancoragem com furação e resina epoxídica.....	39
3.4 MÉTODO DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL.....	41
3.4.1 Aderência do concreto	41
3.4.2 Recuperação da armadura.....	41
3.4.3 Fôrmas.....	42
3.4.4 Concretagem e acabamento	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A FALHA.....	44
4.2 A RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL.....	45
5 CONCLUSÃO	46
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Manutenção de estrutura de concreto em área de Aciaria.	12
Figura 2 - Alto forno: usado para fundição e produção de gusa líquido.	14
Figura 3 - Carro torpedo: Vagão para carregamento de gusa líquido para a Aciaria.	14
Figura 4 - Baia de Escória da Aciaria.....	17
Figura 5 - Planta baixa da baia de escória em estudo.....	18
Figura 6 - Vista em corte frontal da baia de escória em estudo.....	19
Figura 7 - Vista lateral da baia de escória em estudo.....	19
Figura 8 - Pote de escória posicionado no carro transportador em frente a baia.....	20
Figura 9 - Pote de escória sendo içado pela ponte rolante para realizar o despejo na baia.	21
Figura 10 - Relação do fator de redução da resistência a compressão do concreto e temperatura	23
Figura 11 - Relação do fator de redução da resistência do aço e temperatura.....	25
Figura 12 - Relação do fator de redução do módulo de elasticidade do aço e temperatura .	26
Figura 13 - Pote recebendo escória líquida do vaso convertedor	28
Figura 14 - Processo de resfriamento da escória na baia.	29
Figura 15 - Esquema do processo de despejo da escória de aciaria na baia de resfriamento	30
Figura 16 - Pá carregadeira despejando escória em um caminhão Fora de estrada.....	31
Figura 17 - Baia de escória avariada em manutenção	32
Figura 18 - Retirada do concreto danificado	33
Figura 19 - Esquema de emendas de transpasse.....	37
Figura 20 - Emendas por solda.....	39
Figura 21 - Ancoragem de novas barras para recuperação da estrutura.....	42
Figura 22 - Estrutura com formas montadas para receber a concretagem.....	43
Figura 23 – Parede da baia de escória após recuperação	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de $k_c, \theta = f_c, \theta f_c, k$ para concreto de massa específica normal.....	24
Tabela 2 - Valores de $k_s, \theta = f_y, \theta f_y, k$ e $k_{Es}, \theta = E_s, \theta E_s$	27
Tabela 3 - Resultados calculados que influenciam no comprimento de ancoragem.....	35
Tabela 4 - Proporção máxima de barras tracionadas.....	37
Tabela 5 - Coeficientes α_{0t}	38
Tabela 6 - Características da resina epoxídica.	40
Tabela 7 - Emendas das barras.....	41

ANÁLISE E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA BAIA DE ESCÓRIA DE ACIARIA DE USINA SIDERÚRGICA

RESUMO

Danyel Figueredo Cezana¹; Kelly Barbosa Silva Cezana¹; Reinaldo Antônio dos Reis¹

¹ Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil Computação e Humanidades, Universidade Federal de São João del Rei – UFSJ - Campus Alto Paraopeba, Ouro Branco/MG, Brasil

Resumo: A manutenção civil está presente em vários âmbitos da engenharia, incluindo a área industrial. A necessidade de manter as estruturas íntegras dentro da sua vida útil ou recuperá-las em situação de falha são supridas através das técnicas de recuperação estrutural. Este trabalho apresenta uma breve análise sobre o colapso de uma baia de escória de aciaria de uma usina siderúrgica, que tem como objetivo armazenar e resfriar a escória advinda do refino do ferro-gusa para produção do aço, além de discorrer sobre sua recuperação estrutural, dando ênfase na aderência da superfície de concreto, na recuperação da armadura e seus comprimentos de ancoragem e propor melhorias para mitigar falhas.

Palavras-chave: Manutenção civil, recuperação estrutural, aço, escória, concreto armado.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL AGREGADA À MANUTENÇÃO CIVIL

A manutenção civil tem como principal objetivo prever ou evitar falhas e desgastes, não somente em infraestruturas prediais, mas também se faz presente com grande relevância no âmbito industrial. Esse tipo de manutenção consiste em atividades a fim de manter a integridade das estruturas edificadas para o qual foram projetados e construídas e, realizar ações corretivas nas estruturas ao qual foram identificadas as falhas. As intervenções realizadas de forma correta evitam interrupções repentinas nos processos produtivos, maximizam o uso dos recursos investidos por parte de gerenciamento estratégico, além de garantir segurança e integridade (SGS, 2018).

Groote (1995) aponta que para definir um melhor plano de ação é necessária uma inspeção de qualidade para a definição da manutenção para fornecer alguma ideia sobre sua performance mediante uma avaliação dos problemas existentes.

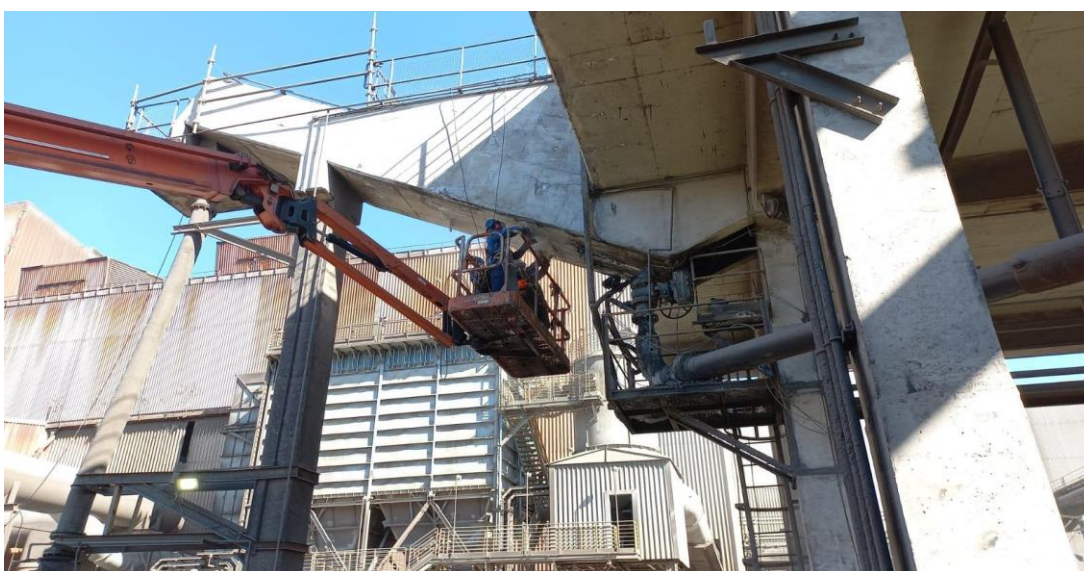
De acordo com Parida e Kumar (2006), a contribuição ao executar uma manutenção passa pelo princípio de que o que não pode ser medido não pode ser gerenciado, efetivamente. Para que os gestores de operação possam gerenciar os processos de manutenção e os próprios recursos é preciso medir a contribuição da manutenção para os objetivos do negócio.

Atualmente O planejamento da manutenção tem sido objeto de muitos estudos como, por exemplo, a pesquisa-piloto sobre o status da gestão da manutenção em empresas de manufatura do Reino Unido realizado por Cholasuke, Bhardwa e Antony (2004), cujo trabalho conclui que a manutenção assume um papel crítico como suporte das atividades de manufatura e que um aceitável nível de performance das indústrias é inalcançável sem o efetivo suporte da gestão da manutenção.

Dados da Associação Brasileira de Manutenção (2007) mostram que 41,17% das empresas no Brasil não desenvolvem atividade de engenharia de manutenção e, dentre as que desenvolvem, cerca de 25% dos funcionários não possuem nem ao menos o nível técnico. Juntamente com outros números encontrados na pesquisa, mostram que é incipiente e escassa a utilização de técnicas mais adequadas à gestão da manutenção e também, de procedimentos que possibilitem melhoras na produção.

Em média as estruturas de concreto armado são projetadas visando uma durabilidade de 50 anos, durante esse período é esperado que o projeto não apresente patologias significativas que possam inutilizar a usabilidade da estrutura, porém com o cenário ligeiramente diferente do esperado, a estrutura pode sofrer mudanças quanto à presença de temperatura elevada, ambientes agressivos como sulfatos e impactos gerados. A partir dessa mudança de cenário ou após o passar dos anos, é necessária que seja feita a manutenção civil que tem como objetivo prolongar a vida útil da estrutura de forma que ela possa manter sua segurança, confiabilidade e disponibilidade. A Figura 1 retrata a abrangência da manutenção civil no âmbito industrial, mostrando o efetivo atuando na recuperação estrutural de uma estrutura de concreto na área da Aciaria.

Figura 1 - Manutenção de estrutura de concreto em área de Aciaria.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Segundo Souza e Ripper, 1998, através da série de limitações que ainda existem no âmbito da construção civil, também pelas falhas humanas envolvidas no processo, muitas estruturas acabam por ter um desempenho abaixo do esperado visto para o propósito ao qual foram concebidas. Seja por falha de execução, por falha na concepção do projeto, tempo de execução excessivamente curtos ou outros aspectos diversos, a estrutura apresenta falhas que podem inclusive retirá-la de uso, gerando gastos para recuperá-la caso seja viável ou senão sua demolição.

A partir da identificação da patologia e da causa raiz, pode-se então escolher a técnica, os materiais e mão de obra mais adequada para a execução da recuperação estrutural (Souza e Ripper, 1998).

A recuperação estrutural pode ser basicamente concebida de duas formas, uma que compreende o reforço estrutural, onde serão aplicadas novas cargas ou a estrutura estará submetida a novas ações sejam elas quais for e outra que compreende a reconstituição geométrica do projeto com o objetivo de recuperar a estrutura para resistir aos esforços inicialmente avaliados. Para cada forma de recuperação estrutural há a avaliação da extensão, a maneira a qual será a execução e que acarretará diretamente nos custos que indicarão a viabilidade de manter ou não a estrutura (Souza e Ripper, 1998).

1.2 PROCESSO RESULTANTE DA ESCÓRIA DURANTE O REFINO DO AÇO

Segundo Mourão, 2007, a metalurgia é o conjunto de tratamentos físicos e químicos a que são submetidos os minerais para a extração dos metais. Dentro desse conceito está o processo siderúrgico, que é um ramo que trata especificamente da produção de aço e ferro fundido através de sua matéria prima, minério de ferro, carvão mineral e calcário, ao qual é transformado em ferro-gusa através do Alto Forno como o da Figura 2, utilizando uma fonte de carbono, podendo ser o coque ou o carvão vegetal nas usinas integradas, isto é, que engloba o ciclo de produção desde a matéria prima até o produto final.

Figura 2 - Alto forno: usado para fundição e produção de gusa líquido.



Fonte: Coelho, 2016.

O ferro-gusa é a liga resultante da redução do minério de ferro que segue depositado em carros torpedo como o da Figura 3, para a Aciaria onde é convertido em aço pelo processo de injeção de oxigênio e outros componentes no qual o ferro-gusa é oxidado, controladamente, por um fluxo de oxigênio lançado em forma de sopro diretamente à superfície do ferro-gusa líquido em panelas de aço.

Figura 3 - Carro torpedo: Vagão para carregamento de gusa líquido para a Aciaria.



Fonte: Lemos, 2015.

Na Aciaria, durante o refino do ferro-gusa líquido para a produção do Aço, é insuflado através de uma lança, oxigênio gasoso a fim de reduzir os teores de carbono, silício, manganês, fósforo e enxofre, oxidando esses elementos. Também são lançados fundentes para a formação de resíduos sólidos pela remoção das impurezas

presentes no material em refinamento, esse resíduo é denominado a escória e por diferença de densidade se separam do metal refinado, o aço. Outras impurezas também são liberadas em forma de gases durante o refino. (SOUZA, 2007).

Pela diferença de densidade, a escória durante o processo se deposita na parte superior do convertedor, assim, o aço é vazado por um furo na parte inferior e possui um tampão que fecha a passagem antes que se transfira a escória. É posicionado então um carro de transferência com o pote de escória, despeja-se o material e o transfere próximo a baia de escória, o material é então suspenso por ponte rolante e despejado na baia (ARAUJO, 2005).

Enquanto isso, o material convertido, o aço é moldado em forma de lingotes, podendo ser placas, blocos e tarugos, se tornando matéria prima de outros processos dentro da usina integrada. (MOURÃO, 2007).

A escória é produzida numa escala entre 70 a 130 kg/t de aço e possui em sua composição típica (ARAUJO, 2005):

- 40 a 42% de Óxido de Cálcio (CaO);
- 5 a 10% de Óxido de Magnésio (MgO);
- 15 a 20% de Dióxido de Silício (SiO_2);
- 20% de Óxido de Ferro (FeO);
- 4 a 6% de Dióxido de Manganês (MnO);
- 0,6 a 1,4% de Pentóxido de Difósforo (P_2O_5).

A escória é armazenada na baia para que seja realizado o seu resfriamento através de jatos de água. Após a escória ser resfriada, está é retirada da baia por pás carregadeiras em caminhões fora de estrada e direcionada ao beneficiamento para separação e reuso.

A escória pode ser reutilizada nos processos de sinterização e Alto Forno, uso na fabricação de fertilizantes e corretivos de solo, construção de estradas e barragens e

uma pequena parcela em aterros. No processamento da escória se procura recuperar cerca de 30% em peso de material metálico, além de utilizações em cimentos ferríticos (ARAUJO, 2005).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar qual foi a possível causa raiz da ruptura da baia de escória da Aciaria e propor solução para a recuperação da estrutura.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar através de registros fotográficos e experiência em campo, o possível modo de falha da estrutura da baia de escória;
- Apontar quais foram as possíveis falhas de projeto;
- Propor mudanças e a forma executiva para a recuperação da estrutura.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 BAIA DE ESCÓRIA DA ACIARIA

A estrutura em estudo se trata de uma baia de escória presente na aciaria de uma usina integrada ao qual necessitou de manutenção, a fim de recuperar sua estrutura. A Figura 4 mostra o estado da baia após colapso.

Essa baia tem como objetivo armazenar temporariamente a escória retirada do processo de refino do aço, até que ela seja removida para os fins as quais são destinadas, tais como a reutilização na sinterização e Alto Forno e o aproveitamento como coproduto comercializado para outras empresas no mercado.

Figura 4 - Baia de escoria da aciaria

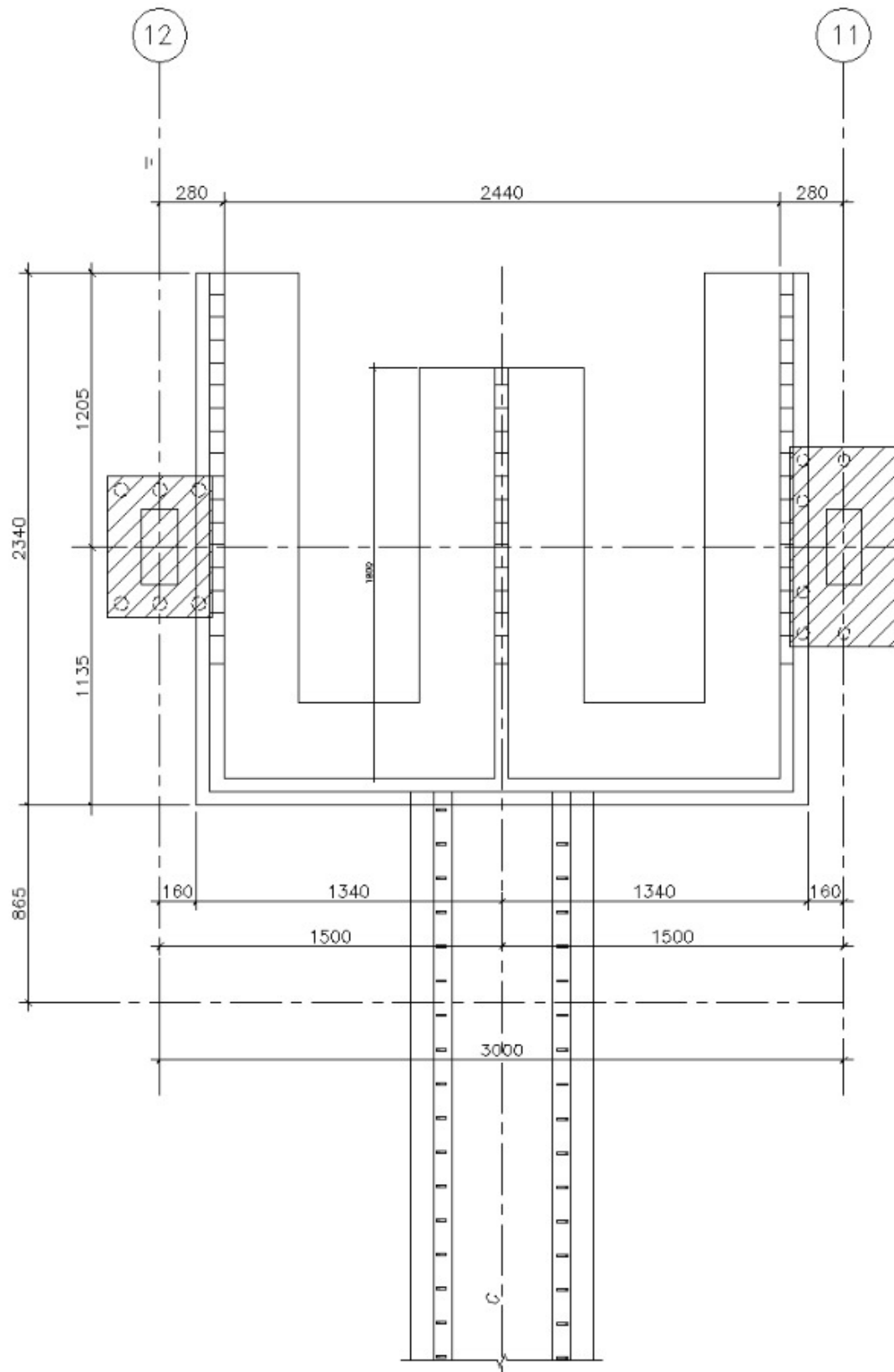


Fonte: Acervo pessoal, 2022.

As características e o funcionamento dessa estrutura foram estudados através dos projetos e visitas técnicas, se trata de um conjunto de paredes estruturais de concreto armado de $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$, construídas com 0,60 metros de espessura ligadas a uma fundação rasa do tipo sapata corrida de mesma espessura. As paredes formam um par de baias, sendo cada uma com dimensões de 23,40x13,40 metros. Ao lado desse conjunto possui duas estruturas metálicas em forma de plataformas acessadas por escadas para que o operador possa ter uma melhor visão e trabalhabilidade durante operação na baia.

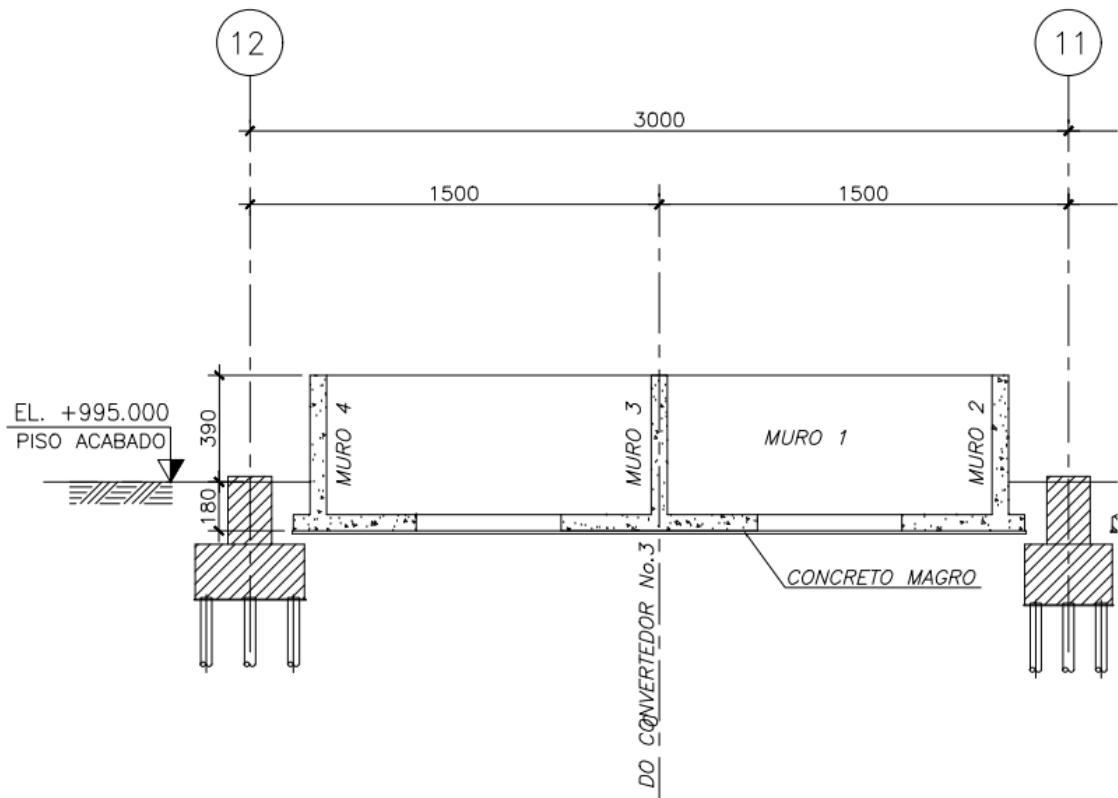
A Figura 5 mostra a planta baixa da fundação da baia de escória, enquanto a Figura 6 mostra uma vista em corte. A estrutura possui 5,70 metros de altura, constituída com um lastro de concreto magro de $f_{ck} = 10 \text{ MPa}$, em todo o fundo da estrutura. A Figura 7, vista lateral da baia, mostra a inclinação ao qual a parede lateral é construída. Logo acima do lastro de concreto é depositada uma camada espessa de escória de Alto Forno atentando-se a que haja uma inclinação de 3% para evitar acúmulo de água.

Figura 5 - Planta baixa da baía de escória em estudo.



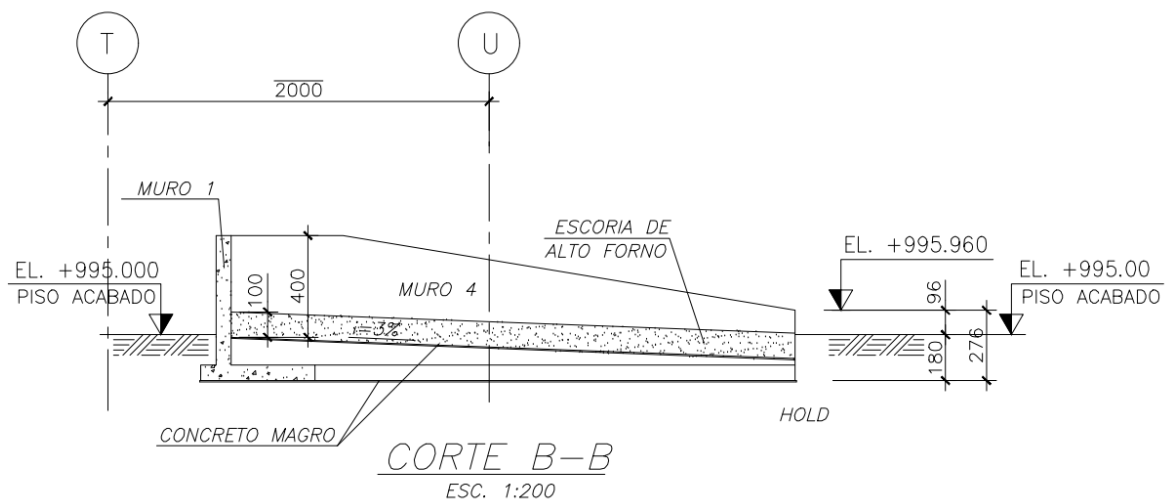
Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Figura 6 - Vista em corte frontal da baía de escória em estudo.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Figura 7 - Vista lateral da baía de escória em estudo.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Frente as duas baias possuem uma estrutura com trilhos que permitem o traslado dos carros que transportam os potes de escória, estes estacionam e, com auxílio de uma ponte rolante é feito o içamento do mesmo para iniciar o basculamento. A Figura 8 mostra o pote de escória posicionado no carro transportador.

Figura 8 - Pote de escória posicionado no carro transportador em frente a baia



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Com o pote içado, este é posicionado no meio da baia e com o fundo na altura do muro na inclinação à no máximo 120° , o que garante que a escória seja toda basculada juntamente com o translado do pote ao longo da baia, nos sentidos leste/oeste, distribuindo a escória por toda extensão da baia, até o fim do escoamento de todo o resíduo do pote. A Figura 9 mostra o pote de escória sendo içado pela ponte rolante para efetuar o basculamento dentro da baia.

Figura 9 - Pote de escória sendo içado pela ponte rolante para realizar o despejo na baía.



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

3.2 ANÁLISE DE POSSÍVEIS FALHAS

Para analisar as possíveis causas que levaram a estrutura ao colapso, foram feitas pesquisas com base nas normas ABNT NBR 14432:2001 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento e ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.

3.2.1 Resistência do concreto armado a altas temperaturas

Uma das hipóteses consideradas para o colapso foi a propriedade da resistência a fogo, visto que o elemento estrutural recebe a escória a altas temperaturas. Porém é sabido que uma estrutura quando exposta a essa condição como por exemplo durante um incêndio, a estrutura e elementos da construção absorve o calor, o que causa expansão térmica entre a massa de concreto e o aço comprometendo a aderência e

originando tensões internas que levam o concreto a se desagregar, expondo as armaduras diretamente à ação do fogo.

Pires, D. *et al* (2020) explica que a alta temperatura em condições de incêndio provoca alterações nas características físicas e mecânicas dos materiais. Essa mudança ocorre tanto no aço como no concreto, reduzindo consideravelmente a resistência e rigidez dos elementos estruturais.

Segundo a norma ABNT NBR 14432:2001 a representação da ação correspondente a incêndio está associada a exposição e é chamado de tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) diretamente ligado ao método construtivo e usabilidade. O calor transmitido a estrutura no TRRF gera em cada elemento estrutural a distribuição da temperatura, relacionado a forma e exposição. Esse processo causa a redução da resistência dos materiais e da capacidade dos elementos estruturais além da ocorrência de esforços solicitantes e diminuição da rigidez dos componentes.

3.2.1.1 Resistência a compressão do concreto

Segundo a norma ABNT NBR 14432:2001, há um decréscimo de resistência a compressão do concreto na medida que a temperatura aumenta, conforme relação mostrada pela Equação 1 e esboço do gráfico na Figura 10.

$$f_{c,\theta} = k_{c,\theta} * f_{c,k} \quad (1)$$

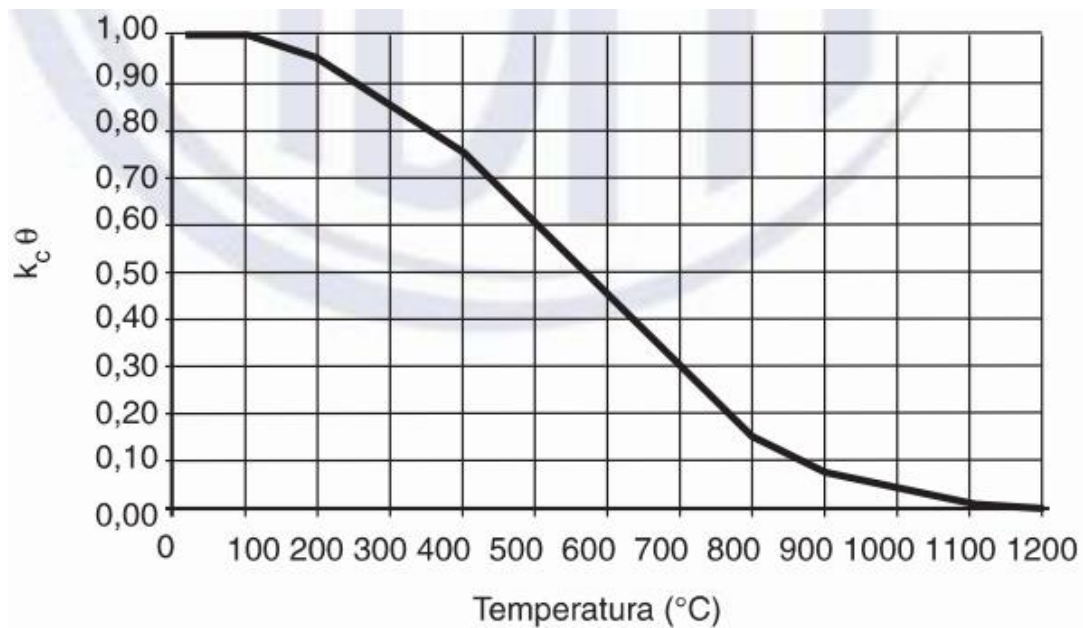
Onde:

$f_{c,\theta}$ = Resistência a compressão do concreto;

$k_{c,\theta}$ = Fator de redução de resistência do concreto com relação a uma temperatura (θ), tabelado;

$f_{c,k}$ = Resistência característica do concreto a temperatura ambiente.

Figura 10 - Relação do fator de redução da resistência a compressão do concreto e temperatura



Fonte: Norma ABNT NBR 14432, 2001.

Em um exemplo de concreto preparado com agregados silicosos tem-se uma relação de resistência característica ($f_{c,k}$) e a resistência a compressão do concreto ($f_{c,\theta}$) a diferentes temperaturas. A Tabela 1 mostra essa relação, para valores $k_{c,\theta} = \frac{f_{c,\theta}}{f_{c,k}}$ para concretos de massa específica normal entre $\frac{2000 \text{ kg}}{\text{m}^3}$ a $\frac{2800 \text{ kg}}{\text{m}^3}$.

Tabela 1 - Valores de $k_{c,\theta} = \frac{f_{c,\theta}}{f_{c,k}}$ para concreto de massa específica normal.

Temperatura do concreto °C	
1	2,00
20	1,00
100	1,00
200	0,95
300	0,85
400	0,75
500	0,60
600	0,45
700	0,30
800	0,15
900	0,08
1000	0,04
1100	0,01
1200	0,00

Fonte: Norma ABNT NBR 14432, 2001.

3.2.1.2 Resistência do aço

Segundo a norma ABNT NBR 14432:2001, para o aço faz-se a avaliação da resistência e módulo de elasticidade em altas temperaturas. Essa resistência ao escoamento do aço de armadura passiva decresce com o aumento da temperatura, pode ser visualizada na Equação 2 e esboço do gráfico na Figura 11.

$$f_{y,\theta} = k_{s,\theta} * f_{y,k} \quad (2)$$

Onde:

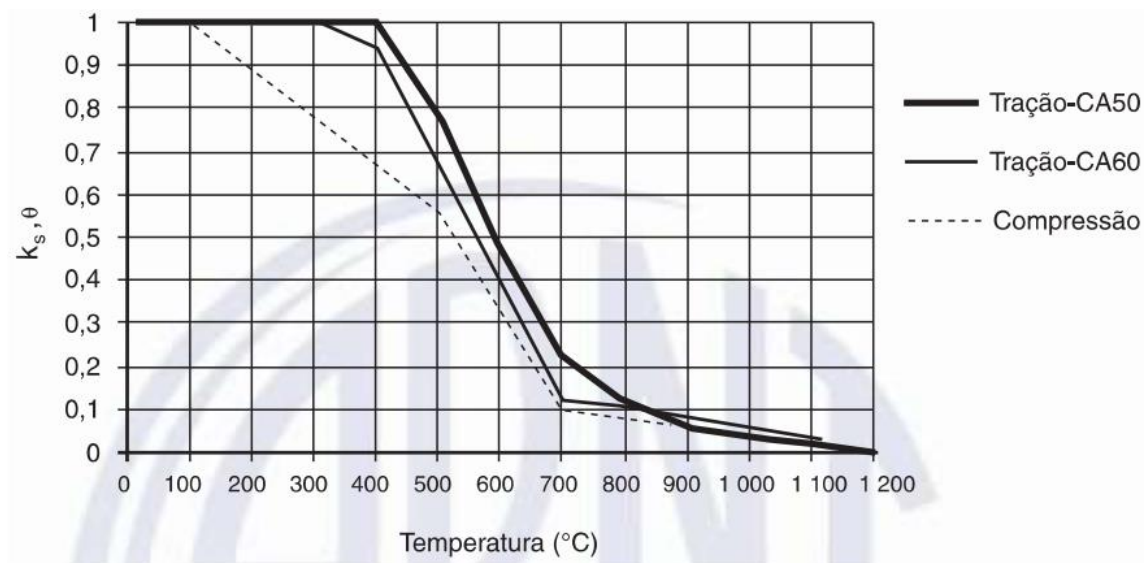
$f_{y,\theta}$ = Resistência ao escoamento do aço de armadura passiva;

$f_{y,k}$ = Resistência característica do aço a temperatura ambiente;

$k_{s,\theta}$ = Fator de redução de resistência do aço com relação a uma temperatura (θ), tabelado, onde:

- Curva cheia: $k_{s,\theta}$ aplicado usualmente em armaduras tracionadas de vigas, tirantes e lajes;
- Curva cheia: $k_{s,\theta}$ aplicado usualmente em armaduras comprimidas de vigas, pilares e lajes.

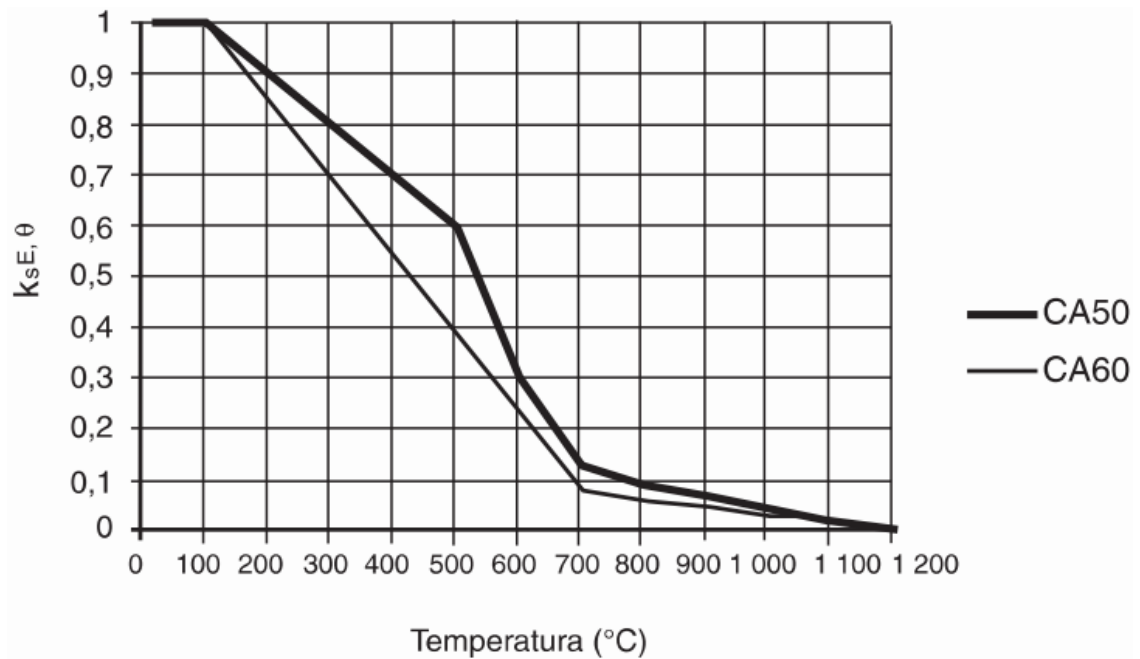
Figura 11 - Relação do fator de redução da resistência do aço e temperatura



Fonte: Norma ABNT NBR 14432, 2001.

Já o módulo de elasticidade do aço da armadura passiva segundo a norma ABNT NBR 14432:2001, também decresce com o aumento da temperatura, pode ser visualizada na Equação 3 e esboço do gráfico na Figura 12.

Figura 12 - Relação do fator de redução do módulo de elasticidade do aço e temperatura



Fonte: Norma ABNT NBR 14432, 2001.

$$E_{s,\theta} = k_{Es,\theta} * E_s \quad (3)$$

Onde:

$E_{s,\theta}$ = Módulo de elasticidade do aço da armadura passiva;

E_s = Módulo de elasticidade do aço a temperatura ambiente;

$k_{Es,\theta}$ = Fator de redução do módulo de elasticidade do aço com relação a uma temperatura (θ), tabelado.

Para aço de armaduras passivas a elevadas temperaturas, tem-se as seguintes relações entre resistência ao escoamento do aço nessa condição e resistência característica ao escoamento a temperatura ambiente, além da relação entre o módulo de elasticidade nessa mesma condição e o módulo em diferentes temperaturas como pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de $k_{S,\theta} = \frac{f_{y,\theta}}{f_{y,k}}$ e $k_{ES,\theta} = \frac{E_{s,\theta}}{E_s}$.

Temperatura do concreto °C	$k_{S,\theta} = \frac{f_{y,\theta}}{f_{y,k}}$			$k_{ES,\theta} = \frac{E_{s,\theta}}{E_s}$	
	Tração		Compressão CA-50 ou CA-60	CA-50	CA-60
	CA-50	CA-60			
1	2	3	4	5	6
20	1	1	1	1	1
100	1	1	1	1	1
200	1	1	0,89	0,9	0,87
300	1	1	0,78	0,8	0,72
400	1	0,94	0,67	0,7	0,56
500	0,78	0,67	0,56	0,6	0,4
600	0,47	0,4	0,33	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,1	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,08	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,06	0,07	0,05
1000	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03
1100	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
1200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Norma ABNT NBR 14432, 2001.

3.2.1.3 Caracterização da baía de escória de aciaria quanto a temperatura

A escória é posta ainda líquida nos potes na parte inferior do convertedor conforme mostrado na Figura 13 e direcionada a baía de escória a uma temperatura de cerca de 2200 °C, onde é despejada. Após ocorrer o despejo, a escória é irrigada com auxílio de bicos de pulverização afim de realizar seu resfriamento conforme mostrado na Figura 14. Com isso, a estrutura da baía recebe sobrecarga de alta temperatura com muita frequência.

Parte da água que é pulverizada sobre a escória quente evapora, outra parte é decantada nos tanques e reaproveitadas no processo. A escória já resfriada não

permanece na baía, ela é coletada por pás carregadeiras e acomodada sobre os caminhões do tipo fora de estrada para que possa ser enviada a área de beneficiamento. No processo de beneficiamento será feita a separação do material metálico e classificação em faixas granulométricas, para reaproveitamento no processo de produção do aço como sucata metálica. O material não aproveitado internamente será vendido para várias aplicações.

Figura 13 - Pote recebendo escória líquida do vaso convertedor



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Figura 14 - Processo de resfriamento da escória na baía.



Figura 14a e 14b – Escória em resfriamento na baía.



Figura 14c – Bico spray posicionado para resfriamento da escória na baía.



Figura 14d – Operador ajustando o posicionamento do Bico de Pulverização de água na baía.

Fonte: Acervo pessoal, 2022.

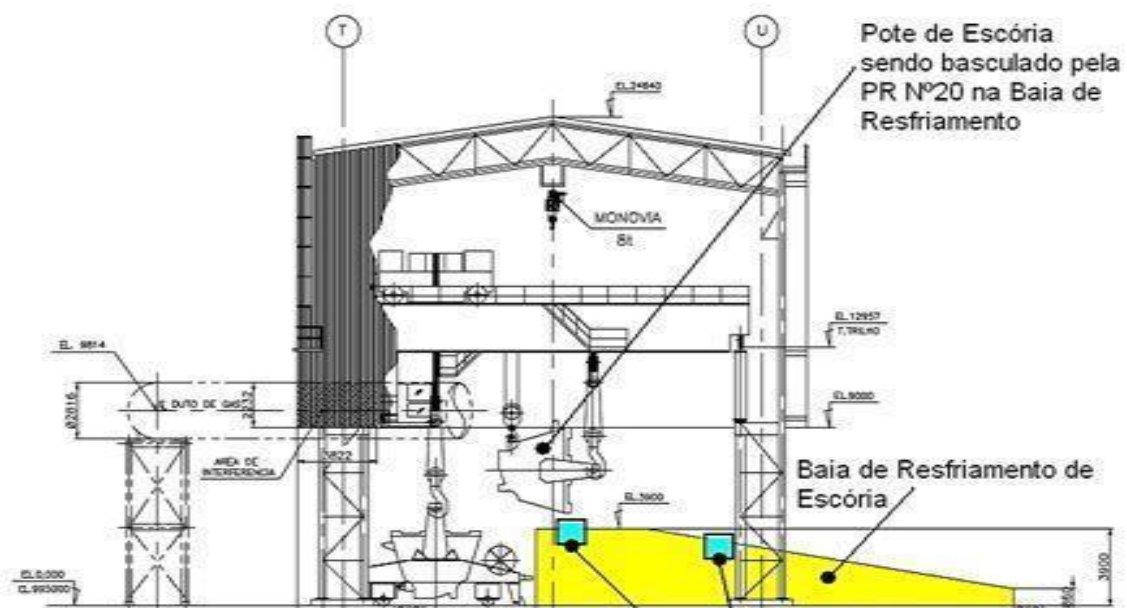
3.2.2 Resistência do concreto armado a fadiga devido impacto

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, uma estrutura na condição de uso que está sujeita a choques e vibrações, devem ser considerados os seus efeitos nos cálculos dos elementos estruturais a fim de contabilizar a possibilidade de fadiga. Tendo em vista, existem critérios para avaliar os danos gerados nas estruturas por ações cíclicas (efeito que torna os elementos estruturais mais deformáveis, isto é, relativamente danificados, mas também pode ampliar esse dano, provocando ruptura por fadiga) a serem considerados na verificação de Estado limite de serviço (ELS), e ainda critérios para verificação do Estado limite último (ELU) de fadiga. Para o aço, a abordagem é realizada para as armaduras, tanto na flexão, quanto no cisalhamento, enquanto para o concreto, à compressão, tanto na flexão quanto na força cortante, e à tração, mas apenas na parcela de força cortante de concreto sem armadura.

3.2.2.1 Caracterização da baía de escória da aciaria quanto a fadiga devido ao impacto

Os potes de escória seguem da Aciaria para serem despejados nas baías de escória. Após a chegada dos potes que são deslocados pelo carro transportador, o içamento e despejo é feito através de ponte rolante. Acidentalmente ao realizar as manobras, o mau manuseio do operador da ponte, faz com que o pote se choque contra a parede da baía, causando fadiga por impacto nos componentes estruturais. A Figura 17 mostra um esquema do processo de descarga do pote na baía de escória. O desenho em amarelo, representa a baía de escória e pode-se notar que o mau manuseio acarreta o choque do pote na parede central desta.

Figura 15 - Esquema do processo de despejo da escória de aciaria na baía de resfriamento



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

Outro evento que causam impactos recorrentes na baía, é a retirada da escória através da coleta por pás carregadeiras para acomodação sobre os caminhões do tipo fora de estrada para que possa ser enviada à área de beneficiamento. A Figura 18 mostra o carregamento desse caminhão.

Quando a pá carregadeira introduz a concha dentro da baia, acidentalmente pode vir a se chocar contra a parte interna das paredes causando também fadiga por impacto nos componentes estruturais.

Figura 16 - Pá carregadeira despejando escória em um caminhão Fora de estrada.



Fonte: Autoria própria, 2022.

A Figura 19 mostra a baia de escória vazia para manutenção desta, após retirada dos resíduos pode-se notar a parede central em colapso, com armaduras expostas e ranhuras na terra onde a concha da pá retirou resíduos bem próximo da estrutura.

Figura 17 - Baia de escória avariada em manutenção



Fonte: Autoria própria, 2022.

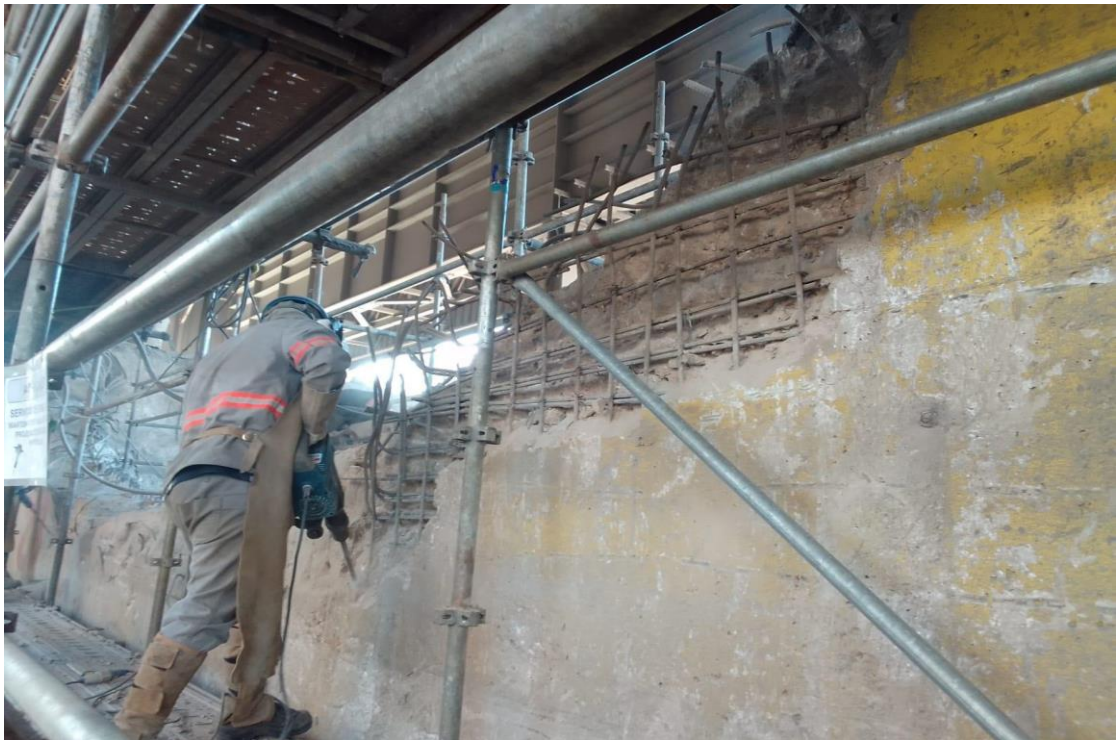
3.3 METODOLOGIA DA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DA BAIAS DE ESCÓRIA

A metodologia para a recuperação estrutural da parede foi realizada com base em uma recuperação parcial, mantendo a estrutura de concreto remanescente, conservando os arranques possíveis da armadura. A estrutura perdida foi recomposta conforme o projeto original.

Primeiramente foi realizada a demolição de todo o concreto em que havia perdido seção, mantendo somente a parte da estrutura que mantivesse todas as características geométricas do projeto. Essa etapa visava também produzir uma superfície rugosa, ou seja, uma interface de aderência entre o concreto antigo e o concreto novo. Detalhes dessa demolição podem ser visualizados na Figura 19.

O passo seguinte foi dimensionar e detalhar o comprimento de ancoragem da nova armadura que irá compor a estrutura com base na metodologia apresentada pela norma ABNT NBR 6118:2014 e soluções oferecidas no mercado.

Figura 18 - Retirada do concreto danificado



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

3.3.1 Determinação do comprimento de ancoragem da armadura de aço

Considerando a perda do aço da área da parede que entrou em colapso, foi necessário a reconstituição da armadura. Um dos pontos mais importantes será a ancoragem da armadura nova à armadura preservada.

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, todas as barras das armaduras devem ser ancoradas de forma que as forças a que estejam submetidas sejam integralmente transmitidas ao concreto, seja por meio de aderência ou de dispositivos mecânicos ou por combinação de ambos.

3.3.1.1 Comprimento de ancoragem básico

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, o comprimento de ancoragem básico está associado ao comprimento reto de uma barra de armadura passiva necessário para ancorar a força limite $A_s * f_{yd}$ nessa barra, admitindo-se, ao longo desse comprimento,

resistência de aderência uniforme e igual a f_{bd} . O comprimento básico pode ser visualizado na Equação 7.

$$l_b = \frac{\phi}{4} * \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \geq 25 * \phi \quad (7)$$

Onde:

l_b = Comprimento de ancoragem básico;

ϕ = Diâmetro da armadura de 25 mm e 12,5 mm;

f_{yd} = Resistência ao escoamento do aço majorado igual a $\frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$;

f_{bd} = Resistência de aderência uniforme dada pela:

$$f_{bd} = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * f_{ctd}$$

Sendo:

$\eta_1 = 2,25$ para barras nervuradas;

$\eta_2 = 1,0$ para boa aderência;

η_3 = Diâmetros $\phi < 32 \text{ mm}$;

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c};$$

Sendo:

γ_c = coeficiente de ponderação da resistência do concreto igual a 1,4;

$$f_{ctk,inf} = 0,7 * f_{ctm}$$

Sendo:

$$f_{ctm} = 0,3 * f_{ck}^{\frac{2}{3}}.$$

Considerando que a parede estrutural em questão possui armadura com bitolas de 25 mm e 12,5 mm e que o aço é CA50, possuindo assim $f_y = 500 MPa$ e o concreto C30, possuindo resistência característica $f_{ck} = 30 MPa$.

O quadro de resultados pode ser visualizado na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados calculados que influenciam no comprimento de ancoragem.

Descrição	Valor
Resistência média do concreto à tração (f_{ctm})	2,91 MPa
resistência à tração direta característica ($f_{ctk,inf}$)	2,03 MPa
resistência de cálculo à tração do concreto (f_{ctd})	1,45 MPa
Resistência de aderência uniforme (f_{bd})	3,26 MPa

Fonte: Autoria própria com base na norma ABNT NBR 6118, 2022.

Aplicando-se a Equação 7 tem-se como comprimento de ancoragem básico de 83 cm para a bitola de 25 mm e 42 cm para a bitola de 12,5 mm.

3.3.1.2 Comprimento de ancoragem necessário

Já o comprimento de ancoragem necessário segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, é calculado através da Equação 8.

$$l_{b,nec} = \alpha l_b * \frac{A_{s,calc}}{A_{s,ef}} \geq l_{b,min} \quad (8)$$

Onde:

$l_{b,nec}$ = Comprimento de ancoragem necessário;

$A_{s,calc}$ = Área da seção transversal da armadura longitudinal de cálculo;

$A_{s,ef}$ = Área da seção transversal da armadura longitudinal efetiva;

$l_{b,min}$ = Maior valor entre $(0,3 * l_b)$, $(10 * \phi)$ e $(100 mm)$;

α = coeficiente de barras utilizados:

- 1,0 para barras sem gancho;

- 0,7 para barras tracionadas com gancho, com cobrimento no plano normal ao do gancho $\geq 3 * \phi$;
- 0,7 quando houver barras transversais soldadas;
- 0,5 quando houver barras transversais soldadas e gancho com cobrimento no plano normal ao do gancho.

Devido à falta de acesso às solicitações utilizadas para o projeto, considerou-se a relação da área calculada sobre a área efetiva igual a 1. Com base nisso e sabendo que as novas armaduras não possuirão gancho e nem armadura transversal soldada, tem-se que o comprimento necessário é igual ao comprimento básico.

3.3.2 Emendas das barras

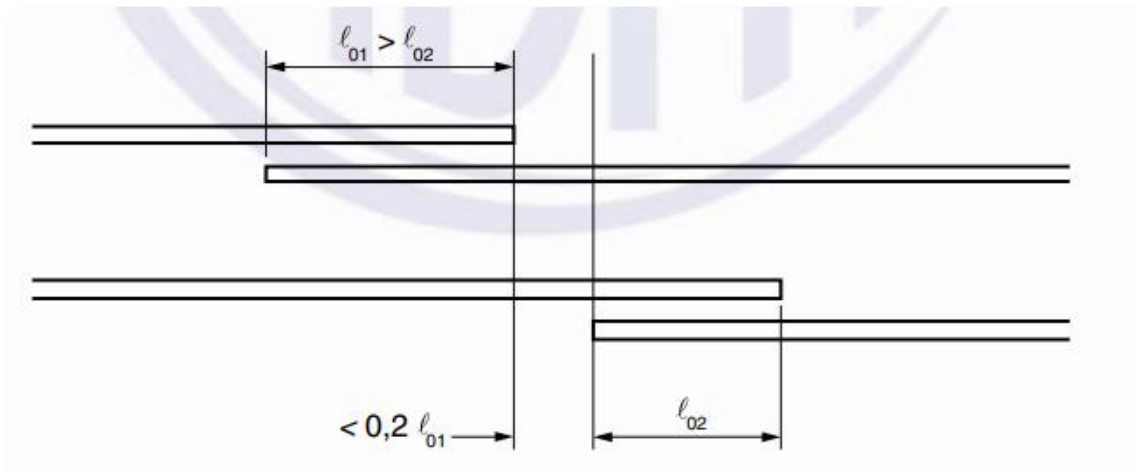
Para o reparo, será necessário realizar a emenda das barras já existentes com as novas barras a serem inseridas na parede estrutural. Alguns tipos de emendas recomendados pela norma ABNT NBR 6118:2014 são por traspasse, luvas com preenchimento metálico, rosqueadas ou prensadas, por solda ou por outros dispositivos devidamente justificados.

3.3.2.1 Emendas por traspasse

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, não é permitido realizar emendas por traspasse em barras de bitola maior que 32 mm. Requer atenção na ancoragem e na armadura de costura dos tirantes e pendurais devido aos elementos estruturais lineares de seção serem inteiramente tracionados.

No traspasse, segundo a ABNT NBR 6118:2014, deve-se considerar na mesma seção transversal as emendas que se superpõem ou cujas extremidades mais próximas estejam afastadas de menos que 20% do comprimento do trecho de traspasse e caso houver diâmetros diferentes, o comprimento de traspasse deve ser calculado com base na barra de maior diâmetro, detalhes podem ser visualizados na Figura 20.

Figura 19 - Esquema de emendas de traspasse.



Fonte: Norma ABNT NBR 6118, 2014.

A norma ABNT NBR 6118:2014 expõe na Tabela 4 uma proporção máxima de barras tracionadas emendadas na mesma seção transversal.

Tabela 4 - Proporção máxima de barras tracionadas.

Tipo de barra	Situação	Tipo de carregamento	
		Estático	Dinâmico
Alta aderência	Em uma camada	100%	100%
	Em mais de uma camada	50%	50%
Lisa	$\phi < 16 \text{ mm}$	50%	50%
	$\phi \geq 16 \text{ mm}$	25%	25%

Fonte: Norma ABNT NBR 6118, 2014.

Na parede estrutural que será recuperada, para efeito de cálculo será considerado somente armadura sobre tração, visto que é o cenário mais relevante.

3.3.2.2 Traspasse para barras tracionadas isoladas

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014 já para o cálculo do comprimento de traspasse para barras tracionadas isoladas deve-se adotar segundo a Equação 10, quando a distância livre entre barras emendadas estiver compreendida entre 0 e 4ϕ .

Quando não for, calcula-se o comprimento e acrescenta a distância livre entre as barras emendadas.

$$l_{0t} = \alpha_{0t} * l_{b,nec} \geq l_{0c,min} \quad (10)$$

l_{0t} = Comprimento de transpasse para barras tracionadas isoladas;

$l_{b,nec}$ = Comprimento de transpasse necessário;

$l_{0c,min}$ = Maior valor entre $(0,3 * \alpha_{0t} * l_b)$, $(15 * \phi)$ e (200 mm) ;

α_{0t} = Coeficiente em função da porcentagem de barras emendadas da mesma seção dispostas na Tabela 5.

Tabela 5 - Coeficientes α_{0t} .

Barras emendadas na mesma seção (%)	≤ 20	25	33	50	> 50
Valores de α_{0t}	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

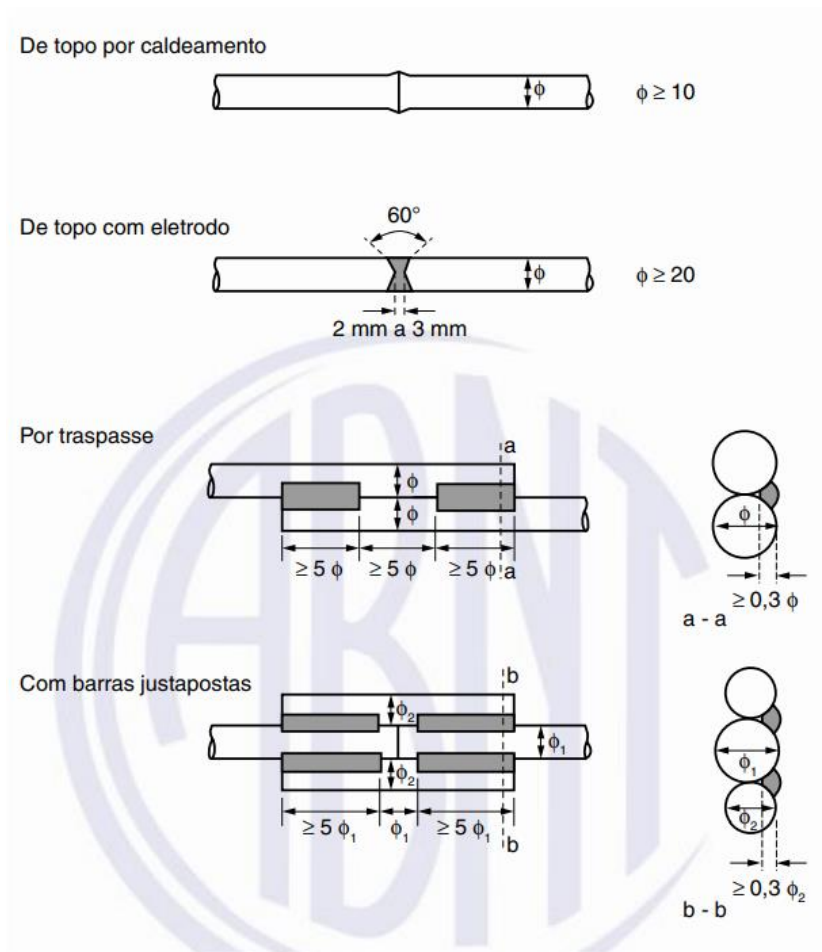
Fonte: Norma ABNT NBR 6118, 2014.

Considerando que houve menos que 20 emendas por seção, encontrou-se o $l_{0t} = 1,15m$ para o diâmetro de $25mm$ e $l_{0t} = 0,58m$ para o diâmetro de $12,5mm$.

3.3.2.3 Emendas por solda

Se a emenda for realizada por solda, a norma ABNT NBR 6118:2014 expõe sobre os cuidados para se atentar a composição química dos aços e eletrodos a serem utilizados pois devem atender às especificações de controle do aquecimento e resfriamento da barra. As emendas por solda podem ser realizadas de topo: por caldeamento, para bitola não menor que 10 mm ou por eletrodo, para bitola não menor que 20 mm , por transpasse com pelo menos dois cordões de solda longitudinais e por fim com outras barras justapostas com cordões de solda longitudinais, fazendo-se coincidir o eixo baricêntrico do conjunto com o eixo longitudinal das barras emendadas, detalhes sobre essas emendas podem ser visualizadas na Figura 21.

Figura 20 - Emendas por solda.



Fonte: Norma ABNT NBR 6118, 2014.

Para os locais onde não foram possíveis preservar o comprimento suficiente para usar o traspasse, foram utilizadas emenda por solda por traspasse, através do comprimento equivalente de $15 * \phi$. Para os diâmetros de 25 mm , encontrou-se o comprimento de ancoragem de $37,5\text{ cm}$ e os diâmetros de $12,5\text{ mm}$, encontrou-se o valor de $18,75\text{ cm}$.

3.3.3 Ancoragem com furação e resina epoxídica

Para os pontos onde não for possível preservar o arranque com o comprimento mínimo de 15 vezes o diâmetro, o concreto foi furado e a barra foi ancorada com auxílio de resina epoxídica.

Segundo Souza e Ripper (1998), os comprimentos de ancoragem na situação supracitada podem ser razoavelmente menores, na ordem de $0,4 * l_{b,nec}$. Porém, a

favor da segurança, será utilizado o comprimento de ancoragem necessário, devido não haver recomendações normativas para a utilização desse método.

Quanto ao diâmetro, é necessário que a broca seja maior o suficiente para o preenchimento com resina ser efetivo, sendo assim, para a barra de diâmetro 25 mm será utilizada a broca de 32 mm e para a barra de 12,5 mm será utilizada a broca de 16 mm.

Para furos horizontais, devido este ser profundo, o mesmo deve ser inclinado cerca de 15° para que a resina adentre de forma a preencher toda cavidade. Após preenchido, a barra será imersa no furo de forma a transbordar o volume excedente.

A resina escolhida para essa recuperação possuiu as seguintes características: Adesivo estrutural de pega normal, bicomponente, para colagens em geral. Composto por resina epóxi de alta viscosidade em consistência tixotrópica. Seus parâmetros mais importantes podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6 - Características da resina epoxídica.

Característica	Valor	Observações
Densidade	1,80 kg/L	ABNT NBR 13278:2005
Consumo	0,8 – 1,0 kg/m ²	Dependendo da rugosidade do substrato
Tempo de trabalhabilidade	40 minutos	20°C e 50% de umidade relativa
Resistência a compressão	50 Mpa	24 horas - ABNT NBR 7215:2019
	60 Mpa	3 dias
	70 Mpa	7 dias
Resistência de Aderência Concreto	≥ 2,2 Mpa	ABNT NBR 14050:1998 - ruptura no substrato de concreto

Fonte: MC-Solid, 2022.

3.4 MÉTODO DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

3.4.1 Aderência do concreto

Para uma boa aderência do concreto, toda região onde houve colapso foi demolida até que se alcançasse o concreto são e em boa resistência, também mantendo a região com a maior rugosidade que foi possível para aumentar a aderência do concreto novo sobre o concreto antigo, também houve limpeza com ar comprimido na região, para que a nova concretagem ficasse livre de material pulverulento que pudesse criar uma região de baixa aderência.

3.4.2 Recuperação da armadura

A recuperação da armadura depende dos comprimentos dos arranques que serão preservados, assim, a prioridade foi utilizar o comprimento de ancoragem necessário para traspasse, nos arranques que não cumpriram esse comprimento foi aplicado a emenda por solda e nos que ainda não atingiram o comprimento com esse último método, foi utilizada a furação e preenchimento com resina epoxídica para ancorar as barras de aço conforme segue a Tabela 7.

Tabela 7 - Emendas das barras

Tipo de ancoragem	$\phi 25mm$	$\phi 12,5mm$
Traspasse	115cm	58cm
Emenda por solda	37,5cm	18,75cm
Furação + resina	115cm	58cm

Fonte: Autoria própria, 2022.

Para confiabilidade do uso da resina, recomenda-se realizar em laboratórios testes de arrancamento para garantir a aderência do material.

A Figura 21 mostra a armadura já montada, possibilitando a concretagem de acordo com a metodologia descrita para emenda das barras e ancoragem.

Figura 21 - Ancoragem de novas barras para recuperação da estrutura



Fonte: Autoria própria, 2022.

3.4.3 Fôrmas

Para que se possa realizar a concretagem, foi necessário a utilização de fôrmas para realizar o preenchimento, atentando-se para o travamento das peças para que não houvesse vazamentos de material. Uma boa prática é a de utilizar painéis compostos por chapas de compensado resinado de $15mm$, travados com barrotes de $8 \times 8cm$ a no máximo $50cm$ de distância. Para realizar o travamento entre a fôrma interna e externa, furar os painéis e atravessar barras de aço perpendicular às fôrmas a cada $1m$ nos barrotes, e soldando uma barra paralela às fôrmas nas demais barras, garantindo a integridade do conjunto.

Importante calafetar todos os furos na fôrma e realizar uma checagem antes da concretagem. A Figura 23 mostra as fôrmas posicionadas para que a estrutura seja concretada.

Figura 22 - Estrutura com formas montadas para receber a concretagem



Fonte: Autoria própria, 2022.

3.4.4 Concretagem e acabamento

Realizou-se a concretagem com concreto usinado de resistência de $30MPa$ utilizando o cimento CP-V para receber alta resistência inicial, proporcionando uma desforma mais ágil sem que gere atrasos para o processo produtivo da Aciaria.

Após a concretagem, foi necessário cortar as barras de aço utilizadas para travamento, remover os painéis e executar uma proteção onde estavam situadas as barras de aço perpendiculares para que evite que se crie um ponto propício à entrada da corrosão da armadura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A FALHA

Os estudos acerca do comportamento do aço e do concreto frente a altas temperaturas, mostra a sensibilidade da estrutura a resistir a esse tipo de exposição a temperaturas maiores que 1200 °C, mesmo que normalmente o concreto consiga resistir à ação do calor por um tempo, a sua exposição constante e por maior tempo faz com que a construção sofra danos estruturais consideráveis, chegando ao colapso. Visto que a finalidade da baía é receber a escória para o resfriamento antes de seguir para o beneficiamento, a estrutura de concreto armado está recebendo esse calor diariamente, fazendo com que o projeto atual da sua estrutura não seja compatível para sua finalidade, portanto conjectura-se que esta seja uma das causas do colapso.

Um recurso para melhoria do processo que teria um resultado positivo para a amenização dos impactos na baía de escória, considerando sua finalidade, seria a aplicação de revestimento refratário. Os materiais refratários geralmente são utilizados nas estruturas de altos fornos e tem como característica principal resistir a altas temperaturas e suas oscilações, como no caso das baias, além da resistência a altas cargas mecânicas e impactos.

Conjectura-se que aliado à questão da temperatura excessiva, os impactos mecânicos gerados através da pá carregadeira e ponte rolante geraram microfissuras que foram se agravando a cada evento até a estrutura entrar em colapso.

Quanto à fadiga por impacto que a estrutura sofre, um recurso de melhoria que poderia ser implantado é a instalação de limitação física para as pás-carregadeiras e pontes rolantes, além da implantação de um sistema automático para a operação das pontes rolantes de forma a reduzir os impactos causados por falha humana.

O diagnóstico da falha poderia ser mais assertivo se corpos de prova tivessem sido extraídos da estrutura e ensaiados em laboratório para que o laudo apontasse a causa-raiz.

4.2 A RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

Através do acompanhamento, é possível observar a importância da recuperação estrutural nos mais diversos âmbitos, considerando que a recuperação da estrutura é consideravelmente mais econômica do que sua demolição e reconstrução, além de diminuir o prazo de execução e viabilizar o processo para uma área crítica como a aciaria.

Importante salientar a necessidade de monitoramento da estrutura, visto que se localiza em uma região muito agressiva. Para que a durabilidade da estrutura se cumpra conforme esperado, se faz necessário a implantação das melhorias propostas para reduzir as ações da temperatura e da fadiga da estrutura.

Através da Figura 23, é possível observar a estrutura após a sua recuperação caracterizada na cor amarela.

Figura 23 – Parede da baía de escória após recuperação



Fonte: Autoria própria, 2022.

5 CONCLUSÃO

Através da literatura e com o auxílio das normas técnicas, este trabalho teve como um dos objetivos, analisar qual foi o possível motivo do colapso de uma baia de aciaria de uma usina siderúrgica tendo como informações registros fotográficos e experiência em campo, levando em consideração principalmente o processo siderúrgico e a utilidade da estrutura que é resfriamento da escória advinda do processo de refino da produção do aço. Conclui-se que a presença constante de escória incandescente à altas temperaturas sem que houvesse material para proteção térmica da estrutura, foi a principal causa do colapso considerando as recomendações das normas ABNT NBR 15200:2012 e 14432: 2001, aliado à temperatura, como consequência do processo de descarregamento e transporte do material diversas vezes por dia, a fadiga por impacto contribuiu com abertura de microfissuras, abrindo espaço para corrosão das armaduras e gerando pontos de fraqueza da estrutura.

Com o objetivo de recompor a estrutura conforme projeto original, foram levadas em consideração a norma técnica ABNT NBR 6118:2014 para os cálculos com a boa prática da recuperação estrutural, dando ênfase para a remoção de qualquer material pulverulento e criação de superfície rugosa para aderência do concreto antigo ao concreto novo, a importância dos comprimentos de ancoragem para recomposição da armadura, concluindo através das considerações e conjecturas que a estrutura conforme projetada inicialmente não é suficiente para uma boa durabilidade, sugerindo a instalação de um sistema refratário para a redução das temperaturas que atingem o concreto armado e instalação de sistemas de barreira física para os impactos mecânicos gerados através do transporte do material.

Entende-se também que os resultados obtidos na análise poderiam ser melhores caso fosse possível a extração de corpos de prova do concreto para estudos laboratoriais, além da inspeção da armadura da região que não foi recuperada para que possa garantir a integridade da estrutura, recomenda-se também que a estrutura seja monitorada após recuperação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ADORNO, F; DIAS, F; SILVEIRA, J. **Recuperação e reforço de vigas de concreto armado**. 2015. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil.) - Universidade Federal de Goiás, Rio de Janeiro, 2015.

ARAUJO, L. **Manual de siderurgia**: Produção. 1. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2005. 470 p. v. 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6118:2014. **Projetos de estrutura de concreto - procedimento**, Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15200: 2012. **Projetos de estrutura de concreto em situação de incêndio**, Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14931: 2004: **Execução de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7478: 2021: **Método de ensaio de fadiga de barras de aço para concreto armado**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14432: 2001: **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – procedimento**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13278: 2005: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7215: 2019: **Minérios de ferro como insumo para alto-forno - determinação da redutibilidade pelo índice do grau de redução final**. Rio de Janeiro, 2019.

CHOLASUKE, C.; BHARDWA, R.; ANTONY, J. **The status of maintenance management in UK manufacturing organizations: results from a pilot survey.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 10, n. 1, p. 5-15, 2004.

FREITAS, S. **Escória de Aciaria: Caminhos para uma Gestão Sustentável.** 2018. 128 p. Tese (Pós-graduação para Doutorado em Engenharia de Materiais) - UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

GROOTE, P. **Maintenance performance analysis: a practical approach.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 1, n. 2, p. 4-24, 1995.

GS GROUP. Equipe Técnica SGS. **Manutenção o que é preciso saber: Uma discussão conceitual sobre a importância da e os desafios da manutenção industrial,** São Paulo, v. Único, p. 1-8, 2018.

GUIMARÃES, I; DONADELI, A. **Os desafios da engenharia de produção para uma gestão inovadora da Logística e Operações,** Santos, v. 1º, n. 1ª, p. 1-18, 18 out. 2009.

JONSSON, P. **The status of maintenance management in Swedish manufacturing firms.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 3, n. 4, p. 233-58, 1997.

LEMO, D; DAMACIANO, R. **Modernização do controle do cambamento carro torpedo nas estações de gusa.** 46º Seminário de Aciaria – Internacional, Volta Redonda, v. 1, ed. 1, 2015.

MOURÃO, M. **Introdução a siderurgia:** Coleção metalurgia e materiais. 1. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007. 440 p. v. 1.

PARIDA, A.; KUMAR, U. **Maintenance performance measurement (MPM): issues and challenges.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 12, n. 3, p. 239-51, 2006.

PIRES, D.; BARROS, R.; SILVEIRA, R.; LEMES, I.; ROCHA, P. **An efficient inelastic approach using SCM/RPHM coupling to study reinforced concrete beams, columns and frames under fire conditions.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, n. 1, 2020.

REIS, A; SEIXAS, A; ALMEIDA, A. **Diagnóstico da gestão da manutenção em indústrias de médio e grande porte da região metropolitana de Recife.** Produção, v. 23, n. 2, p. 226-240, abr./jun. 2013.

RESENDE, G. **Recuperação de estruturas de concreto armado: técnicas e materiais para prolongar a vida útil.** PATORREB, Rio de Janeiro, p. 1-10, 6 abr. 2018.

SOUZA, E. **Escórias de aciaria e resíduos de concretos refratários em componentes de pavimentação.** 2007. 128 p. Dissertação (Pós-graduação para Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.) - Escola de Engenharia da UFMG, [S. l.], 2007.

SOUZA, V; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** 1ª. ed. São Paulo: Editora Pini Ltda, 1998. 262 p. v. 1º.