



Capitão-de-Corveta (EN) Daniela Lobo Francisco Loureiro

Encarregada da Seção de Análise de Projetos.

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Mestre em Engenharia Civil com ênfase em Estruturas, pela Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE), UFRJ e cursando o Doutorado em Engenharia Civil com ênfase em estruturas, pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

A DIVERSIDADE DO AÇO INOXIDÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

1. INTRODUÇÃO

O aço inoxidável é, basicamente, uma liga ferro-cromo com teor mínimo de 10,5% de cromo, que vem sendo utilizada em vários tipos de construções devido às suas características de alta resistência à corrosão, durabilidade, resistência ao fogo, facilidade de manutenção, aparência e estética. É uma solução estética e prática ao mesmo tempo, pois o inox se mantém atrativo durante toda a vida útil da estrutura, com baixo custo de manutenção.

Contudo, sua utilização nos elementos estruturais de uma construção é ainda limitada devido ao seu alto custo. Atualmente, o custo do aço inoxidável é estimado no dobro do custo do aço carbono, corroborando para a realização de um estudo mais profundo do comportamento mecânico do aço inoxidável sob os diversos aspectos estruturais.

2. O EMPREGO DO AÇO INOXIDÁVEL

O desenvolvimento dos processos construtivos e as novas tendências na elaboração de projetos arquitetônicos têm trazido a necessidade por materiais que combinam versatilidade com durabilidade. Novamente, o aço inoxidável apresenta-se como um material promissor para as construções que requeiram estas características, principalmente no que tange à alta resistência à corrosão, evitando a necessidade de manutenção em intervalos muito curtos.

Por múltiplas razões, o aço inoxidável é indicado como elemento estrutural em construções. Sua característica de alta ductilidade permite que seja usado em estruturas submetidas a carregamentos cíclicos, permitindo a dissipação da energia deste tipo de carregamento, através da redistribuição do carregamento antes da ruína da estrutura. Com a redução do custo de manutenção e o aumento da capacidade de absorção do impacto, através da dissipação de energia, aumenta-se a confiabilidade da estrutura.

As propriedades mecânicas do aço inox são, em média, 20% superiores, em relação às propriedades do aço carbono comum, permitindo que espessuras mais finas e seções menores possam ser usadas nas diversas aplicações estruturais.

As atuais normas de projeto de aço inoxidável (Eurocode 3, part 1.4, 2003) são em grande parte baseadas em analogias assumidas com o comportamento de estruturas de aço carbono. Todavia, o aço inoxidável, quando submetido a esforços axiais de tração e compressão, apresenta curvas tensão *versus* deformação não lineares sem patamar de escoamento, diferentemente das curvas apresentadas pelo aço carbono, mostrando assim um comportamento global diferente e, conseqüentemente, modificando o comportamento global das estruturas que o utilizam.

Considerando também a recente mudança na tendência do comportamento social em relação à produção em massa, ao abundante consumismo e à consciência ecológica, o conceito de durabilidade e sustentabilidade na construção civil ganhou maior importância. Neste contexto, o aço inoxidável é o material promissor para as construções que requeiram estas características.

Como exemplo de construção pode-se citar a África do Sul, onde foram construídas torres de transmissão em aço inoxidável ferrítico da Linha 400, instaladas na orla oceânica há sete anos, que não apresentam qualquer grau de corrosão. A seguir são apresentados alguns exemplos de aplicação do aço inoxidável.

Figura 1 - Stonecutters Bridge – China



3 - PONTE DE STONECUTTERS

Na Ponte de Stonecutters, localizada na cidade de Hong Kong na China (Figura 1), foram gastos cerca de 5000 toneladas de aço, com previsão de durabilidade, ou seja, dispensa de manutenção, por um período de 120 anos.

A Ponte Stonecutters quebra um recorde mundial como estrutura suspensa através de cabos, com mais de um quilômetro e um deque de 73 metros de altura. O conceito envolve uma ponte suspensa por cabos com deques gêmeos aerodinâmicos suspensos em duas torres, com uma única polia de 295 metros. O deque gera um espaço de navegação de 73,5m sobre a entrada para o porto de *containers*.

Atravessando a entrada para o Canal Rambler, a ponte é construída sobre um dos mais movimentados canais do mundo. Um dos grandes problemas é que o local da construção é constantemente sujeito a tempestades tropicais e furacões, por isso a ponte foi projetada para enfrentar ventos extraordinários.

A equipe técnica optou por uma torre mista de concreto, com 800 mm de espessura, revestida com uma pele de aço inoxidável de 20 mm de espessura. O aço inoxidável também foi empregado nas camadas externas da parte inferior da torre (abaixo da cota 175 m), de forma a reduzir a manutenção e aumentar a durabilidade da estrutura exposta ao ambiente marítimo.

Na Figura 2 observa-se a peça em aço inoxidável que envolve a estrutura de concreto, dando-lhe maior rigidez, e também se pode ver a mesma peça pelo lado interno, mostrando as barras que garantirão a união com o concreto armado que será inserido no seu interior.



Figura 2 - Stonecutters Bridge - Peça em Aço Inoxidável - Vista Externa e Vista Interna



4. CLOUD GATE - A MAGIC MIRROR IN CHICAGO

Também se pode citar o forte apelo estético e visual do Cloud Gate - Anish Kapoor, Millennium Park, Chicago (Figura 3). Obra do artista britânico Anish Kapoor, o Cloud Gate é feito de aço inoxidável e reflete tudo ao redor, principalmente os prédios.

O Cloud Gate - referido pelos habitantes de Chicago (EUA) como "The Bean" - pesa mais de 110 toneladas e tem aproximadamente 22 metros de comprimento e 11 metros de altura. "The Bean" foi criado usando um grande número de placas de aço inoxidável individuais e a superfície contínua do Cloud Gate é o resultado de milhares de horas de polimento.

A escultura tem a aparência de uma gota gigante de mercúrio líquido, e a superfície espelhada oferece uma reflexão surpreendente do horizon-

te da cidade. Os visitantes podem andar debaixo do Cloud Gate, que é surpreendentemente côncavo.

A superfície brilhante e de fácil limpeza do aço inoxidável proporcionou uma aparência atrativa e contemporânea, ideal para um número crescente de aplicações na arquitetura.

O aço inoxidável é um material ambientalmente correto, funcional, prático e com apelo estético único. Num contexto global, arquitetos, especificadores, *designers*, engenheiros e clientes estão aproveitando as vantagens oferecidas pela combinação de propriedades do aço inoxidável.

Nesta aplicação o aço inoxidável se mostrou visualmente atraente, associado à imagem de resistência e durabilidade. Por ser um arrojado e contemporâneo material, o aço inoxidável combinou com o ambiente, refletindo cores e imagens de forma a compor o efeito dinâmico e impressionante.

Figura 3 - Cloud Gate - A Magic Mirror in Chicago



5. A PRINCESS ELISABETH ANTARCTICA

A Princess Elisabeth Antarctica, primeira estação científica de “emissão zero” de carbono, foi inaugurada pela Bélgica em fevereiro de 2009. No projeto foram utilizadas 25 toneladas de aço inoxidável. Esta estação de pesquisa foi concebida para minimizar o impacto ambiental e trabalhar exclusivamente com energia renovável. Devido ao *design* do edifício, escolha dos materiais e técnicas de isolamento eficazes, esta estação mostra um avanço tecnológico na área da construção sustentável.

O aço inoxidável mantém suas propriedades numa faixa muito ampla de temperatura, inclusive as muito baixas. O inox 304 foi escolhido para o projeto da Estação Princess Elisabeth Antarctica (Figura 4) por ser resistente às extremas condições do ambiente: temperaturas muito baixas e ventos violentos.

Pensando no continente antártico como o “intocado” - relativamente livre do impacto humano - a Princess Elisabeth Antarctica buscou ser a primeira estação “emissão-zero”. Esta estação de pesquisa está projetada com o “meio ambiente em mente”. Foi construída utilizando materiais ecológicos para reduzir ao mínimo o consumo de energia e os resíduos. Além disso, a estação funciona completamente baseada em energias renováveis.

O projeto da primeira estação prevê um revestimento constituído por uma “pele” de aço inoxidável, composta por faixas de 1,5 mm de espessura, montadas entre si. O aço inox que cobre a Princess

Elisabeth Antarctica é um material extremamente resistente, que pode suportar as agruras do tempo e impedir que a água penetre o interior da madeira dos painéis das paredes.

O aço inoxidável austenítico usado tem uma boa estabilidade em condições de frio extremo: as propriedades mecânicas são de tal ordem que o metal não quebra. A boa resistência à abrasão também permite suportar a violência dos ventos que sopram na área.

Este é um material que oferece excepcional duração natural, caracterizando-se por uma boa resistência à corrosão com base na formação de uma camada de proteção passiva na superfície do material.

Também foi considerado que o aço inoxidável é inerentemente neutro com relação ao meio ambiente: a camada passiva homogênea que cobre a superfície (a camada chamada de “inoxidável”) impede que os seus elementos constitutivos migrem e atinjam os meios circundantes.

Continuando com o “meio ambiente em mente”, o projeto da estação considerou que o aço inox é um dos principais materiais para a proteção ambiental, pois possui a capacidade de ser totalmente aproveitável em sua produção e é 100% reciclável.

O aço pode ser reciclado indefinidamente sem perder qualidade, mantendo inalteradas as características como resistência e dureza.



Figura 4 - Estação científica Princess Elisabeth Antarctica

6. COLUNAS ESTRUTURAIS COMPOSTAS EM AÇO INOXIDÁVEL, CONCRETO E AÇO CARBONO

As colunas desempenham um papel fundamental no comportamento global das estruturas. Atualmente, um novo tipo de coluna composta, constituída em aço inoxidável, concreto e aço carbono, tem sido estudado através de muitos trabalhos, cujo desenvolvimento busca entender o comportamento real dessas novas colunas.

A principal motivação desses trabalhos tem como objetivo buscar a estrutura mais econômica resultante de um projeto mais coerente com a realidade do comportamento estrutural, bem como a melhoria dos processos de fabricação, com respectiva redução dos custos de execução.

Com o entendimento do comportamento real de uma coluna composta com aço inoxidável externo, torna-se possível o desenvolvimento de novas recomendações de projeto. Estes fatos motivam o desenvolvimento de novos trabalhos, que envolvem o estudo de colunas compostas, ou seja, um novo tipo de composição de elementos estruturais, a coluna de dupla pele tubular, composta de aço inoxidável, concreto e aço carbono. Este elemento composto combina as vantagens de todos os três tipos de materiais, além de possuir as vantagens adicionais de estética e resistência à corrosão que o revestimento de aço inoxidável exterior oferece.

Os estudos mostram que todos os tipos de colunas, comportaram-se de um modo dúctil, e que o comportamento mecânico é semelhante ao das colunas com tubos de aço de carbono duplos.

Nas últimas décadas, muita atenção tem sido dada aos membros compostos de coluna tubular cheias de concreto. Existem diversos estudos realizados em colunas tubulares de aço preenchidas com concreto (CFST) e em colunas tubulares com dupla pele de aço preenchidas com concreto (CFDST), ambas com seção transversal uniforme ao longo da direção longitudinal. Alguns estudos também foram realizados em seções elípticas ocas, de aço, preenchidas com concreto.

Por razões de custo elevado, o aço inoxidável não foi vulgarmente utilizado como um material estrutural no passado. No entanto, através da evolução nas últimas décadas, tanto em materiais e atitudes em relação à durabilidade, estes já estão oferecendo algumas oportunidades para o aço inoxidável ser considerado como material estrutural primário.

Recentes trabalhos propõem um tipo inovador de coluna composta, isto é, uma coluna de aço inoxidável, concreto e aço carbono, de dupla pele tubular. A coluna composta consiste de um tubo de aço-carbono interno e um revestimento de aço inoxidável exterior com o anel entre as peles preenchido com concreto.

A coluna composta é estudada por combinar as vantagens de todos os três tipos de materiais e tem a vantagem de elevada rigidez à flexão, herdada das colunas CFDST. Este tipo de coluna também tem vantagens adicionais de estética e resistência à corrosão que o aço inoxidável oferece, superior ao aço carbono. A Figura 5 apresenta uma vista esquemática das seções transversais típicas.

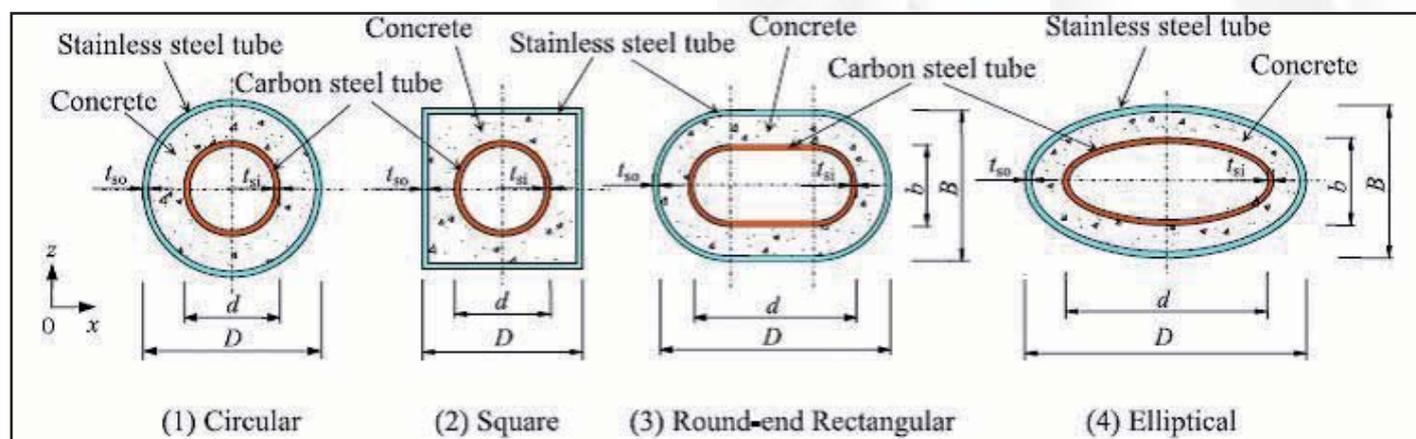


Figura 5 - Tipos de Seções de Colunas

As Figuras 6, 7 e 8 mostram as fotos de aplicações que utilizam os elementos compostos retos, inclinados e de seção cônica, em edifícios reais. Acredita-se que as colunas inclinadas podem trazer um comportamento espacial à estrutura.

Espera-se que a coluna de dupla pele tubular composta com aço inoxidável-concreto-aço carbono também possa ser utilizada como elemento reto, inclinado ou com largura variável em sistemas estruturais. O comportamento estrutural dos membros de dupla pele tubular, usando a camisa de aço inoxidável externa, pode ser diferente daqueles membros CFDST. Por outro lado, o comportamento dos membros inclinados ou afunilados pode ser diferente do comportamento dos membros retos.

No entanto, a falta de orientação de projeto para os elementos compostos prejudica sua potencial utilização na construção real. Espera-se que os recentes estudos possam corroborar para o desenvolvimento de um modelo de cálculo para a estimativa da força resistente das colunas compostas de aço inoxidável-concreto-aço carbono, de forma que as principais vantagens deste novo sistema possam ser utilizadas na construção civil.

7. CONCLUSÃO - POR QUE AÇO INOXIDÁVEL ?

A durabilidade ao longo do tempo e os menores custos de manutenção, quando comparados aos materiais alternativos, constituem os fatores decisivos para que o valor inicial seja diluído, assegurando uma boa relação custo *versus* benefício ao aço inoxidável.

Seus atributos o tornam bastante competitivo no processo de seleção de materiais. Engenheiros, especificadores e projetistas, no passado, frequentemente não consideravam estes atributos por considerar apenas o custo inicial do material.

O uso da metodologia do custo ao longo do ciclo de vida mostra, entretanto, que o aço inoxidável é de fato um material a ser considerado para inúmeras aplicações.



Figura 6 - Straight column
(National Center for the Performing Arts, Beijing, China)

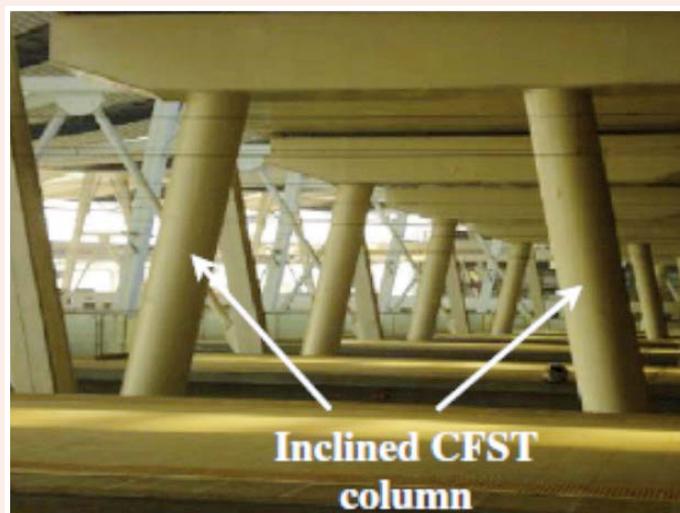


Figura 7 - Inclined column
(Beijing south Railway Station, Beijing, China)



Figura 8 - Tapered Column
Terminal Building T3 at the Beijing Capital
International Airport, Beijing, China)

Como principais vantagens do aço inoxidável na construção civil, pode-se citar:

. Valor a Longo Prazo - Relação Custo/Benefício Favorável

Quando todos os custos ao longo do ciclo de vida são considerados, o aço inoxidável é frequentemente a opção de material mais econômica.

. Baixo Custo de Manutenção

O aço inoxidável normalmente requer apenas limpeza periódica com soluções diluídas de detergentes domésticos em água.

. Facilidade de Fabricar e Conformar

O aço inoxidável pode ser cortado, soldado, conformado e fabricado com a mesma facilidade do aço comum e outros materiais.

. Resistência a Altas e Baixas Temperaturas

É capaz de resistir a temperaturas criogênicas (abaixo de 0 °C).

. Alta Resistência à Corrosão

Os tipos de aço inoxidável menos ligados, resistem à corrosão em atmosferas normais e em presença de água potável, enquanto os tipos mais ligados podem resistir à corrosão em soluções ácidas e alcalinas e em ambientes com presença de cloretos.

. Resistência Mecânica Adequada

As propriedades mecânicas do aço inoxidável permitem a utilização de espessuras mais finas em relação aos outros materiais, com a conseqüente redução de peso sem comprometer a resistência. Substanciais reduções de custo podem ser obtidas aumentando a competitividade do aço inoxidável em relação a materiais alternativos.

. Higiene – Facilidade de Limpeza e Baixa Rugosidade Superficial

A superfície única do aço inoxidável não possui poros ou frestas onde possa se acumular sujeira, fuligem ou bactérias. A facilidade de limpeza da superfície do aço inoxidável o torna a opção preferencial quando são exigidas condições de extrema higiene, como em hospitais, cozinhas comerciais, frigoríficos e outras unidades de processamento de alimentos.

. Aparência Estética com Forte Apelo Visual (modernidade, leveza e prestígio)

A superfície brilhante e de fácil limpeza do aço inoxidável, proporciona uma aparência atrativa e contemporânea, ideal para um número crescente de aplicações na arquitetura.

. Material Reciclável

Na avaliação das propriedades ambientais de um material, a reciclagem é um fator chave, pois reduz o fluxo de desperdícios e economiza recursos não renováveis.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *A Reciclagem do Aço Inoxidável*. International Stainless Steel Forum. Disponível em: <http://www.nucleinox.org.br/upfiles/arquivos/animacoes/ISSF_Recycling_source/reciclagem.htm>. Acessado em: 02 de julho de 2013.
- [2] *AÇO Inox no Conjunto Arquitetônico da Pampulha*. Constructalia, The Steel Construction Website. Disponível em: <http://www.constructalia.com/prg/selfware.pl?id_sitemap=4649>. Acessado em: 30 de junho de 2013.
- [3] DAI, X. LAM, D. *Numerical Modelling of the Axial Compressive Behaviour of Short Concrete-Filled Elliptical Steel Columns*. Journal of Constructional Steel Research.
- [4] DENG, YAOHUA. NORTON, TERRI R. TUAN, CHRISTOPHER Y. *Numerical Analysis of Concrete-Filled Circular Steel Tubes*. ICE - Institution of Civil Engineers. Structures and Buildings Volume 166 Issue SB1.
- [5] FIGUEROLA, VALENTINA. *Ponte Stonecutters*. Revista Técnica. Disponível em: <www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/146/artigo139044-2.asp>. Acessado em: 20 de julho de 2013.
- [6] HAN, LIN-HAI. TAO, ZHONG. HUANG, HONG. ZHAO, XIAO-LING. *Concrete-Filled Double Skin (SHS Outer and CHS Inner) Steel Tubular Beam-Columns*. Science Direct. Aceito em: 13 de fevereiro de 2004.
- [7] PRANDI, JAIR. *Ponte Stonecutters – Hong Kong*. Mega Engenharia – Obras Fantásticas de Engenharia. Disponível em: <<http://megaengenharia.blogspot.com.br/2012/08/ponte-stonecutters-hong-kong.html>>. Acessado em: 25 de julho de 2013.
- [8] SANTOS, JOÃO DE JESUS. *Comportamento Estrutural de Elementos em Aço Inoxidável*. 2008. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. 2008.
- [9] SIMÕES, RUI A. D. *Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas*. 2ª Edição. Coimbra, Portugal: CMM – Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mistas, 2007. 217 p.
- [10] *STAINLESS Steel on the First Zero Emissions Antarctic Research Station*. Constructalia, The Steel Construction Website. Disponível em: <http://www.constructalia.com/english/news_and_articles/news/news90/stainless_steel_on_the_first_zero_emissions_antarctic_research_station>. Acessado em: 26 de julho de 2013.
- [11] *VANTAGENS da Construção em Aço*. Portal Metálica. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/vantagens-da-construcao-em-aco>>. Acessado em: 25 de julho de 2013.