

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**CAIO CAMATTA KRAVSZENKO**

**ESTUDO SOBRE O USO DO AÇO INOXIDÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**CAMPO MOURÃO**

**2023**

**CAIO CAMATTA KRAVSZENKO**

**ESTUDO SOBRE O USO DO AÇO INOXIDÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**STUDY ON THE USE OF STAINLESS STEEL IN CIVIL CONSTRUCTION**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Rigobello.

**CAMPO MOURÃO**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento do trabalho, mesmo para fins comerciais, sem a possibilidade de alterá-lo, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**CAIO CAMATTA KRAVSZENKO**

**ESTUDO SOBRE O USO DO AÇO INOXIDÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 27/novembro/2023

---

Ronaldo Rigobello

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Adalberto Luiz Rodrigues de Oliveira

Doutorado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Evandro Luis Volpato

Mestrado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CAMPO MOURÃO**

**2023**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me dado forças, saúde e sabedoria durante essa jornada.

Aos meus pais Simone e Adriano, pelo amor incondicional e por me inspirarem e me apoiarem sempre, possibilitando a realização desse sonho.

Aos meus irmãos Isabela e Davi, por me incentivarem e serem meu porto seguro.

Aos meus familiares por torcerem por mim e celebrarem comigo, em especial aos meus avôs Feodot (*in memorian*) e José Camatta (*in memorian*) que partiram durante esse processo, pelo carinho e legado de integridade e honestidade que seguirei honrando.

Aos meus amigos que estiveram ao meu lado durante o curso e que compartilharam de muitos momentos, tornando a experiência mais leve e agradável.

Aos meus professores, por todos os ensinamentos e pela dedicação durante esses anos.

A UTFPR, ao Grupo PET (Programa de Educação Tutorial) e às empresas onde trabalhei, por todo aprendizado e troca de experiências que contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

Ao meu orientador, professor Ronaldo, pela orientação, dedicação e paciência durante o trabalho.

## RESUMO

O setor da construção civil desempenha um papel fundamental na economia, sendo responsável por uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) e empregando milhões de trabalhadores. A indústria da construção civil, essencial para o funcionamento da sociedade, é também uma grande consumidora de matérias-primas, incluindo o aço inoxidável. Este estudo se justifica pela crescente importância do aço inoxidável na construção civil, dado seu impacto na qualidade das estruturas e na economia em geral. O trabalho teve como objetivo geral explorar o uso do aço inoxidável na construção civil, examinando suas propriedades, características técnicas e benefícios. Para atingir os objetivos do trabalho foi necessário identificar as propriedades e especificações do aço inoxidável, sistematizar informações sobre suas aplicações na construção civil e apresentar seus benefícios em termos de vida útil e sustentabilidade. A metodologia adotada foi uma revisão da literatura com abordagem predominantemente descritiva e exploratória, baseada na análise detalhada de dados e informações de estudos existentes sobre o uso do aço inoxidável na construção civil. A conclusão destaca o aço inoxidável como uma escolha sustentável para a construção civil, oferecendo não apenas eficiência estrutural, mas também benefícios econômicos e ambientais.

Palavras-chave: aço inoxidável; sustentabilidade; construção civil; inovação.

## **ABSTRACT**

The construction sector plays a fundamental role in the economy, being responsible for a significant portion of the Gross Domestic Product (GDP) and employing millions of workers. The construction industry, essential for the functioning of society, is also a large consumer of raw materials, including stainless steel. This study is justified by the growing importance of stainless steel in civil construction, given its impact on the quality of structures and the economy in general. The work aimed to explore the use of stainless steel in civil construction, examining its properties, technical characteristics, and benefits. To achieve this goal, the specific objectives were to identify the properties and specifications of stainless steel, systematize information about its applications in civil construction, and present its benefits in terms of lifespan and sustainability. The methodology adopted was a literature review with a predominantly descriptive and exploratory approach, based on the detailed analysis of data and information from existing studies on the use of stainless steel in civil construction. The conclusion highlights stainless steel as a sustainable choice for civil construction, offering not only structural efficiency but also economic and environmental benefits. Keywords: stainless steel; sustainability; civil construction; innovation

Keywords: stainless steel, sustainability, construction, innovation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Diagrama de equilíbrio Fe-Cr .....	16
Figura 2: Comparação dos sistemas Fe-Ni e Fe-Cr sob a influência da transformação alotrópica do Fe.....	17
Figura 3: Diagrama de Schaeffler para aços inoxidáveis .....	21
Figura 4: Comportamento tensão-deformação para o aço carbono, aço inoxidável ferrítico e aço inoxidável austenítico. ....	24
Figura 5: Estádio Nacional “Ninho do Pássaro” em Pequim China .....	28
Figura 6: Vista estrutural do Ninho de Pássaro.....	29
Figura 7: Passarela da estação Cidade Nova do metrô - RJ .....	30
Figura 8: Pirâmide do Grande Louvre .....	32
Figura 9: Ponte Stonecutters, Hong Kong .....	33
Figura 10: Ponte Stonecutters – coluna mista em aço inoxidável e concreto...35	
Figura 11: Coluna mista dupla pele .....	35
Figura 12: Parte superior da plataforma offshore com barreira de explosão ....	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>AÇO INOXIDÁVEL: PROPRIEDADES E ESPECIFICAÇÕES</b> .....	<b>15</b>
<b>5.1</b>	<b>Classificação dos aços inoxidáveis</b> .....	<b>17</b>
5.1.1	Aços Inoxidáveis Ferríticos.....	18
5.1.2	Aços Inoxidáveis Austeníticos .....	19
5.1.3	Aços Inoxidáveis Martensíticos .....	20
<b>5.2</b>	<b>Efeito dos elementos estabilizantes</b> .....	<b>22</b>
<b>5.3</b>	<b>Efeito dos elementos intersticiais</b> .....	<b>22</b>
<b>5.4</b>	<b>Propriedades mecânicas</b> .....	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>USOS E APLICAÇÕES DO AÇO INOXIDÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	<b>26</b>
<b>6.1</b>	<b>Evolução da siderurgia</b> .....	<b>26</b>
<b>6.2</b>	<b>Edificações</b> .....	<b>30</b>
<b>6.3</b>	<b>A infraestrutura</b> .....	<b>32</b>
<b>6.4</b>	<b>Colunas estruturais mistas com aço inoxidável e concreto</b> .....	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>BENEFÍCIOS DO AÇO INOXIDÁVEL: VIDA ÚTIL E SUSTENTABILIDADE</b> .....	<b>37</b>
<b>7.1</b>	<b>Vantagens do aço inoxidável em relação aos métodos de avaliação ambiental para edifícios</b> .....	<b>38</b>
<b>7.2</b>	<b>Vantagens estruturais do aço inoxidável</b> .....	<b>39</b>
<b>7.3</b>	<b>Aço inoxidável e sustentabilidade</b> .....	<b>41</b>
7.1.1	Aços Inoxidáveis e CO <sub>2</sub> : Emissões da Indústria.....	42
7.1.2	Reciclagem de Aço Inoxidável .....	43
7.1.3	Construção Leve .....	44
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o setor da construção civil representa um dos mercados mais competitivos globalmente, demandando soluções eficientes, economicamente viáveis, de longa durabilidade e capazes de serem concluídas dentro dos prazos estabelecidos. Diante dessas exigências rigorosas, as estruturas metálicas surgem como uma resposta essencial.

A utilização de estruturas metálicas na construção civil abrange uma variedade de contextos e propósitos, englobando pontes, aeroportos, complexos industriais e edifícios. Desde as primeiras pontes metálicas até os mais modernos arranha-céus, a incorporação do aço nas construções tem experimentado um crescimento notável. Tal tendência se justifica não apenas por sua estética ousada, mas também por sua eficácia comprovada em uma ampla gama de projetos (GEDGE, 2008).

Nesse cenário altamente competitivo, a escolha pelo aço nas estruturas arquitetônicas não é apenas uma questão de estética, mas sim uma necessidade prática. Sua aplicação versátil e eficaz representa não apenas uma solução viável, mas muitas vezes a escolha preferida por engenheiros e arquitetos que buscam a combinação ideal entre robustez, flexibilidade de design e economia, atendendo assim às demandas crescentes do mercado atual da construção civil.

A produção das peças estruturais durante o processo de fundição, a independência em relação às condições climáticas, e a ampla disponibilidade de aço no mercado nacional constituem fatores cruciais que podem encurtar significativamente o tempo necessário para completar uma obra. Estimativas indicam que essa abordagem pode reduzir o cronograma de construção em até 25% quando comparado ao uso exclusivo de concreto nas estruturas (FREITAS e CASTRO, 2006).

A notável vantagem das estruturas de aço reside em sua resistência mecânica superior quando comparadas a outros materiais de construção. Esse método construtivo é reconhecido por sua velocidade e capacidade de suportar vãos substanciais, sendo, portanto, uma escolha frequente para projetos industriais, supermercados e outras edificações que demandam grandes espaços e rapidez na execução. Ginásios, estádios, pavilhões, telhados, torres, guindastes, escadas, passarelas, depósitos e lojas também se beneficiam desse método, tornando-o uma escolha versátil e adaptável. As ligas de aço, formadas por ferro, carbono e outros

elementos, são diversificadas, com centenas de diferentes tipos destinados especificamente à construção civil (IMIANOWSKY e WALENDOWSKY, 2017).

Apesar de um custo inicial possivelmente mais elevado, as estruturas metálicas raramente requerem reparos substanciais, proporcionando economia a longo prazo. Além disso, o aço, por sua menor massa, reduz consideravelmente os custos das fundações, contribuindo não apenas para a economia, mas também para uma construção mais eficiente e sustentável. O aço não é apenas uma escolha essencial, mas sim uma solução que oferece uma série de benefícios significativos para qualquer empreendimento de construção. Tais fatores, refletem inclusive na questão da sustentabilidade do material (GOMES; ODAGUIRI; DE OLIVEIRA, 2018).

Dentre os aços, vem recebendo destaque os aços do tipo inoxidável, pelas suas características de elevada resistência mecânica, resistência à corrosão e elevadas temperaturas.

Na construção civil, o aço inoxidável desempenha um papel crucial em diversas aplicações arquitetônicas e estruturais, destacando-se como um material amplamente utilizado em coberturas, paredes de vidro, acabamentos de edifícios e trabalhos estruturais (SULEIMAN; BRANDÃO; BRUNO, 2020).

Existem também muitas pontes de aço inoxidável em todo o mundo, principalmente na Europa. Há um aumento significativo no uso de aço inoxidável na construção de pontes, visando uma vida útil mais longa (SULEIMAN; BRANDÃO; BRUNO, 2020).

O aço inoxidável é frequentemente empregado em acabamentos de edifícios, como corrimãos e escadas. A união mecânica ou soldada de tubos de aço inoxidável forma elegantes corrimãos, enquanto grades e chapas são utilizadas em pisos elevados e passarelas (SULEIMAN; BRANDÃO; BRUNO, 2020).

Além da construção civil, as aplicações dos aços inoxidáveis são variadas, destacando-se o atual setor de espaçonaves, exemplificado pela SpaceX, a empresa de fabricação de foguetes fundada por Elon Musk. A SpaceX planeja empregar aços inoxidáveis austeníticos (AISI 301) para revestir a espaçonave. Esse revestimento será composto por placas com um espaço entre elas, preenchido por água. Esse arranjo cria um escudo térmico que se auto resfria (LIMA, 2019). Este exemplo ilustra quão notáveis são as aplicações desses materiais, destacando a importância do estudo de seu processo de conformação.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é explorar em o uso do aço inoxidável na construção civil, examinando suas propriedades, características técnicas e benefícios. Bem como analisar como o aço inoxidável pode ser uma solução sustentável para as demandas crescentes da indústria da construção, levando em consideração não apenas a eficiência estrutural, mas também os aspectos econômicos e ambientais.

### **2.2 Objetivos específicos**

Para alcançar o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as propriedades e especificações do aço inoxidável;
- Sistematizar informações sobre usos e aplicações do material na construção civil;
- Apresentar benefícios do aço inoxidável quanto à vida útil e sustentabilidade.

### 3 JUSTIFICATIVA

A construção civil é um dos setores mais importantes da economia, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento econômico de um país. Ela contribui significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB), correspondendo a 6,9% do PIB brasileiro em 2022, além de empregar 4 milhões de trabalhadores e de impulsionar o crescimento de outras indústrias, como a manufatura e os serviços (ABRAINC, 2023).

A indústria da construção civil é responsável pela criação de infraestruturas essenciais, como habitação, transporte, energia e água, que são fundamentais para o funcionamento de qualquer sociedade. Além disso, a construção civil é um dos maiores consumidores de matérias-primas, incluindo o aço inoxidável.

Nesse contexto, a escolha dos materiais utilizados na construção civil tem um impacto significativo não apenas na qualidade e eficiência das estruturas construídas, mas também na economia como um todo. O uso inteligente do aço inoxidável pode resultar em estruturas mais duráveis e sustentáveis, reduzindo os custos de manutenção e substituição a longo prazo.

A justificativa deste trabalho reside na importância crescente do aço inoxidável na indústria da construção civil. O aço inoxidável é conhecido por suas propriedades únicas que garantem durabilidade, resistência à corrosão e versatilidade em diversas aplicações. No entanto, apesar de sua prevalência, há uma falta de compreensão abrangente sobre suas especificações e aplicações na construção civil.

Além disso, com o aumento da consciência ambiental e a necessidade de práticas de construção sustentáveis, é crucial entender como o uso inteligente do aço inoxidável pode contribuir para a sustentabilidade e aumentar a vida útil das estruturas. Este trabalho busca preencher essa lacuna de conhecimento.

Por fim, este estudo é justificado pela necessidade de explorar não apenas os aspectos técnicos do uso do aço inoxidável, mas também as implicações culturais e ambientais associadas ao seu uso. Acredita-se que os resultados deste estudo possam fornecer insights valiosos para profissionais da indústria da construção civil, pesquisadores e formuladores de políticas.

## 4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Com relação à metodologia adotada, esta pesquisa se fundamentou na análise metódica de dados, informações e análises oriundas de estudos e conhecimentos já existentes sobre o tema em foco. Os procedimentos empregados neste estudo são predominantemente descritivos e exploratórios. A abordagem descritiva teve como propósito retratar as características de um fenômeno específico e estabelecer relações entre variáveis, englobando o uso de técnicas padronizadas para coleta de dados e observação sistemática, conforme delineado por Silva e Menezes (2000).

Por sua vez, a pesquisa exploratória foi conduzida com o intuito de permitir que o pesquisador se familiarizasse com o objeto de estudo durante a investigação, conforme delineado por Lakatos e Marconi (2021). Este trabalho se baseou principalmente em pesquisas de natureza documental e bibliográfica, proporcionando uma base sólida e bem fundamentada para a análise abrangente do uso do aço inoxidável na construção civil.

O procedimento dessa revisão da literatura foi realizado em várias etapas. Primeiro, foram identificados artigos, livros, teses, dissertações e relatórios técnicos relevantes para o tópico de pesquisa. As fontes de pesquisa incluíram bases de dados acadêmicas, bibliotecas digitais e publicações de organizações profissionais e governamentais.

Em seguida, os materiais identificados foram avaliados com base em sua relevância para o tópico de pesquisa. Foram selecionados apenas os materiais que contribuíram significativamente para a compreensão do uso do aço inoxidável na construção civil.

Os materiais selecionados foram então lidos e analisados em detalhes. Foi dada especial atenção às propriedades e especificações do aço inoxidável, suas aplicações na construção civil e seus benefícios em termos de vida útil e sustentabilidade.

Finalmente, as informações coletadas foram organizadas e sintetizadas de forma a responder aos objetivos da pesquisa. Através desta metodologia, este trabalho forneceu uma análise abrangente e aprofundada do uso do aço inoxidável na construção civil.

## 5 AÇO INOXIDÁVEL: PROPRIEDADES E ESPECIFICAÇÕES

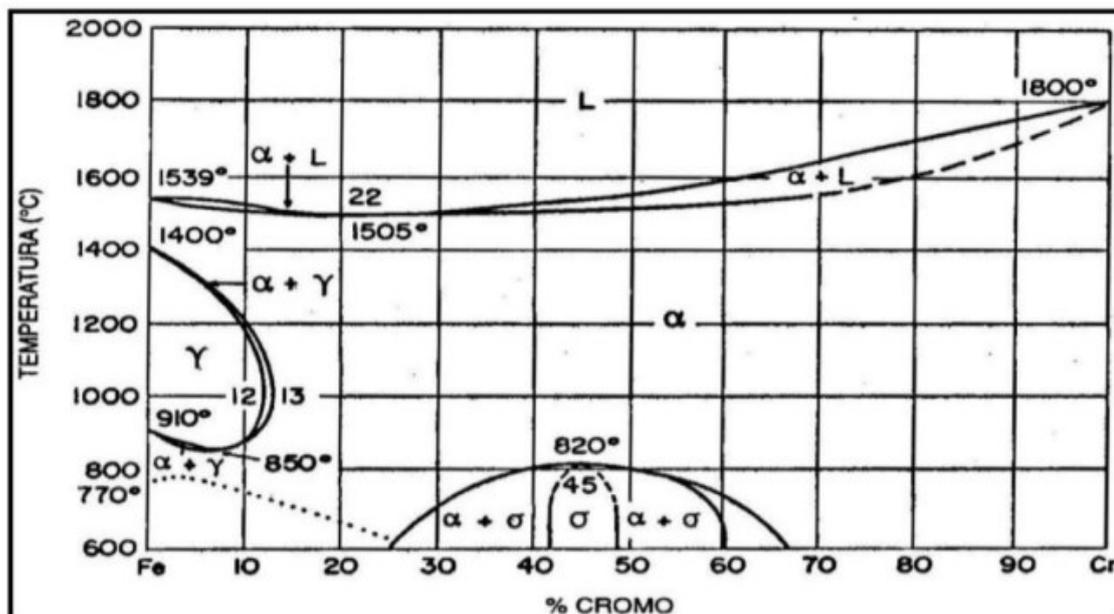
Os aços inoxidáveis são ligas que têm o ferro como componente principal e uma baixa quantidade de carbono, juntamente com pelo menos 10,5% de cromo (Cr) e outros elementos de liga. Ao adicionar esses elementos de forma controlada, algumas propriedades do aço são aprimoradas, como a resistência à corrosão. Esse atributo é devido à formação da chamada camada passiva, um filme fino, contínuo, transparente e não poroso que se forma rapidamente na superfície do aço devido à combinação de oxigênio do ar e cromo presente no material. Essa camada passiva permanece estável, protegendo o aço contra a corrosão (ASM, 1987).

Os aços inoxidáveis são versáteis e têm diversas aplicações devido às suas propriedades mecânicas, metalúrgicas e físicas. Eles são usados em instrumentos cirúrgicos devido à facilidade de limpeza, esterilidade e aparência clara. Além disso, sua resistência a altas temperaturas e corrosão os tornam adequados para uso na indústria (LOUREIRO, 2013).

Essas ligas de aço inoxidável são produzidas com proporções específicas de elementos de liga para garantir resistência à corrosão e à oxidação em altas temperaturas (950°C), graças ao alto teor de cromo (ASM, 1987). Para entender melhor a constituição desses aços, a Figura 1 mostra o diagrama Fe-Cr, que ilustra as fases presentes na microestrutura dos aços inoxidáveis. Além disso, o tamanho, a distribuição, a quantidade e a forma das fases na estrutura do material afetam suas propriedades.

No diagrama de equilíbrio Fe-Cr apresentado na Figura 1, é observável que qualquer combinação de ferro e cromo resulta na formação de uma fase cúbica de corpo centrado, chamada ferrita, durante o processo de solidificação (ASM, 1987).

Figura 1: Diagrama de equilíbrio Fe-Cr



Fonte: ASM (1987)

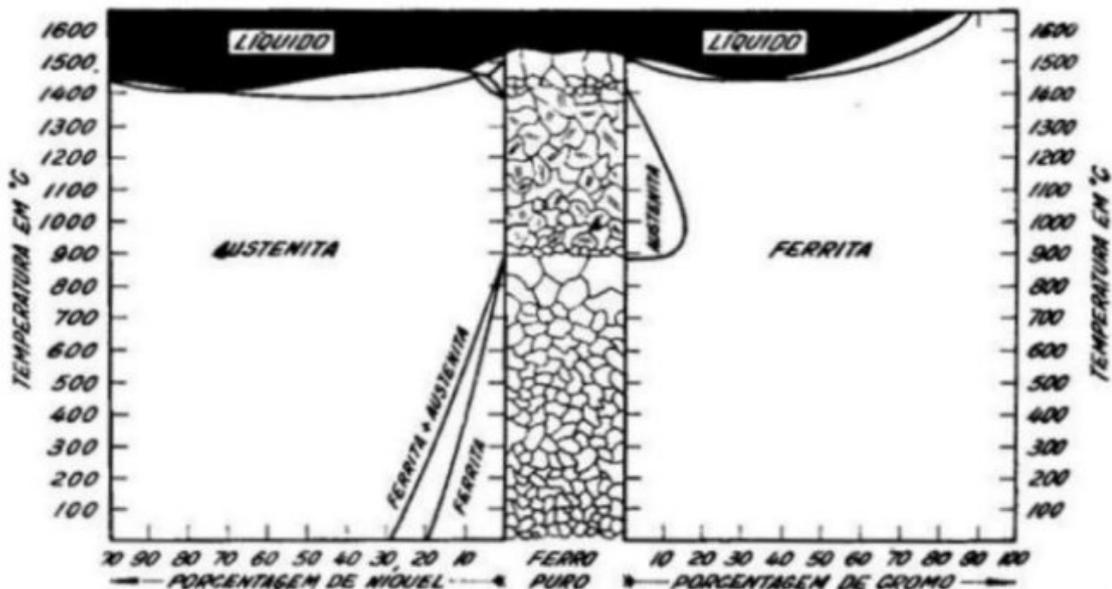
O cromo exerce um efeito significativo sobre a estrutura das ligas Fe-Cr. Ele reduz a faixa de temperatura em que a austenita ( $\gamma$ ) estável, uma fase cúbica de face centrada, pode existir. Esse efeito ocorre porque o cromo é um elemento ferritizante, o que significa que ele estabiliza a fase ferrita, especialmente quando a porcentagem de cromo no sistema Fe-Cr é superior a 12%. A presença de cromo afeta a temperatura de transformação entre as fases ferrita e austenita: normalmente, para o ferro puro, essa transformação ocorre a 910°C. No entanto, à medida que o teor de cromo aumenta, essa temperatura diminui, atingindo um mínimo de 850°C com 8% de Cr. Quando a quantidade de cromo aumenta além desse ponto, a temperatura de transformação ferrita/austenita gradualmente aumenta, chegando a 1000°C para estruturas contendo 13% de Cr (CHIAVERINI, 2005).

Essas zonas em que a austenita estável e a mistura de austenita e ferrita coexistem no sistema Fe-Cr podem se deslocar para teores ainda maiores de cromo quando carbono (C) e nitrogênio (N) estão presentes. Estes últimos são considerados elementos intersticiais austenitizantes e geralmente estão presentes em ligas comerciais (CHIAVERINI, 2005).

O aço inoxidável austenítico, frequentemente chamado de liga Fe-Cr-Ni, contém uma quantidade significativa de níquel (Ni), que estabiliza a fase austenita. A Figura 2 mostra o efeito do níquel e do cromo na transformação alotrópica do ferro. Os diagramas de constituição dos sistemas Fe-Cr e Fe-Ni indicam que qualquer um

desses elementos adicionados interrompe a alotropia do ferro. Quando presentes, tanto o cromo quanto o níquel permitem o desenvolvimento das duas formas alotrópicas do ferro, com o níquel desempenhando um papel mais fundamental nesse processo (CHIAVERINI, 2005).

Figura 2: Comparação dos sistemas Fe-Ni e Fe-Cr sob a influência da transformação alotrópica do Fe



Fonte: Chiaverini (2005)

## 5.1 Classificação dos aços inoxidáveis

A ampla aplicação dos aços inoxidáveis é resultado das variações nos elementos de liga, permitindo ajustes que aumentam ou diminuem propriedades específicas. Por isso, esses materiais são altamente demandados pela indústria, tornando essencial a identificação e classificação precisa de suas composições. Para atender a essa necessidade, foi estabelecido o *Unified Numbering System* (UNS), um sistema de numeração desenvolvido por organizações internacionais de padronização, incluindo a *American Society for Testing and Materials* (ASTM), a *Society of Automotive Engineers* (SAE) e a *American Iron Steel Institute* (AISI), esta última sendo a mais comumente adotada no Brasil (ASM, 1987).

No sistema AISI, as categorias principais dos aços são identificadas por padrões de qualidade, avaliação para produção, composição química e propriedades mecânicas. Muitos aços são designados por três dígitos nas séries 200, 300 ou 400.

Além disso, algumas classificações incluem uma ou duas letras como sufixos, indicando modificações específicas. Embora haja uma associação comum entre famílias microestruturais e partes da série de numeração, existem exceções significativas no sistema (CHIAVERINI, 2005).

A Tabela 1 apresenta alguns exemplos de aços classificados de acordo com o sistema AISI, juntamente com suas respectivas composições químicas.

**Tabela 1: Faixa de composição química de alguns aços inoxidáveis, segundo AISI (% em massa)**

	Tipo	Composição %								
	AISI	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Outros
Austenítico	201	0,15	5,6 - 7,5	0,06	0,03	1,00	16 - 18	3,5 - 5,5	-	N <sub>2</sub> = 0,25
	202	0,15	7,5 - 10	0,06	0,03	1,00	17 - 19	4,0 - 6,0	-	N <sub>2</sub> = 0,25
	205	0,12 - 0,25	14 - 15,5	0,03	0,03	0,50	16,5 - 18	1,0 - 1,75	-	0,32 ≤ N <sub>2</sub> ≤ 0,4
	301	0,15	2,00	0,05	0,03	1,00	16 - 18	6,0 - 8,0	-	N <sub>2</sub> = 0,1
	304	0,08	2,00	0,05	0,03	0,75	18 - 20	8,0 - 10,5	-	-
	304L	0,03	2,00	0,05	0,03	0,75	18 - 20	8,0 - 12,0	-	N <sub>2</sub> = 0,1
	316	0,08	2,00	0,05	0,03	0,75	16 - 18	10,0 - 14,0	2,0 - 3,0	-
	316L	0,03	2,00	0,05	0,05	0,75	16 - 18	10,0 - 14,0	2,0 - 3,0	N <sub>2</sub> = 0,1
Ferrítico	409L	0,03	1,00	0,04	0,02	1,00	10,5 - 11,7	0,50	-	6(C+N <sub>2</sub> ) ≤ Ti ≤ 0,5; Nb = 0,17max
	430	0,12	1,00	0,04	0,03	1,00	16 - 18	0,75	-	-
	436	0,12	1,00	0,04	0,03	1,00	16 - 18	-	0,75 - 1,25	Nb+Ta=5xC min(0,7max)
	439	0,03	1,00	0,04	0,015	1,00	17 - 19	0,50	-	0,2+4(C+N <sub>2</sub> ) ≤ Ti+Nb ≤ 0,75 N <sub>2</sub> = 0,03
	444	0,03	1,00	0,04	0,03	1,00	17,5 - 19,5	1,00	1,75 - 2,00	0,2+4(C+N <sub>2</sub> ) ≤ Ti+Nb ≤ 0,8
	446	0,20	1,50	0,04	0,03	1,00	23 - 27	-	-	-
Martens.	410	0,15	1,00	0,04	0,03	0,50	11,5 - 13	-	-	-
	416	0,15	1,25	0,06	0,15	1,00	12,0 - 14,0	-	0,6 max	-
	420	0,15	1,00	0,04	0,03	1,00	12,0 - 14,0	0,75	0,50	-
	440 A	0,6 - 0,75	1,00	0,04	0,03	1,00	16 - 18	-	0,75 max	-

Fonte: Chiaverini (2005)

Os aços inoxidáveis são agrupados em cinco grandes famílias, dependendo da fase predominante em sua microestrutura, sendo elas detalhadas a seguir.

### 5.1.1 Aços Inoxidáveis Ferríticos

São classificados na série 400 pelo sistema AISI. Estes são ligas de ferro e cromo que, à temperatura ambiente, apresentam uma microestrutura composta principalmente pela fase ferrita ( $\alpha$ ), com uma estrutura cristalográfica cúbica de corpo

centrado (CCC). Estes aços podem ser resfriados a qualquer velocidade. Não são endurecíveis por tratamento térmico, sendo ferromagnéticos, mas sua resistência aumenta através de deformação plástica a frio, já que não são tratados termicamente. Os teores de cromo nesses aços variam de 10,5% a 30%, com pequenas quantidades de níquel e nitrogênio e níveis de carbono inferiores a 0,5%. Essa composição resulta em uma estrutura cristalina predominantemente ferrítica (CHIAVERINI, 2005).

O aço inoxidável ferrítico é conhecido por sua excepcional resistência, sendo capaz de suportar uma ampla gama de condições térmicas. Por exemplo, o tipo 430 é utilizado em componentes para queimadores de óleo e decorações arquitetônicas, resistindo a grandes flutuações de temperatura. Já o tipo 446 oferece resistência em temperaturas ainda mais elevadas (OLIVEIRA, 2013).

Esses aços ferríticos possuem diversas propriedades vantajosas, incluindo resistência à fragilização por hidrogênio, corrosão sob tensão em ambientes contendo cloreto, corrosão atmosférica e oxidação. Além disso, eles são relativamente mais econômicos quando comparados a outras categorias de aços inoxidáveis. Contudo, sua estrutura ferrítica pode levar a problemas metalúrgicos, afetando a resistência à corrosão. Estes problemas incluem a sensitização, precipitação de fases intermetálicas, transição dúctil-frágil, restrições durante o processo de soldagem e fragilização a 475°C devido à formação da fase sigma (Fe-Cr) e ao aumento da dureza (CHIAVERINI, 2005).

### 5.1.2 Aços Inoxidáveis Austeníticos

Os aços inoxidáveis austeníticos são amplamente conhecidos e utilizados, encontrando-se nas séries 200 e 300 do sistema AISI. Sua estrutura cristalina é cúbica de face centrada (CFC), devido à presença da fase austenita  $\gamma$ , que se mantém estável até a temperatura ambiente. Isso é possível graças às altas concentrações de cromo, geralmente entre 15% e 30%, e níquel, com um máximo de 22%. Essas ligas apresentam excelente resistência à corrosão. Na série 300, as ligas comuns têm cerca de 18% de cromo e 8% de níquel em peso, enquanto na série 200, as composições frequentes incluem 15% de cromo e 7% de manganês em peso. Nas ligas da série 300, o níquel desempenha um papel crucial, melhorando significativamente a resistência à corrosão e contribuindo para a formação da camada de óxido protetora.

Por outro lado, nos aços da série 200, o manganês e o nitrogênio podem substituir o níquel (CHIAVERINI, 2005).

Os aços inoxidáveis austeníticos geralmente não endurecem por tratamento térmico e têm uma microestrutura predominantemente austenítica. Eles podem ser conformados a frio para atingir altos valores de limite de escoamento, devido à sua alta capacidade de encruamento e ductilidade (CHIAVERINI, 2005).

Comparados aos aços ferríticos e martensíticos, os aços inoxidáveis austeníticos oferecem maior resistência à corrosão e boa resistência à oxidação, devido aos altos teores de cromo e níquel. Por exemplo, o AISI 310 possui 26% de cromo e 22% de níquel (ROCHA, 2006). Propriedades como resistência à corrosão por pites, susceptibilidade à corrosão intergranular e resistência à oxidação e corrosão podem ser ajustadas pela adição ou redução de elementos, como molibdênio acima de 2%, redução do teor de carbono ou adição de silício (CARBÓ, 2008).

Para evitar a precipitação de carbonetos, os aços inoxidáveis austeníticos passam por tratamentos térmicos de solubilização entre 950°C e 1150°C, seguidos por resfriamento rápido ao ar ou em água (CARBÓ, 2008).

### 5.1.3 Aços Inoxidáveis Martensíticos

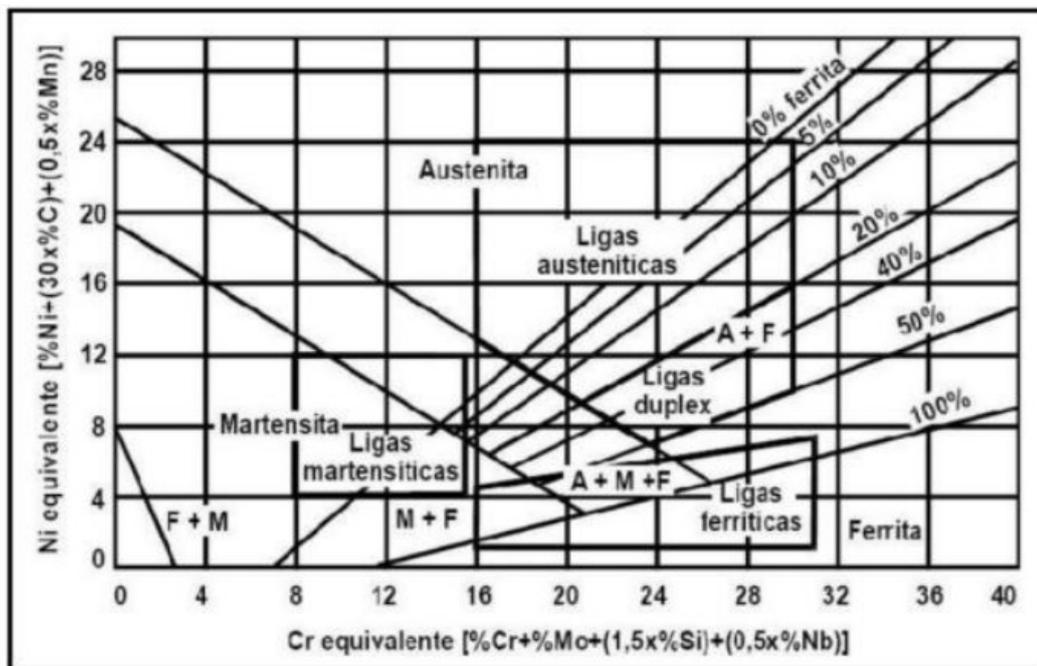
Os Aços Inoxidáveis Martensíticos, classificados como série 400 no sistema AISI, possuem uma estrutura cristalina tetragonal de corpo centrado (TCC). Estes aços contêm entre 11,5% e 18% de cromo e uma quantidade de carbono que varia de 0,1% a 1,2%. Essa composição proporciona alta dureza quando submetida a têmpera, transformando a martensita na principal fase constituinte. Aumentar o teor de carbono aumenta a resistência ao desgaste abrasivo, mas reduz a tenacidade e ductilidade. Esses aços são ferromagnéticos e podem ser facilmente trabalhados a quente ou a frio. Além disso, eles exibem boa resistência à corrosão quando em contato com água e certas substâncias químicas, bem como à exposição ao tempo. É importante notar que esses aços são suscetíveis à fragilização por hidrogênio em ambientes contendo sulfetos (CHIAVERINI, 2005).

Outras categorias de aços inoxidáveis, como os duplex e os endurecidos por precipitação, não serão discutidas aqui.

Devido à diversidade e quantidade de elementos de liga presentes nos aços inoxidáveis, existem várias microestruturas possíveis. Esses elementos de liga podem

ser divididos em dois grupos: aqueles que estabilizam a fase austenita, como níquel, carbono, nitrogênio e manganês, e aqueles que estabilizam a fase ferrita, como cromo, silício, molibdênio, titânio e nióbio. Para facilitar a compreensão, elementos de liga com características semelhantes foram agrupados no cromo equivalente e no níquel equivalente. Um diagrama conhecido como diagrama de Schaeffler foi desenvolvido para relacionar a microestrutura de um aço com sua composição química correspondente (ASM, 1999). A Figura 3 ilustra esse diagrama, que é utilizado para entender as fases presentes em aços inoxidáveis em função de sua composição.

**Figura 3: Diagrama de Schaeffler para aços inoxidáveis**



Fonte: ASM (1999)

Ao examinar o diagrama, é possível identificar três distintas áreas, cada uma exibindo uma fase específica: uma região completamente austenítica, outra ferrítica e uma martensítica. Além disso, é observável a presença de áreas onde duas ou até mesmo três fases coexistem. Em síntese, a interação entre o processamento termomecânico e a composição química confere propriedades variadas aos aços inoxidáveis (SENATORE; FINZETTO; PEREA, 2007).

## 5.2 Efeito dos elementos estabilizantes

As interações entre carbono e nitrogênio em aços inoxidáveis ferríticos são viáveis graças aos elementos que estabilizam suas soluções sólidas. Estes compostos mostram maior estabilidade em comparação com os carbonetos e nitretos de ferro e cromo. Elementos estabilizadores, como nióbio (Nb) e titânio (Ti), desempenham um papel crucial na formação de várias combinações, incluindo NbC, NbN, TiC, TiN, Nb(C,N) e Ti(C,N). Essas combinações melhoram a ductilidade, reduzem a corrosão intergranular e aumentam a resistência ao impacto dos aços inoxidáveis ferríticos (AZEVEDO; FERRARESI; FARIAS, 2009).

A estrutura ferrítica desses aços facilita a movimentação rápida dos átomos, levando a um crescimento de grão acelerado. Em contraste, nos aços austeníticos, a presença de austenita, juntamente com partículas de segunda fase como Nb(CN) ou Ti(CN), eleva a temperatura de recristalização secundária, retardando o crescimento de grão (KNYAZEVA & POHL, 2013).

Os elementos que estabilizam a austenita aumentam significativamente a resistência do material devido ao aumento da quantidade de austenita. Por outro lado, aqueles que estabilizam a ferrita inicialmente reduzem a resistência mecânica do material. Além disso, solutos substitucionais aumentam a temperatura de transição ao impacto (KNYAZEVA & POHL, 2013).

Assim, a otimização das propriedades dos aços inoxidáveis ferríticos depende da combinação adequada de nióbio e titânio com o carbono e o nitrogênio presentes, garantindo a presença suficiente desses elementos em solução sólida (AZEVEDO; FERRARESI; FARIAS, 2009).

## 5.3 Efeito dos elementos intersticiais

Nos aços inoxidáveis ferríticos, a presença de elementos intersticiais, como carbono e nitrogênio, tem um impacto significativo na estabilidade da austenita. Esses elementos expandem o campo de existência da austenita devido à sua natureza gamagênica. Isso resulta em um aumento na solubilidade do cromo nesta fase (MORAIS, 2010).

No entanto, quando a ferrita contém elementos intersticiais de baixa solubilidade, há uma tendência para a formação de precipitados na forma de

carbonetos, nitretos e carbonitretos. Esse fenômeno não é vantajoso, pois leva à fragilização e à susceptibilidade à corrosão intergranular (MARQUES e SANTOS, 2016). Para melhorar as propriedades mecânicas, têm sido desenvolvidos aços com teores mais baixos de nitrogênio e carbono (AZEVEDO; FERRARESI; FARIAS, 2009).

Em aços com alto teor de cromo, forma-se o carboneto  $\text{Cr}_23\text{C}_6$ , que permanece estável em altas temperaturas. Em contrapartida, em aços com baixo teor de cromo, o carboneto estável é o  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ . O nitrogênio se combina para formar o nitreto  $\text{Cr}_2\text{N}$ . Em ambos os casos, tanto os nitretos quanto os carbonetos se dissolvem a partir de 850 graus Celsius, com completa dissolução acima de 1100 graus Celsius (AZEVEDO; FERRARESI; FARIAS, 2009).

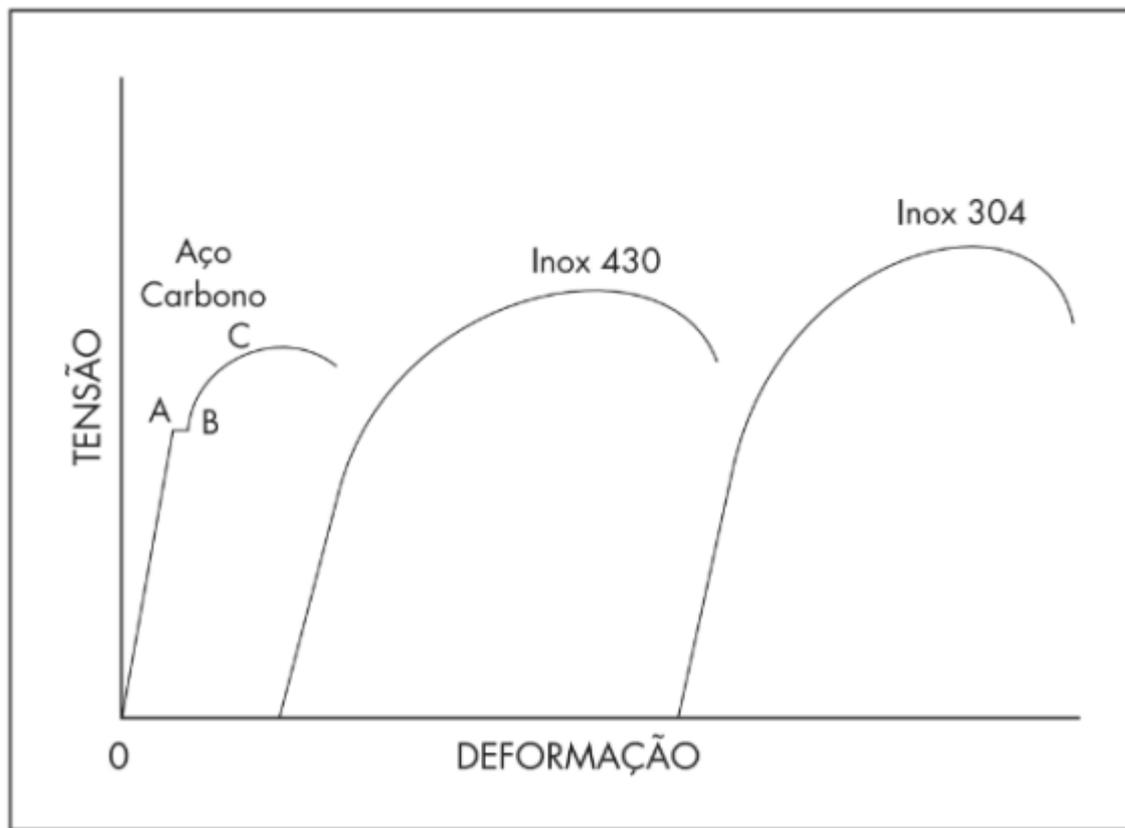
Devido às complexas interações entre esses elementos e suas implicações nas propriedades mecânicas e na resistência à corrosão, novas ligas com teores controlados de carbono e nitrogênio estão sendo desenvolvidas. Estas ligas, conhecidas como aços baixos em intersticiais, possuem uma soma ( $\%C + \%N$ ) inferior a 0,025. Esse desenvolvimento visa aprimorar as características desses aços, considerando suas propriedades mecânicas e resistência à corrosão (SOUZA, 1989).

#### **5.4 Propriedades mecânicas**

Os métodos de moldagem dos aços inoxidáveis são semelhantes aos dos aços carbono, mas são as especificidades associadas ao comportamento estrutural de cada liga metálica que determinam os esforços necessários para definir o processo.

Esse comportamento estrutural é estabelecido por meio das curvas de tensão-deformação, onde uma amostra do material é submetida a uma tensão de tração progressiva até o ponto de sua quebra (MESQUITA e RUGANI, 1997). A Figura 4 abaixo ilustra o comportamento para o aço carbono, aço inoxidável ferrítico e aço inoxidável austenítico, respectivamente.

**Figura 4: Comportamento tensão-deformação para o aço carbono, aço inoxidável ferrítico e aço inoxidável austenítico.**



**Fonte: Mesquita (1997)**

Neste ensaio, são delineados distintos domínios de comportamento dos materiais:

O primeiro domínio é o elástico (O-A), caracterizado por deformações não permanentes; ou seja, quando o esforço é removido, o material retorna às suas dimensões originais. Neste domínio, cada nível de tensão corresponde a uma deformação específica.

No segundo domínio, chamado de plástico (B-C), o material não recupera suas dimensões iniciais após o esforço ser retirado, indicando deformações permanentes. Um ponto crucial no gráfico é a transição (A-B) entre esses dois domínios, marcado pelo Limite de escoamento (LE), onde o material começa a fluir sob deformação sem aumento adicional de tensão.

Finalmente, o ponto C, conhecido como Limite de Resistência (LR), representa o fim do regime plástico. A curva de tensão-deformação varia para diferentes tipos de aço; por exemplo, o LE do aço carbono (1008) é um pouco maior do que o dos aços

inoxidáveis (430 e 304) quando recozidos. No entanto, o LR dos aços inoxidáveis é superior ao dos aços carbono (MESQUITA e RUGANI, 1997).

Uma diferença crucial com impacto nos processos de conformação que envolvem deformações permanentes é evidenciada nos ramos plásticos B-C. Para os aços inoxidáveis, esses ramos são relativamente maiores em comparação com os aços carbono, indicando que os aços inoxidáveis podem suportar deformações significativamente maiores sem falhas nos componentes. Além disso, entre os aços inoxidáveis, os austeníticos (como o 304) possuem uma zona plástica maior do que os ferríticos (como o 430), tornando-os mais adequados para conformações profundas (MESQUITA e RUGANI, 1997).

Em processos de conformação que envolvem corte ou esforços cortantes, a tensão na qual ocorre a ruptura é denominada tensão de cisalhamento. Para aços inoxidáveis, essa tensão é cerca de 65 a 70% do LR, enquanto para os aços carbono, é de aproximadamente 55 a 60% do LR (MESQUITA e RUGANI, 1997).

Outra propriedade relevante é o encruamento, que aumenta a dureza, os limites de escoamento, de resistência e de cisalhamento do material por meio de trabalho mecânico.

## 6 USOS E APLICAÇÕES DO AÇO INOXIDÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

### 6.1 Evolução da siderurgia

O primeiro material siderúrgico empregado na construção foi o ferro fundido. As estruturas construídas como por exemplo, pontes em arco ou treliçadas, trabalhando a compressão são datadas entre os anos de 1720 e 1820 (PFEIL, 2012). No entanto, a dificuldade de produzir em larga escala limitou seu potencial por muito tempo, isto porque os altos fornos eram aquecidos com carvão vegetal, e para produzir 15 toneladas de ferro por exemplo, precisava derrubar aproximadamente 150 m<sup>2</sup> de floresta (PINHEIRO, 2005).

A substituição do carvão vegetal por coque possibilitou a criação de grandes estruturas de ferro fundido com o uso de formas. A primeira ponte em ferro fundido foi a de Coalbrookdale em 1779, sobre o rio Severn na Inglaterra. Trata-se de uma ponte com um vão de 30 metros. Na mesma época, foram feitos os primeiros trilhos de ferro fundido (PINHEIRO, 2005).

O ferro fundido era utilizado em diversos campos da engenharia, na construção civil e para fins decorativos. Além de seu uso na produção de máquinas, o material destacava-se em pontes, canais, aquedutos, ferrovias, entre outros (PINHEIRO, 2005).

Em meados do século XIX substituiu-se o uso do ferro fundido em favor do ferro forjado, que oferecia mais segurança. As obras mais importantes construídas entre 1850 e 1880 foram pontes ferroviárias em treliças. Porém, o grande número de acidentes com esse tipo de obra, acentuou a necessidade de estudos mais aprofundados e melhorias nas características dos materiais (PFEIL, 2012).

O aço já era conhecido desde a antiguidade, porém não estava disponível a preços competitivos no mercado por falta de processo industrial de fabricação. O inglês Henry Bessemer inventou em 1856 um forno que permitiu a produção do aço em larga escala a partir da década de 1860/70. Em 1864, os irmãos Martin desenvolveram um outro tipo de forno de maior capacidade. Desde então, o aço substituiu rapidamente o ferro fundido e o forjado na indústria da construção. O processo Siemens-Martin apareceu em 1867. Por volta de 1880, foram introduzidos os laminadores para barras (PFEIL, 2012).

Com o acelerado desenvolvimento da siderurgia na segunda metade do século XIX, iniciou-se um novo segmento do mercado que foi a alteração do aço em tubos, perfis e estampados. Em 22 de agosto de 1886, dois irmãos Reinhardt e Max, filhos do industrial Mannesmann, produziram seu primeiro tubo sem costura. Este processo de fabricação inovou a indústria de tubos de aços (PEDREIRA, 2015).

Na sua patente de 1886, descreve que o processo consiste em: "uma laminação progressiva de um corpo de aço furado, fixado numa armação adequada, e animado em um movimento que vai e vem que irá transformá-lo, aos poucos, em um tubo". Entre 1886 e 1888, os Mannesmann, construíram quatro fábricas de tubos para atender as necessidades armamentistas, navios de guerra etc. (PEDREIRA, 2015).

No Brasil, por solicitação do governo, em 1952, a usina integrada Barreiro localizada em Belo Horizonte (MG) foi instalada para atender a recém-criada indústria petrolífera brasileira. Apesar da disponibilidade dos tubos sem costura no Brasil, sua aplicação na construção civil era pequena (COELHO, 2017).

Os perfis tubulares podem ser fabricados por laminação a quente ou dobragem a frio, com ou sem costura. No Brasil, a utilização deste tipo de estrutura vem crescendo de forma significativa e se intensificou devido a maior oferta proporcionada pelo início da produção de perfis tubulares sem costura para a construção civil (COELHO, 2017).

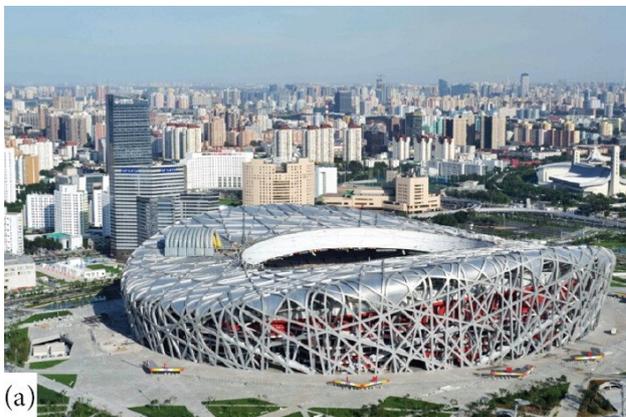
Os tubos sem costura se destacam pela distribuição uniforme de massa ao redor de seu centro e pelos baixos níveis de tensões residuais, características que os diferenciam dos tubos de aço com costura, fabricados no passado a partir de chapas de aço calandradas e soldadas. Os métodos de fabricação e montagem das estruturas tubulares são essencialmente os mesmos usados para as estruturas feitas de perfis de seções abertas convencionais (COELHO, 2017).

A utilização de estruturas metálicas tubulares em projetos de engenharia oferece várias vantagens significativas. Elas permitem grandes vãos livres, reduzindo consideravelmente o número de pilares necessários. Além disso, proporcionam uma construção mais rápida, diminuem os custos de gestão do canteiro de obras e favorecem um planejamento mais preciso, já que a construção segue um sistema de montagem industrial altamente preciso, minimizando desperdícios (FAKURY, *et al.*, 2012).

Comparadas às seções abertas, os tubos têm uma área superficial menor, o que resulta em custos menores para pintura e proteção contra incêndios, facilitando a manutenção e melhorando a segurança. Um benefício adicional é o aspecto visual moderno e arrojado, conferindo um design contemporâneo às estruturas (FAKURY, *et al.*, 2012). Abaixo estão algumas ilustrações de como essas estruturas tubulares são utilizadas na prática.

O Estádio Nacional da China, geralmente conhecido como “Ninho de Pássaro”, foi construído para os Jogos Olímpicos de Pequim em 2008. É um edifício de grande porte que tem sido considerado o símbolo das estruturas espaciais de grande vão na China (SHEN *et al.*, 2013), conforme mostrado na Figura 5. O edifício em planta tem a forma de uma elipse com um diâmetro de 332 metros ao sentido norte-sul e 297 metros no sentido leste-oeste. Toda a estrutura é composta por 24 treliças principais e cada treliça é composta por tubos de aço de seção quadrada de 2 camadas. O tamanho médio da seção do tubo é de 1 m de comprimento lateral e 40 mm de espessura de parede; portanto, toda a estrutura é muito rígida e pesa mais de 40.000 toneladas (SHEN *et al.*, 2013), conforme mostra a Figura 6.

**Figura 5: Estádio Nacional “Ninho do Pássaro” em Pequim China**



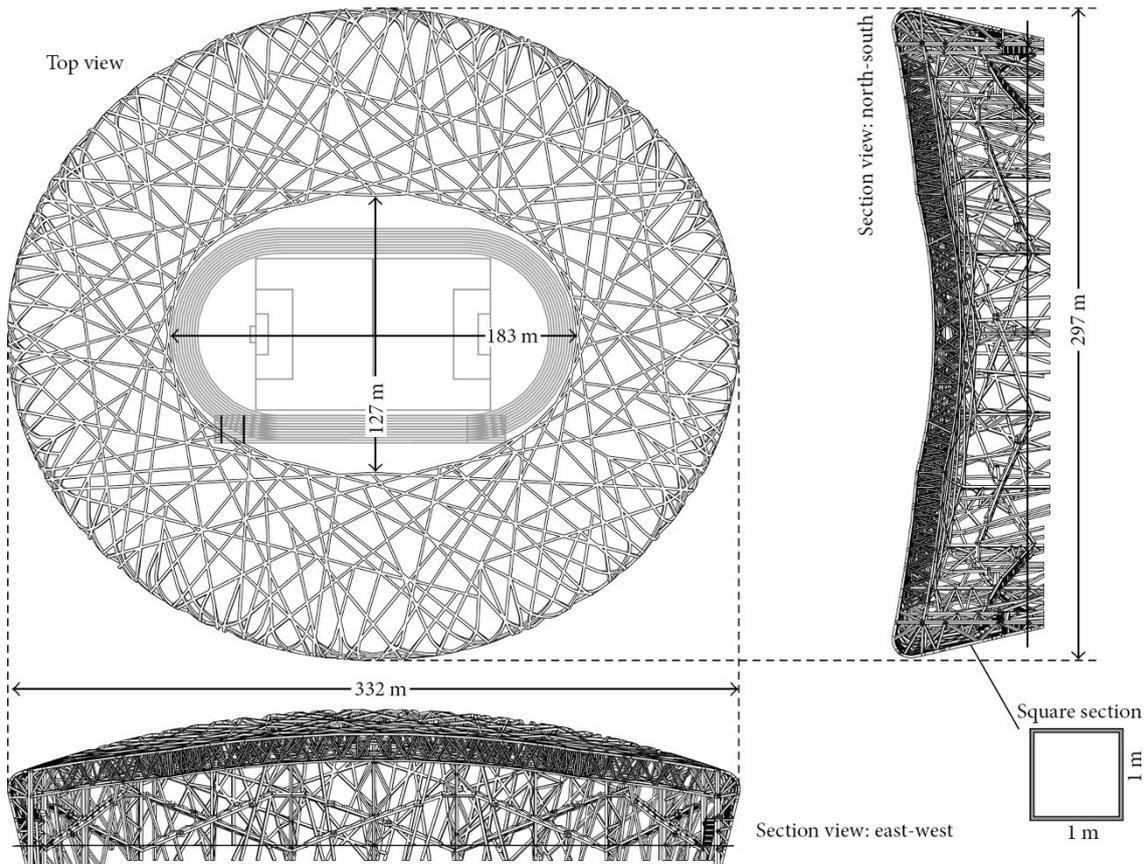
(a)



(b)

**Fonte: Shen *et al.* ( 2013)**

**Figura 6: Vista estrutural do Ninho de Pássaro**



**Fonte: Shen et al. (2013)**

Na Figura 7, é possível observar a passarela que conecta a Estação Cidade Nova do metrô do Rio de Janeiro, com sua estrutura feita de aço. Durante a fase de projeto, houve uma considerável preocupação com o impacto visual da construção da estação na paisagem. Além disso, era essencial criar uma ligação entre os dois lados da avenida. Esta avenida, além de ser larga e ter um tráfego intenso, é uma rota obrigatória para ônibus e carros que entram e saem da cidade, bem como para os carros alegóricos que se dirigem ao Sambódromo (BRASIL, 2013).

Diante desses desafios, os projetistas optaram por uma solução engenhosa: uma passarela suspensa por grandes arcos metálicos. Esta passarela possui dois vãos de 90 metros cada e um terceiro vão de 43 metros sobre o pátio ferroviário. Vale destacar que este projeto inclui o viaduto com o maior vão ferroviário urbano do Brasil, com impressionantes 110 metros de extensão (BRASIL, 2013).

**Figura 7: Passarela da estação Cidade Nova do metrô - RJ**



**Fonte: BRASIL (2013)**

Antes da década de 1980, as utilizações do aço inoxidável na construção limitavam-se a componentes menores, como vigas, grampos de parede, placas de piso e ângulos, além de revestimentos de prestígio. Contudo, nos últimos 30 anos, tem-se observado uma proliferação de diversas aplicações; a seção a seguir apresenta algumas das novas utilizações que surgiram recentemente (COBB, 2010).

## **6.2 Edificações**

No passado, utilizar aço inoxidável para a recuperação de obras de engenharia civil era considerado excessivamente extravagante. Como resultado, seu uso como material estrutural primário tinha limitações significativas. Além dos custos iniciais elevados, a falta de padronização na fabricação de perfis e a ausência de estudos sobre os benefícios do aço inoxidável em projetos estruturais desencorajavam sua aplicação (GARDNER, 2005).

No entanto, nas últimas décadas, arquitetos e engenheiros começaram a reconhecer as vantagens oferecidas pelas propriedades do aço inoxidável, levando a uma ampla adoção na arquitetura e na construção civil. Disponível em diversas formas, o aço inoxidável possibilita criações inovadoras, oferecendo uma ampla variedade de acabamentos, desde fosco até espelhado, e até mesmo opções de cores (DI SCHINO, 2020).

Houve diversos casos de transferência de tecnologias desenvolvidas para aplicações estruturais industriais (como tratamento de água, barreiras/portões contra fluxo de água, suportes de equipamentos, plataformas/escadas e aeroespaciais) para outras áreas industriais. Por exemplo, tecnologias de barras de aço inoxidável de alta resistência desenvolvidas na indústria aeroespacial foram transferidas para a fabricação de cordames de iates e posteriormente utilizadas na parede de cortina de vidro da Pirâmide do Louvre (Figura 8). Isto levou a outros projetos, incluindo paredes de cortina de vidro muito grandes, utilizando hastes tensoras internas ou externas de aço inoxidável, cabos e seções ocas para suportar fachadas de vidro com o mínimo impacto visual. As fixações de vidros de aço inoxidável são normalmente peças fundidas de quatro ou dois pontos, projetadas para conectar o vidro à estrutura de suporte (NÜRNBERGER, 2008; COBB, 2010).

Nos últimos 30 anos, a utilização de aço inoxidável para sistemas de ancoragem de pedra e suporte de alvenaria tem crescido, assim como a utilização generalizada de fixadores e sistemas de amarração de aço inoxidável para todos os tipos de produtos de madeira (COBB, 2010).

Tem havido um crescimento considerável na utilização de aço inoxidável em aplicações não visíveis em edifícios, como canalizações e equipamentos HVAC, particularmente na Escandinávia, Alemanha e Itália. Na Suíça, o grau ferrítico 1.4521 foi recentemente aceito pelo órgão nacional de normalização como um material adequado para encanamentos, além de outros graus austeníticos. Métodos de união eficientes, como encaixe por pressão, ajudam a conter os custos de instalação. A redução dos custos de manutenção ao longo do ciclo de vida pode fazer com que o aço inoxidável seja competitivo com as tubulações de cobre ou mesmo de plástico (BURKERT, 2018).

**Figura 8: Pirâmide do Grande Louvre**



Fonte: Reis (2007)

### **6.3 A infraestrutura**

Nas últimas décadas, projetos consideráveis de infraestrutura e renovação urbana em mercados emergentes como a China e a Índia levaram a muitas aplicações de aço inoxidável. Em aeroportos, estações ferroviárias e rodoviárias e centros comerciais, o aço inoxidável tem sido utilizado em telhados, grades, divisórias, escadas, escadas rolantes e barreiras. Assentos em áreas públicas, equipamentos de playground e outros móveis urbanos também são cada vez mais fabricados em aço inoxidável (RECK *et al.*, 2010).

Embora as grades de aço inoxidável sejam utilizadas há muitos anos, nos últimos 30 anos houve uma ampla percepção de que elas oferecem economia de custos a longo prazo, responsabilidade reduzida e benefícios estéticos (RECK *et al.*, 2010).

A utilização de barras de reforço de aço inoxidável (vergalhões) e produtos associados aumentou significativamente nos últimos anos, embora haja exemplos de utilização muito anterior. Por exemplo, o Píer Progreso, no México, foi construído na década de 1940, utilizando 200 toneladas de vergalhões de aço inoxidável e não apresenta indicações de deterioração (MISTRY *et al.*, 2016).

O vergalhão inoxidável prolonga a vida útil das estruturas de concreto em ambientes corrosivos e diminui a demanda por inspeção e manutenção. Tem sido utilizado em pontes rodoviárias, parques de estacionamento, instalações costeiras e outras estruturas. Além da melhor resistência à corrosão, o reforço de aço inoxidável

austenítico pode ser fornecido na condição não magnética e isso levou ao seu uso em aplicações militares, médicas e científicas (MISTRY *et al.*, 2016).

Em reconhecimento à durabilidade do material, aparência atraente e baixos requisitos de manutenção, foram construídas recentemente uma série de pontes incorporando aço inoxidável nos principais elementos estruturais. O grau 1.4462 foi usado para a passarela da ponte Millennium (Iorque, Reino Unido), a ponte rodoviária Cala Galdana na ilha de Menorca e as torres da ponte Stonecutters em Hong Kong (Figura 9) (KUCHTA, 2013; BACKHOUSE e BADDOO, 2021).

**Figura 9: Ponte Stonecutters, Hong Kong**



**Fonte: Backhouse e Baddoo (2021)**

O grau 1.4362 foi usado para a ponte Padre Arrupe que liga o Museu Guggenheim à Universidade de Deusto em Bilbao e para a passarela Celtic Gateway em Holyhead, Reino Unido. O grau 1.4162 foi usado para a ponte Siena em Ruffolo (BACKHOUSE e BADDOO, 2021).

Recentemente, houve uma atenção especial voltada para a adoção de estruturas tubulares mistas, preenchidas com concreto. Esse método representa uma vantagem significativa em relação às seções abertas, especialmente quando se trata de colunas, pois essas peças comprimidas mistas ganham uma resistência adicional. Além disso, o preenchimento com concreto é um processo simples e atrativo, proporcionando uma excelente proteção contra o fogo.

Atualmente, essa combinação entre materiais tem sido amplamente explorada em vários países, especialmente em regiões propensas a atividades sísmicas, como Japão e China. Essa prática demonstra a constante inovação e busca por soluções estruturais mais seguras e eficientes na engenharia civil.

#### **6.4 Colunas estruturais mistas com aço inoxidável e concreto**

O termo "coluna mista" refere-se a um elemento estrutural composto de aço e concreto, ambos capazes de resistir a cargas de compressão. Existem várias variedades de colunas mistas, sendo as mais comuns aquelas formadas por seções compostas de perfis I e seções tubulares (DABAON; EL-BOGHDADI; HASSANEIN, 2009).

No caso das seções tubulares, os perfis podem ter quatro geometrias diferentes: circular (CHS - Circular Hollow Section), retangular (RHS - Rectangular Hollow Section), quadrada (SHS - Square Hollow Section) e elíptica (EHS - Elliptical Hollow Section) (DABAON; EL-BOGHDADI; HASSANEIN, 2009).

Uma vantagem das colunas mistas é a eliminação da necessidade de usar formas, já que as seções de aço desempenham esse papel. Em alguns casos, o concreto é utilizado para o preenchimento, dispensando o uso de barras de armadura e reduzindo o tempo de construção das estruturas (DABAON; EL-BOGHDADI; HASSANEIN, 2009).

O aço é eficaz para resistir à tensão e aos momentos de flexão, enquanto o concreto constitui um núcleo ideal para suportar cargas de compressão, adiando ou até mesmo evitando instabilidades locais no tubo de aço. O confinamento lateral proporcionado pelo tubo de aço melhora a resistência, a ductilidade e a deformabilidade do concreto. Além disso, o tubo de aço evita a fragmentação do concreto e reduz o acúmulo de reforço nas zonas de ligação (pontos de solda) (DABAON; EL-BOGHDADI; HASSANEIN, 2009).

As seções de aço inoxidável formadas a frio são cada vez mais utilizadas em aplicações arquitetônicas e estruturais, devido à sua resistência à corrosão. Estas ligas de aço inoxidável oferecem alta resistência, durabilidade, facilidade de soldagem, melhor resistência ao fogo, facilidade de manutenção e uma superfície esteticamente atraente (HASSANEIN; KHAROOB; LIANG, 2013).

Apesar do custo elevado, o aço inoxidável está sendo considerado como um material estrutural primário devido aos avanços nas pesquisas, na disponibilidade de materiais e na durabilidade (HAN; REN; LI, 2011). A Figura 10 mostra as chapas usadas na fabricação da coluna central da ponte Stonecutters em Hong Kong, China, onde o aço inoxidável envolve o pilar de concreto, criando um sistema estrutural

robusto (HAN; REN; LI, 2011). No interior desse elemento estrutural, os conectores de cisalhamento garantem a cooperação entre o aço inoxidável e o concreto.

**Figura 10: Ponte Stonecutters – coluna mista em aço inoxidável e concreto**



Fonte: Han; Ren; Li (2011)

A coluna de perfil tubular apresentada neste trabalho possui parede dupla, com o tubo externo (principal) de aço inoxidável e o tubo interno de aço carbono, sendo o espaço entre eles preenchido com concreto, conforme mostrado na Figura 11. Este modelo de coluna visa combinar as vantagens dos três tipos de materiais, incluindo a rigidez à flexão das colunas tipo CFDST (*Concrete Filled Double Skin Tubular*) (HAN; REN; LI, 2011).

**Figura 11: Coluna mista dupla pele**



Fonte: Han; Ren; Li (2011)

Colunas compostas de aço inoxidável preenchidas com concreto (CFSST) têm sido utilizadas em estruturas devido às suas características benéficas, como alta

resistência, alta ductilidade e aparência estética. As colunas CFSST também podem ser projetadas utilizando aço estrutural colocado dentro do concreto preenchido. Assim, colunas compostas de aço inoxidável preenchidas com concreto são fabricadas com um núcleo de aço estrutural interno, um tubo de aço inoxidável externo e concreto preenchendo o espaço entre esses materiais de aço (HAN; XU; TAO, 2019).

As colunas compostas CFSST são desejadas para combinar as vantagens dos três materiais. Essas colunas oferecem resistência ao escoamento local, alta rigidez à flexão, ductilidade e resistência à corrosão. Além disso, concreto reforçado com fibras de aço pode ser utilizado na construção das colunas compostas CFSST para proporcionar ductilidade (HAN; XU; TAO, 2019).

## **7 BENEFÍCIOS DO AÇO INOXIDÁVEL: VIDA ÚTIL E SUSTENTABILIDADE**

A indústria da construção é reconhecida como um setor vitalmente importante porque fabrica os produtos e métodos necessários para estabelecer o nosso estoque físico de instalações e infraestruturas. No contexto atual de esgotamento de recursos, o setor desempenha um papel bastante importante: ele consome a maior quantidade de matérias-primas, consome muita energia e é o maior contribuinte para os resíduos sólidos mundiais. Ele tem, portanto, um impacto significativo, tanto positivo quanto negativo, na sociedade e no meio ambiente (LIMA, 2021).

A sustentabilidade está hoje bastante bem definida... pelo menos conceptualmente. Apesar da ausência de uma definição única e amplamente compartilhada, o uso do termo sustentabilidade no domínio da construção está se espalhando rapidamente. Após seu rápido desenvolvimento ao longo do último século - como progressos notáveis em tecnologias verdes, ciência dos materiais e técnicas de construção - estamos enfrentando uma crescente complexidade na demanda para alcançar a sustentabilidade em toda a cadeia de produção. Em particular, o setor da construção está recebendo cada vez mais atenção nas políticas mundiais de desenvolvimento sustentável (LIMA, 2021).

Esta atenção surge do seu consumo de energia e emissões de gases de efeito estufa. Certamente, no contexto atual de esgotamento de recursos, prédios sustentáveis são frequentemente confundidos com prédios energeticamente eficientes. No entanto, a consciência de que a sustentabilidade - tanto no domínio da construção quanto no setor da construção em geral - precisa considerar diversos aspectos está aumentando. Em todo o mundo, a comunidade científica concorda que é uma função complexa, difícil de otimizar (ROQUE, 2009).

Primeiro, é um conceito multifacetado: reside nas inter-relações entre as dimensões ambientais (ecologia, impactos potenciais, recursos, resíduos, toxicidade, reciclabilidade etc.), sociais (conforto, espaço, abrigo, segurança, respeito, estética, história, cultura, patrimônio etc.) e econômicas (custo, retorno do investimento, durabilidade, longevidade etc.) (ROQUE, 2009).

Segundo, é um conceito dependente do tempo, exigindo uma abordagem de ciclo de vida. Terceiro, é um conceito dependente do espaço: as avaliações atuais estão na maioria das vezes limitadas aos limites físicos do edifício, mas a importância

da interação da construção com seu ambiente circundante está gradualmente sendo reconhecida como uma questão-chave (ROQUE, 2009).

### **7.1 Vantagens do aço inoxidável em relação aos métodos de avaliação ambiental para edifícios**

Nos sistemas de pontuação, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), um sistema de certificação voluntário desenvolvido pelo U.S. Green Building Council ([usgbc.org](http://usgbc.org)) desde a década de 90, composto por escalas de pontos usadas para avaliar se os edifícios (comerciais e residenciais) são projetados e construídos seguindo certos critérios ambientais (economia de energia, eficiência de água, redução de emissões de CO<sub>2</sub>, etc.), o desempenho energético dos edifícios (uso de energia operacional) e as emissões associadas são os fatores mais ponderados (FARLIE, 2023).

O revestimento e telhados de aço inoxidável desempenham papéis importantes nessa categoria: resistência à corrosão, resultando em vida útil mais longa, baixa manutenção e alta proteção contra vazamentos de ar ou infiltrações e perdas de calor. Outra vantagem importante do uso de aço inoxidável em relação ao LEED é seu alto teor de material reciclado e taxa de recuperação, bem como a possibilidade de reutilização do material em caso de renovação (FARLIE, 2023).

No entanto, alguns problemas foram destacados por Houska (2008), como o fato de o LEED não atribuir pontos à longevidade do material e não ser possível obter mais pontos quando se oferece uma vida útil mais longa. O mesmo autor menciona que uma parte do sistema de pontuação pode favorecer o uso de aço inoxidável em edifícios: o efeito de ilha de calor, que se refere ao aumento da temperatura durante o verão em áreas urbanas. Sistemas de telhados frescos e painéis de parede com alta refletância solar e baixa emissividade podem reduzir os custos de ar-condicionado. O autor destaca que os acabamentos em aço inoxidável não estão incluídos em bancos de dados públicos que fornecem essas propriedades físicas.

No estudo de Cochrane (2000), são fornecidas descrições dos acabamentos padrão de fábrica e acabamentos de superfícies tratadas mecanicamente indicadas na norma EN10088-2. Para determinar o efeito combinado da refletância e emissividade na temperatura da superfície, é utilizado o índice de refletância solar (SRI), que varia de 100 (para uma superfície branca padrão) a zero (para uma

superfície preta padrão). Quanto maior o SRI, mais fria permanece a superfície. A emissividade, também conhecida como emissividade de uma superfície, é uma medida da capacidade da superfície de emitir calor; varia de 0 a 1. A maioria dos materiais opacos não metálicos encontrados no ambiente construído (como concreto, alvenaria e madeira) possui uma emissividade entre 0,85 e 0,95.

A emissividade do aço inoxidável varia de 0,85 a menos de 0,1 (aço inoxidável altamente polido), dependendo do acabamento da superfície. Além disso, superfícies metálicas lisas e brilhantes serão caracterizadas por reflexão direcional da luz (baixa rugosidade, baixa dispersão). Para o aço inoxidável, um acabamento espelhado corresponderá a uma alta refletividade, um acabamento laminado fosco corresponderá a uma refletividade intermediária e um acabamento texturizado corresponderá a uma baixa refletividade. Portanto, é possível recomendar o acabamento, dependendo da aplicação, para controlar o SRI (QIAN; YUEYAN; ZHIQIANG, 1996).

## **7.2 Vantagens estruturais do aço inoxidável**

Nos últimos anos, houve um aumento na utilização de tipos de aço inoxidável devido à sua resistência à corrosão em estruturas. Em ambientes agressivos (estruturas próximas ao mar, pontes cruzando vias navegáveis ou piscinas), o aço inoxidável é ocasionalmente escolhido como alternativa. Um exemplo disso é o uso de armaduras de aço inoxidável em pontes de concreto que cruzam o mar. Existe uma literatura abundante para a escolha do grau apropriado em tais ambientes (VAL e STEWART, 2003).

Em ambientes ricos em cloreto, elementos sob carga geralmente não podem ser mantidos regularmente, como é o caso de tetos suspensos acima de piscinas. Nesse caso, graus de aço inoxidável, como super austenítico 1.4529, 1.4547 e 1.4565, podem ser usados com vantagem. A menos que a concentração de íons de cloreto na água seja superior a 250 mg/l, caso em que o grau 1.4539 também é adequado (VAL e STEWART, 2003).

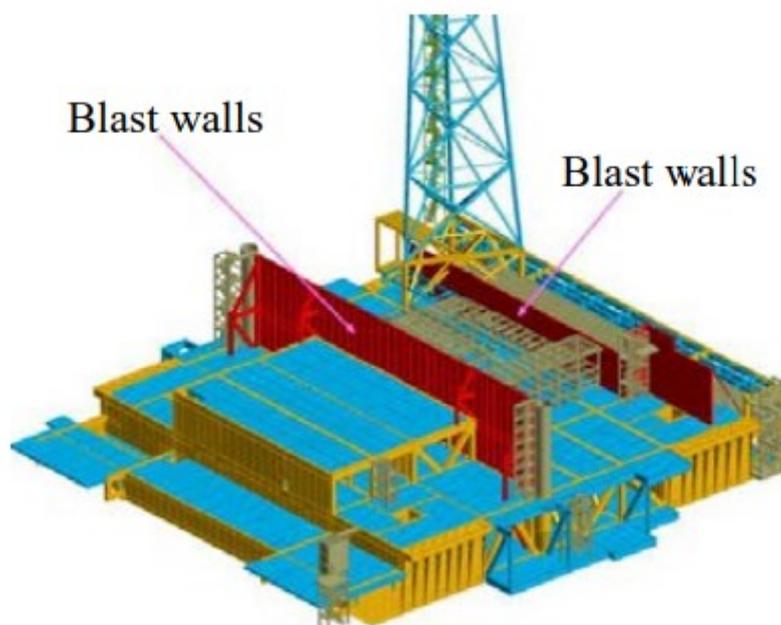
Existem exemplos ainda limitados de aço inoxidável usado na construção devido às suas propriedades mecânicas (como maior resistência ou maior ductilidade), especialmente por causa do preço (percebido) mais alto do aço inoxidável em comparação com o aço carbono equivalente. No entanto, o uso de aço

inoxidável por suas propriedades mecânicas combinadas com boa resistência à corrosão pode ser mencionado, especialmente em pontes, onde é geralmente escolhido por sua durabilidade combinada com alta ductilidade e resistência (WANG *et al.*, 2018).

Aplicações recentes introduziram novos aços duplex magros (de baixa liga), caracterizados por resistência comparável aos graus duplex e boa resistência à corrosão a um custo mais baixo. Vale ressaltar que uma análise do custo do ciclo de vida geralmente é realizada (implicitamente ou em detalhes) para avaliar a relevância do uso de aço inoxidável nessas circunstâncias. A maior ductilidade ou resistência ao fogo superior do aço inoxidável também são temas de pesquisas: comportamento de conexões de aço inoxidável, seções estruturais expostas ao fogo, barreiras de explosão em aço inoxidável, etc. (TAO e GHANNAM, 2013; CAI e YOUNG, 2014; SYED; MOHAMED; RAHMAN, 2016).

No que diz respeito à proteção contra explosões em módulos offshore, as barreiras de explosão (*Blast walls* – Figura 12) são frequentemente feitas de chapas de aço inoxidável corrugado. Especificamente, os graus 1.4401 e 1.4362 de aço inoxidável são usados devido à sua resistência à corrosão e outras propriedades benéficas (SYED; MOHAMED; RAHMAN, 2016).

**Figura 12: Parte superior da plataforma offshore com barreira de explosão**



**Fonte: Syed; Mohamed; Rahman (2016)**

Em resumo, as características estruturais do aço inoxidável são:

- Resistência aprimorada, especialmente para a família duplex, resultando em estruturas mais leves;
- Resistência à corrosão, reduzindo a necessidade de manutenção ou substituição no futuro;
- Retenção superior de resistência e rigidez em altas temperaturas;
- Boa tenacidade em baixas temperaturas.

### **7.3 Aço inoxidável e sustentabilidade**

Para adentrar nesse tópico que debaterá os possíveis benefícios ambientais do aço inoxidável, é importante a definição prévia de sustentabilidade. Sustentabilidade é um conceito relacionado ao desenvolvimento sustentável, ou seja, é formado por um conjunto de ideias, estratégias e demais atitudes ecologicamente corretas, economicamente viáveis, socialmente justas e culturalmente diversas (NETO e CÂNDIDO, 2020).

Em termos práticos, sustentabilidade significa suprir as necessidades do presente sem afetar as gerações futuras. O conceito de sustentabilidade tem três pilares: econômico, ambiental e social (NETO e CÂNDIDO, 2020).

- Econômico: Relacionado com a produção, distribuição e consumo de bens e serviços. A economia deve considerar a questão social e ambiental;
- Ambiental: Refere-se aos recursos naturais do planeta e a forma como são utilizados pela sociedade, comunidades ou empresas;
- Social: Engloba as pessoas e suas condições de vida, como educação, saúde, violência, lazer, dentre outros aspectos.

Portanto, a sustentabilidade serve como alternativa para garantir a sobrevivência dos recursos naturais do planeta, ao mesmo tempo que permite aos seres humanos e sociedades soluções ecológicas de desenvolvimento (NETO e CÂNDIDO, 2020).

### 7.1.1 Aços Inoxidáveis e CO<sub>2</sub>: Emissões da Indústria

Neste relatório analisado, a Worldstainless (2023) esclarece quais emissões existem e de onde provêm. Para alcançar esses objetivos, quantificamos as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes das seguintes três fontes.

- Emissões do Escopo 1: que cobrem emissões diretas de fontes de emissões de propriedade ou controladas pela empresa.
- Emissões do Escopo 2: que cobrem emissões indiretas da geração de eletricidade, vapor, aquecimento e refrigeração comprados e consumidos pela empresa que reporta.
- Emissões do Escopo 3: que estão associadas à extração, preparação e transporte de minérios e à produção subsequente e transporte de ferro ligas, incluindo a eletricidade necessária para esses processos.

Essas três fontes descritas acima nos permitem oferecer uma visão do berço ao portão das emissões de CO<sub>2</sub> da indústria de aço inoxidável.

Nas emissões de Escopo 1, a média atual em 2023 dos produtores de sucata é de 0,38 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de aço inoxidável produzida. 80 % dos resultados do produtor situam-se (normalmente distribuídos) na faixa de 0,20 a 0,60 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de aço inoxidável produzido. Em 2012, o valor médio foi de 0,43 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de aço inoxidável produzido (WORLDSTAINLESS, 2023)

Nas emissões do Escopo 2 a média atual de emissões de CO<sub>2</sub> por tonelada de aço inoxidável produzida para produtores que utilizam sucata é de 0,45 toneladas de CO<sub>2</sub>. 93% dos resultados dos produtores estão dentro da faixa de 0,30 a 0,60 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de aço inoxidável produzida (distribuídas normalmente). Em 2012, a média era de 0,53 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de aço inoxidável produzida (WORLDSTAINLESS, 2023)

As emissões do Escopo 3 não podem ser definidas da mesma maneira. Sabemos que há uma relação linear entre a quantidade de conteúdo reciclado (aço inoxidável reciclado e aço de baixa liga reciclado) utilizado e a magnitude das emissões do Escopo 3. Quanto maior o conteúdo reciclado, menores são as emissões do Escopo 3 (WORLDSTAINLESS, 2023).

Além disso, os dados disponíveis cobrem apenas o conteúdo reciclado (também conhecido como a mistura de sucata) entre 40% e 90% de sucata. A faixa

mais comum de conteúdo reciclado está entre 50% e 85% de sucata, resultando nos seguintes níveis de emissões do Escopo 3 (WORLDSTAINLESS, 2023):

- 50% de sucata: 2,45 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de aço inoxidável produzida
- 75% de sucata: 1,59 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de aço inoxidável produzida
- 85% de sucata: 1,25 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de aço inoxidável produzida

Usando um conteúdo reciclado de 75% como ponto de referência razoável para a produção baseada em sucata, torna-se evidente que as emissões do Escopo 3 representam 66% das emissões totais de produção de berço a portão para aços inoxidáveis (WORLDSTAINLESS, 2023).

A relação linear não continua abaixo de um conteúdo reciclado de 40% porque essa representa a região onde a produção baseada em NPI (Minério de Ferro com Alto Forno) se torna mais comum. A produção de NPI atualmente gera emissões na faixa média (designada por fonte geográfica) de 60 a 85 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de Níquel produzido. Isso significa que se o NPI for usado para fazer um aço inoxidável contendo 8% de Níquel, o aumento nas emissões do Escopo 3 (em comparação com uma mistura de 40% de sucata) associado a essa rota será tipicamente entre 4,0 e 6,0 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de aço inoxidável produzida (WORLDSTAINLESS, 2023).

### 7.1.2 Reciclagem de Aço Inoxidável

Minimizar a mineração (produção primária) e maximizar a reciclagem (produção secundária) são princípios fundamentais da gestão sustentável de recursos. Como resultado, há um interesse crescente em quantificar o ciclo de vida dos aços inoxidáveis e suas eficiências desde a produção até a fabricação, manufatura, uso, reciclagem e, em alguns casos, disposição. Em 2019, a produção global de aço inoxidável em fundições foi de 52,2 milhões de toneladas. O uso em fabricação foi estimado em 43 milhões de toneladas (WORLDSTAINLESS, 2019).

A reciclagem é altamente benéfica, tanto economicamente quanto ambientalmente. O alto valor da sucata de aço inoxidável torna seu recolhimento e separação valiosos, sendo essa a razão para sua alta taxa de reciclagem. Reutilizar

seus valiosos elementos de liga reduz custos, a depleção de recursos, impactos ambientais e o uso de energia. A alta taxa de reciclagem no final da vida útil indica o quão eficientemente o aço inoxidável é reciclado a partir de produtos no fim de sua vida útil. Em princípio, e desde que o design do produto e as tecnologias de reciclagem permitam, os aços inoxidáveis podem ser reciclados infinitamente. A sucata é uma matéria-prima secundária proveniente dos processos de fabricação dos produtos, bem como dos produtos acabados no final de sua vida útil (WORLDSTAINLESS, 2019).

Dados globais apontam que em 2019, 95% do aço inoxidável é reciclado no fim de sua vida útil. Desses, 70% são utilizados para fazer novos materiais de aço inoxidável e 25% são usados para fazer outros aços carbono e aços especiais (WORLDSTAINLESS, 2019).

### 7.1.3 Construção Leve

O aço inoxidável duplex possui uma relação alta de resistência-peso, o que permite atender às restrições especificadas de carga com uma estrutura mais leve e fina, muitas vezes com uma aparência melhor do que uma alternativa volumosa de concreto. Ele também reduz os efeitos de inércia induzidos por eventos sísmicos. Vãos maiores são possíveis, eliminando a necessidade de construir suportes no meio de uma estrada ou rio, simplificando a construção e reduzindo a necessidade de um ambiente de trabalho perigoso. Isso também reduz o impacto ambiental nos rios, além de eliminar um perigo para os barcos. Uma construção mais leve reduz as fundações necessárias, diminuindo os tempos de construção e minimizando a perturbação do solo, reduzindo assim os custos de escavação, transporte e descarte. Isso é especialmente útil quando a ponte está em terreno macio, como um estuário de rio (BADDOO e KOSMAČ, 2010).

A redução de peso diminuirá as emissões de CO<sub>2</sub> e o uso de energia, tanto diretamente devido a menos materiais utilizados quanto indiretamente devido aos menores custos de transporte (BADDOO e KOSMAČ, 2010).

## 8 CONCLUSÃO

Neste trabalho, exploramos o uso do aço inoxidável na construção civil, cumprindo nosso objetivo geral de examinar suas propriedades, características técnicas e benefícios. Através da análise efetuada, identificamos as notáveis propriedades deste material, incluindo sua durabilidade excepcional e resistência à corrosão, que o tornam uma escolha ideal para uma variedade de aplicações na construção.

Ao sistematizar informações sobre os usos específicos do aço inoxidável na indústria da construção, demonstramos sua versatilidade em diferentes contextos construtivos. Desde estruturas arquitetônicas até aplicações em ambientes agressivos, este material se destaca pela sua adaptabilidade e desempenho consistente.

Além disso, evidenciamos os benefícios ambientais e econômicos do aço inoxidável. Sua longa vida útil não apenas reduz os custos de manutenção a longo prazo, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental, minimizando a geração de resíduos e promovendo a conservação de recursos naturais. Em um cenário onde a sustentabilidade é fundamental, o aço inoxidável emerge como uma solução ambientalmente consciente para as demandas crescentes da indústria da construção.

Considerando as informações apresentadas neste estudo, recomendamos enfaticamente que profissionais da construção civil considerem o aço inoxidável como uma opção prioritária em seus projetos. Sua eficiência estrutural, durabilidade e benefícios ambientais não apenas aprimoram a qualidade das construções, mas também contribuem para um futuro mais sustentável para o nosso planeta.

Este trabalho não é apenas uma reflexão sobre as capacidades do aço inoxidável na construção civil, mas pretende também ser uma motivação para futuras pesquisas. Encorajamos estudos adicionais para explorar ainda mais as inovações nesta área, buscando maneiras de aprimorar as propriedades do aço inoxidável e expandir suas aplicações, garantindo assim um avanço contínuo na indústria da construção.

Em última análise, este estudo reforça a posição do aço inoxidável como um material não apenas robusto, mas também eco consciente, indicando claramente que

ele não é apenas parte do presente da construção civil, mas também uma parte vital do seu futuro sustentável.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INCORPORADORAS IMOBILIÁRIAS (ABRAINCO). **PIB da Construção tem alta de 6,9% em 2022 e puxa crescimento da economia. 2023**. Disponível em: <https://www.abrainco.org.br/construcao-civil/2023/03/02/pib-da-construcao-tem-alta-de-69-em-2022-e-puxa-crescimento-da-economia>. Acesso em: 20 de Setembro de 2023.

ASM, METALS HANDBOOK (ed.) **Corrosion**. 9. Ed. Materials Park, Ohio, 1987.

ASM, Specialty Handbook. **Stainless Steels**. First printing, J.R. Davis, Ohio pp. 3-12, Dec.1999.

AZEVEDO, A. G. L.; FERRARESI, V. A.; FARIAS, J. P. Soldagem de um aço inoxidável ferrítico com o processo A-TIG. **Soldagem e Inspeção**, v. 14, p. 2-9, 2009.

BACKHOUSE, A.; BADDOO, N. Recent developments of stainless steels in structural applications. **Ce/papers**, v. 4, n. 2-4, p. 2349-2355, 2021.

BADDOO, N.R.; KOSMAČ, A. Sustainable Duplex Stainless Steel Bridges. **The Steel Construction Institute**, Ascot, United Kingdom; Euro Inox, Brussels, Belgium. 2010.

BRASIL, D. R. **Análise de ligações tubulares T com reforço de chapa**. 2013. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. 2013.

BURKERT, A.; *et al.* Long-term corrosion behaviour of stainless steels in marine atmosphere. **Materials and Corrosion**, v. 69, n. 1, p. 20-28, 2018.

CAI, Y.; YOUNG, B. Structural behavior of cold-formed stainless steel bolted connections. **Thin-Walled Structures**, v. 83, p. 147-156, 2014.

CARBÓ, H. M. **Aços Inoxidáveis: aplicações e especificações**. São Paulo: ArcelorMittal Brasil, v. 29, 2008.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 7. Ed. São Paulo: Editora Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais–ABM, 2005.

COBB, H. M. **The history of stainless steel**. ASM International, 2010.

COCHRANE, D.. **Guide to stainless steel finishes**. Euro Inox, 2000.

COELHO, M. C. N.; *et al.* Regiões econômicas mínero-metalúrgicas e os riscos de desastres ambientais das barragens de rejeito no Brasil. **Revista da ANPEGE**, v. 13, n. 20, p. 83-108, 2017.

DABAON, M. A.; EL-BOGHDADI, M. H.; HASSANEIN, M. F. Experimental investigation on concrete-filled stainless steel stiffened tubular stub columns. **Engineering Structures**, v. 31, n. 2, p. 300-307, 2009.

DI SCHINO, A. Manufacturing and applications of stainless steels. **Metals**, v. 10, n. 3, p. 327, 2020.

FAKURY, R. H. *et al.* Sobre a Recente Norma Brasileira de Projeto de Estruturas de Aço e Estruturas Mistas de Aço e Concreto com Perfis Tubulares. In: **Congresso Latino-Americano de Construção Metálica**. 2012.

FARLIE, F.; *et al.* Sustainability in the IVF laboratory: recommendations of an expert panel. **Reproductive BioMedicine Online**, p. 103600, 2023.

FREITAS, A. M. S; CRASTO, R. C. M. **Steel Framing**: Arquitetura. Ed. Instituto Brasileiro de Siderurgia – Centro Brasileiro da Construção em Aço (IBS-CBCA). Rio de Janeiro, 2006.

GARDNER, L. The use of stainless steel in structures. **Progress in Structural Engineering and Materials**, v. 7, n. 2, p. 45-55, 2005.

GEDGE, Graham. Structural uses of stainless steel—buildings and civil engineering. **Journal of constructional steel research**, v. 64, n. 11, p. 1194-1198, 2008.

GOMES, B. F.; ODAGUIRI, G. O; DE OLIVEIRA, V. T. Estudo da utilização de estruturas metálicas na construção civil. **Episteme Transversalis**, v. 9, n. 1, 2018.

HAN, L. H.; REN, Q. X; LI, W. Tests on stub stainless steel–concrete–carbon steel double-skin tubular (DST) columns. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 67, n. 3, p. 437-452, 2011.

HAN, L. H.; XU, C. Y.; TAO, Z. Performance of concrete filled stainless steel tubular (CFSST) columns and joints: Summary of recent research. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 152, p. 117-131, 2019.

HASSANEIN, M. F.; KHAROOB, O. F.; LIANG, Q. Q. Behaviour of circular concrete-filled lean duplex stainless steel–carbon steel tubular short columns. **Engineering Structures**, v. 56, p. 83-94, 2013.

HOUSKA, C. Stainless steel's sustainable advantage in architecture. In: **Proceedings of the 6th European Stainless Steel Conference**. 2008.

IMIANOWSKY, G. W.; WALENDOWSKY, M. A. **Os principais aços carbono utilizados na construção civil**. Conselho regional de engenharia e arquitetura de Santa Catarina, Santa Catarina, p. 2-21, 2017.

KUCHTA, K. *et al.* Application of stainless steels in building structures. **Czasopismo Techniczne**, v. 2013, n. Budownictwo Zeszyt 3-B (9) 2013, p. 19-42, 2013.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico**. Ed. 09, São Paulo, Atlas, 2021.

LIMA, L. *et al.* Sustainability in the construction industry: A systematic review of the literature. **Journal of Cleaner Production**, v. 289, p. 125730, 2021.

LOUREIRO, D. L. F. A diversidade do aço inoxidável na construção civil. **Revista Obras Civis**, v. 5, n. 1, p. 77-84, 2013.

MARQUES, I. J.; SANTOS, T. F. A. **Cinética de precipitação de Fases intermetálicas deletérias em Aços Inoxidáveis Duplex UNS S32205**. In: 22o

CBECIMAT-CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS. 2016. p. 304-078.

MESQUITA, E. L. A.; RUGANI, L. A. Estampagem dos aços inoxidáveis. **Apostila da empresa Acesita SA associada ausinor**, 1997.

MISTRY, M.; KOFFLER, C.; WONG, S. LCA and LCC of the world's longest pier: a case study on nickel-containing stainless steel rebar. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, p. 1637-1644, 2016.

KNYAZEVA, M.; POHL, M. Duplex steels: part I: genesis, formation, structure. **Metallography, Microstructure, and Analysis**, v. 2, p. 113-121, 2013.

MORAIS, V. L. **Estudo comparativo da deformação a frio e da resistência à corrosão nos aços inoxidáveis austeníticos AISI 201 e AISI 304**. 2010. 144f. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica de São Paulo (Engenharia Metalúrgica e de Materiais). 2010.

NETO, F. P.; CÂNDIDO, G. A. Sustentabilidade corporativa: definição de indicadores para organizações do setor energético. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, v. 19, n. 2, p. 104-126, 2020.

NÜRNBERGER, U.; WU, Y. Stainless steel in concrete structures and in the fastening technique. **Materials and corrosion**, v. 59, n. 2, p. 144-158, 2008.

OLIVEIRA, C. A. **Torneamento do aço inoxidável super duplex UNS S32750 e influência na resistência à corrosão**. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado, Unicamp, Campinas, Brasil. 2013.

PEDREIRA, L. B. **Avaliação de ligações tubulares tipo T entre CHS com Reforço Tipo Chapa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PEREIRA, L. L.; AZEVEDO, B. F. O impacto da pandemia na construção civil. **Boletim do Gerenciamento**, v. 20, n. 20, p. 71-80, 2020.

PFEIL, W. **Estruturas de Aço–Dimensionamento de Acordo com a NBR8800-8ª**. Edição–Grupo Editorial Nacional-Rio de Janeiro, 2012.

PINHEIRO, A. C. F. B. **Estruturas metálicas: cálculo, detalhes, exercícios e projetos**. Editora Blucher, 2005.

QIAN, J.; YUEYAN, S.; ZHIQIANG, Y. Studies on the emittance of stainless steel surface. **Renewable energy**, v. 8, n. 1-4, p. 555-558, 1996.

RECK, B. K; *et al.* Global stainless steel cycle exemplifies China's rise to metal dominance. **Environmental Science e Technology**, v. 44, n. 10, p. 3940-3946, 2010.

REIS, A. **A Pirâmide Moderna do Le Grand Louvre e o Museu Clássico do Louvre**. ANAIS DO III SEMINÁRIO PROJETAR. Porto Alegre. 2007.

ROCHA, M. R. **Estudo da conformabilidade dos aços inoxidáveis austeníticos 304N e 304H e suas correlações com as microestruturas obtidas**. 2006. Tese

(doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. 2006.

ROQUE, R. A. L.; PIERRI, A. C. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. **Research, society and development**, v. 8, n. 2, p. e3482703-e3482703, 2019.

SENATORE, M.; FINZETTO, L.; PEREA, E. Estudo comparativo entre os aços inoxidáveis dúplex e os inoxidáveis AISI 304L/316L. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 60, p. 175-181, 2007.

SHEN, Y.; *et al.* Development of a multitype wireless sensor network for the large-scale structure of the national stadium in China. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 9, n. 12, p. 709724, 2013.

SILVA, E. L., MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SOUZA, S. A. **Composição química dos aços**. Editora Blucher, 1989.

SULEIMAN, G.; BRANDÃO, R. A. P.; BRUNO, L. E. R. Aplicação do aço inoxidável na construção civil. **Anais do Salão Internacional de Ensino**, Pesquisa e Extensão, v. 7, n. 2. 2020.

SYED, Z. I.; MOHAMED, O. A.; RAHMAN, S. A. Non-linear finite element analysis of offshore stainless steel blast wall under high impulsive pressure loads. **Procedia Engineering**, v. 145, p. 1275-1282, 2016.

TAO, Z.; GHANNAM, M. Heat transfer in concrete-filled carbon and stainless steel tubes exposed to fire. **Fire Safety Journal**, v. 61, p. 1-11, 2013.

VAL, D. V.; STEWART, M. G. Life-cycle cost analysis of reinforced concrete structures in marine environments. **Structural safety**, v. 25, n. 4, p. 343-362, 2003.

WANG, Y. M.; *et al.* Additively manufactured hierarchical stainless steels with high strength and ductility. **Nature materials**, v. 17, n. 1, p. 63-71, 2018.

WORLDSTAINLESS. **Stainless steel CO2 emissions report**. Team Stainless, 2023. Disponível em: [https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/worldstainless\\_CO2\\_Emissions\\_Report.pdf#page=7](https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/worldstainless_CO2_Emissions_Report.pdf#page=7). Acesso em: 25 de Outubro de 2023.

WORLDSTAINLESS. **The Global Life Cycle of Stainless Steels**. Team Stainless, 2019. Disponível em: [https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/Team\\_Stainless/The\\_Global\\_Life\\_Cycle\\_of\\_Stainless\\_Steels.pdf](https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/Team_Stainless/The_Global_Life_Cycle_of_Stainless_Steels.pdf). Acesso em: 25 de Outubro de 2023.