



**Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP**  
**Escola de Minas**  
**Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais**  
**Campus Morro do Cruzeiro**  
Ouro Preto – Minas Gerais – Brasil



# MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA METALÚRGICA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DINÂMICO DE VAZAMENTO DE  
AÇO PARA PANEIS DE UMA ACIARIA: PROJETO PILOTO**

José Eduardo Vieira Lima

**Ouro Preto, Março de 2023.**

José Eduardo Vieira Lima

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DINÂMICO DE VAZAMENTO DE  
AÇO PARA PANEIS DE UMA ACIARIA: PROJETO PILOTO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia  
Metalúrgica da Escola de Minas da Universidade  
Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para  
a obtenção do Grau de Engenheiro Metalúrgico

**Orientador: Prof. Dr. Paulo Santos Assis**

**Coorientadora: M.Sc. Sália Cristina Poubel Pinheiro Bastos**

**Ouro Preto, Março de 2023.**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L732d Lima, Jose Eduardo Vieira.  
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DINÂMICO DE VAZAMENTO DE  
AÇO PARA PANEAS DE UMA ACIARIA: PROJETO PILOTO. [manuscrito] /  
Jose Eduardo Vieira Lima. - 2023.  
43 f.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Santos Assis Assis.  
Coorientadora: Ma. Sália Cristina Poubel Pinheiro Bastos Bastos.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola  
de Minas. Graduação em Engenharia Metalúrgica .

1. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.) - Aciaria. 2. Aço - Panela.  
3. Refratários (Metalurgia) - Revestimentos refratários. I. Assis, Paulo  
Santos Assis. II. Bastos, Sália Cristina Poubel Pinheiro Bastos. III.  
Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 669

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALURGICA E DE  
MATERIAIS



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

José Eduardo Vieira Lima

**Desenvolvimento de um Modelo Dinâmico de Vazamento de Aço para Painéis de uma Aciaria: Projeto Piloto**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Metalúrgica e de  
Materiais da Universidade

Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro  
Metalurgista

Aprovada em 28 de março de 2023

Membros da banca

Prof. Dr. Paulo Santos Assis - Orientador (Universidade Federal de  
Ouro Preto)

Prof. Dr. Cláudio Batista Vieira (Universidade Federal de Ouro Preto)

Prof. Dr. Jorge Luiz Bréscia Murta (Universidade Federal de Ouro Preto)

Mestranda, Engenheira Gabriela Araújo Góis (Universidade Federal de Ouro Preto/REDEMAT)

Paulo Santos Assis, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de  
Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 05/04/2023



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Santos Assis, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/04/2023, às 20:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site  
[http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0505338** e o código CRC **E53B8B07**.

## **RESUMO**

A Aciaria da empresa X tem um desafio de atingir sua capacidade nominal de produção e diversas frentes têm sido realizadas para dar suporte ao atendimento dessa meta. Foi identificada uma oportunidade de vazamento de aço para as painéis de rota do forno painel em função do volume útil disponível em relação ao desgaste do revestimento refratário ao decorrer das campanhas realizadas. Dessa forma, um estudo foi conduzido a partir de análise de dados e parâmetros de processo monitorados, visando analisar a viabilidade deste potencial. O resultado esperado é uma correlação com a quantidade de aço vazado para as painéis e o estado de desgaste dos revestimentos refratários em que elas se encontram.

Palavras-chave: Aciaria. Painéis de aço. Revestimentos refratários.

## **ABSTRACT**

The Steelmaking Plant of company X is challenged to reach its nominal production capacity and several fronts have been carried out to support the achievement of this goal. An opportunity of steel leakage for the rotary ladle furnace ladles has been identified due to the useful volume available in relation to the wear of the refractory lining during the campaigns carried out. Thus, a study was conducted, from data analysis and monitored process parameters, aiming to analyze the feasibility of this potential. The expected result is a correlation with the amount of steel leaked into the ladles and the state of wear of the refractory linings in which they are.

**Keywords:** Steelmaking. Steelmaking ladles. Ladles refractories.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de mercado de produtos refratários .....	10
Figura 2 - Desenho Técnico das panelas .....	12
Figura 3 - Fluxo de produção aciaria .....	14
Figura 4 - (a) Panela de aço no refino secundário e (b) Panela com aço após o vazamento do FEA.....	16
Figura 5 - Visão geral de uma panela de aço.....	17
Figura 6 - Perfil térmico de uma panela de aço .....	18
Figura 7 - Um projeto global de compartilhamento de receitas do mercado de refratários pelas diferentes indústrias de usuários finais de 2019 a 2024 .....	19
Figura 8 - Ciclo de uma panela de aço .....	20
Figura 9 - Vida das panelas de aço de siderúrgicas no Brasil .....	21
Figura 10 - Tempo de panela cheia .....	23
Figura 11 - Consumo de refratário de panela (kg/t) .....	23
Figura 12 - Fluxograma de processo para o vazamento dinâmico .....	25
Figura 13 - Desgaste do material refratário das Panelas .....	26
Figura 14 - Boxplot de tara das panelas no início e fim de vida .....	27
Figura 15 - Análise de peso de Tara ao decorrer das corridas.....	28
Figura 16 - Boxplot para peso de vazamento rota Forno Panela a cada 20 corridas.....	31
Figura 17 - Boxplot para peso de vazamento rota VD a cada 20 corridas .....	32
Figura 18 - Cálculo de ganho estimado em aço vazado. ....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ranking dos países produtores de aço em 2020 e 2021 .....	9
Tabela 2 - Mediana para peso de tara a cada 10 corridas .....	27
Tabela 3 - Mediana para peso de tara a cada 20 corridas .....	28
Tabela 4 - Variação de tara e incrementos a cada 20 corridas .....	28
Tabela 5 - Corrida Real / Com Incremento .....	42



## **LISTA DE SIGLAS**

FP – Forno panela

VD – Desgaseificador a vácuo

FEA – Forno elétrico a arco

LC – Lingotamento contínuo

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	9
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo Geral .....	13
2.2	Objetivos Específicos .....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	Fluxo de Produção em uma Aciaria Elétrica .....	14
3.2	Panelas de Aço e seu Revestimento Refratário .....	15
3.3	Materiais Refratários e Mercado .....	18
3.4	Ciclo da Panela de Aciaria.....	20
3.5	Duração de uma Campanha de uma Panela de Aço e Desgaste Refratário.....	20
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1	Análise do Volume Útil da Panela em Função do Desgaste do Revestimento Refratário .....	26
5.2	Análise do Peso de aço Vazado em Relação à Vida do Revestimento Refratário.....	30
5.3	Previsão de Ganho em Capacidade de Produção .....	32
6	CONCLUSÃO.....	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34
	ANEXO I – Simulação de ganho adicional de aço em função da vida do revestimento refratário .....	38

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica, por estar inserida em um contexto de alta competitividade e desenvolvimento tecnológico, sempre almeja a redução de custo e aumento de produtividade (Instituto Aço Brasil, 2016).

Segundo a Associação Mundial de Aço, em 2020 e 2021 o Brasil se encontrava na 9ª posição dentre os 10 maiores países produtores de aço, onde na Tabela 1 apresenta-se o Ranking desses países. Ao longo destes dois anos é possível inferir um valor crescente na produção de aço do mundo. O Brasil em 2020 teve uma produção de 31.4 milhões de toneladas de aço e, em 2021 um aumento de 4.8 milhões de toneladas na sua produção total, atingindo 36.2 milhões de toneladas de aço no ano.

Tabela 1 - Ranking dos países produtores de aço em 2020 e 2021

Ranking	País	2021 M(t)	2020 M(t)
1	China	1032.8	1064.7
2	Índia	118.2	100.3
3	Japão	96.3	83.2
4	Estados Unidos	85.8	72.7
5	Rússia	75.6	71.6
6	Coreia do Sul	70.4	67.1
7	Turquia	40.4	35.8
8	Alemanha	40.1	35.7
9	Brasil	36.2	31.4
10	Irã	28.5	29.0

Fonte: World Steel Association, 2021.

Ao se analisar os valores de produção de aço entre os anos de 2020 e 2021 para os 10 maiores produtores do setor, com exceção da China e do Irã, é verificado um aumento significativo em toneladas totais para os países. Essa tendência se dá, principalmente, devido às tendências do mercado consumidor. Para que o aumento de produção ocorra se faz necessário o desenvolvimento de tecnologias e processos do setor.

Como consequência, a indústria de refratários vem se ajustando, também, à nova realidade do setor siderúrgico visando, sobretudo, desenvolver novos materiais que atendam às exigências inerentes à produção e refino de aço, além da redução de custos, racionalização de recursos e obtenção de produtos de elevada qualidade (LEITE; LUZ; PANDOLFELLI, 2014).

O uso intensivo de refratários nas usinas siderúrgicas é devido às propriedades que estes compostos apresentam como: elevada temperatura de início de fusão, resistência estrutural em altas temperaturas e em ambientes altamente corrosivos, estabilidade diante de variações térmicas intensivas (BORGES; SILVA, 2016).

Segundo o livro *Refractories Handbook* da *The Technical Association of Refractories* (1998), materiais refratários são definidos como materiais não metálicos que são difíceis de serem fundidos em temperaturas elevadas. Esses compostos são constituídos, basicamente, por óxidos ou misturas de óxidos com elevado ponto de fusão e estabilidade físico-química, podendo apresentar outros constituintes, por exemplo, carbono, carbetos, nitretos e boretos.

Nesse contexto, a indústria siderúrgica é a maior consumidora de materiais refratários, consumindo cerca de 69% do mercado mundial, como pode ser visto na Figura 1.

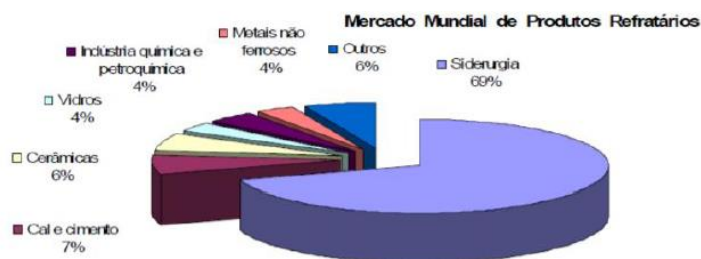


Figura 1 - Distribuição de mercado de produtos refratários. (LENZ E SILVA, 2007).

O desgaste em revestimentos refratários é um dos problemas críticos encontrados em ambientes siderúrgicos, que limita a produtividade do processo devido à necessidade de paradas

para manutenção nos equipamentos industriais, em favor da substituição do revestimento refratário em regiões desgastadas (MOTA, 2017).

A indústria siderúrgica busca continuamente melhorias no desempenho dos refratários, como forma de melhorar sua competitividade, em um mercado caracterizado pela competição global. Um dos principais fatores de desgaste dos refratários é a corrosão, que no ambiente siderúrgico, está diretamente relacionada com a qualidade das escórias, na maioria dos equipamentos (FERREIRA, 2010).

De acordo com Quintela (2003) as panelas são vasos metalúrgicos constituídos de elementos estruturais e carcaça metálica revestida internamente com diferentes materiais refratários que dependendo das condições metalúrgicas, dentre elas, temperatura, tipo de aço e basicidade da escória podem ter o desgaste acelerado.

A panela é o reator mais versátil, no qual se ajusta bem a diversas situações. Nela, são feitos os ajustes de composição por meio de adição de ligas, remoção de gases como oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, descarburização, dessulfuração, remoção e modificação da morfologia das inclusões, homogeneização química e térmica, aquecimento e resfriamento (SILVA, 2018).

A introdução da metalurgia de panela para o refino secundário e o processo de degaseificação a vácuo contribuíram fundamentalmente para o aumento da qualidade do aço produzido. Um efeito direto da introdução destes processos foi o dramático aumento do tempo de residência do aço na panela. Este aumento do tempo obrigou a utilização de materiais refratários de melhor qualidade, traduzido pela melhor estabilidade físico-química e propriedades térmicas (CHIRST, 2001).

Os refratários são fundamentais para a produção de aço, dentre as diversas estações de tratamento na usina, a panela metalúrgica se destaca por possibilitar o ajuste das propriedades do aço de acordo com a demanda. A Figura 2 representa o desenho técnico das panelas utilizadas na VSB e a distribuição dos materiais refratários no seu interior.

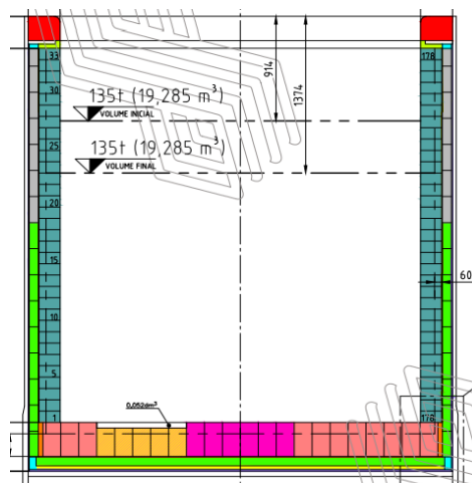


Figura 1 - Desenho Técnico das panelas. (RHI Magnesita, 2018).

O aço, após vazamento para a panela, segue fluxo de produção no refino secundário passando pelo Forno Panela (FP) e Desgaseificador à Vácuo (VD), se aplicável. Essa etapa de refino tem como objetivo o ajuste da composição por meio da adição de ligas, homogeneização química e térmica por meio do plug poroso e, por fim, tratamento de modificação e remoção de inclusões. Nesse cenário, diferentes regiões da panela sofrem com diferentes solicitações do meio, como temperatura, choque térmico, abrasão e erosão e, com isso, tem-se o desgaste do revestimento refratário ao longo da campanha do mesmo. À medida que o desgaste refratário da panela avança, tem-se como consequência um maior volume útil para aço, sendo esta a motivação para o presente estudo visando identificar a oportunidade de vazamento de aço em função da vida do revestimento refratário da panela.

## **2 OBJETIVOS**

Para o desenvolvimento deste presente trabalho de pesquisa, os seguintes objetivos foram estabelecidos.

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a possibilidade de vazamento de aço para panela em função do volume útil disponível ao decorrer do desgaste do revestimento refratário.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Avaliar, a partir da análise de dados, a relação entre os parâmetros listados abaixo, ao decorrer das campanhas das panelas de aço, verificando a possibilidade de se vazarem em função da vida das panelas.

- Peso de tara das panelas de aço de todas as corridas realizadas ao longo da campanha em um determinado período;
- Peso de aço vazado nas panelas para rota forno panela e rota VD ao decorrer das campanhas das panelas;
- Relacionar o volume útil disponível nas panelas com o número de corridas realizadas por elas;
- Estimar ganho anual com o projeto.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo pretende-se analisar dados da literatura acerca da definição de materiais refratários e a aplicação destes na indústria, com o enfoque em panelas de aço de Aciarias.

#### 3.1 Fluxo de Produção em uma Aciaria Elétrica

Uma Aciaria Elétrica é o local onde se produz aços a partir da fusão de sucata metálica, ferro-gusa sólido ou líquido e/ou ferro esponja em um forno denominado forno elétrico a arco (MATTIELO, 2001).

A Figura 2 - Fluxo de produção aciaria ilustra o fluxo produtivo de aço em uma aciaria elétrica. Em linhas gerais, a primeira etapa da metalurgia consiste na fusão da carga no forno elétrico a arco. Essa carga é constituída por sucata, ferro-gusa líquido e/ou sólido. O objetivo principal desse reator é a fusão dessa carga e o primeiro acerto químico e térmico para vazamento do aço para a panela. Durante o vazamento desse aço tem-se adições de agentes desoxidantes e fundentes para a formação da escória da panela, bem como adições de algumas ligas para início do processo de acerto de composição química do aço. A panela segue fluxo de produção no refino secundário passando pelo forno panela (FP) e degaseificador à vácuo (VD), se aplicável, logo após o aço segue para o lingotamento contínuo.

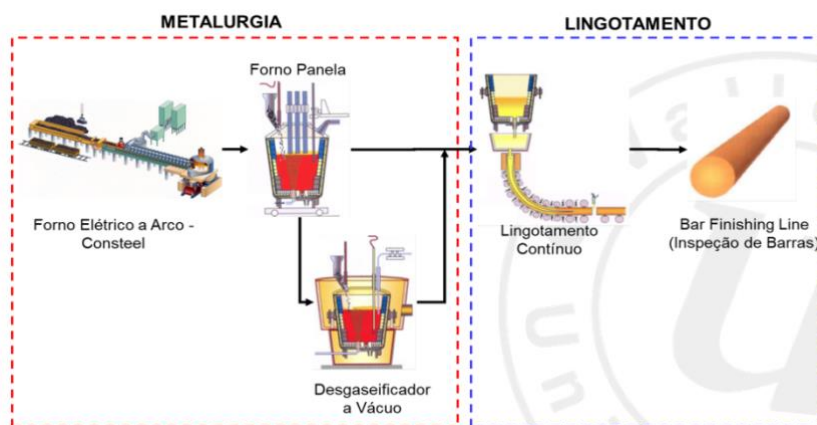


Figura 2 - Fluxo de produção aciaria. (Vallourec University, 2020).



Em uma Aciaria, de modo geral, o fluxo de produção é dividido, em duas grandes áreas, a metalurgia e o lingotamento (Figura 3). Dentro da área da metalurgia se tem a divisão entre (a) metalurgia primária e (b) secundária as quais possuem as seguintes funções:

- a) Fusão da carga, acerto de composição química inicial, ajuste de temperatura e adição de elementos de liga.
- b) Ajuste da composição por meio da adição de ligas, homogeneização química e térmica por meio do plug poroso e, por fim, tratamento de modificação e remoção de inclusões.

No lingotamento contínuo o aço vindo do processo de metalurgia secundária é solidificado e, tem-se, então, um produto semiacabado (CHRIST, 2001).

No processo de lingotamento contínuo, o aço líquido é transferido da panela para o distribuidor e por consequência para moldes. Durante este processo de transferência do aço líquido há uma substancial oportunidade de interações entre o aço líquido, escória, gás e refratários. Nesta sequência operacional os fenômenos de reoxidação do aço líquido, o arraste e a geração de inclusões não metálicas devem ser coibidos ou minimizados, para que a qualidade final do produto lingotado continuamente seja alcançada (SILVA; SILVA, 2022).

### **3.2 Painelas de Aço e seu Revestimento Refratário**

A Painela de Aço é o equipamento responsável pela metalurgia secundária, em que ocorre a correção química, de temperatura e de limpeza do aço líquido. O revestimento refratário deve atender às demandas específicas de cada processo, de acordo com a qualidade de aço produzido, e aos processos metalúrgicos necessários (RIBEIRO, 2014).

Esse equipamento transporta o aço vazado pelos conversores ou fornos elétricos até as máquinas de lingotamento. Com isso, a disponibilidade das Painelas de Aço é determinante para o escoamento da produção (Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2012).

Sendo o recipiente mais versátil de uma siderúrgica, a painela de aço tem se tornado cada vez mais importante devido às exigências do processo de refino secundário. A painela de aço é, também, o equipamento que consome a maior quantidade de refratários em uma aciaria,

tornando a otimização do projeto essencial para a redução de custos, gerenciamento de energia e garantia da qualidade do aço. Durante o período em que a panela está em contato com o aço, ocorre uma diminuição nas taxas de perdas térmicas. Após uma quantidade sucessiva de ciclos, as taxas de perdas assumem um comportamento próximo ao estacionário, onde o perfil de temperatura no interior dos refratários praticamente se repetirá nos próximos ciclos da panela (SAINT-GOBAIN, 2022).

As panelas têm como principais funções receberem o aço vazado do forno elétrico ou conversor, controlar as perdas térmicas além de, também, ter importância na metalurgia secundária. A Figura 3 - (a) Panela de aço no refino secundário e (b) Panela com aço após o vazamento do FEA apresenta fotografia de uma panela em ciclo na metalurgia secundária sendo colocada dentro de um dos tanques da estação de desgaseificação à vácuo (a) panela de aço no refino secundário e uma vista de topo da panela após o recebimento do aço vazado do forno elétrico (b).



**(a)**



**(b)**

Figura 3 - (a) Panela de aço no refino secundário e (b) Panela com aço após o vazamento do FEA. (Próprio autor, 2022).

O refratário é um material que, a altas temperaturas, é resistente à decomposição por calor, pressão ou ataque químico e retém a força e a forma (BISWAS; SARKAR, 2017).



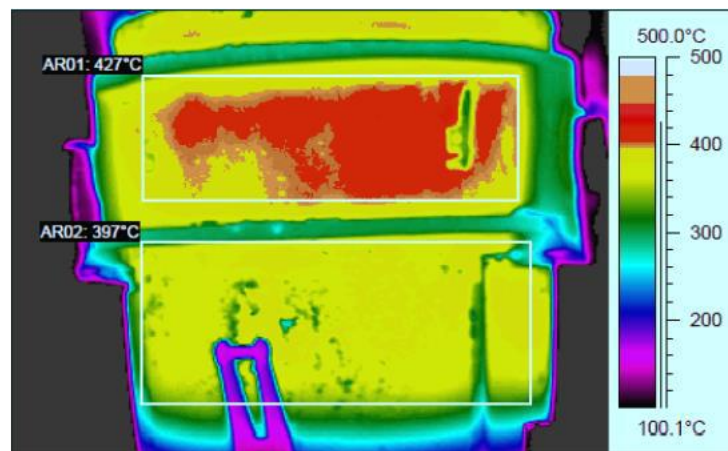


Figura 5 - Perfil térmico de uma panela de aço. (BISWAS; SARKAR, 2017).

Como é possível perceber, cada área tem uma solicitação diferente mesmo se tratando de um mesmo aspecto, no caso, a temperatura.

O material requerido para as áreas de segurança necessita levar em conta o fluxo de calor na região, tanto para proteção da carcaça quanto para evitar perdas térmicas, a resistência do material isolante, para manter a integridade do refratário, e desgaste químico, dado o ambiente corrosivo (BISWAS; SARKAR, 2017).

### 3.3 Materiais Refratários e Mercado

O mercado de refratários é segmentado por tipo de produto, indústria de usuário final e geografia. Sua classificação por tipo, é segmentado em refratários não argilosos e refratários de argila. Por refratários não argilosos, o mercado é segmentado em tijolo de Magnesita, tijolo de zircônia, tijolo de sílica, tijolo de cromita e outros refratários não argilosos. Por refratários de argila, o mercado é segmentado em refratários de alta alumina, argila de fogo e refratários isolantes. Por indústria consumidora final, o mercado é segmentado em ferro e aço, energia e produtos químicos, metais não ferrosos, cimento, cerâmica e vidro (MORDOR INTELLIGENCE, 2019).

Os refratários são essenciais para diversas áreas do mercado industrial, principalmente como revestimento interno de equipamentos de produção, portanto, seu mercado consumidor possui diversos *players* e com isto diversas frentes de trabalho de desenvolvimento dos mesmos.

Essa divisão percentual dos principais segmentos consumidores de materiais refratários é representada na Figura 6 - Um projeto global de compartilhamento de receitas do mercado de refratários pelas diferentes indústrias de usuários finais de 2019 a 2024..



Figura 6 - Um projeto global de compartilhamento de receitas do mercado de refratários pelas diferentes indústrias de usuários finais de 2019 a 2024. (MORDOR INTELLIGENCE, 2019).

A tendência do mercado para os próximos anos é de aumento em consumo desses materiais e como se pode observar na Figura 7 o setor em que se tem uma previsão de maior aumento percentual é a de ferro aço.

A indústria de refratário brasileira está situada entre as mais avançadas do mundo, com produtos de alta qualidade, desenvolvidos para maximizar a performance dos equipamentos. Ela tem dado uma contribuição significativa para as indústrias siderúrgicas, de cimento, não-ferrosos, vidro, petroquímica e outras, diminuindo os custos específicos com refratários e aprimorando a qualidade de seus produtos através do uso de melhores sistemas refratários (TORRES *et al.*, 1999).

A indústria busca diminuir gastos desnecessários em seus processos e operações através de melhorias. Para a identificação desses gastos, é preciso monitorar o processo. Um dos aspectos mais difíceis de controlar é a vida útil dos equipamentos. No caso da produção de aço, a vida

útil das peças refratárias que entram em contato com o aço líquido tem grande impacto nos custos e na segurança dos operadores (SOUSA, 2014).

### 3.4 Ciclo da Panela de Aciaria

O ciclo de uma panela de aciaria é composto por uma sequência de operações que podem ser agrupadas em duas etapas: uma em que a panela contém o aço líquido e está no processo e outra em que se encontra vazia aguardando o vazamento da próxima corrida (CHRIST, 2001).

A Figura 7 - Ciclo de uma panela de aço representa o fluxo comum exercido por uma panela dentro de uma aciaria elétrica com desgaseificador a vácuo.

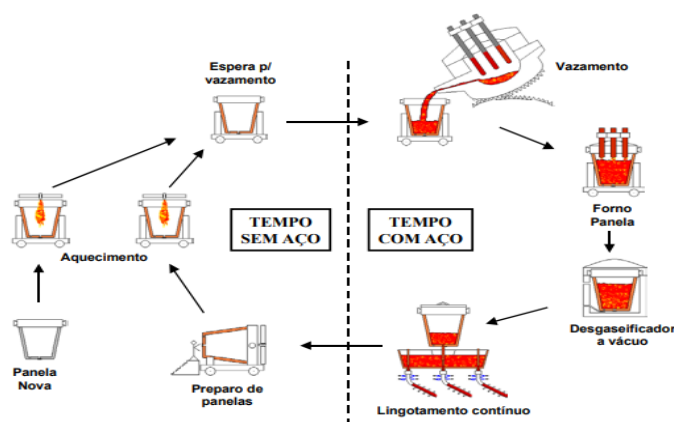


Figura 7 - Ciclo de uma panela de aço. (CHRIST, 2001).

O controle dos parâmetros, como tempo, temperatura, manutenção dentre vários outros envolvidas no ciclo de uma panela são determinantes para otimização da produção dentro de uma aciaria e, além disso, redução de custos.

### 3.5 Duração de uma Campanha de uma Panela de Aço e Desgaste Refratário

O tempo de residência do aço na panela inicia-se no instante do vazamento, passando pelo tempo de refino secundário no forno panela até o esgotamento total do aço da panela para o distribuidor. Quanto maior o tempo de residência do aço na panela, conseqüentemente será

maior o tempo de contato do metal e da escória com os refratários, promovendo maior ataque de escória e erosão (ALVES, 2011).

Ao se analisar os parâmetros que influenciam o desgaste dos refratários de uma panela, fica evidente a relação entre o tempo de residência do aço na panela com o número de vidas por campanha das panelas. A Figura 9 apresenta o número médio de vidas das panelas das principais siderúrgicas do Brasil nos anos entre 2018 e 2021. Nota-se que para o ano de 2021 a VSB possui o valor de 94 corridas, como vida média para as panelas de aço, enquanto empresas como Arcelor Mittal Tubarão e Usiminas Ipatinga AC1 possuem 168 e 138, respectivamente.

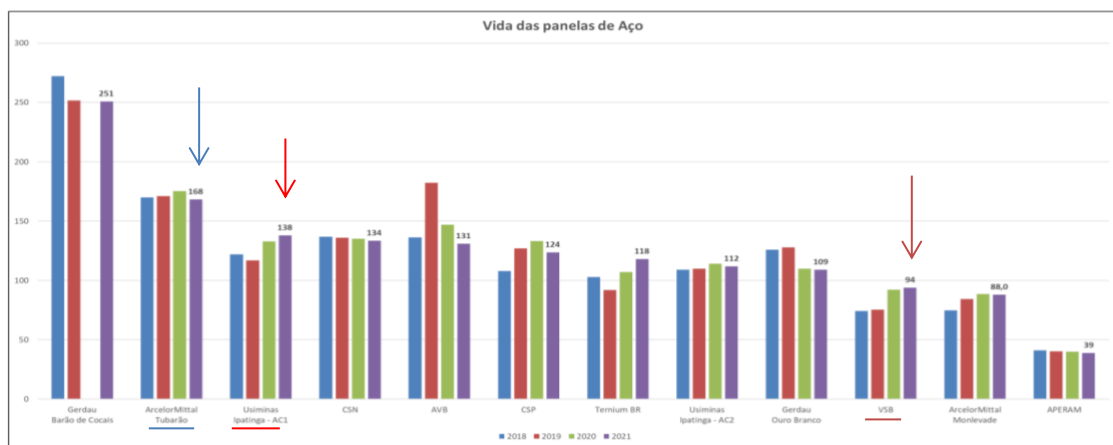


Figura 8 - Vida das panelas de aço de siderúrgicas no Brasil. (XV Encontro de Especialistas em Aciaria, 2022 – adaptado).

Ao analisar, para as mesmas empresas, o tempo de panela cheia, ou tempo em que a panela está em contato com o aço, para o ano de 2021, a VSB possui o tempo médio de 244 minutos enquanto Arcelor Mittal Tubarão e Usiminas Ipatinga AC1 possuem 124 e 63 minutos, respectivamente, como observado na Figura 9 - Tempo de panela cheia.

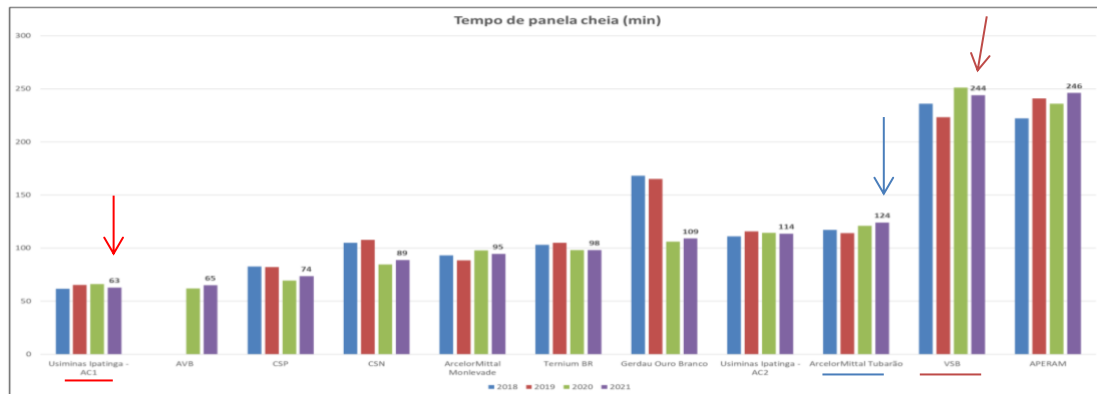


Figura 9 - Tempo de panela cheia. (XV Encontro de Especialistas em Aciaria, 2022 – adaptado).

O tempo de permanência do aço nas panelas está diretamente ligado à vida útil das panelas, devido ao desgaste dos seus revestimentos refratários. Ao se analisar as duas empresas que possuem maiores tempos de panela cheia como, VSB e APERAM (Figura 9 - Tempo de panela cheia), nota-se que, o consumo de refratário de panelas (Kg/t) é maior para estas duas empresas também (Figura 10 - Consumo de refratário de panela (kg/t)).



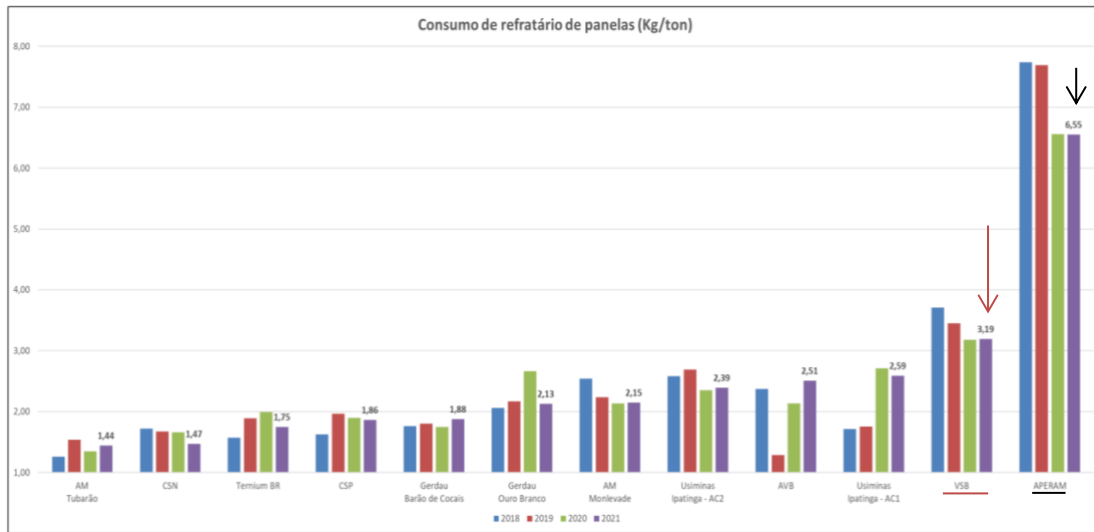


Figura 10 - Consumo de refratário de panela (kg/t). (XV Encontro de Especialistas em Aciaria, 2022 – adaptado).

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada consiste na análise dos dados de massa de tara das panelas antes de receberem o aço vazado, bem como o peso do aço vazamento para corridas produzidas via rota Forno Panela e VD. Os dados coletados para análise são do período de janeiro a junho de 2022 e foram utilizados os Softwares Minitab e Excel para tais análises de dados.

Para a análise de dados de peso de aço vazado e peso de tara de panelas, considerando a grande variação nos dados devido a calibração das balanças a utilização da mediana como medida de tendência central foi escolhida. Ao utilizar a mediana, espera-se obter uma medida de tendência central que não seja afetada por valores extremos, o que pode ocorrer em casos em que há grande variação nos dados devido a calibração das balanças. A análise foi conduzida da seguinte forma:

- a) Coleta de dados: Os dados de peso de aço vazado e peso de tara de panelas serão coletados ao de todas as corridas no período determinado;
- b) Organização dos dados;
- c) Identificação de valores extremos: Será feita uma análise dos dados para identificar valores extremos ou discrepantes;
- d) Cálculo da mediana: A mediana será calculada utilizando a fórmula adequada para um conjunto de dados com um número ímpar ou par de elementos;
- e) Interpretação dos resultados: A mediana será interpretada como uma medida de tendência central robusta para representar o peso de aço vazado e peso de tara de panelas, levando em consideração a grande variação nos dados devido a calibração das balanças.

Para análise da evolução do desgaste do revestimento refratário e relação com o peso da tara da panela foram definidos dois agrupamentos de intervalo de produção de corridas, sendo um a cada 10 corridas e outro a cada 20 corridas. Além disso, será considerado o início da vida do revestimento refratário das panelas o intervalo das 20 primeiras corridas produzidas e final de vida do revestimento entre a 81ª e 100ª corrida.

Adicionalmente, a atual lógica de vazamento de aço utilizada na VSB será considerada para entender se o modelo atual leva em consideração a diminuição de peso de tara ao decorrer das corridas no vazamento do aço.

Com isso, é esperado que este estudo possibilite o desenvolvimento de um vazamento dinâmico do aço para a panela, em função do desgaste do revestimento refratário das panelas, o qual tenha como variáveis de processos os parâmetros descritos na Figura 12 – Fluxograma de processo para vazamento dinâmico.

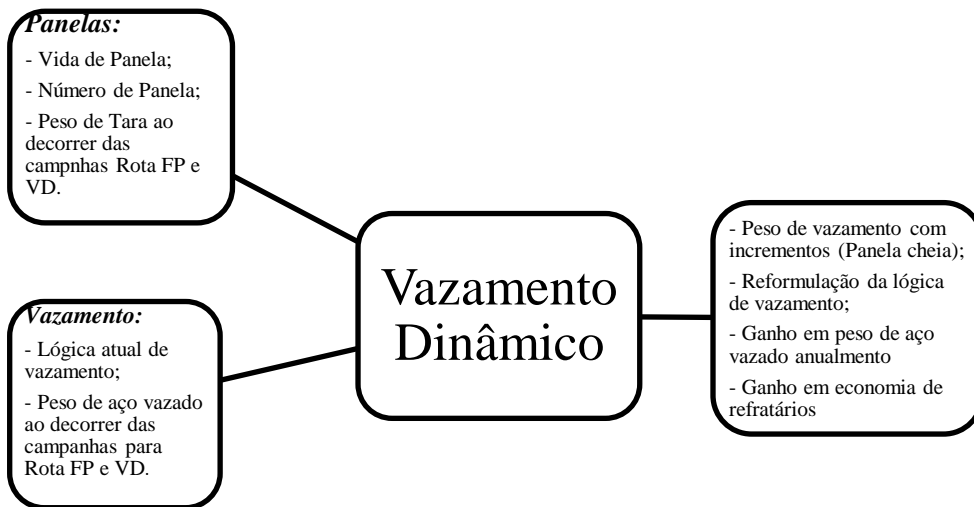


Figura 11 - Fluxograma de processo para o vazamento dinâmico. (Próprio Autor, 2022)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise do Volume Útil da Panela em Função do Desgaste do Revestimento Refratário

Na Figura 13 é apresentado um desenho esquemático ilustrando o volume interno da panela em função da vida do revestimento refratário. O peso de tara médio de início e fim de vida foi calculado com dados coletados entre o período de janeiro a julho de 2022. Foi observada uma tara média de peso em 84,7 toneladas para as corridas que representam o início da campanha do revestimento refratário e aproximadamente 78,2 toneladas representando o final da vida do revestimento, conforme Figura 14. Ou seja, um delta de aproximadamente 6,5 toneladas em peso de revestimento refratário entre o início de fim da vida do revestimento.

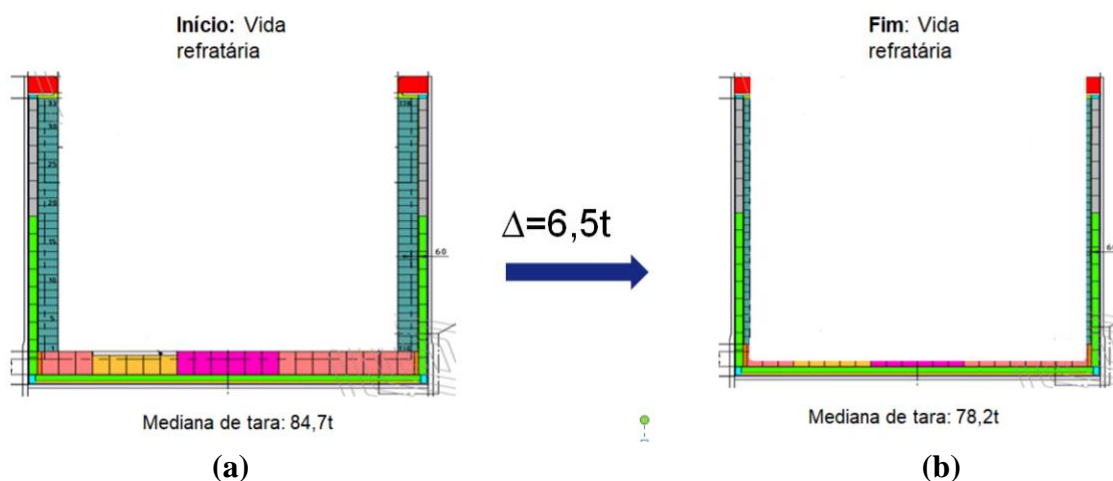


Figura 12 - Desgaste do material refratário das Panelas.

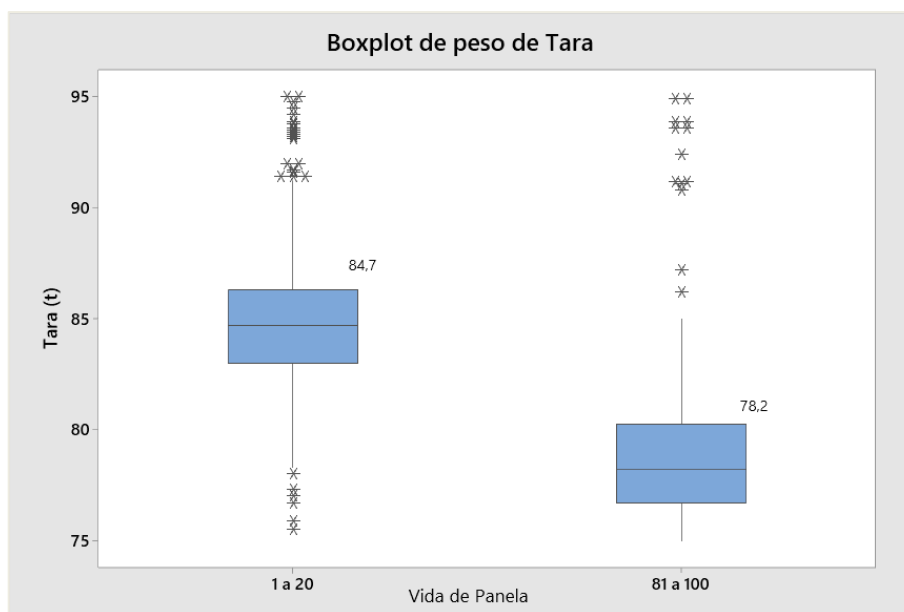


Figura 13 - Boxplot de tara das panelas no início e fim de vida

Na Tabela 2 é apresentada a mediana do peso de tara das panelas a cada 10 corridas, enquanto na Tabela 3 no intervalo entre 20 corridas. Com base nesses resultados foi definido o prosseguimento das análises considerando o intervalo a cada 20 corridas, tendo em vista que as oportunidades de ganho mais significativas observadas foram neste intervalo.

Tabela 2 - Mediana para peso de tara a cada 10 corridas

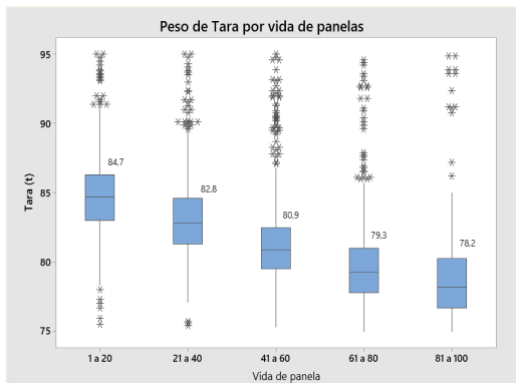
<b>Corridas</b>	<b>1 a 10</b>	<b>11 a 20</b>	<b>21 a 30</b>	<b>31 a 40</b>	<b>41 a 50</b>	<b>51 a 60</b>	<b>61 a 70</b>	<b>71 a 80</b>	<b>81 a 90</b>	<b>91 a 100</b>
<b>Mediana de tara (t)</b>	85,19	84,60	83,35	81,8	80,8	80,05	78,25	78,90	77,40	77,40

Tabela 3 - Mediana para peso de tara a cada 20 corridas

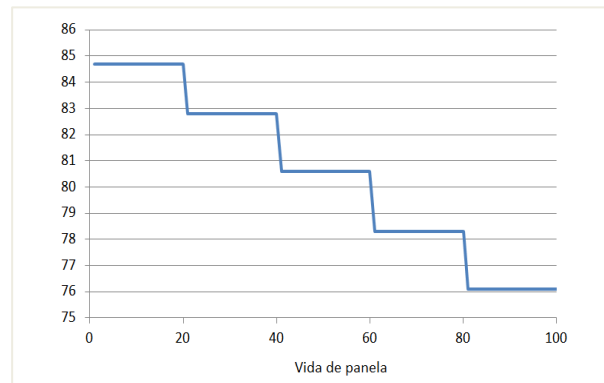
Corridas	1 a 20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 100
<b>Mediana de tara</b>	84,70	82,80	80,60	78,30	76,10

(t)

Na Figura 15 é apresentado o peso da tara por intervalo de vida da panela (a), a cada 20 corridas e uma curva com o valor médio desse intervalo (b) observando a oportunidade de vazamento de aço em função do volume útil da panela à medida do avanço da vida do revestimento refratário. Na Tabela 4 são apresentados os valores nesses intervalos e o delta do peso da tara entre eles.



(a)



(b)

Figura 14 - Análise de peso de Tara ao decorrer das corridas

Tabela 4 - Variação de tara e incrementos a cada 20 corridas

Vida de Panela	1 a 20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 100
<b>Mediana de tara</b>	84,7	82,8	80,9	79,3	78,2
<b>Incremento (t)</b>	-	1,9	1,9	1,6	1,1

(t)

A média de incremento em peso de material refratário dos valores citados na Tabela 1 é de 1,625 toneladas. É importante destacar a diferença de densidade entre os materiais refratários e o aço e levar em consideração isso para calcular o volume útil de aço na panela.

A densidade calcula o quanto de matéria existe no volume de uma determinada substância. Ela é calculada por meio da divisão entre a massa e o volume do material. A **equação (1)** é representada abaixo sendo:

- “m” a massa e
- “v” o volume da substância

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{(Equação 1)}$$

A análise do volume de aço a ser ocupado com a redução média de 1,625 toneladas de material refratário foi calculado considerando a densidade do aço como 7,0g/cm<sup>3</sup> e a densidade dos materiais refratários como 3,0g/cm<sup>3</sup> conforme etapas a seguir:

- Volume ocupado por 1,625 toneladas de material refratário:

$$\rho = \frac{m}{v}; 3,0\text{g/cm}^3 = \frac{1625000\text{g}}{v}; v = 541.666,67 \text{ cm}^3$$

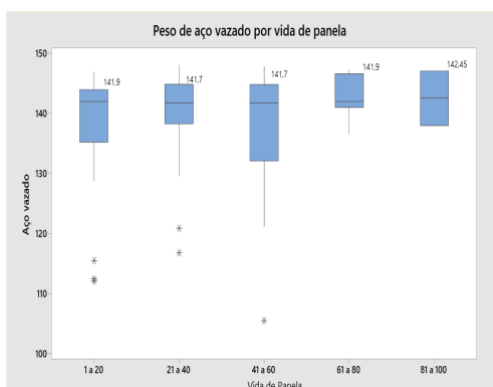
- Massa de aço ocupando este volume de material refratário desgastado:

$$\rho = \frac{m}{v}; 7,0\text{g/cm}^3 = \frac{m}{541.666,67 \text{ cm}^3}; m = 3.791.666,67\text{g} \text{ ou } 3,79 \text{ toneladas}$$

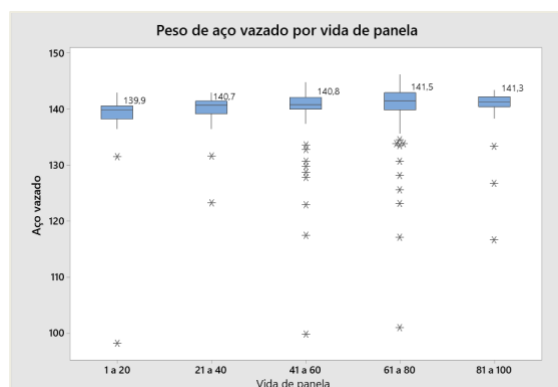
Sendo assim, o peso de aço disponível para ocupar o volume ganho com o desgaste do material refratário é de 3,79 toneladas.

## 5.2 Análise do Peso de aço Vazado em Relação à Vida do Revestimento Refratário

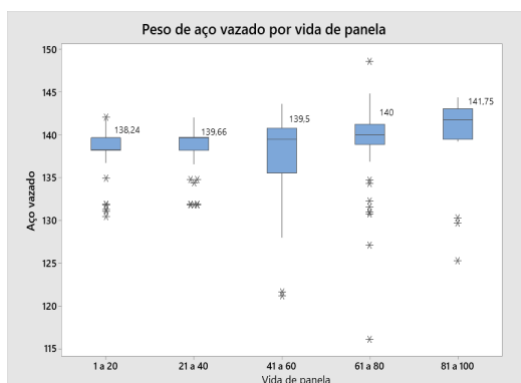
O peso de aço vazado por mês foi analisado levando em consideração a produção do primeiro semestre de 2022, para os aços rota forno panela e VD. Nas Figuras 16 e 17 são apresentados gráficos do peso de aço vazado em relação à vida do revestimento refratário, a cada 20 corridas, para rota forno panela e VD, respectivamente.



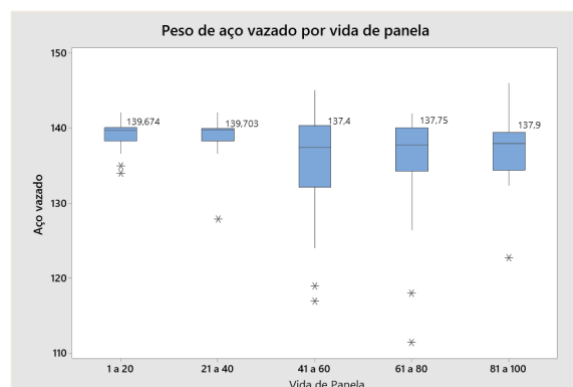
**Janeiro**



**Fevereiro**

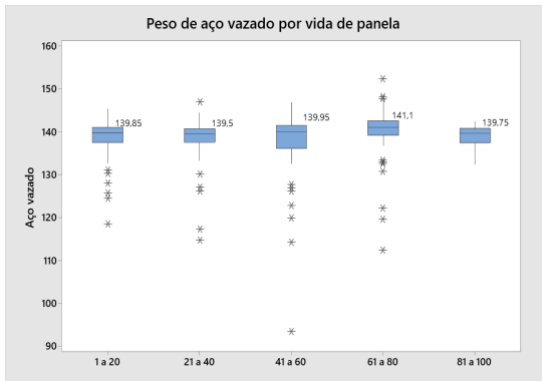


**Março**

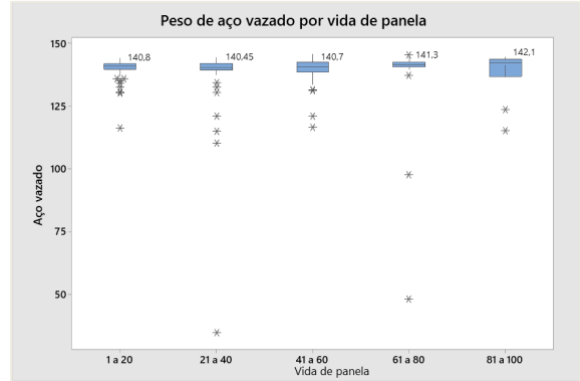


**Abril**



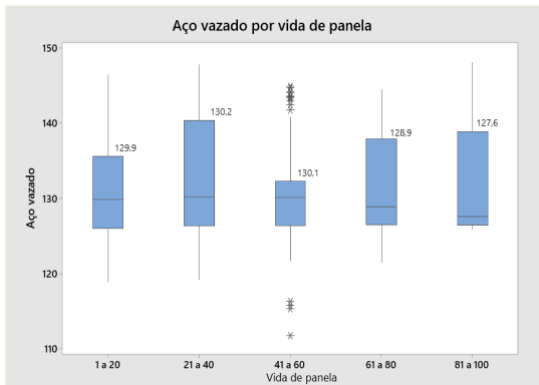


**Maio**

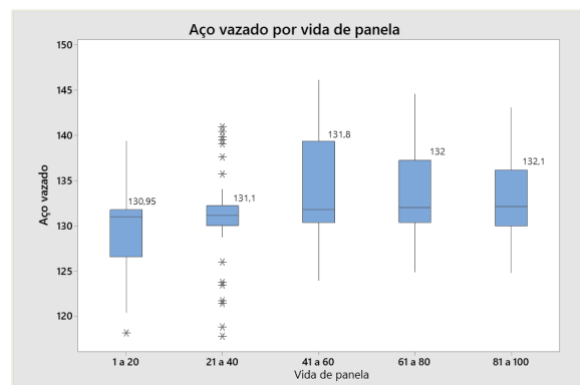


**Junho**

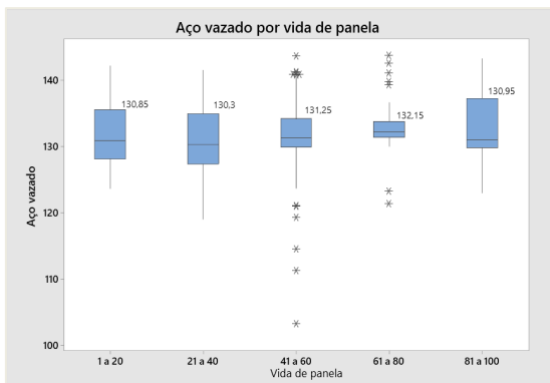
Figura 15 - Boxplot para peso de vazamento rota Forno Panela a cada 20 corridas



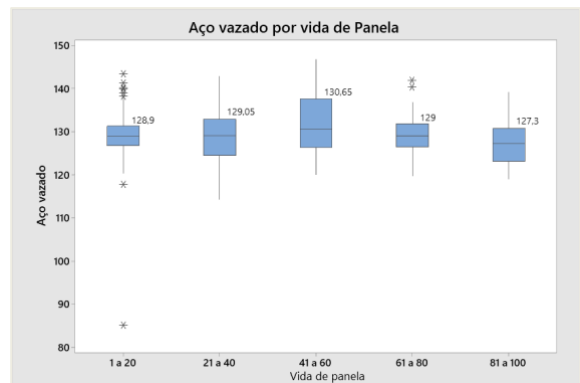
**Janeiro**



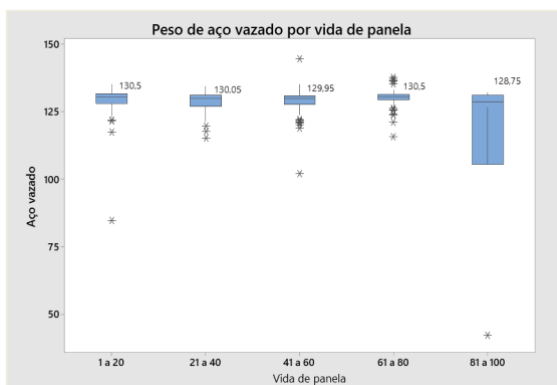
**Fevereiro**



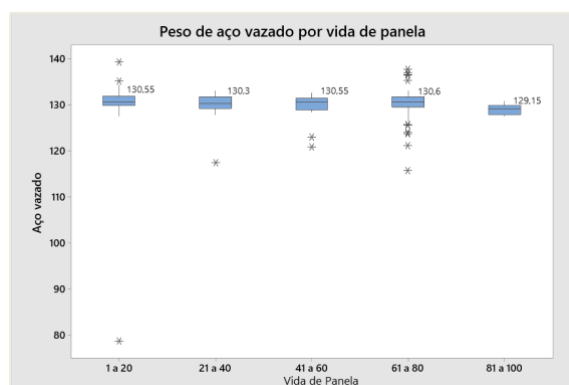
**Março**



**Abril**



**Maio**



**Junho**

Figura 16 - Boxplot para peso de vazamento rota VD a cada 20 corridas

Com base nas informações de peso de aço vazado, tanto para rota FP como VD, conforme apresentado nas Figuras 16 e 17, o vazamento de aço não leva em consideração o desgaste refratário das panelas e, sim, um valor pré-definido como parâmetro no sistema.

### 5.3 Previsão de Ganho em Capacidade de Produção

Para avaliar o potencial de ganho em capacidade de produção adotando a prática de vazar o aço em função do desgaste do revestimento refratário foram levantados dados de uma campanha realizada pela panela 8, onde a proporção entre corridas rota FP e VD foi de aproximadamente 50% e valor médio de aço vazado foi de 141,8 toneladas. A simulação consistiu em aumentar 1 tonelada de aço vazado na campanha a cada 20 corridas a partir da 21ª corrida, seguido de 2 toneladas a partir da 41ª e 3 toneladas a partir da 61ª corrida, finalizando na corrida 80ª, e aplicando essa regra somente para rota Forno Panela. No Anexo 1 é apresentada essa simulação de aumento de peso.

## 6 CONCLUSÃO

Em vista dos resultados obtidos neste trabalho podemos concluir que:

A prática atual de vazamento de aço, não possui uma relação com o parâmetro avaliado nesse estudo - vazar o aço em função da vida do revestimento refratário das panelas.

Ao decorrer das campanhas o peso de tara das panelas diminui, com um valor de cerca de 6,5 toneladas de diferença entre o início e fim de vida.

Os resultados obtidos permitiram definir o prosseguimento das análises considerando o intervalo de 20 corridas, tendo em vista que as oportunidades de ganho mais significativas foram observadas neste intervalo.

O cálculo de previsão de ganho realizado demonstrou que é possível obter cerca de 5.379 toneladas anuais de peso de aço vazado para rota forno panela.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. O. **Estudo dos parâmetros de desgaste de refratários: comparativo de tijolos dolomíticos para linha de escória em painéis de aço de siderurgia**. 2011. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unifesspa.edu.br/handle/123456789/314> . Acesso em: 12 Jan. 2023.

ABM BRASIL. Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Disponível em: <https://www.abmbrasil.com.br/>. Acesso em: 12 Jan. 2023.

BORGES, R. A. A.; SILVA, G. F. B. L. **Avaliação do impacto da produção de aço com baixo teor de enxofre na vida refratária das painéis de aço**, p. 214-223. In: *47th Steelmaking Seminar - International*, Rio de Janeiro, 2016. ISSN: 2594-5300, DOI 10.5151/1982-9345-27637 Disponível em: [Microsoft Word - 27637.docx \(researchgate.net\)](#). Acesso em: 12 Jan. 2023.

BRAGANÇA, S. R. *et al.* **Avaliação do desgaste de refratários utilizados em painéis de refino de aço**. Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Curitiba, 2004. Disponível em: < <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/2004/artigos/48cbc-8-13.pdf> > .Acesso em: 12 Jan. 2023.

COUTINHO, E. S. **Projetos de revestimentos refratários – fundamentos**. Seminário Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração - Refratários para siderurgia. Belo Horizonte, p. 97-120, mar 2000.

CRHIST, Fernando da Silva. **Melhorias no aquecimento de Painéis de Aço de uma Aciaria Elétrica**. 2001. 77f. Dissertação de Mestrado (Metalurgia Extrativa) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1801/000308633.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em: 10 Jan. 2023.

FERREIRA, N. F. **Controle da temperatura do aço líquido em uma aciaria elétrica**. 2000. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/3323> . Acesso em: 10 Jan. 2023.

INSTITUTO AÇO BRASIL, Contextualização Econômica. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade/1-contextualizacao-economica> . Acesso em: 24 Set. 2022.

LANDY, R. A. **Magnesia Refractor-ies**, *In*: Refractories Handbook, edited by SCHATCHT, C. A, Marcel Dekker INC, New York, (2004) 109.

LEITE, F. C.; LUZ, A. P.; PANDOLFELLI, V. C. **Características e mecanismos de desgaste dos refratários MgO-C usados na linha de escória de painéis de aço**. Cerâmica, v. 60, p. 348-365, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/SKGpswGHZLYwjG4KY75WNqx/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 10 Jan. 2023.

MATTIELLO, J. **Estudo das causas da variabilidade dos teores de feo da escória de um forno elétrico a arco**. 2011. Trabalho de Diplomação - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/60680/000826618.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em: 12 Jan. 2023.

MORDOR INTELLIGENCE. **MERCADO DE REFRAATÓRIOS - CRESCIMENTO, TENDÊNCIAS, IMPACTO DO COVID-19 E PREVISÕES (2023 – 2028)**. 2023. All Rights Reserved to Mordor Intelligence. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/refractories-market> . Acesso em: 12 Jan. 2023.

MOTA, R. C. **Estudo Post Mortem em revestimentos refratários em panela de aciaria elétrica**. 2017. Tese (Doutorado em Materiais Metálicos, Cerâmicos e Poliméricos) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. Doi: 10.11606/T.97.2017.tde-21112017-133410. Acesso em: 10 Jan. 2023.

Performance Ceramics & Refractories division of Saint-Gobain Ceramics. Steel ladle. 2019. Disponível em <https://www.ceramicsrefractories.saint-gobain.com/refractory-solutions/steelmaking/steel-ladle> . Acesso em: 22 set. 2022.

QUINTELA, M. A. **Caracterização de cerâmicas refratárias para panela de aço**. Brasil, Universidade Federal de São Carlos, Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, 2003.

RAIMUNDO FILHO, A. S.; SILVA, B. G.; PINHEIRO, C. de O.; GOMES, L. de S.; SIBUCKS, S.; NASCIMENTO, V. F. do; BARBOSA, W. F. **Melhoria no desempenho dos blocos sede de plug nas panelas de aço da Aciaria LD CSN**. p. 686-694. In: 43º Seminário de Aciaria - Internacional, Rio de Janeiro, 2012. ISSN: 2594-5300, DOI 10.5151/2594-5300-21641.

RIBEIRO, B. A. B. **Análise numérica e experimental do processo de vazamento de aço líquido da panela de aço para distribuidores no processo de lingotamento contínuo**. 2014. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/BUBD-9YGMG8>>. Acesso em: 08 Jan. 2023.

**Refractories Market Size. Industry Analysis**. 2019 Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/refractories-market> . Acesso em: 12 set. 2022.

SAINT-GOBAIN PERFORMANCE CERAMICS & REFRACTORIES. **FOUNDRY SOLUTIONS**. Ferro & Aço. Copyright © 2021. 12p.

BISWAS, S; SARKAR, D. **Introduction to Refractories for Iron – and Steelmaking**. Springer Nature Switzerland AG 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-43807-4> . Acesso em: 10 Jan. 2023. 457p.

SILVA, P. H. da R. **Análise da remoção de inclusões do aço durante o esgotamento da panela após injeção de gás inerte através de modelamento físico**. 2018. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/RAOA-BBQNEC>. Acesso em: 10 Jan. 2023.

SILVA, C. A. da; SILVA, I. A. da; **TÓPICOS EM LINGOTAMENTO CONTÍNUO**. Escola de Minas. 2022. 287p.

SOUSA, B. B. de. **Avaliação da degradação de placas refratárias do mecanismo de válvula gaveta de painéis de aciaria**. 2014. Disponível em: [Avaliação da degradação de placas refratárias do mecanismo de válvula gaveta de painéis de aciaria \(ufrgs.br\)](#). Acesso em: 10 Jan. 2023.

**Steel Statistics Yearbook (2020, 2021)**. World Steel Association. Disponível em: <https://worldsteel.org/> . Acesso em: 13 Jan. 2023.

TORRES, A. A.; DUARTE A. K.; BITTENCOURT, P. R. M.; SILVA, R. T.M. **O panorama do setor de refratário no Brasil**. In: \_Congresso da Alafar, Aruba, Novembro de 1999. XXVIII ALAFAR, p.287-295.

XV Encontro de Especialistas em Aciaria On-line. **KPI's**. Gerência de Produção de Aço – Aciaria. Coordenação Controle de Processos. 2022. Ternium.

## **ANEXO I – Simulação de ganho adicional de aço em função da vida do revestimento refratário**

Com a oportunidade verificada, foram feitas as seguintes simulações de possíveis ganhos:

- 1) Correção do valor de aço vazado a partir dos incrementos;
- 2) Economia de revestimento refratários das painelas.

Nesse sentido, considerando as variáveis descritas na Figura 7 e a partir de incrementos em aço realizados no vazamento para as painelas ao decorrer das campanhas, as seguintes considerações foram definidas para a proposta de ganho estimado:

- a) Campanhas com 80 vidas de painelas, divididas em 4 etapas: etapa 1 (até a 20° vida), etapa 2 (21° a 40° vida) etapa 3 (41° a 60° vida) e etapa 4 (61° a 80° vida);
- b) Incrementos realizados na seguinte ordem: uma tonelada etapa 2, duas toneladas na etapa 3 e três toneladas na etapa 4;
- c) Peso de vazamento médio de aço vazado rota forno painela de 141,8 toneladas;
- d) Peso de vazamento médio com incrementos de 143,3 toneladas;
- e) Delta (t) entre peso de vazamento com e sem incrementos de 1,5 toneladas;

Essa relação, em valores de uma corrida real e a mesma com os incrementos, é representada na tabela 5.



<b>Corrida</b>	<b>REAL (t)</b>	<b>COM INCREMENTO (t)</b>
1	142,5	142,5
2	142,5	142,5
3	142,5	142,5
4	142,5	142,5
5	142,5	142,5
6	142,5	142,5
7	142,5	142,5
8	142,5	142,5
9	142,5	142,5
10	142,5	142,5
11	142,5	142,5
12	142,5	142,5
13	142,5	142,5
14	142,5	142,5
15	142,5	142,5
16	142,5	142,5
17	142,5	142,5
18	142,5	142,5
19	142,5	142,5
20	142,5	142,5
21	141	142
22	141	142
23	141	142
24	141	142
25	141	142
26	141	142

27	141	142
28	141	142
29	141	142
30	141	142
31	141	142
32	141	142
33	141	142
34	141	142
35	141	142
36	141	142
37	141	142
38	141	142
39	141	142
40	141	142
41	141,8	143,8
42	141,8	143,8
43	141,8	143,8
44	141,8	143,8
45	141,8	143,8
46	141,8	143,8
47	141,8	143,8
48	141,8	143,8
49	141,8	143,8
50	141,8	143,8
51	141,8	143,8
52	141,8	143,8
53	141,8	143,8

54	141,8	143,8
55	141,8	143,8
56	141,8	143,8
57	141,8	143,8
58	141,8	143,8
59	141,8	143,8
60	141,8	143,8
61	141,9	144,9
62	141,9	144,9
63	141,9	144,9
64	141,9	144,9
65	141,9	144,9
66	141,9	144,9
67	141,9	144,9
68	141,9	144,9
69	141,9	144,9
70	141,9	144,9
71	141,9	144,9
72	141,9	144,9
73	141,9	144,9
74	141,9	144,9
75	141,9	144,9
76	141,9	144,9
77	141,9	144,9
78	141,9	144,9
79	141,9	144,9
80	141,9	144,9

<b>Média (t)</b>	141,8	143,3
<b>Diferença (t)</b>	1,5	

Foi calculado, conforme apresentado na Figura 18, o ganho estimado em toneladas de aço vazado anual.

Tabela 5 - Corrida Real / Com Incremento

EAF CAPACITY			
EAF Liquid Steel Production	tls	891.119	896.498
			<b>GANHO ANUAL</b>
			<b>5.379</b>
DESCRIPTION	UNIT	H1 2022	Simulação Peso de Aço FP
Calendar	days	365,0	365,0
Outage	days	15,0	15,0
Preventive Maintenance — <b>12h and 18h</b>	days	11,3	11,3
Micro Stoppages — <b>5h every 7 days</b>	days	7,0	7,0
Opening Time	days	331,8	331,8
DESCRIPTION	UNIT		
Breakdown · Maintenance	min/heat	7,9	7,9
Power Off Time · Operation	min/heat	20,0	20,0
Power Off Time · Total	min/heat	27,9	27,9
Power On Time · Average	min/heat	44,1	44,1
Tap To Tap · Average	min/heat	71,9	71,9
VD Ratio	%	46%	46%
Tapped Steel · VD Route	tls/ladle	129,0	129,0
Tapped Steel · LF Route	tls/ladle	138,6	<b>140,1</b>

Figura 18: Cálculo de ganho estimado em aço vazado.

Então, com o cálculo descrito acima seria possível obter cerca de 5.379 toneladas anuais, em peso de aço vazado para rota forno panela.

Esse ganho ainda representa uma economia de refratários utilizados. Nessa estimativa, utilizou-se 141,8t como a média de aço vazado atualmente para rota forno panela e 80 como a quantidade de vidas em média que se tem para uma campanha.

Ganho em aço vazado anualmente: 5.379 t.

Valor médio de aço vazado no início de corrida: 141,8t

Vidas de panela por campanha: 80

$$\frac{5.379}{141,8} = 37 \text{ corridas}$$

$$\frac{37}{80} * 100 = 46\% \text{ de uma campanha}$$

Esse valor de 37 corridas (46% de uma campanha) representa uma economia de refratários, uma vez que essa quantidade de aço que seria produzido nelas estará diluído na quantidade de aço produzido por panela na produção anual e, portanto, não haveria o desgaste de refratário necessário para a produção delas.