

# Apresentação de apoio para docentes de Arquitetura / Engenharia Civil

## **Capítulo 03**

### **Por que Aços Inoxidáveis?**

# Introdução

Principais materiais utilizados em arquitetura, edifícios e construção

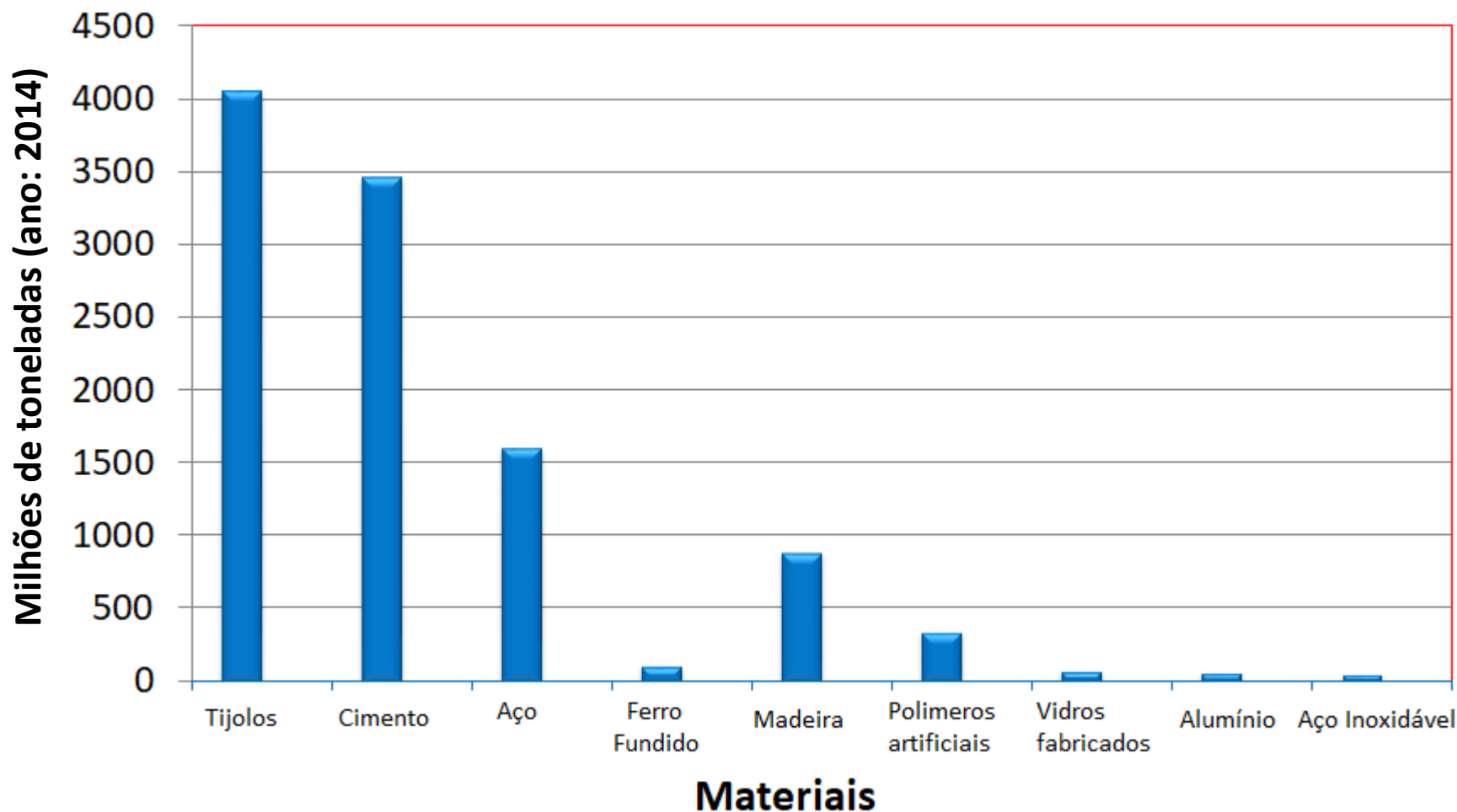
# Uso relativo dos principais materiais de construção hoje

Materiais	Produção Mundial *	Densidade média	Observações
Terra batida, pisada	nd		Foi utilizado em casas tradicionais na África . Algum interesse renovado por suas propriedades ambientais
Tijolos <sup>2</sup> A produção tradicional é muito poluente e insalubre	4050	2,0	Ano considerado 2016 Dos quais 87% na Ásia
Cimento <sup>3</sup>	3452	2,4**	(Para obter o número para concreto, multiplique por 3-4) ** densidade do concreto- Nota:dados de 2015
Aço <sup>4a</sup>	1604	7,8	(Produção de aço bruto 2016) 14% vai para infraestruturas - metade como vergalhão <sup>10</sup> 42% vai para edifícios <sup>12</sup>
Ferro Fundido e Aço <sup>4b</sup>	104	7,8	Dados de 2016
Madeira <sup>5</sup> O desmatamento continua ganhando terreno	887	0,56	Madeira serrada + painéis à base de madeira (dados de 2016) Excluindo madeira para papel (cerca de 656) Excluindo madeira para combustão (cerca de 1860)
Polímeros fabricados <sup>6</sup>	335	1,1	Alguns Naturais: Celulose, Borracha, Seda, Quitina (dados de 2016)
Vidros fabricados <sup>7</sup>	73	2,6	Apenas vidro plano (80% do total do mercado) Principais mercados: Automotivo, Energia solar Vidro
Alumínio <sup>8</sup>	63	2,7	(Produção Primária de Alumínio em 2017) 24% entra na construção <sup>10</sup>
Aço inoxidável <sup>9</sup>	48	7,8	Dados de 2017 17% vai para construção <sup>11</sup>

nd: não disponível

\* em milhões de toneladas métricas

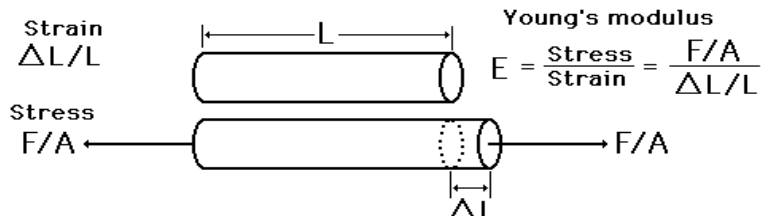
# Uso relativo dos principais materiais de construção: Gráfico de barras



# Módulo E de Young de vários materiais<sup>12</sup> (rigidez)

Material	Módulo E de Young (GPa)
Aços	~210
Aços inoxidáveis	~210
Ligas de cobre	~130
Ligas de titânio	~100
Ligas de alumínio	~70
Concreto	~40
Madeira	~10
Plásticos	~4

Os aços inoxidáveis são tão rígidos quanto o aço



# Relação resistência / peso<sup>13</sup> de metais arquitetônicos

Os aços inoxidáveis oferecem uma relação resistência / peso comparável aos aços e às ligas de alumínio

Material	Resistência (YS) /Peso específico	Limite elástico, Mpa	Resistência à tração, Mpa	Peso específico (Kg/dm <sup>3</sup> )	Alongamento mínimo, %
Aço Inoxidável 304 ou 316, recozido	26	205	515	7,8	35
Aço Inoxidável 304 ou 316, processado a frio CP 350	45	350	-	7,8	-
Aço Inoxidável 304 ou 316, processado a frio CP 500	62	480	-	7,8	-
Duplex 2205	64	500	700/950	7,8	20
Aço Inoxidável 630, envelhecido	103	800	950/1150	7,8	10
Aço ao carbono convencional, Laminado a quente	30	234	317	7,8	35
Aço ao carbono estrutural (placa e barra)	32	250	400/550	7,8	23
Aço HSLA	49	380	460	7,8	25
Aços de Engenharia 4140 recozido e temperado	96	750	930/1080	7,8	12
Liga de alumínio 3003- H14	37	145	150	3,9	40
Liga de alumínio 3105- H14	38	150	170	3,9	5
Liga de alumínio 5005- H16	44	170	180	3,9	5
Liga de alumínio 6061- T6	71	275	310	3,9	12
Liga de alumínio 6063- T5	37	145	185	3,9	12

# Visão geral simplificada de diferentes materiais<sup>14</sup>

		Aços inoxidáveis			Cobre	Alumínio	Aço carbono	Plásticos
Propriedades		EN 1.4521 AISI 444	EN 1.4301 AISI 304	EN 1.4401 AISI 316				
Físicas	Densidade	-	-	-	--	+	-	++
	Expansão linear	++	0	0	0	-	+	--
	Condutividade elétrica	--	-	-	+++	++	0	---
	Ferromagnetismo	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	NÃO
Mecânicas	Rigidez (módulo de Young)	+++	+++	+++	+	-	+++	---
	Resistência	+	++	++	0	-	+ / ++	--
	Alongamento	+	+++	+++	+++	++	0	-- / ++ +
Outros	Fabricação	++	++	++	+	0	++	-
	Altas temperaturas	++	++	+++	0	-	+	---
	Baixas temperaturas	-	+++	+++	+	0	-	-
	Resistência à corrosão	+++	+++	++++	++	+	--	+

Símbulos + Vantagem - Limitação (Em relação aos outros materiais)

O aço inoxidável continua sendo  
um material «jovem»



# Novos materiais surgiram no decorrer da história

## O aço inoxidável é o mais recente\*

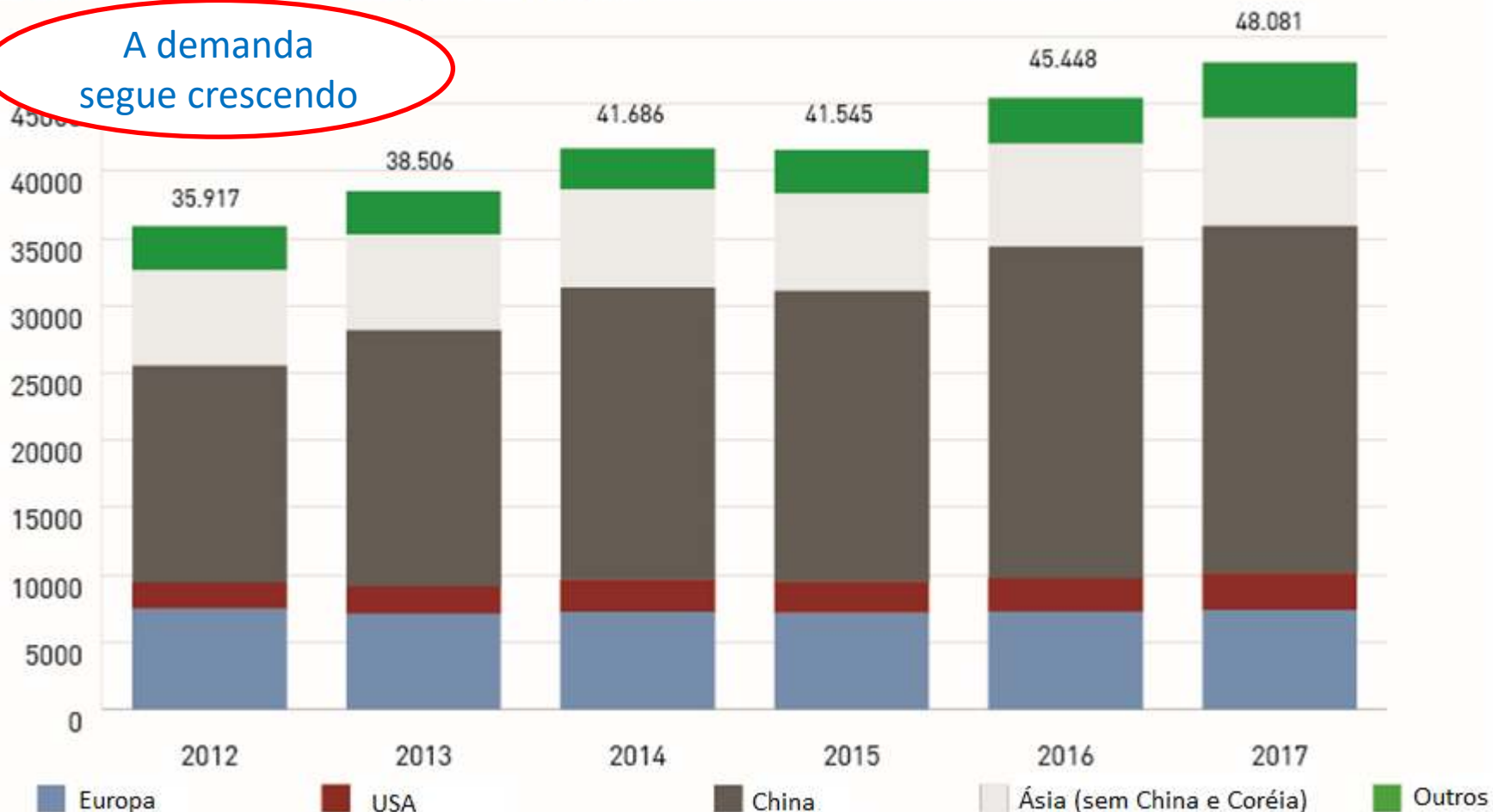
Materiais	Cronologia	
Terra batida, pisada		Tem sido empregado desde o início da humanidade!
Madeira <sup>15</sup>		Tem sido empregado desde o início da humanidade!
Tijolo <sup>15</sup>	7500 AC 4500 AC	Tijolos / cerâmicas
Aço <sup>15</sup>	4000 AC 1858	Lojas de ferreiros Processo Bessemer
Vidros fabricados <sup>15</sup>	3500 AC 100 AC 1950	Primeiros cristais fabricados Vidro transparente Processo Pilkington (Float Glass)
Alumínio <sup>15</sup>	1825 1886	Oersted descobre alumínio Processo Hall -Heroult
Concreto Armado <sup>15</sup>	1850 1885	Mas o cimento é muito mais antigo Processo Rotary Kiln
Polímeros artificiais <sup>15</sup>	1846 1907 1939	Celulose Baquelite Náilon
Aço inoxidável <sup>2</sup>	1912-1913 1954 1955	Primeiras ligas Processo AOD Laminação de Tiras a Quente

\* Existem materiais mais novos, é claro, mas não empregados em quantidades significativas

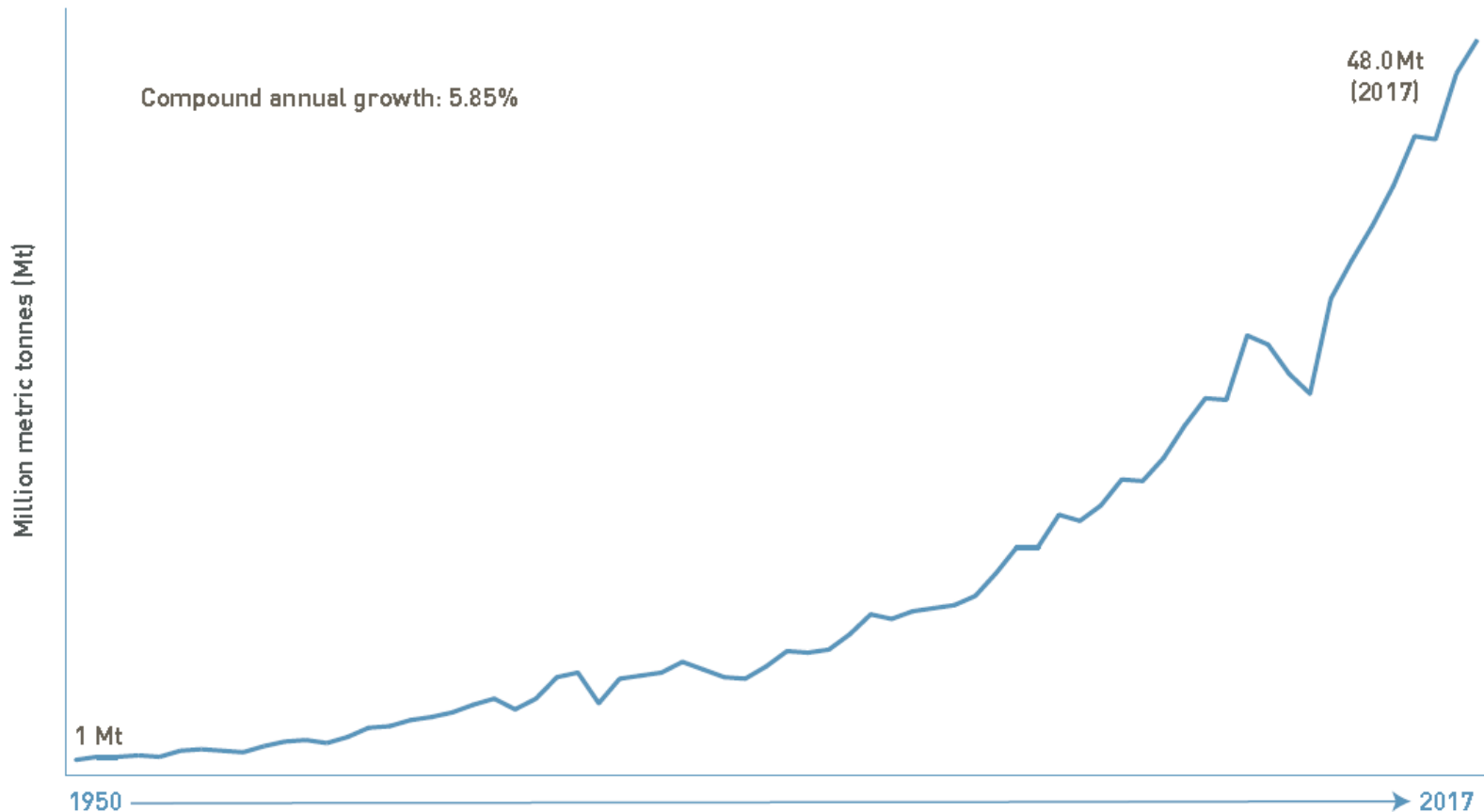
# Produção Mundial de Aço Inoxidável por área<sup>22</sup>

Produção bruta de aço inoxidável (equivalente em desbaste / lingote) por zona x 1000 toneladas  
Outros: Brasil, Rússia, África do Sul, Coreia do Sul, Indonésia

A demanda segue crescendo



# Crescimento anual da produção mundial de aço inoxidável (aço bruto)<sup>22</sup> (Millions of Metric tons)



Por que aço inoxidável?

# Devido a suas excelentes propriedades

1. **Resistência à corrosão** (consulte o capítulo 3)
  - Em todos os ambientes: tropical ou polar, mar ou deserto, poluído ou não...
  - Auto-reparação, ao contrário dos revestimentos
2. **Grande durabilidade** com pouca ou nenhuma manutenção
3. **Ampla gama de propriedades mecânicas** consequência de várias famílias de aços inoxidáveis (Cr-Ni Austeníticos - Cr-Mn Austeníticos - Cr Ferríticos - Duplex - Cr C Martensíticos), agora incluídas nos principais códigos de construção. Ademais apresentam uma excelente resistência ao fogo (veja os Capítulos 4 e 5)
4. **Estética:** Grande seleção de acabamentos e cores disponíveis (consulte o capítulo 6). Mais resistência ao vandalismo em áreas públicas
5. **Fácil fabricação / união** (veja capítulo 7)
6. **Excelente sustentabilidade** (ver capítulo 9)
  - permite uma longa vida útil com pouca ou nenhuma manutenção,
  - 100% reciclável (e mais de 85% reciclado) no final da vida útil como novo aço inoxidável sem perda de propriedades
7. **Seguro e higiênico:** Inerte, sem contaminação, fácil de limpar e desinfetar
8. **Propriedades específicas:** magnético / não magnético, ...

# O que limita o uso de aços inoxidáveis: O preço

Aços inoxidáveis são caros: Verdadeiro? Ou falso?

Resposta: **Sim** e **Não**

## **Sim:**

Se o custo inicial do material é tudo o que importa (geralmente devido ao financiamento limitado...)

Mas deve-se levar em conta que uma má escolha pode ser mais cara :

- O aço inoxidável geralmente representa uma pequena parte do projeto
- Reparos imprevistos e manutenções podem adicionar enormes custos diretos e indiretos

## **Não:**

Se

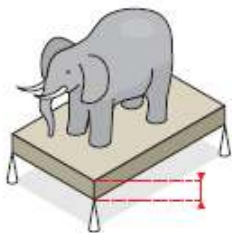
- o Custo do Ciclo de Vida (o custo «real») for levado em conta, ou seja, se as questões de manutenção, vida útil e reciclagem são consideradas\*
- o design for otimizado: chapas de baixa espessura, perfiladas em formas complexas podem resultar em estruturas fortes e rígidas que usam pouco material.

\* O proprietário deve sempre fazer escolhas com base na análise do Custo do Ciclo de Vida

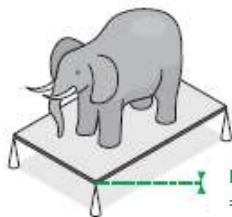
# Aços Inoxidáveis (e outros metais) usam menos material<sup>16</sup>

## FAZENDO MAIS COM MENOS

Devido à sua alta resistência, os metais podem suportar cargas altas com menos material ou ser usados para reforçar outros materiais



Material não metálico

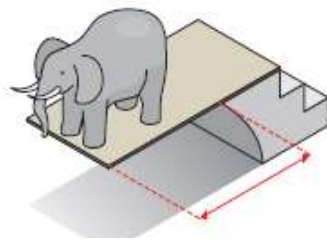


Metal

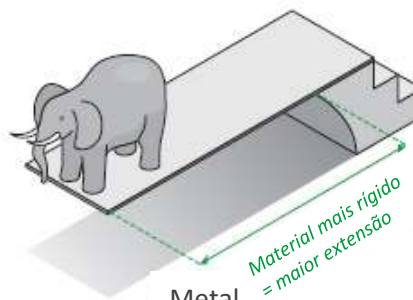
Menos material  
= menor  
espessura

## LIBERDADE PARA DESIGNERS

Graças a sua alta rigidez, os metais podem se estender por maiores distâncias, permitindo mais liberdade de projeto



Material não metálico



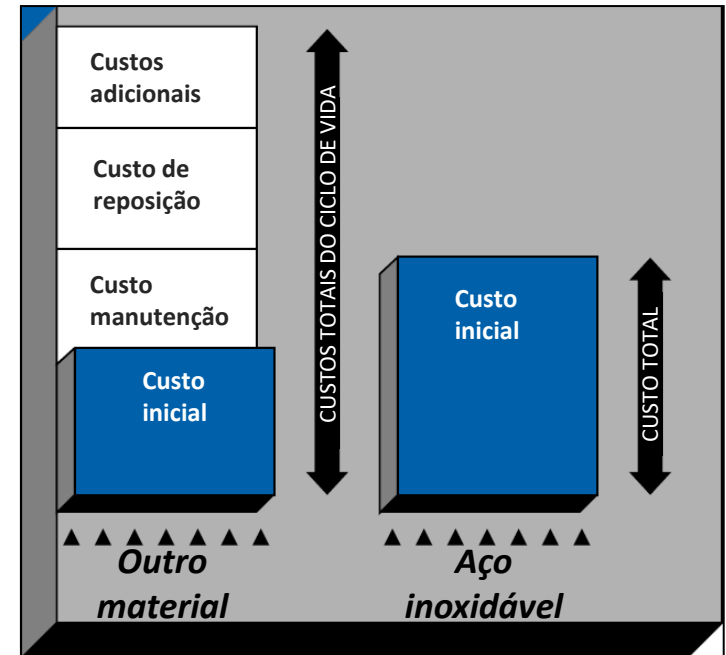
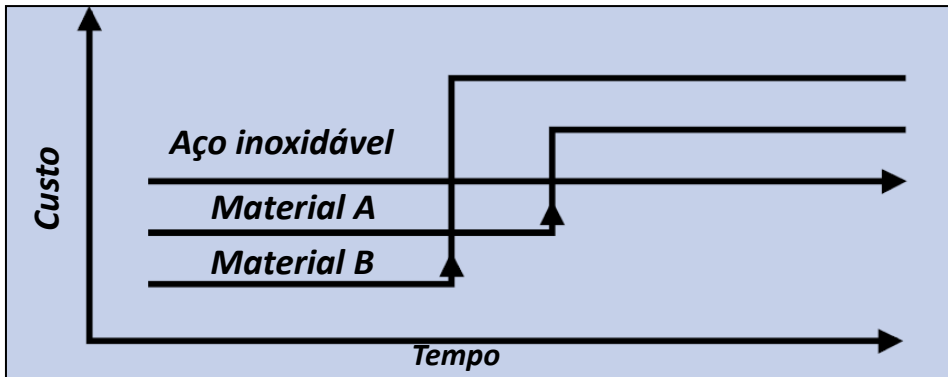
Metal

Material mais rígido  
= maior extensão

Chapas de aço inoxidável de espessura 0,4 mm e 0,6 mm de espessura são comumente usadas.  
Peso: 3,12 kg e 4,68 kg respectivamente por m<sup>2</sup>!

# Razões pelas quais o aço inoxidável não é caro se o custo do ciclo de vida é levado em conta

O custo de estruturas feitas de outros materiais aumenta substancialmente ao longo do tempo, enquanto o custo de estruturas de aço inoxidável normalmente permanece constante.



O custo da corrosão excede 276 bilhões de dólares só nos EUA (estimativa de 2002) <sup>17</sup>



# Comparação do Custo de Ciclo de Vida de 2 estruturas antigas<sup>18,19</sup>

Estruturas	Finalizadas	Material	Altura	Manutenção
Torre Eiffel – Paris *	1889	Aço Carbono	324m	A cada 7 anos. Cada campanha de pintura dura cerca de um ano e meio (15 meses). 50 a 60 toneladas de tinta, 25 pintores, 1500 pincéis, 5000 discos de lixamento e 1500 conjuntos de roupas de trabalho.
Edifício Chrysler (telhado e entrada) - Nova York	1930 (telhado 1929)	Aço inoxidável austenítico (302)	319m	Duas vezes em 1951, 1961, 1995. A solução de limpeza de 1961 é desconhecida. Um detergente neutro, desengordurante e abrasivo foi usado em 1995.



\* A torre Eiffel foi construída antes do aço inoxidável ser inventado ... e deveria ser uma estrutura temporária, mas o público adorou!

## Exemplo:

Comparação da manutenção de 2 pontes muito conhecidas<sup>20, 21</sup>

- Ponte Golden Gate em São Francisco
- Ponte Stonecutter's em Hong Kong

Nos próximos 2 slides

# A ponte Golden Gate (1937), São Francisco

<- Manutenção



“um robusto grupo de 13 trabalhadores e 3 artesãos de metal, juntamente com 28 pintores, 5 ajudantes de pintura e um pintor-chefe, batalham contra o vento, o ar marinho e a neblina, muitas vezes suspensos acima da Ponte, para reparar o aço corroído. Os trabalhadores substituem o aço e os rebites corroídos por parafusos de aço de alta resistência, fabricam pequenas peças de metal para uso na ponte e auxiliam os pintores na montagem. Os trabalhadores também removem placas e barras para providenciar acesso dos pintores às partes interiores das colunas e outros componentes que compõem a ponte. Os pintores preparam todas as superfícies da ponte e repintam todas as áreas corroídas” <sup>20</sup>

# Ponte Stonecutter's (2009), Hong Kong

<- Manutenção



**Detalhes do Projeto:** 1.596m de comprimento. 2 pistas 3 pilares estaiados. Vão Central 1.018m. Resistente a tufões.

**Material:** Aço inoxidável EN1.4462 (Duplex) com 450MPa de limite elástico utilizado nas torres de mais de 175m de altura e no revestimento das mesmas.

**Por que inoxidável ao invés de aço comum:** projetado para 120 anos de vida em um ambiente de água do mar quente e poluído. Projetado para nenhuma manutenção. <sup>21</sup>

# Principais Referências

1. <http://worldstainless.org/>
2. (a) <http://www.hablakilns.com/the-brick-industry/the-brick-market/>  
(b) [http://wiki.answers.com/Q/What is the weight of a red clay brick in Kilograms](http://wiki.answers.com/Q/What_is_the_weight_of_a_red_clay_brick_in_Kilograms)
3. <http://www.cembureau.eu/about-cement/key-facts-figures>  
(a) <https://www.worldsteel.org/> (b) [www.globalcastingmagazine.com](http://www.globalcastingmagazine.com)
4. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
5. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>
6. <http://www.glassforeurope.com/en/industry/global-market-structure.php>
7. <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/>
8. [http://worldstainless.org/statistics/crude steel production](http://worldstainless.org/statistics/crude_steel_production)
9. <http://www.withbotheyesopen.com/>
10. <http://www.ssina.com/overview/markets.html>
11. <http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/cueddatabooks/materials.pdf>
12. [http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistancel\\_14057a .pdf](http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistancel_14057a_.pdf)
13. <http://www.aperam.com/>
14. [Wikipedia](#)
15. <http://www.nickelinstitute.org/en/MediaCentre/Publications/MetalsforBuildings.aspx>



# Principais Referências

17. <http://www.nace.org/Publications/Cost-of-Corrosion-Study/>
18. a) <https://www.tou Eiffel.paris/en> b) <http://corrosion-doctors.org/Landmarks/Eiffel.htm>
19. a) [http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler\\_Building](http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building) b)  
[http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/TimelessStainlessArchitecture\\_11023\\_.pdf](http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/TimelessStainlessArchitecture_11023_.pdf)
20. <http://goldengatebridge.org/research/facts.php#IronworkersPainters>
21. <http://www.nickelinstitute.org/~media/Files/NickelUseInSociety/Architecture/Construction%20Case%20Studies/CS-1%20Stonecutters%20Bridge%20HK%20low%20res.aspx>
22. [http://www.worldstainless.org/statistics/publications\\_and\\_papers](http://www.worldstainless.org/statistics/publications_and_papers)

Obrigado