



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



# **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A CORROSÃO DE AÇOS PATINÁVEIS EM AMBIENTES PERMANENTEMENTE ÚMIDOS PARA UTILIZAÇÃO NA PRODUÇÃO DE ESTACAS METÁLICAS EM FUNDAÇÕES**

Mestrando

**Ricardo Marra Antunes**

Orientadora

**Prof.<sup>a</sup> Dra. Janaina da Costa Pereira Torres de Oliveira**

Volta Redonda, 2025.



# SUMÁRIO

## **1. Introdução**

**Objetivo Geral e Objetivos**

**Específicos**

**Justificativa**

## **2. Revisão Bibliográfica**

## **3. Materiais e Métodos**

## **4. Resultados e Discussão**

## **5. Conclusões**

## **6. Trabalhos Futuros**

**Referências**

# Introdução



Viaduto Cidade do Aço – Volta Redonda-RJ



- Aço patinável sem pintura
- Instalado há mais de três décadas

Fonte: Revista Pontes de Aço, set/2015 - CBCA



Mastro Especial  
Praça dos Três  
Poderes

# Objetivos

## Geral

Visa propor alternativa técnica e econômica para reduzir custos de fundações profundas, avaliando o uso de aços patináveis em estacas metálicas com menores espessuras de sacrifício que os aços carbono convencionais.

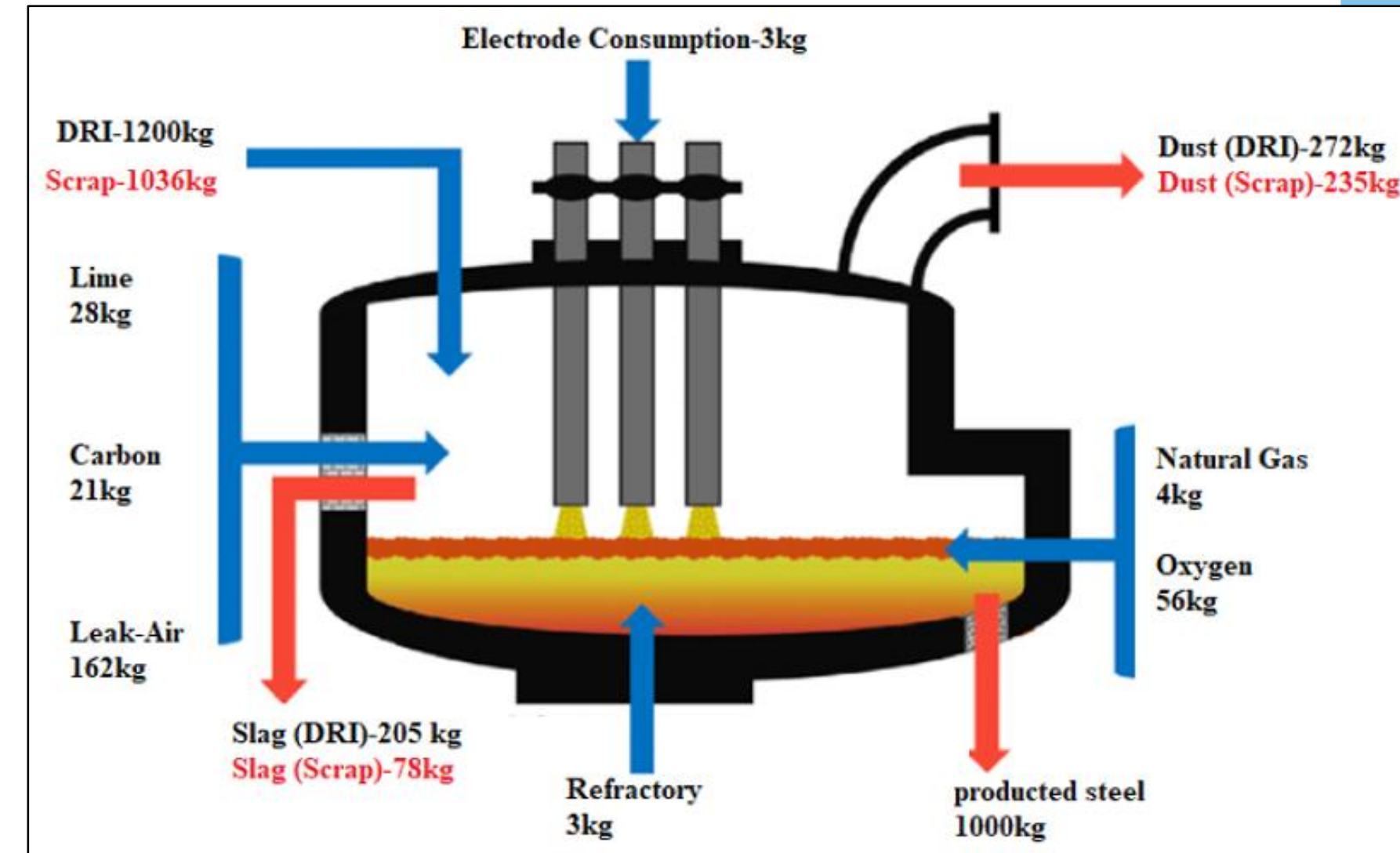
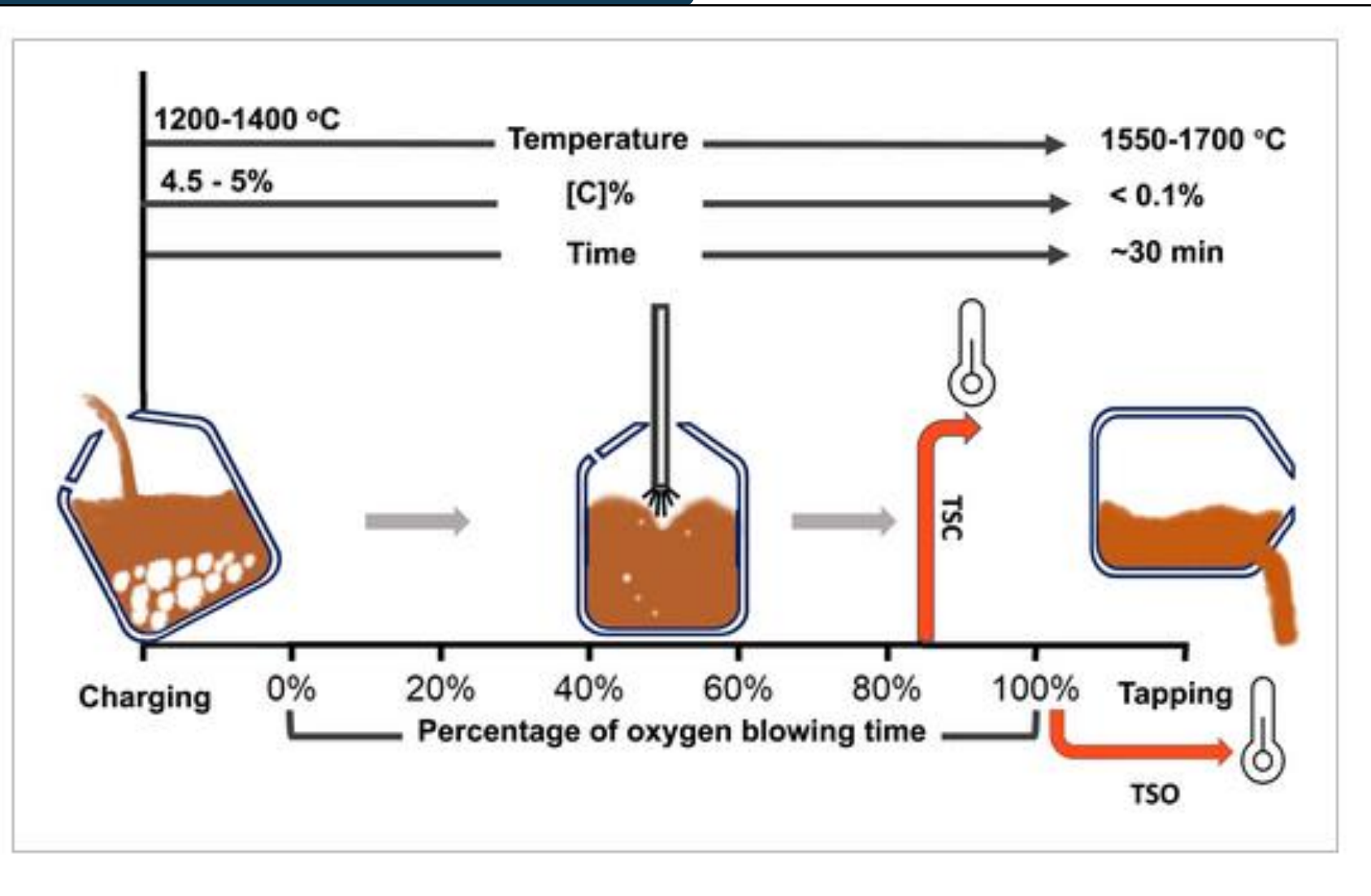
## Específicos

- Avaliar comparativamente a resistência à corrosão atmosférica de aços patináveis, sob condição de exposição permanente à umidade;
- Expandir as possibilidades de aplicação de aços patináveis no setor da construção civil;
- Possibilitar a redução da espessura de sacrifício das estacas metálicas, contribuindo para a sustentabilidade econômica e ambiental dos empreendimentos.



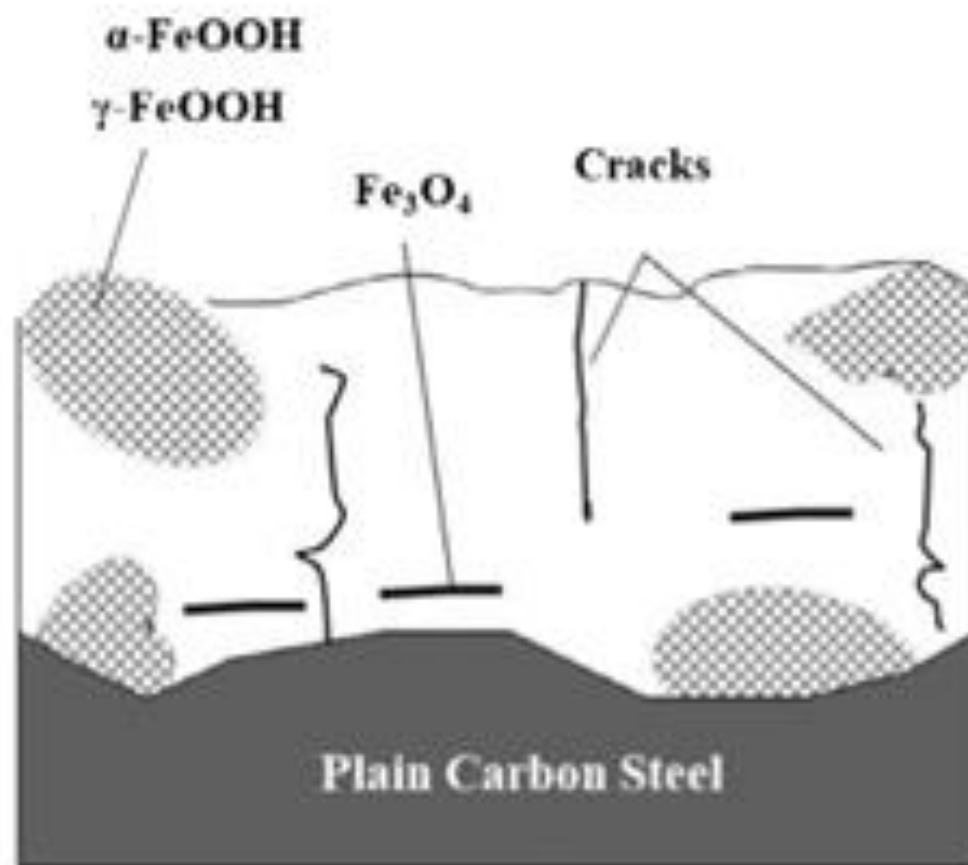
# Revisão Bibliográfica

## Diferentes rotas de produção de aço



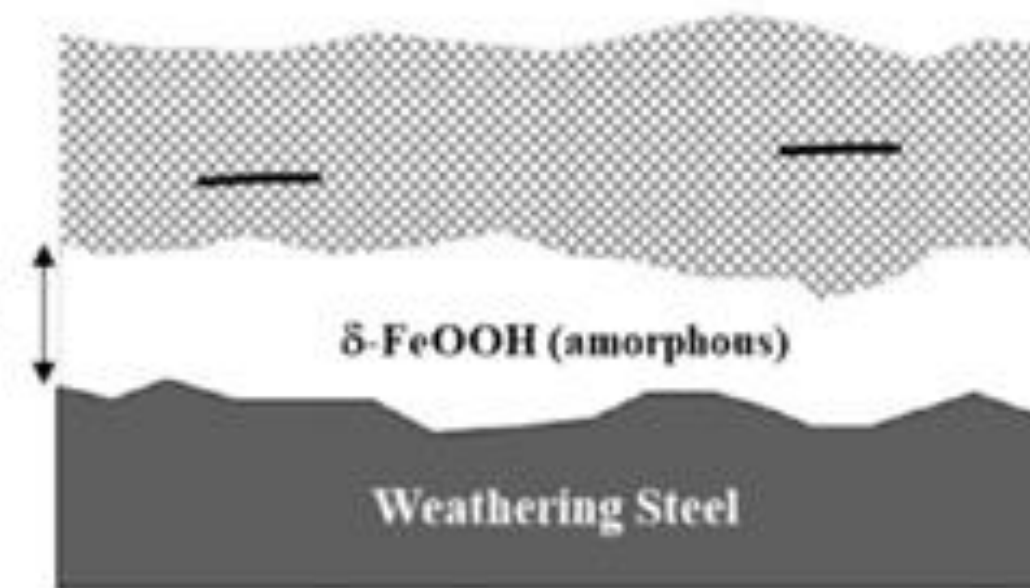
# Revisão Bibliográfica

## Aços patináveis



(a)

Enrichment of Cu,P,Cr



(b)



# Revisão Bibliográfica

## Corrosão em estacas metálicas enterradas

- A corrosão metálica é um processo eletroquímico que envolve o fluxo de elétrons.
- Uma célula de corrosão é composta por um ânodo, onde ocorre a oxidação, e um cátodo, onde ocorre a redução.
- A diferença de potencial eletroquímico entre o ânodo e o cátodo impulsiona a migração de elétrons e íons.
- Os fatores que influenciam a corrosão de aços enterrados são:
- Textura do solo, presença de água, aeração, potencial Redox, pH, resistividade, conteúdo de íons e Bactérias

# Materiais e Métodos

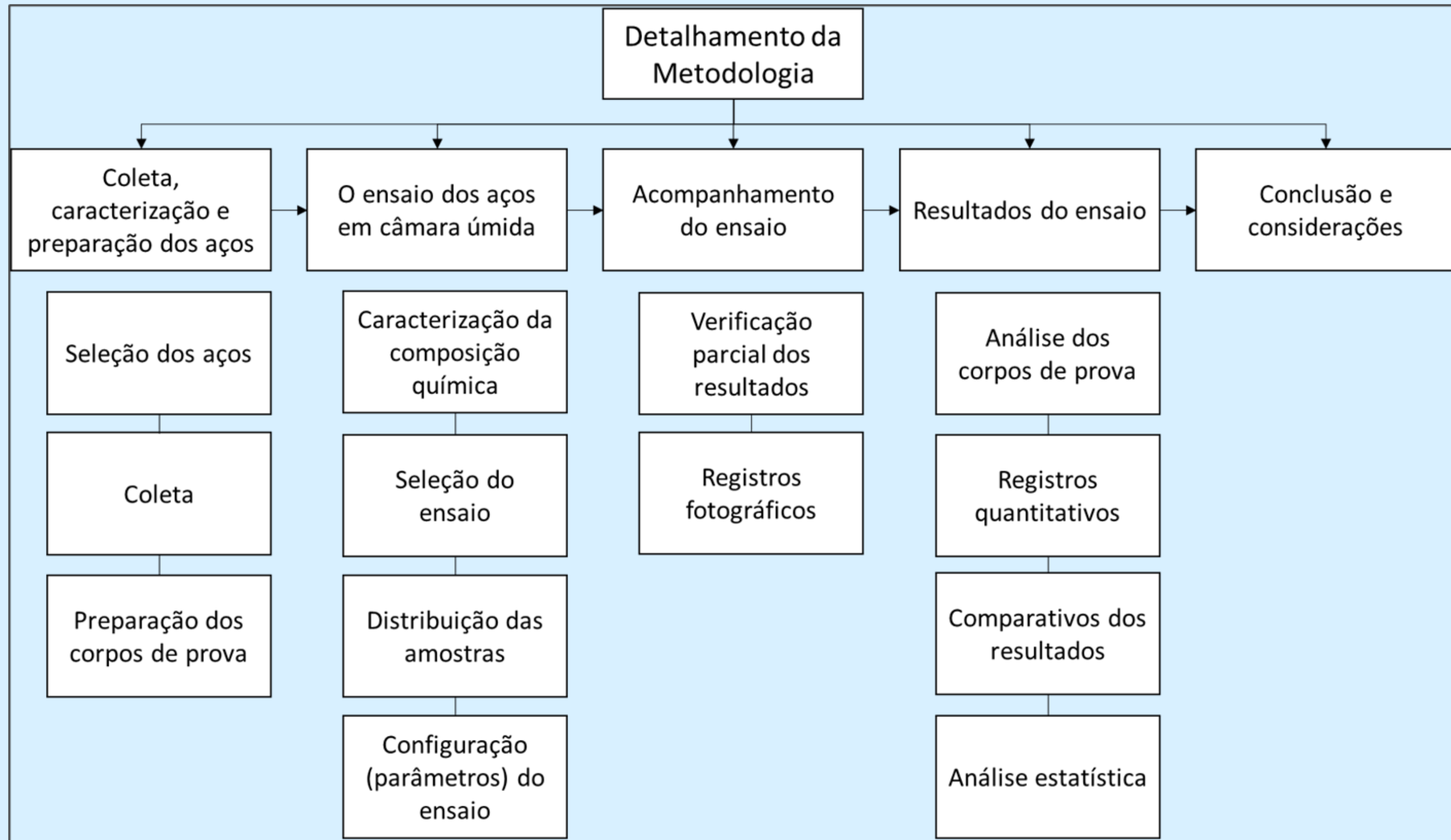


Tabela 08 - Composição química dos aços avaliados

<b>Aço</b>	<b>Bitola</b>	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>
A-36 Gusa	2 x 1/4	0,14	0,16	0,69	0,013	0,025	0	0,037	0,04
A-588	1 ¼ x1/8	0,14	0,26	0,95	0,007	0,033	0,321	0,01	0,467
A-572 Sucata	2 x 5/16	0,18	0,21	1,2	0,027	0,023	0,12	0,063	0,076
A-36 Sucata	2 x 1/8	0,11	0,21	0,73	0,026	0,014	0,117	0,04	0,07

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

# Materiais e Métodos



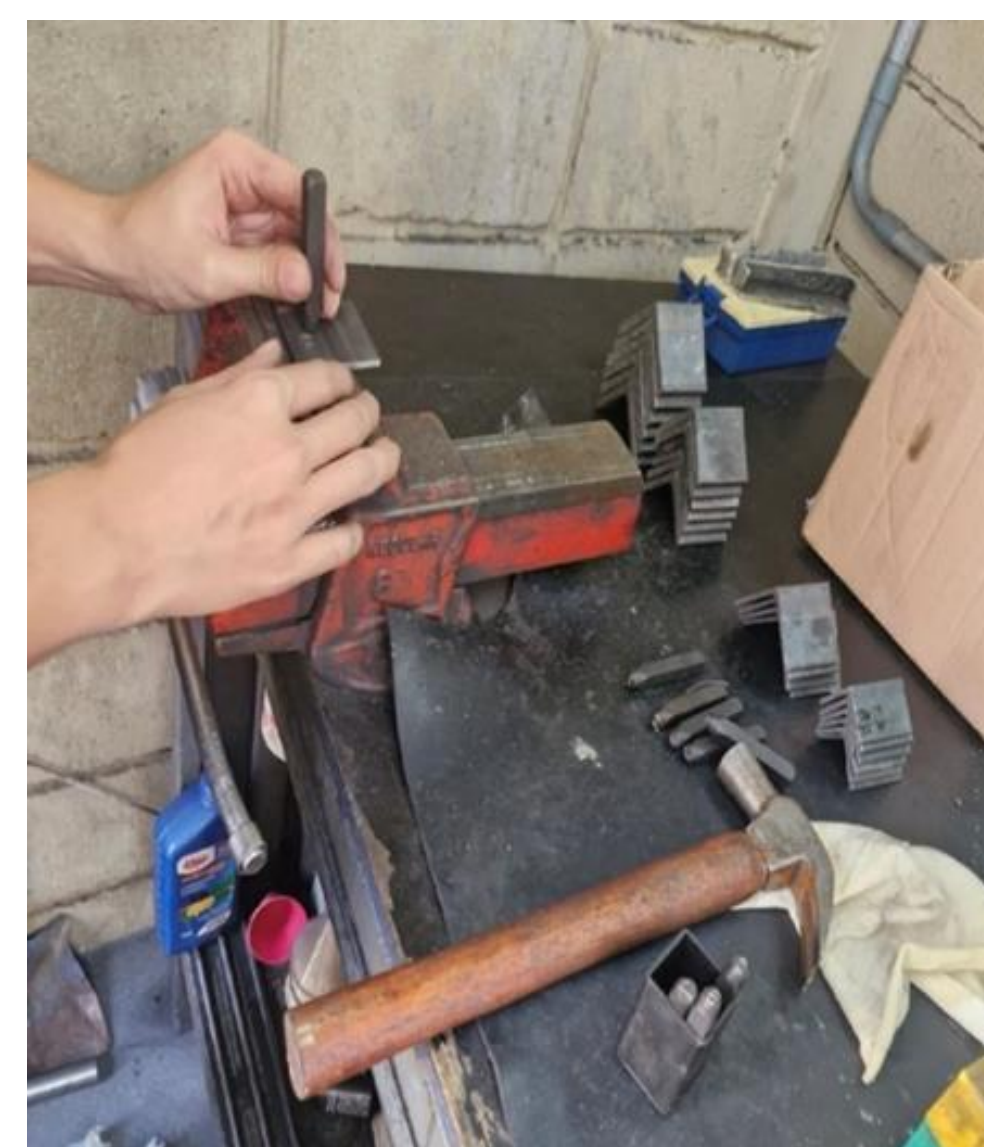
# Adequação e preparo dos materiais



**Corte dos corpos de prova**



**Lixamento dos corpos de prova**

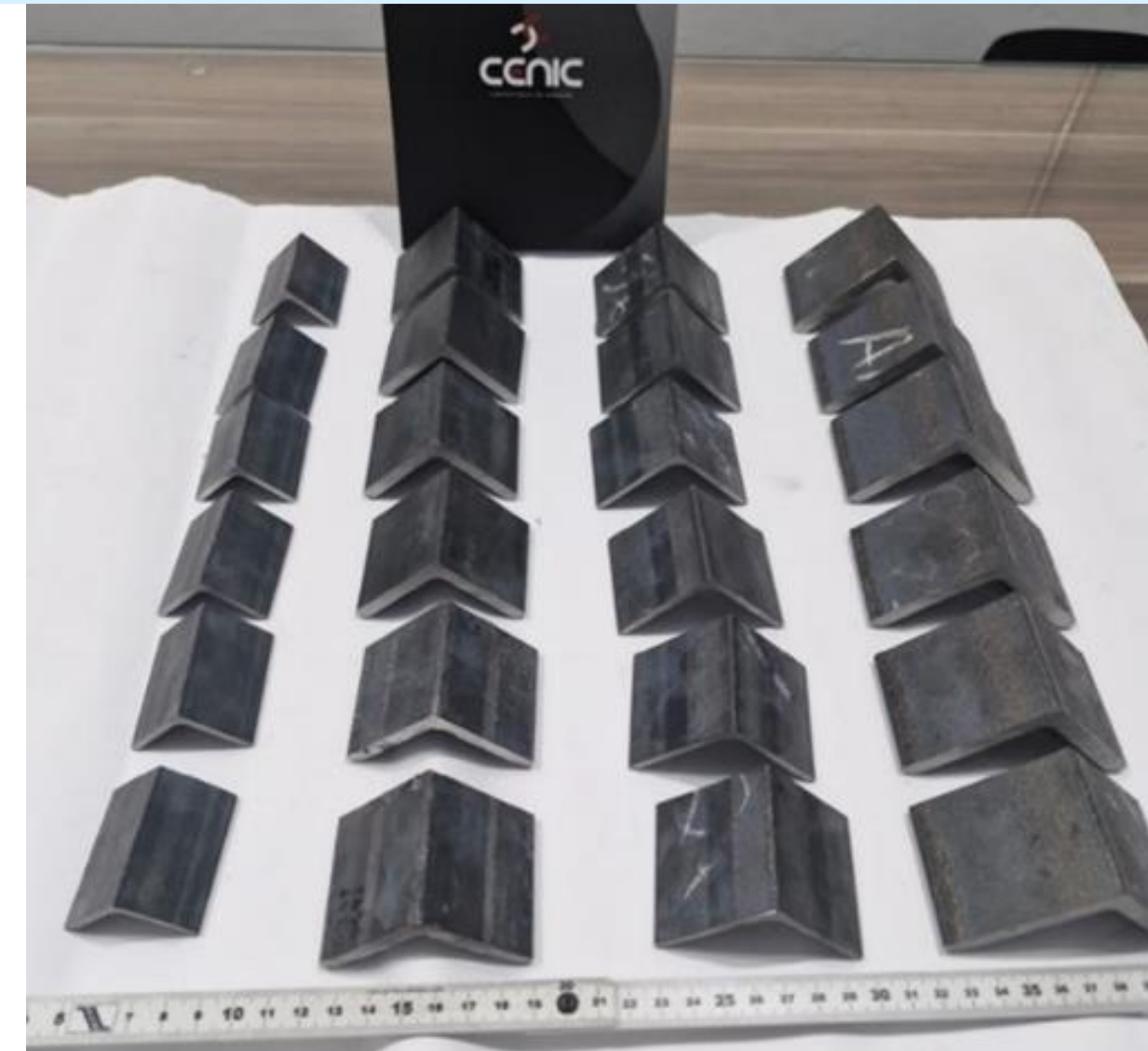


**Marcação dos corpos de prova**

## Exemplares



## Corpos de Prova



## Composição Química

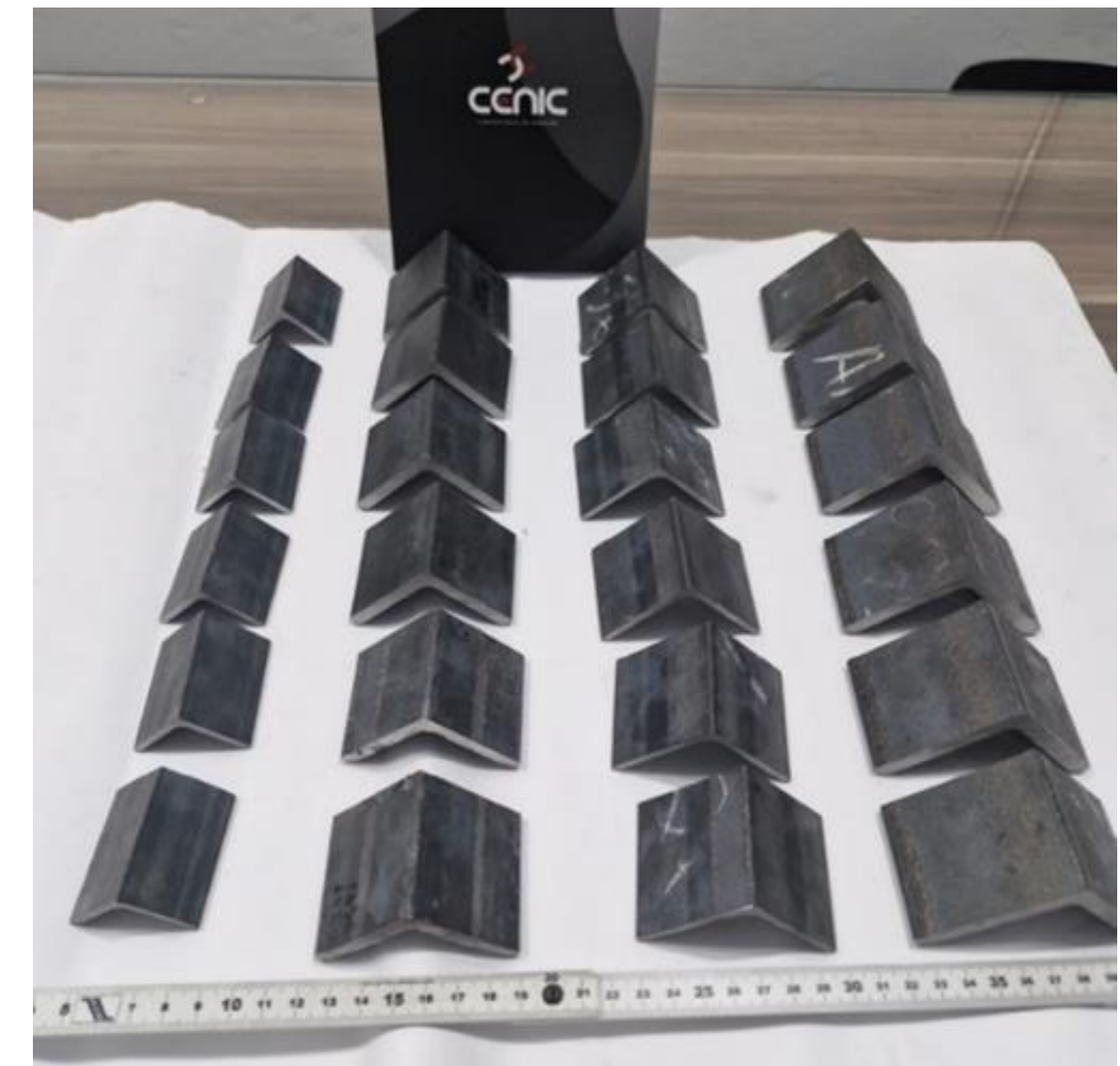
Aço	Bitola	C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Cr
A-36 Gusa	2 x 1/4	0,14	0,16	0,69	0,013	0,025	0	0,037	0,04
A-588	1.1/4 x 1/8	0,14	0,26	0,95	0,007	0,033	0,321	0,01	0,467
A-572 Sucata	2 x 5/16	0,18	0,21	1,2	0,027	0,023	0,12	0,063	0,076
A-36 Sucata	2 x 1/8	0,11	0,21	0,73	0,026	0,014	0,117	0,04	0,07

**Materiais**

# Adequação e preparo dos materiais



**Pesagem dos corpos de prova**



**Aspecto final dos corpos de prova**

# Adequação e preparo dos materiais

**Tabela 09 - Resultado da pesagem das amostras utilizadas no presente estudo antes da distribuição na câmara úmida (valores em gramas)**

	<b>Dimensões, qualidade do aço e matéria prima</b>			
	1.1/4 x 1/8" A588 (ferro gusa)	2 x 1/8" A36 (sucata)	2 x 1/4" A36 (fero gusa)	2 x 5/16" A572 G50 (sucata)
Amostra 1	79,62	131,98	238,02	369,75
Amostra 2	79,23	133,42	237,53	372,55
Amostra 3	79,60	132,10	238,16	374,53
Amostra 4	79,63	131,82	234,81	372,73
Amostra 5	79,69	131,86	237,02	374,91

**Fonte: Elaborado autor (2025)**

# Equipamento de Ensaio



**Equipamento de ensaio  
- Câmara úmida**



**Detalhe do interior do equipamento  
- Câmara úmida**



**Detalhe do controle de  
temperatura do equipamento  
- Câmara úmida**

# Procedimentos de Ensaio



Corpos de prova distribuídos dentro do equipamento de ensaio de câmara úmida

**CENIC**  
LABORATÓRIO DE ENSAIOS

**MONITORAMENTO DA CÂMARA ÚMIDA.**

Data - Hora	Temp. da câmara (20-25 mm)	Nível de Solução	Observações	Rubrica
10/06/24 - 15:30	28,1	OK	Entrada amortecedor 12154-6	Ferovida
20/06/24 - 16:00	28,0	OK	monitoramento	Ferovida
20/06/24 - 12:30	29,0	OK	monitoramento	Ferovida
11/06/24 - 08:20	37,9	OK	monitoramento	Ferovida
11/06/24 - 10:10	38,0	OK	monitoramento	Ferovida
11/06/24 - 11:20	37,9	OK	monitoramento	Ferovida
18/06/24 - 14:40	38,0	OK	monitoramento	Ferovida
12/06/24 - 08:35	37,8	OK	monitoramento	Ferovida
12/06/24 - 10:35	38,1	OK	monitoramento	Ferovida
12/06/24 - 15:10	37,9	OK	monitoramento	Ferovida
12/06/24 - 15:30	37,9	OK	Retirada amortecedor	Ferovida
02/09/24 - 14:30	32,8	OK	Entrada OS 15610/24 ver 1	Ferovida
02/09/24 - 16:40	32,9	OK	monitoramento	Ferovida
02/09/24 - 17:30	32,0	OK	monitoramento	Ferovida
03/09/24 - 08:35	32,8	OK	monitoramento	Ferovida
03/09/24 - 11:30	32,9	OK	monitoramento	Ferovida
03/09/24 - 14:30	32,9	OK	Retirada OS 15620 ver 1	Ferovida
16/09/24 - 17:30	32,8	OK	Entrada amortecedor/monitor	Ferovida
21/09/24 - 9:15	31,3	OK	monitoramento	Guichava
17/09/24 - 11:15	30,1	OK	monitoramento	Guichava
18/09/24 - 12:10	32,9	OK	Arde amortecedores	Ferovida
25/09/24 - 10:57	28,0	OK	Entrada de contornos	Ferovida
25/09/24 - 11:13	31,3	OK	Entrada amostra m. lava	Ferovida

Código: RCENC-136    Revisão: 000    Página: 1 de 1    Emissão: 13/12/2015

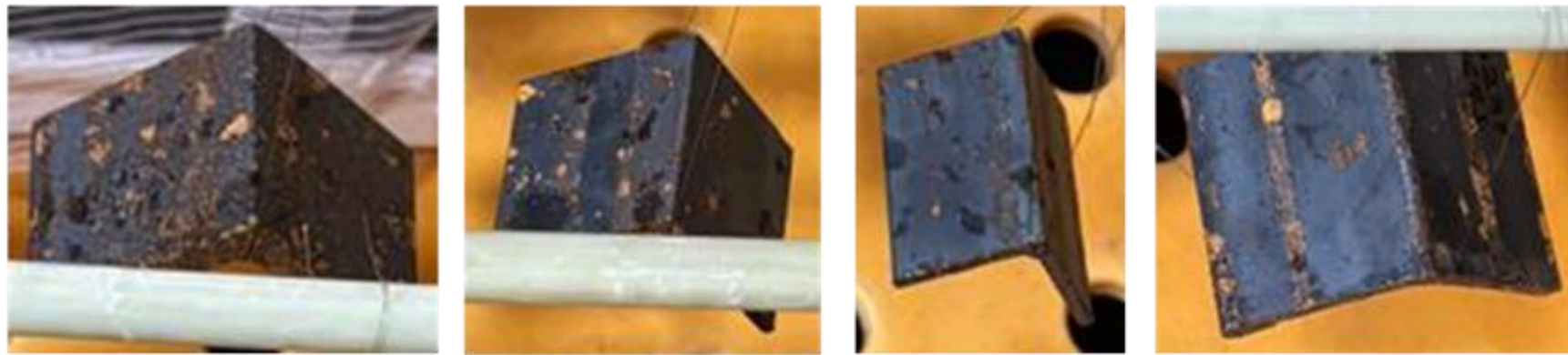
Registro do início dos ensaios

# Procedimentos de Ensaio

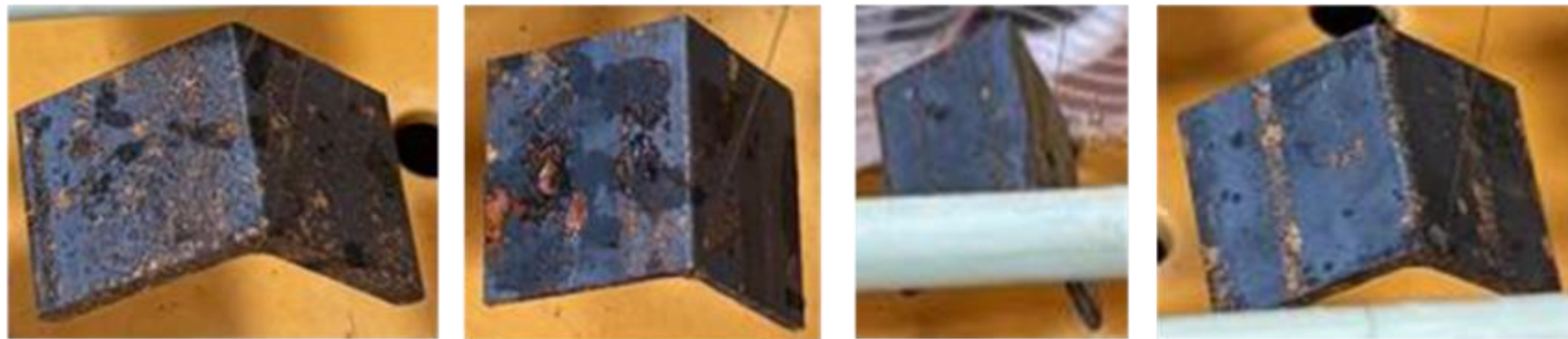


Visão geral dos corpos de prova após 14 dias de ensaio

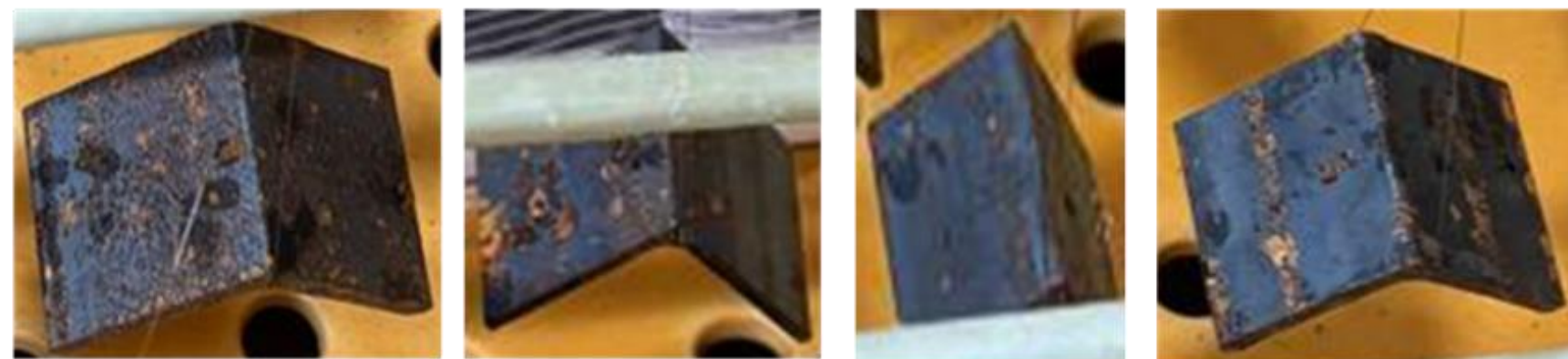
# Procedimentos de Ensaio



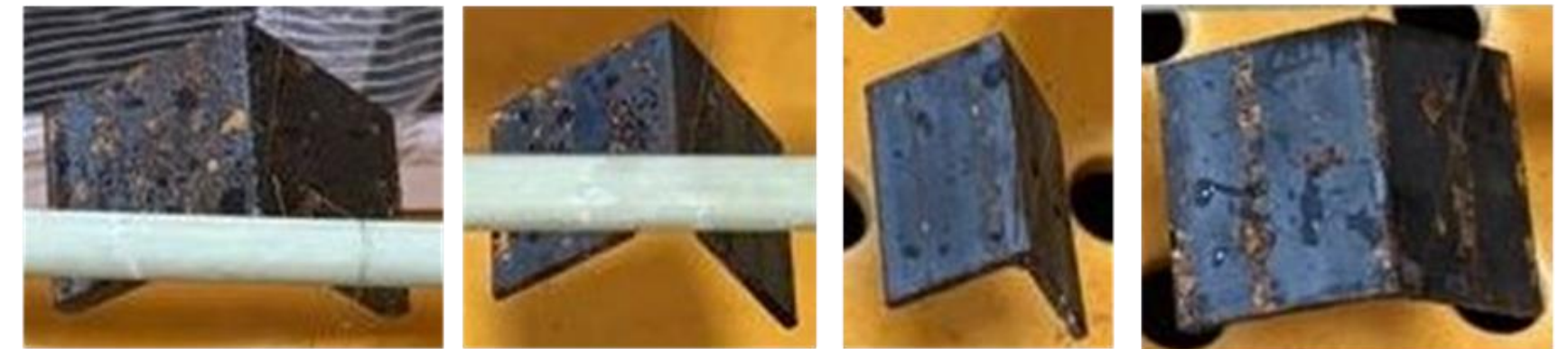
15 dias de ensaio



30 dias de ensaio



45 dias de ensaio



61 dias de ensaio

**Detalhe dos corpos de prova após 61 dias de ensaio**

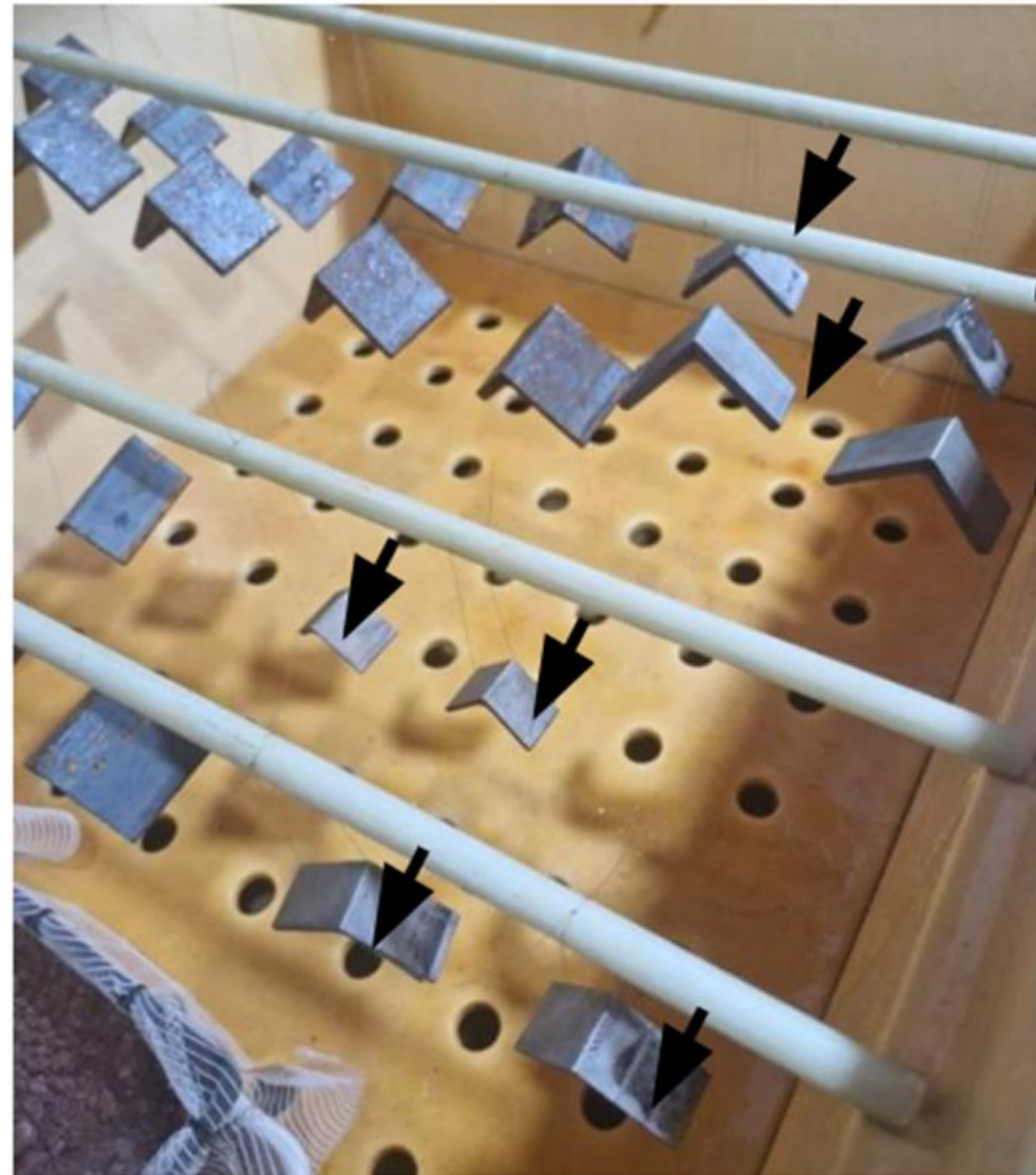
**Detalhe dos corpos de prova após 15, 30 e 45 dias de ensaio**

# Procedimentos de Ensaio



Detalhe dos corpos de prova decapados para ensaio

# Procedimentos de Ensaio



Amostras decapadas e incorporadas ao experimento na câmara úmida no dia 28 de novembro de 2024

# Procedimentos de Ensaio



Detalhe dos corpos de prova decapados após 4 dias de ensaio

# Resultados e Discussão

# Resultados

Composições químicas dos corpos de prova determinadas por análises via espectrômetria óptica

Qualidade do aço e matéria prima	Dimensões	%C	%Si	%Mn	%S	%P	%Cu	%Ni	%Cr
A36 (ferro gusa)	2 x ¼"	0,14	0,16	0,69	0,013	0,025	0,000	0,037	0,040
A588 (ferro gusa)	1.1/4 x 1/8"	0,14	0,26	0,95	0,007	0,033	0,321	0,010	0,467
A572 G50 (sucata)	2 x 5/16"	0,18	0,21	1,20	0,027	0,023	0,120	0,063	0,076
A36 (sucata)	2 x 1/8"	0,11	0,21	0,73	0,026	0,014	0,117	0,040	0,070

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

# Resultados

## Composições químicas dos corpos de prova determinadas por análises via espectrometria óptica

Qualidade do aço e matéria prima	Dimensões	%C	%Si	%Mn	%S	%P	%Cu	%Ni	%Cr
A36 (ferro gusa)	2 x 1/4"	0,14	0,16	0,69	0,013	0,025	0,000	0,037	0,040
A588 (ferro gusa)	1.1/4 x 1/8"	0,14	0,26	0,95	0,007	0,033	0,321	0,010	0,467
A572 G50 (sucata)	2 x 5/16"	0,18	0,21	1,20	0,027	0,023	0,120	0,063	0,076
A36 (sucata)	2 x 1/8"	0,11	0,21	0,73	0,026	0,014	0,117	0,040	0,070

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

- %C: induz a formação de perlita, resultando em microestruturas heterogêneas que favorecem o surgimento de microcélulas galvânicas internas (A-572 G50).
- %Si: o silício promove a formação de filmes de óxido compactos e aderentes (A-588).
- %Mn: o excesso de manganês em aços estruturais pode aumentar a suscetibilidade à corrosão intergranular quando se segrega ao longo dos contornos dos grão.
- %S e P: o enxofre e o fósforo promovem a corrosão intergranular ao enfraquecer os contornos dos grãos e facilitar a formação de microtrincas.
- %Cu: o cobre contribui para a estabilização das camadas de corrosão e retarda o início da propagação da oxidação.
- %Ni e Cr: o níquel e o cromo atuam sinergicamente para formar películas de óxido protetoras que aumentam a resistência à corrosão.

# Resultados

## Detalhe dos corpos de prova com carepa após 226 dias de ensaio em Câmara Úmida



**Aço A-588 Gusa com carepa (1.1/4 x 1/8'')**



**Aço A-36 Gusa com carepa (2 x 1/4'')**



**Aço A-36 Sucata com carepa (2 x 1/8'')**



**Aço A-572 G50 Sucata com carepa (2 x 5/16'')**

Em três tipos de aços ensaiados observa-se superfícies bem conservadas quanto a oxidação. Exceção para o aço A-572 G50 Sucata.

# Resultados

Detalhe dos corpos de prova decapados após 166 dias de ensaio em Câmara Úmida



**Aço A-588 Gusa  
decapado (1.1/4 x 1/8")**



**Aço A-36 Gusa  
decapado (2 x 1/4")**



**Aço A-36 Sucata  
decapado (2 x 1/8")**



**Aço A-572 G50 Sucata  
decapado (2 x 5/16")**

Observa-se uma superfície mais conservada no aço A-588 Gusa nos corpos de prova decapados

# Resumo dos resultados de DRX

## **DRX 1.1D (Aço A-588 Gusa decapado (1.1/4 x 1/8")):**

**Foram realizadas 2 análises nesse corpo de prova em regiões distintas.**

**No 1º ponto analisado, foi identificado forte presença de ferro metálico e também óxidos de ferro, indicando que a amostra tem regiões bem preservadas e outras parcialmente oxidadas.**

**No 2º ponto analisado, a observação foi semelhante a do 1º ponto, ou seja, boa parte de sua estrutura original mantida, mas já está em processo de oxidação superficial.**

## **DRX 1.3 (Aço A-588 Gusa com carepa (1.1/4 x 1/8")):**

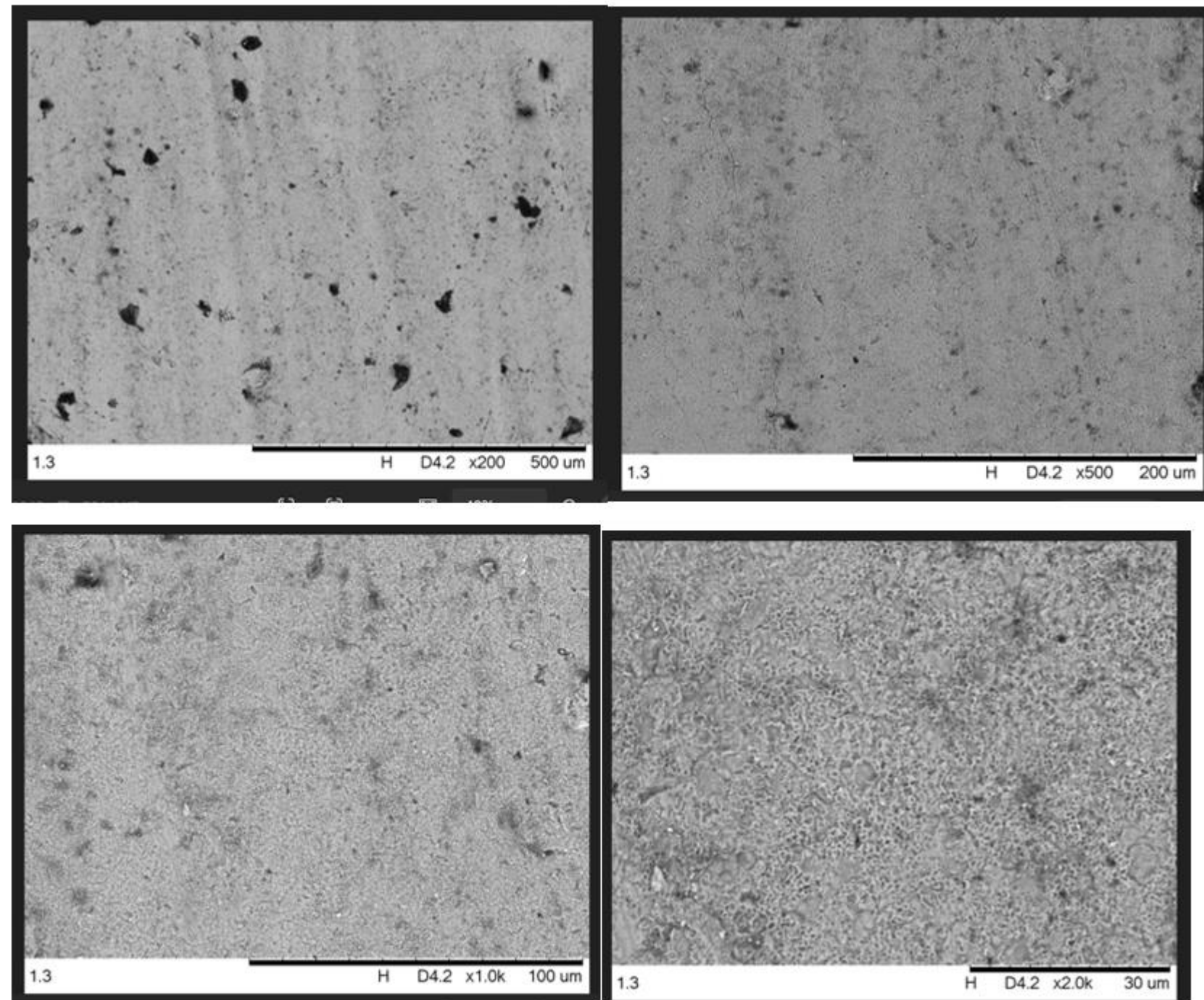
**Foi realizada 1 análise nesse corpo de prova, em um ponto com início de oxidação, confirmando a predominância de óxido de ferro.**

## **DRX 2.3 (Aço A-36 Gusa com carepa (2 x 1/4")):**

**Foi realizada 1 análise nesse corpo de prova, em um ponto com início de oxidação, confirmando a predominância de óxidos de ferro, sem indícios de impureza relevantes.**

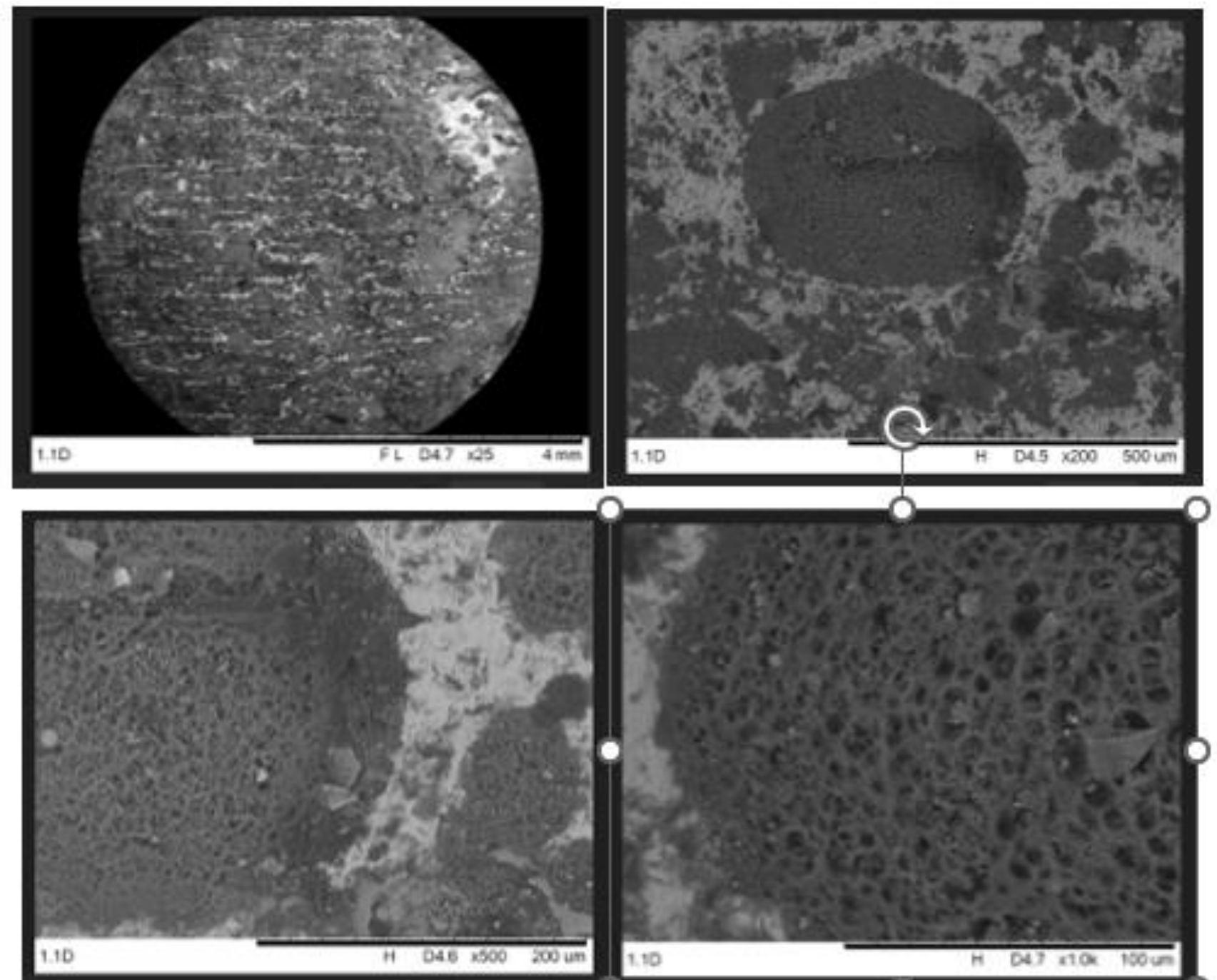
# Resumo dos resultados de MEV

Micrografias (200, 500, 1000 e 2000X) de uma amostra de aço patinável não decapado após o ensaio na câmara úmida.



Fonte: Elaborado autor (2025)

Micrografias (25, 200, 500 e 1000X) de uma amostra de aço patinável decapado após o ensaio na câmara úmida.



Fonte: Elaborado autor (2025)

# Variação de massa dos corpos de prova

Perda de massa das amostras após 226 dias								
Amostras	A588		A36 (gusa)		A36 (sucata)		A572 (sucata)	
	Massa (g)	%	Massa (g)	%	Massa (g)	%	Massa (g)	%
Decapadas	0	0,00%	-0,16	-0,13%	-0,77	-1,10%	-0,34	-0,16%
Decapadas	0,01	0,03%	0,06	0,05%	-0,06	-0,09%	-0,3	-0,14%
C/carepa	0,01	0,01%	0	0,00%	-0,14	-0,11%	-0,34	-0,09%
C/carepa	0,02	0,03%	-0,01	0,00%	-0,05	-0,04%	-0,36	-0,10%
C/carepa	0,01	0,01%	-0,04	-0,02%	-0,03	-0,02%	-5,28	-1,41%

Fonte: Elaborado autor (2025)

- Variações pequenas, havendo então maior necessidade de exposição ao ensaio.
- Amostras do aço A-588 bem preservadas, com muito pouca variação).
- Amostras decapadas apresentaram variação de massa maior do que as com carepa (exceção para uma amostra de A-572).

# Conclusões

- Os corpos de prova que mantiveram a carepa de laminação apresentaram desempenho superior, com menores variações de massa e menor evidência de ataque corrosivo visível, enquanto as amostras decapadas mostraram maior suscetibilidade à formação de óxidos hidratados e acúmulo de produtos de corrosão. Tais achados corroboram a literatura contemporânea, segundo a qual a carepa atua como barreira protetora, retardando os mecanismos eletroquímicos de oxidação superficial.
- O aço A588 contendo teores otimizados de elementos como silício, cobre e cromo, demonstrou a maior resistência à corrosão no ensaio de exposição prolongada, configurando-se como o material mais adequado para aplicações em ambientes agressivos, como estruturas expostas a atmosferas industriais e marítimas, bem como na construção civil com estacas metálicas.

# Trabalhos Futuros

Deve-se dar continuidade aos estudos, com maior tratamento estatístico, do comportamento de aços patináveis submetidos a umidade constante afim de constatar/ratificar a performance dos mesmos quanto à corrosão nestas condições.

Deve-se iniciar estudos do comportamento de aços patináveis quando enterrados no solo afim de reproduzir ao máximo a situação real em que as estacas metálicas são utilizadas.

# Referências

- ABADI, M. M. *et al.* A Review of Simulation and Numerical Modeling of Eletric Arc Furnace (EAF) and its Processes, June 2024.
- ALAM, M. *et al.* Effects of sulfur and phosphorus on corrosion behavior of structural steels. **Materials Today Communications**, v. 28, p. 127-132, 2021.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A36/A36M-19**: Standard Specification for Carbon Structural Steel. West Conshohocken: ASTM, 2019.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A242**: Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2024b.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A572/A572M-18**: Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel, West Conshohocken: ASTM, 2018.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A588/A-588M-24**: Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel, up to 50 ksi Minimum Yield Point, with Atmospheric Corrosion Resistance. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2024a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7007**: *Aços-carbono e aços microligados para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural – Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2022a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6122**: *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro: ABNT, 2022b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8095**: *Material metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição à atmosfera úmida saturada – Método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- BIRAT, J. P. Steel and raw materials: global trends and technological shifts. **Journal of Sustainable Metallurgy**, v. 7, p. 1407–1416, 2021.
- BISPO, M. B.; TSUHA, C. H. C. **Comparação entre métodos analíticos e as recomendações das normas sobre corrosão de estacas metálicas**. Anais do XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, COBRAMSEG, 2018.
- CHEN, H.; ZHOU, Y.; LIU, X. Steel classification and application: a structural perspective. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 180, p. 106593, 2021.
- DECKER, J. B.; ROLLINS, K. **Corrosion Rate Evaluation and Prediction for Piles Based on Long-Term Field Performance**. ResearchGate, 2008.
- DENG, J.; ZHANG, Q.; LU, X. Influence of surface treatment on atmospheric corrosion behavior of low carbon steel. **Corrosion Science**, v. 199, p. 110193, 2022.
- GERDAU. **Perfis estruturais Gerdau**: Estacas metálicas. 9ª ed. Rio de Janeiro: Gerdau, 2024.
- GHALATI, M.K. *et al.* Toward learning steelmaking – A review on machine learning for basic oxygen furnace process, Wiley Online Library, 2023
- GONÇALVES, A. M.; FERNANDES, R. C.; LIMA, P. A. Brazilian iron ore: reserves, beneficiation and logistics challenges in the global market. **Resources Policy**, v. 84, p. 103604, 2023.
- HASANBEIGI, A.; ARENS, M.; PRICE, L. Emerging energy-efficiency and CO<sub>2</sub> emission-reduction technologies for cement and steel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 101, p. 102–122, 2020.
- KHANNA, R.; CHATURVEDI, V.; MAHAPATRA, R. Sustainable steel production in emerging economies: drivers and implications. **Energy Policy**, v. 164, p. 112885, 2022.
- KIM, H. J. *et al.* Manganese segregation and corrosion sensitivity in high-strength low-alloy steels. **Corrosion Science**, v. 188, p. 802-809, 2022.
- KUMAR, R.; SHARMA, A.; VERMA, A. K. Thermo-chemical behavior of pig iron during secondary steelmaking: a review. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 25, p. 5471–5483, 2023.

LALA, A.; DAS, S. K.; MAHATO, B. Iron ore beneficiation: current practices and emerging trends. **Minerals Engineering**, v. 159, p. 106636, 2020.

LEE, J.; KIM, Y.; PARK, J. Energy and exergy analysis of pig iron utilization in integrated and electric steelmaking routes. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123919, 2021.

LI, H.; WANG, J.; ZHAO, Y. Hydrogen-based direct reduction of iron ores: process modeling and environmental potential. **Journal of Cleaner Production**, v. 395, p. 136261, 2023.

LI, X. *et al.* Carbon content and microgalvanic corrosion in steel microstructures. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 12, p. 1453–1461, 2021.

LIU, Y. *et al.* Influence of copper addition on corrosion behavior of weathering steel in marine environment. **Corrosion Engineering, Science and Technology**, v. 58, p. 30–39, 2023.

LYU, Y.; HU, Y.; LI, M. Effect of oxide scale on the initial atmospheric corrosion behavior of hot-rolled steel. **Surface and Coatings Technology**, v. 405, p. 126647, 2021.

MATSUDA, Y.; ITO, K.; NISHIMURA, H. Operational optimization of burden distribution in large-scale blast furnaces. **ISIJ International**, v. 61, n. 11, p. 2761–2770, 2021.

MORCILLO, M. *et al.* Atmospheric corrosion of weathering steels. Overview for engineers. Part I: Basic concepts, April 2019

PANNONI, F. D. *Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio*. 6ª ed., São Paulo, 2015.

PARK, J. H.; LEE, J. S.; CHOI, W. J. Influence of initial surface condition on corrosion kinetics of structural steels exposed to humid environments. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 25, p. 5841–5852, 2023.

PETRYSHYN, A.; RADCHENKO, M.; BEREZHNYI, M. Iron-bearing minerals and their impact on steelmaking processes: recent developments. **Minerals**, v. 12, n. 8, p. 1055, 2022.

RAO, P. S.; MUKHERJEE, A. Effect of Ni and Cr additions on the corrosion performance of low-carbon steels. **Surface and Coatings Technology**, v. 398, p. 610-616, 2020.

RODRIGUEZ, L. *et al.* **Methods to evaluate corrosion in buried steel structures**: A review, May 2018

SINGH, R.; PANDEY, R. K.; KUMAR, P. Effect of carbon content on mechanical properties and microstructure of plain carbon steels. **Materials Today: Proceedings**, v. 28, p. 1746–1751, 2020.

TANG, Y.; LI, X.; YANG, L. Advancements in iron ore beneficiation processes and environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 373, p. 133986, 2022.

TIAN, S.; HUANG, Y.; SUN, Y. Thermodynamic and kinetic analysis of iron ore reduction in blast furnaces: a comprehensive review. **Metals**, v. 12, n. 11, p. 1902, 2022.

WANG, Y.; WANG, Z.; ZHAO, L. Advances in alloy design of steels: from microstructure to performance. **Journal of Materials Science & Technology**, v. 81, p. 13–26, 2021.

WANG, Y.; ZHAO, L.; LI, H. Role of oxide scale morphology on corrosion initiation of carbon steels. **Journal of Iron and Steel Research International**, v. 27, n. 9, p. 1003–1011, 2020.

WIERZBICKI, T. *et al.* **Behavior of Weathering Steel in Artificial Harsh Environment**. Institute of Civil Engineering, Warsaw University of Life Sciences, Dezembro 2024

XIE, Z.; CHEN, M.; LUO, Y. Optimization of burden distribution and gas flow in blast furnaces to enhance energy efficiency and reduce emissions. **Ironmaking & Steelmaking**, v. 48, n. 8, p. 1011–1020, 2021.

YANG, Yongxiang; RAIPALA, Kalevi; HOLAPPA, Lauri. **Chapter 1.1 - Ironmaking**, Treatise on Process Metallurgy, p. 2-88. Elsevier, 2014.

YUAN, S. *et al.* Influence of residual elements and surface condition on corrosion behavior of recycled steels. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 1070–1078, 2021.

ZHANG, L.; LI, C.; WU, H. Definition and development of metal alloys in advanced manufacturing. **Metals**, v. 13, n. 2, p. 273, 2023.

ZHANG, J.; ZHU, W.; YANG, F. Pig iron characteristics and its influence on converter steel refining processes. **Metals**, v. 12, n. 3, p. 511, 2022.

ZHOU, C.; WANG, Z.; LIU, X. Multiphysics modeling in blast furnaces. **Ironmaking & Steelmaking**, v. 47, n. 9, p. 1007–1015, 2020.

ZHOU, Y. *et al.* Atmospheric corrosion resistance of low-alloy steels with silicon addition. **Construction and Building Materials**, v. 259, p. 210–218, 2020.

Gracias!

