

## A Utilização do Aço na Construção Civil

FELIPE BRASIL MARTINS

Bachelor of Engineering from Laureate International  
Universities/UNINORTE (Brazil)

FRANCISCO CARLOS TAVARES AMORIM

Bachelor of Civil Engineering

### Abstract:

*O aço possibilitou à construção civil a possibilidade de ganhos em resistência, leveza e na maior dimensão dos vãos entre apoios. Seja como componente do concreto armado, como estrutura metálica, como fechamento ou esquadria, o aço oferece inúmeras vantagens à construção permitindo projetos arquitetônicos mais arrojados, como mostra a sua história no Brasil, desde o viaduto Santa Efigênia, o edifício garagem América, o Museu de Artes de São Paulo (MASP) até a ponte estaiada Octávio Frias de Oliveira, utilizando cabos protendidos, a infinidade de usos para o aço na construção vem se aperfeiçoando pela sua leveza, rápida e precisa montagem e ainda, a possibilidade de reutilização em outro local. Neste trabalho através da revisão da literatura sobre a evolução de sua utilização, tipos, propriedades e usos, têm-se como objetivo a apresentação do aço na construção civil, suas possibilidades, vantagens e desvantagens. Conclui-se que a introdução e desenvolvimento desse material voltado ao uso na construção civil é benéfica e tende a se expandir dada as facilidades que propicia em projetos e na organização do canteiro de obras.*

**Key words:** aço; construção civil; concreto armado; estruturas metálicas; concreto protendido.

### 1 INTRODUÇÃO

A construção civil apresenta uma grande gama de materiais que são empregados em diversos usos, desde aqueles que

compõem as argamassas como a areia e o cimento até materiais mais complexos, que combinados tem perfil estrutural, como é o caso de aço.

O aço se adapta a várias utilizações em diversas áreas da atividade econômica como as engenharias mecânica e a naval. Neste trabalho a abordagem de sua aplicação diz respeito á construção civil, dada a sua resistência, leveza, facilidade de montagem e de adequação estética em projetos arquitetônicos.

Através de revisão da literatura, baseada nas palavras-chaves deste texto, o desenvolvimento do trabalho seguiu a uma pesquisa em artigos e trabalhos científicos, apostilas didáticas e da *web* de órgãos ligados ao uso do aço (como o Instituto de Engenharia) com o objetivo principal de apresentar a importância do aço na construção civil e como objetivos secundários, detalhar a sua classificação, propriedades e usos. Conclui-se que esse material apresenta grande versatilidade, permitindo inusitadas soluções arquitetônicas quando combinado ao concreto e quando utilizado de forma protendida, permitindo grandes vãos e estruturas esguias e, sozinho, enquanto estrutura metálica, suportando grandes cargas, como mostram os exemplos deste texto de importantes construções na capital paulista, como ocentenário Viaduto Santa Efigênia, o Museu de Artes (MASP), o edifício garagem América e mais recentemente, a ponte estaiada Octávio Frias de Oliveira, sempre propiciando através de suas propriedades mecânicas, interessantes efeitos estéticos em suas estruturas.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Breve Relato do Uso do Aço na Construção Civil**

O primeiro relato do uso de peças metálicas na engenharia civil, data do século VI a.C., com a construção dos portões da cidade de Babilônia com colunas e vigas cobertas de cobre reforçadas com estruturas de ferro (Imianowsky e Walendowsky, 2014).

No século XVIII com a construção da ponte sobre o Rio Severn na Inglaterra em 1779, ocorreu um marco na construção com aço, dada a sua maior resistência e assim, a possibilidade para criar estruturas maiores.

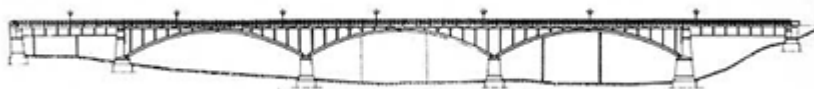
A introdução do concreto armado no final do século XIX, intensificou o uso do aço, unindo a alta resistência às tensões de compressão do concreto, com as com a alta resistência às trações do aço.

Um dos primeiros exemplos de prédios altos construídos com aço é o Edifício Ingalls (Cincinnati, Ohio, EUA), conhecido como primeiro arranha-céu do mundo (embora tivesse apenas 15 andares). (INDÚSTRIA HOJE, 2018, s/p).

No Brasil, um primeiro exemplo é o do Viaduto Santa Efigênia, construído no início dos anos 1910, com as seguintes dimensões:

[...] dois vãos de 30 m, em vigas retas de alma cheia e 3 vãos em arco com 55 m.com montantes verticais e longarinas de alma cheia; tabuleiro superior, com cinco vãos independentes, completando 225 m de comprimento total e com largura entre guarda corpos, de 13.60m. O sistema estrutural dos três tramos centrais com 55 m compreende arcos com três rótulas, com uma flecha de 7.5m, ou seja, entre L/7 e L/8 (METALICA, 2018a, s./p.).

A obra foi fabricada com aço laminado, onde montantes verticais se apóiam diretamente sobre os arcos e são equidistantes de 3.665m, constituindo 15 painéis, com uma longarina interligando os topos dos montantes no sentido longitudinal; e com vigamentos transversais, interligando os quatro arcos paralelos, acrescidos de contraventamentos verticais e horizontais (METALICA, 2018a, s./p.). A figura 1 mostra o perfil longitudinal desse viaduto que teve sua estrutura trazida da Bélgica, pronta para ser montada em 1913, passando por reformas em 1950 (devido à corrosão em especial dos vigamentos das transvesinas, longarinas e barras auxiliares)



**Figura 1 – Perfil longitudinal do Viaduto Santa Efigênia.**

*Fonte: Metálica (2018a).*

Um segundo exemplo marcante é o do edifício Garagem América, o primeiro prédio do Brasil, construído com estruturas metálicas (16 andares), fabricado e montado por brasileiros em 1954 com a função de ser uma garagem vertical no centro da cidade de São Paulo.

Em um terreno irregular, abrindo em leque e descendo em desnível mais de 18 m, dificultando o movimento de terra para as fundações e aventando pela primeira vez no Brasil, a solução de fundações em estacas metálicas da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), com de 2 perfis L soldados pelas abas, formando um caixão e constituindo um grande desafio estrutural para a época. (METALICA, 2018b). Os perfis eram em liga especial com alto teor de cobre para evitar corrosão.

A montagem desse edifício foi executada a mão usando como equipamentos um mastro com lança móvel, sobre um estrado com quatro rodas metálicas e dois guinchos manuais, com alavancas e cordas, um compressor de ar comprimido e marteletes de rebiteagem (figura 2a).

Como um exemplo de concreto armado e protendido<sup>1</sup>, a construção do MASP na capital paulista e seu imenso vão, é um exemplo da combinação aço e concreto e de suas vastas possibilidades estruturais (figura 2b).

No conjunto desse museu nota-se duas vigas externas (na cor vermelha), mas as reais responsáveis por grande parte da sustentação é realizada por duas vigas internas à caixa suspensa. As quatro vigas são protendidas por um sistema de

---

<sup>1</sup> Protensão: técnica utilizada para aumentar resistência do concreto, que consiste basicamente em dar tensão aos cabos de aço antes da cura do concreto. SH ANDAIMES. **O que é concreto protendido.** Disponível em: <http://www.sh.com.br/>>. Acesso em: 05.out.2018.

protensão criado pelo engenheiro José Carlos de Figueiredo Ferraz (EPUSP) (SUZUKI e ROCHLITZ, 2014).



**Figura 2 – Exemplos de uso do aço na construção civil.**

(a) Estrutura metálica do edifício Garagem América. Fonte: Metalica (a) (2018).

(b) Como componente do concreto protendido das vigas do MASP. Fonte: Suzuki e Rochlitz (2014).

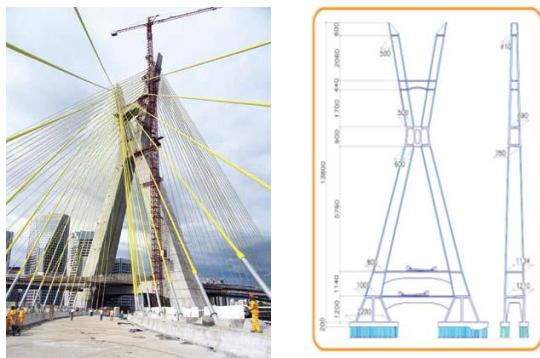
As duas vigas de cima suportam a carga da cobertura do prédio (sem sobrecargas); já as vigas internas suportam as cargas de dois andares inteiros (2 mil m<sup>2</sup> de área útil, com cargas que com móveis, pessoas e entre as obras de arte, esculturas de mármore de grande peso). Essas duas vigas resistem a uma carga de 30 tf/m, vencendo um vão de 70 m (SUZUKI e ROCHLITZ, 2014).

A protensão das vigas foi executada num período de várias semanas em centenas de cabos até atingir a compressão determinada para cada viga, injetando nata de cimento em cada bainha que envolve os cabos.

Outro exemplo aço é a ponte estaiada Octávio Frias de Oliveira (também na capital paulista), inaugurada em 2008 (figura 3). O apoio central tem início com 4 pilares de 12m de altura, com seção retangular variável, sendo ligados transversalmente por uma laje nervurada e longitudinalmente por uma plataforma de concreto protendido composta por duas vigas e uma laje. Em detalhe, são dois pilares vazados de seção retangular (paredes com espessura de 40cm e 60cm), travados

longitudinalmente por uma plataforma de concreto protendido e duas torres inclinadas na razão 1:3 com 57,6m de altura (extremidades convergem para um mesmo ponto), com seção retangular vazada com paredes de 40cm de espessura. Todas as paredes vazadas são protendidas (RIBEIRO e NOGUEIRA NETO, 2008, p.27) (vide figura 3).

Os 4 vãos estaiados são suportados por 18 pares de estais, num total de 144 estais formados por um número de cordoalhas que varia de 10 (próximos ao mastro central) a 25 (próximos aos apoios extremos). Todo estaiamento consumiu cerca de 375 mil metros de cordoalhas, equivalente a 462 toneladas de aço (RIBEIRO e NOGUEIRA NETO, 2008, p.29) (vide figura 3).



**Figura 3 – Ponte estaiada Octávio Frias de Oliveira e principais dimensões do apoio central.**

*Fonte: Ribeiro e Nogueira Neto (2008).*

Esses exemplos indicam a importância do aço na construção civil, seja como componente do concreto ou como estrutura única.

## **2.2 Propriedades, Tipos de Aço na Construção Civil e Exemplos de Normas Técnicas**

Conforme Cardoso (1988), para a determinação das propriedades do aço em relação à sua resistência, submete-se uma barra a um esforço de tração crescente, gerando uma deformação progressiva em sua extensão, um alongamento

(aumento de comprimento), permitindo a definição das seguintes propriedades dos aços:

- Resistência à tração: representada pelo quociente entre força e área (carga pela área de atuação):

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

(em Kgf/cm<sup>2</sup> ou Kgf/mm<sup>2</sup> ou N/ mm<sup>2</sup>)

Onde:

A<sub>0</sub>= Área inicial da seção reta transversal

F= força (carga)

-Deformação

$$\varepsilon = \left\{ \frac{l_f - l_0}{l_0} \right\} \text{ (em cm, mm)}$$

onde:

l<sub>0</sub>= comprimento inicial

l<sub>f</sub>= comprimento final

-Elasticidade: propriedade de voltar à forma original, quando é retirada a força externa atuante, baseada na Lei de Hooke, ou seja: deformação proporcional ao esforço aplicado:

$$\sigma = E \varepsilon$$

onde:

σ = tensão aplicada

ε = deformação

E = módulo de elasticidade do material – módulo de Young: é o quociente entre a tensão aplicada e a deformação elástica resultante:

$$E = \sigma / \varepsilon = \text{Kgf/mm}^2$$

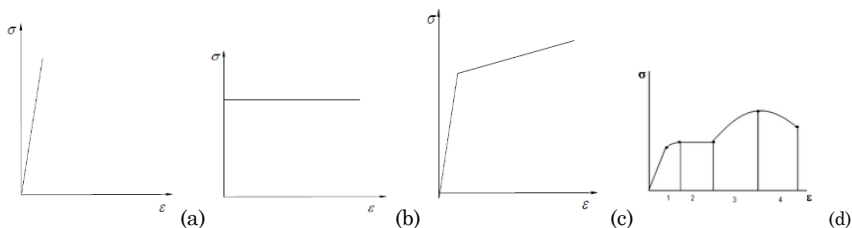
No maior valor de tensão chega-se ao limite de proporcionalidade. Quando esse limite é ultrapassado tem início a fase plástica, na qual as deformações se tornam crescentes mesmo sem a variação da tensão. Essa fase determina o patamar de escoamento.

- σ<sub>y</sub>= tensão de escoamento (corresponde a tensão máxima relacionada com o fenômeno de escoamento).

Entre os aços, o aço liga (que é um tipo tratado termicamente), não deforma plasticamente antes da ruptura, ou seja, tem baixa resistência; assim, não apresentam patamar de escoamento.

- Plasticidade: é a propriedade inversa a elasticidade. Nessa propriedade o material se deforma permanentemente quando atuado por uma carga externa, modificando a estrutura da peça e aumentando sua dureza, em um fenômeno conhecido como endurecimento pela deformação à frio ou encruamento.

A figura 4 mostra as modificações no diagrama tensão (Y) versus deformação (X) para o aço, conforme o estágio da carga atuante.



- a) comportamento elástico
- b) comportamento plástico linear
- c) comportamento no encruamento linear
- d) diagrama genérico: 1-2: elástico; 2-3: plástico; 3-4 encruamento não linear e ruptura

**Figura 4- Fases da deformação do aço.**

*Fonte: Cardoso (1988)*

- Ductilidade: propriedade de se deformar sob atuação de carga antes do rompimento; é um aviso do limite de ruptura, ou seja:  
Ductilidade= alongamento total do material devido à deformação plástica

$$\% \text{ alongamento} = \left\{ \frac{l_f - l_0}{l_0} \right\} * 100$$

Tensão de Ruptura Ruptura (Kgf/mm<sup>2</sup>): é a tensão que promove a ruptura do material; o limite de ruptura é geralmente inferior

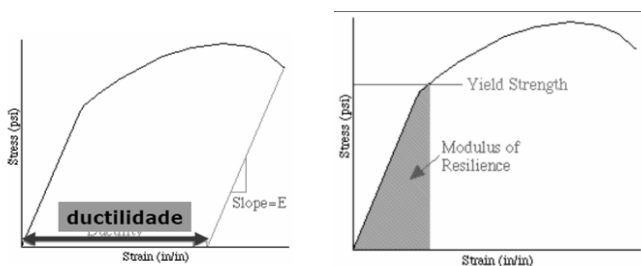


ao limite de resistência em virtude de que a área da seção reta para um material dúctil reduz-se antes da ruptura.

- Resiliência: capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico, associada ao módulo de resiliência:

$$U_r = \frac{\sigma_{esc}^2}{2E}$$

A figura 5 representa os estágios de ductilidade e resiliência.



**Figura 5 – Ductilidade e resiliência.**

Fonte: Cardoso (1988).

- Tenacidade: representa a energia total, plástica ou elástica, que o material pode absorver até romper; quanto maior energia o material requerer para ser rompido, maior é sua tenacidade.
- Fluência: corresponde aos eventuais ajustes plásticos em pontos de tensão, após o metal ser solicitado por uma carga constante, e resultar em uma deformação elástica, tendo relação com a temperatura a qual o material está submetido, portanto fator importante em caso de incêndios.
- Fadiga: a ruptura de um material sob esforços repetidos ou cíclicos. A ruptura por fadiga é sempre uma ruptura frágil, mesmo para materiais dúcteis.
- Dureza: também conhecida como resistência ao risco ou abrasão, corresponde a resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza.

Os diferentes tipos de aços apresentam variadas composições químicas, formato e tamanho e uniformidade dos grãos, que

indicam diferentes aplicações com variados níveis de resistência mecânica, soldabilidade, ductilidade, resistência à corrosão, entre outros.

Uma característica marcante é a sua resistência a tração, mas também resistem bem a compressão e a flexão e sendo um material homogêneo, permite que seja laminado, forjado, estampado, estriado e podem ganhar mais características físicas quando alterados por tratamentos térmicos ou químicos, considerando o controle de temperatura e esfriamento. Conforme Imianowsky e Walendowsky (2014), os chamados elementos de liga costumam passar por tratamento térmico com o objetivo de:

- melhorar a resistência ao desgaste, à corrosão e ao calor;
- aumentar ou diminuir a dureza;
- modificar propriedades elétricas e magnéticas;
- aumentar a resistência mecânica;
- minimizar tensões internas, com especial cuidado em seu resfriamento por igual;
- maximizar propriedades como a ductilidade (abordada a seguir), a trabalhabilidade e as propriedades de corte.

Conforme a sua tensão de escoamento mínima especificada são classificados em três grupos:

- aços carbono: aproximadamente 195 a 260 MPa;
- aços de alta resistência e baixa liga (ARBL): 290 a 345 MPa;
- aços liga tratados termicamente: 630 a 700 MPa.

Segundo o Instituto de Engenharia de São Paulo (IE SP, 2015.), especial atenção deve ser dada a possibilidade de corrosão atmosférica. Visando conter essa ação, existem os aços especiais, com uma proteção adicional, os chamados aços patináveis ou aclimáveis (em inglês, *weathering steel*), criados nos Estados Unidos na década de 1930, com primeiro uso em

estradas de ferro e depois como revestimento, combinando alta resistência mecânica com resistência à corrosão atmosférica. Comercialmente são chamados de *Corten* e no Brasil são bastante utilizados na construção civil em forma de chapas, bobinas e perfis soldados. Os aços patináveis estão no grupo de baixa liga e resistência mecânica na faixa de 500 MPa (limite de ruptura).

As montagens e aço são normatizadas por diretrizes nacionais (Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR) e internacionais como a *American Society for Testing and Materials* (ASTM), a *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), a *International Organization for Standardization* (ISO) e *EUROCODE for Building*.

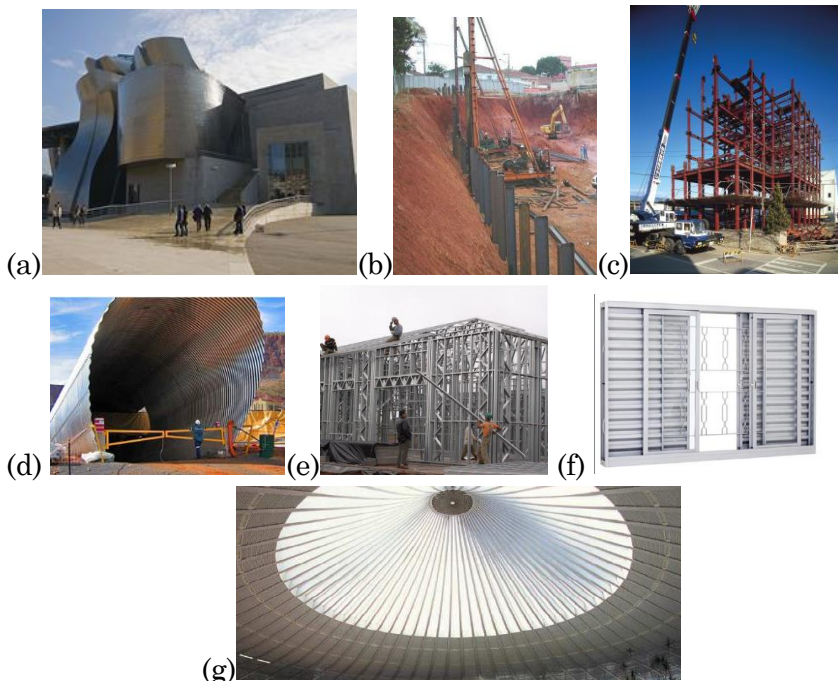
São exemplos de normas da ABNT (ABNT, 2018) para o aço:

- NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio;
- NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio;
- NBR 7007: Aço-carbono e microligados para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural;
- NBR 6650: Bobinas e chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural — Especificação;
- NBR 8261: Tubos de aço-carbono, formado a frio, com e sem solda, de seção circular, quadrada ou retangular para usos estruturais;
- NBR 6355 - Perfis estruturais de aço formados a frio — Padronização

Todas essas normas são combinadas a outras que dizem respeito a tratamentos anti-corrosão, esforços em estruturas e estruturas em concreto.

## 2.3 Uso do Aço na Construção Civil e suas Vantagens

O aço na construção civil pode ser utilizado como chapas finas, chapas grossas, perfis laminados, tubos, cabos e barras (vergalhões) de aço, dando origem a esquadrias, estacas e outros elementos estruturais, como mostram os exemplos da figura 6.



**Figura 6 – Exemplos da versatilidade do aço na construção civil (a) design/fachada do museu Guggenheim (b) fundação em estacas (c) estruturas (d) tubulação de grandes dimensões (e) esquadrias (g) cobertura da Rede Sarah Kubitschek**

*Fonte: USIMINAS, 2011.*

Destacam-se como qualidades e benefícios no uso do aço (em especial, das estruturas metálicas) na construção civil as possibilidades de (INSTITUTO DE ENGENHARIA – SP, 2015; INDÚSTRIA HOJE, 2018):

- novos padrões arquitetônicos, pois necessitam de menor número de pilares para sustentar a construção;

- reciclagem: a estrutura pode ser desmontada e 100% reciclada ou remontada;
  - menor carga nas fundações, visto que o aço é 30% mais leve que o concreto; esse fator barateia o custo das fundações;
  - preservação do meio ambiente, já que não utilizam madeira e minimizam a emissão de materiais particulados;
  - precisão estrutural, visto que as estruturas metálicas apresentam medição milimétrica, diminuindo o desperdício de material e os erros de construção;
  - retorno de investimentos mais ágil, visto que minimiza erros, desperdícios e assim, e geral, a obra em estrutura metálica cumpre prazos, cronogramas e orçamentos;
  - organização e limpeza do canteiro: essas estruturas dispensam o uso de cimento, areia, madeira e permitem meçoar a logística da área de construção;
  - fidelização do cliente: cumprindo prazos e custos com produtividade e qualidade, a imagem corporativa da empresa tende a se solidificar, alcançando as expectativas dos clientes.
- Vale ressaltar que, no caso de estruturas metálicas é necessária a utilização de mão-de-obra especializada, bem como considerar o tratamento anti- corrosão através de pinturas especiais, que inibam o processo corrosivo.

### **3 CONCLUSÃO**

O aço na construção civil possibilita variados usos que unem a estética e a resistência. Quando combinados ao concreto, são utilizados cotidianamente nas estruturas armadas e também, protendidos em pontes, aumentando as possibilidades de vãos sem apoios.

O trabalho teve como objetivo conceituar o aço, mostrar suas primeiras utilizações no Brasil, principais normas técnicas, propriedades e seus usos e vantagens. O tema é vasto e propicia inúmeros trabalhos em diferentes vertentes como cálculos, projetos arquitetônicos e aplicações diferenciadas em

construção, sendo assim, um ramo de estudo ainda a ser explorado acadêmica e profissionalmente.

Conclui-se que a versatilidade do aço, facilita seu emprego em diferentes utilizações, sejam estruturais ou não e deve continuar em desenvolvimento tecnológico, tanto do ponto de vista industrial quanto da sua aplicação prática em diversos setores e entre eles, a engenharia civil.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA – ABNT. **Pesquisa: palavra-chave: aço.** Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/>>. Acesso em: <10.out.2018.
- [2] CARDOSO, F. F. et al. **Projeto e construção de edifícios de aço: uso do aço na construção.** São Paulo: EPUSP, 1988.
- [3] Imianowsky, G.W.; Walendowsky, M.A. **Os principais aços carbono utilizados na construção civil.** Florianópolis: Arquivos do CREA de Santa Catarina, 2014. P. 1-21.
- [4] INDÚSTRIA HOJE. **O aço na construção civil.** Disponível e: <<https://www.industriahoje.com.br/>>. Acesso em: [04.out.2018.](#)
- [5] Instituto de ENGENHARIA – IE(SP). **A Utilização do aço na construção civil (2015).** Disponível em: <<https://www.institutodeengenharia.org.br/>>. Acesso em: [06.out.2018.](#)
- [6] METALICA (a). **História do Viaduto Santa Efigênia.** Disponível em: <<http://wwwo.metalica.com.br/>>. Acesso em: [04.out.2018.](#)
- [7] METALICA (b). **Primeiro edifício em estrutura metálica do Brasil.** Disponível em: <<http://wwwo.metalica.com.br/>>. Acesso em: [05.out.2018.](#)
- [8] RIBEIRO, C.F.; NOGUEIRA NETO. H.A. O aço em obras de concreto: o complexo Real Parque. **Revista Concreto**, 2008, v.36, n.50, p.25-29.

[9] SUZUKI, M.; ROCHLITZ, R. A estrutura do Masp, de Lina Bo Bardi (2014). Disponível em: <<http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/249/a-estrutura-do-masp-de-lina-bo-bardi-333984-1.aspx>> . Acesso em: 04.10.2018.

[10] USIMINAS. **Aços para Construção Civil da Fundação à Cobertura**. Belo Horizonte, 2011.