

**FLÁVIA SAYURI NAKAHARA**

**Análise da viabilidade estrutural e econômica entre estruturas de concreto armado e estruturas metálicas**

**FLÁVIA SAYURI NAKAHARA**

**Análise da viabilidade estrutural e econômica entre estruturas de concreto armado e estruturas metálicas**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Dr. João Ubiratan de Lima Silva

Guaratinguetá - SP  
2017

N163a Nakahara, Flávia Sayuri  
Análise da viabilidade estrutural e econômica entre estruturas de concreto armado e estruturas metálicas / Flávia Sayuri Nakahara – Guaratinguetá, 2017.  
46 f. : il.  
Bibliografia : f. 44-46

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.  
Orientador: Prof. Dr. João Ubiratan de Lima e Silva

1. Concreto armado. 2. Análise estrutural (Engenharia). 3. Estruturas metálicas. I. Título.

CDU 624.012.45

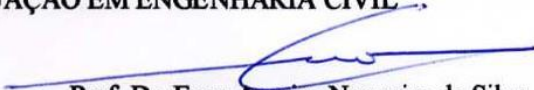
  
Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

**FLÁVIA SAYURI NAKAHARA**


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

  
Prof. Dr. Enos Arneiro Nogueira da Silva  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. João Ubiratan de Lima Silva  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dra. Marcia Regina de Freitas  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. Yzumi Taguti  
UNESP-FEG

Dezembro 2017

## **DADOS CURRICULARES**

### **FLÁVIA SAYURI NAKAHARA**

**NASCIMENTO** 25.08.1991 – São Paulo / SP

**FILIAÇÃO** Ovidio Teruaki Nakahara  
Marisa Tieme Fuzimotto Nakahara

**2011/2017** Formação acadêmica (Graduação em Engenharia Civil)  
Universidade Estadual Paulista UNESP

dedico este trabalho  
de modo especial, à todos que amo

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a minha família, principalmente meus pais, Marisa e Ovidio, por nunca terem medido esforços para me proporcionar a melhor educação possível. Sou grata também a eles e a minha irmã, Marina, por todo o apoio e incentivo desde a fase do vestibular até a entrega deste trabalho. Agradeço também pela paciência e compreensão que sempre tiveram comigo nos momentos difíceis e por terem vibrado e comemorado as conquistas e os momentos de felicidade.

Agradeço a Deus pela minha vida, minha família, meus amigos e por me permitir vivenciar toda essa experiência.

Ao meu orientador, Prof. João Ubiratan de Lima Silva por toda sua ajuda e dedicação durante a elaboração deste trabalho.

A todos meus amigos da faculdade, principalmente os meus amigos da turma de 2011 do curso de Engenharia Civil, pelo companheirismo, ajuda e todos os momentos bons que passamos juntos durante esses anos. Sem eles não teria sido tão memorável quanto foi.

E por fim, agradeço a todas as moradoras da Rep Tcheca por terem me acolhido tão bem e por terem feito o papel de família durante todo esse tempo.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer



NAKAHARA, F.S. Análise da viabilidade estrutural e econômica entre estruturas de concreto armado e estruturas metálicas. 2017. 46f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

## **RESUMO**

O atual cenário da construção civil é marcado por uma enorme competitividade e, como consequência deste fato, a cada dia um novo material ou método construtivo é lançado, aumentando ainda mais a diversidade deles. Por este motivo é fundamental ter o conhecimento das propriedades e características de cada um deles antes de escolher quais serão utilizados para a execução de um projeto. Através de pesquisa em livros, artigos e publicações especializadas, o presente trabalho tem o intuito de mostrar uma comparação entre as duas estruturas mais utilizadas no mundo, as estruturas de concreto armado e as estruturas metálicas, através de uma análise da viabilidade estrutural e econômica entre elas, ressaltando as características mais marcantes de cada uma, assim como suas vantagens e desvantagens, seus impactos ambientais e suas propriedades sustentáveis. Como resultado dessa análise comparativa foi possível determinar se um tipo de estrutura é melhor que o outro, ou se essa escolha depende do tipo de projeto, das necessidades do mesmo e também das necessidades do cliente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estrutura. Concreto Armado. Metálica. Engenharia Civil.

NAKAHARA, F.S. Analysis of the structural and economical viability between reinforced concrete structures and metallic structures. 2017. 46f. Graduate Work (Graduate in Civil Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

### **ABSTRACT**

The present situation of the civil construction sector is marked by a huge competitiveness and, as a consequence, from day to day a new material or a new construction method is launched, what increases even more their diversity. For this reason is essential having the knowledge of each one's properties and characteristics before make the choice of which one will be chosen and used for the implementation of a project. Through researches in books, articles and specialized publications, this work has the purpose of showing a comparison between the two most employed kind of structures in the world, the reinforced concrete structure and the metallic structure, through an analyses of the structural and economic viability between them, noting the most remarkable characteristics of each one, just like their advantages and disadvantages, their impact on the environment e their sustainability. As an outcome of this comparative analysis it was possible to establish if some structure is better than the other one, or if the choice between them depends on the type of the project, on its necessities and also on the client's needs.

**KEYWORDS:** Structure. Reinforced Concrete. Metallic. Civil Engineering.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Concreto Armado.....	166
Figura 2 - Barco de concreto armado de Joseph Lambot .....	17
Figura 3 - Ponte de Concreto Armado no castelo de Chazelet.....	17
Figura 4 - Ingalls Building na fase de construção .....	18
Figura 5 - Ingalls Building atualmente .....	18
Figura 6 - Edifício A Noite.....	19
Figura 7 - Edifício Martinelli.....	19
Figura 8 - Tribuna do Jockey Club.....	20
Figura 9 - Ponte Presidente Feliciano Sodré .....	20
Figura 10 - Elevador Lacerda .....	20
Figura 11 - Ponte Emilio Baumgart em fase de construção .....	20
Figura 12 - Ponte Emilio Baumgart atualmente .....	20
Figura 13 - Exemplos de Estrutura Metálica .....	21
Figura 14 - Fechamento com bloco de concreto.....	22
Figura 15 - Fechamento com painel de aço .....	22
Figura 16 - Fechamento com drywall.....	22
Figura 17 - Laje Steel Deck.....	23
Figura 18 - Laje de painel de madeira e fibrocimento.....	23
Figura 19 - Exemplos de cobertura para telhados .....	23
Figura 20 - Ponte sobre o rio Severn .....	24
Figura 21 - Ponte Britannia .....	24
Figura 22 - Home Insurance Building .....	25
Figura 23 - Fases da construção da Torre Eiffel.....	25
Figura 24 - Empire State Building.....	26
Figura 25 - Interior da Estação da Luz .....	27
Figura 26 - Estágios considerados para estimar o impacto ambiental.....	30
Figura 27 - Museu Guggenheim.....	35
Figura 28 - Hotel Burj Al Arab .....	35

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Custo da estrutura de concreto armado.....	39
Quadro 2 – Custo da estrutura metálica.....	40
Quadro 3 – Resumo comparativo .....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCEM	Associação Brasileira de Construção Metálica
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
VOC	Composto Orgânico Volátil

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	14
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	15
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
4.1	CONCRETO ARMADO .....	16
4.2	HISTÓRIA DO CONCRETO ARMADO .....	16
<b>4.2.1</b>	<b>No Mundo</b> .....	16
<b>4.2.2</b>	<b>No Brasil</b> .....	19
4.3	ESTRUTURA METÁLICA .....	21
4.4	HISTÓRIA DA ESTRUTURA METÁLICA .....	24
<b>4.4.1</b>	<b>No Mundo</b> .....	24
<b>4.4.2</b>	<b>No Brasil</b> .....	26
4.5	VANTAGENS E DESVANTAGENS .....	27
<b>4.5.1</b>	<b>Estrutura de concreto armado</b> .....	27
<b>4.5.2</b>	<b>Estruturas metálicas</b> .....	28
4.6	IMPACTO AMBIENTAL / SUSTENTABILIDADE .....	29
<b>4.6.1</b>	<b>Estruturas de concreto armado</b> .....	31
<b>4.6.2</b>	<b>Estruturas metálicas</b> .....	33
4.7	UTILIZAÇÃO NO MUNDO .....	35
4.8	EXEMPLO ANÁLISE COMPARATIVA .....	36
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	38
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	39
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	40
	<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b> .....	45

## 1 INTRODUÇÃO

Para que uma construção se materialize é imprescindível compreender a importância e a necessidade dos materiais constituintes de todas suas etapas. Tanto a concepção, o projeto, a obra em si e a manutenção, são pensadas e executadas em função desses materiais. Quando se tem o conhecimento das propriedades e características dos inúmeros materiais de construção, isso converge ao adequado emprego dos mesmos, nas várias situações que os profissionais podem se deparar (RIBEIRO, PINTO, STARLING, 2006).

Em uma construção a estrutura tem como propósito garantir a forma espacial idealizada assegurando integridade à edificação durante sua vida útil. Por isso, toda construção, de pequeno ou grande porte, exige uma estrutura suporte, que por sua vez necessita de um projeto, de um planejamento e de uma execução própria.

Além disso, as estruturas são primordiais para a preservação da segurança e da solidez de uma edificação, visto que são elas que absorvem e transmitem os esforços. Assim sendo, elas são consideradas as partes mais resistentes de uma construção e são compostas por elementos estruturais que, quando combinados, dão origem aos sistemas estruturais.

Visto que tanto a estrutura de concreto armado quanto a estrutura metálica são muito utilizadas na construção e que, dependendo do tipo de obra, uma estrutura pode ser mais recomendada que a outra, é muito importante conhecer bem as características de cada uma.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo comparativo sobre a viabilidade das estruturas de concreto armado e das estruturas metálicas, tanto em relação à aplicabilidade de cada uma delas, suas vantagens e desvantagens, quanto em relação aos aspectos econômicos e sustentáveis.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

O objetivo específico deste trabalho é ampliar os conhecimentos com relação à algumas características e qualidades pertinentes tanto da estrutura de concreto armado, quanto da estrutura metálica. O intuito é agregar esse conhecimento com tudo o que foi aprendido durante o curso de graduação em Engenharia Civil e, assim, saber escolher de forma adequada qual o melhor tipo de estrutura para uma determinada construção.



### **3 METODOLOGIA**

Este trabalho inicia-se com uma revisão bibliográfica que irá abordar diversos tópicos tanto sobre a estrutura de concreto armado, quanto sobre a estrutura metálica. Através de pesquisas em livros e em artigos, o leitor será contextualizado sobre a história e origem de ambas as estruturas, bem como sobre suas principais definições, vantagens e desvantagens de cada uma e sobre os seus impactos ambientais e características sustentáveis.

No decorrer deste trabalho também será descrito um estudo sobre a utilização dessas estruturas em certos países e regiões ao redor do mundo, com o intuito de mostrar como elas variam. Além disso, para demonstrar um comparativo econômico entre elas, será mostrado um exemplo de aplicação, com o qual será possível ver os pontos positivos e negativos de cada uma delas.

Com a finalidade de compreender se há um tipo de estrutura melhor que a outra, após a revisão bibliográfica será feita uma discussão acerca dos pontos levantados, visando mostrar ao leitor, de forma clara, algumas comparações entre a estrutura de concreto armado e a estrutura metálica.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Concreto Armado

O concreto armado (Figura 1) é a combinação do concreto e do aço que, graças às compatibilidades física e química que ocorrem entre eles, resulta em um trabalho solidário. Como compatibilidade física pode-se citar as deformações durante as variações térmicas, uma vez que as deformações de ambos são bem próximas. Já com relação à compatibilidade química, há uma boa aderência entre o aço e o concreto que é garantida através de ligação mecânica que, por sua vez, é propiciada pela rugosidade das barras de aço.

As qualidades do concreto como, por exemplo, durabilidade, boa resistência à compressão, ao fogo e à água, aliadas as qualidades do aço, como ductilidade e alta resistência à tração, permite construir elementos com relativa rapidez e facilidade, com formas e volumes variados e para diferentes tipos de obra. Segundo Bastos (2006), desde que o aço tenha o correto cobrimento e seja adequadamente envolvido pelo concreto, ele fica protegido contra a corrosão e altas temperaturas provocadas, por exemplo, por um incêndio.

Figura 1 - Concreto Armado



Fonte: AECweb (2017)

### 4.2 História do Concreto Armado

#### 4.2.1 No Mundo

O concreto armado tem sua criação atribuída a um francês chamado Joseph Lambot, que em 1848 construiu um pequeno barco (Figura 2) cuja estrutura era constituída por treliça de vergalhões de aço e envolvida por argamassa de cimento. Ele apresentou sua invenção em

uma feira de exposição em Paris em 1855, sendo que logo em seguida pediu que ela fosse patenteada.

Figura 2 - Barco de concreto armado de Joseph Lambot



Fonte: Escales Maritimes (2017)

Porém, segundo Kaefer (1998, p.24), apesar de ser considerado por muitos como o pai do concreto armado, os experimentos de Lambot não tiveram muita repercussão por si só, mas segundo alguns autores, serviram de inspiração para Joseph Monier difundir sua utilização.

Foi Joseph Monier que fez, em 1867, o primeiro uso prático do concreto inserido num sistema tecnológico, ou seja, as peças de concreto armado que ele desenvolveu podiam ser produzidas em série. As primeiras peças patenteadas por Monier foram vasos para horticultura e jardinagem seguidas por tubos e tanques, painéis decorativos para fachadas de edifícios, reservatórios de água, construção de pontes e passarelas e vigas de concreto armado (MARINGÁ, 2008).

Em 1875, Monier construiu a primeira ponte de concreto armado, no castelo de Chazelet (Figura 3). Porém, sua maior contribuição foi ter percebido que o aço e o concreto, quando combinados de forma adequada, poderiam suprir a deficiência um do outro no quesito resistência a compressão e a tração, respectivamente.

Figura 3 - Ponte de Concreto Armado no castelo de Chazelet



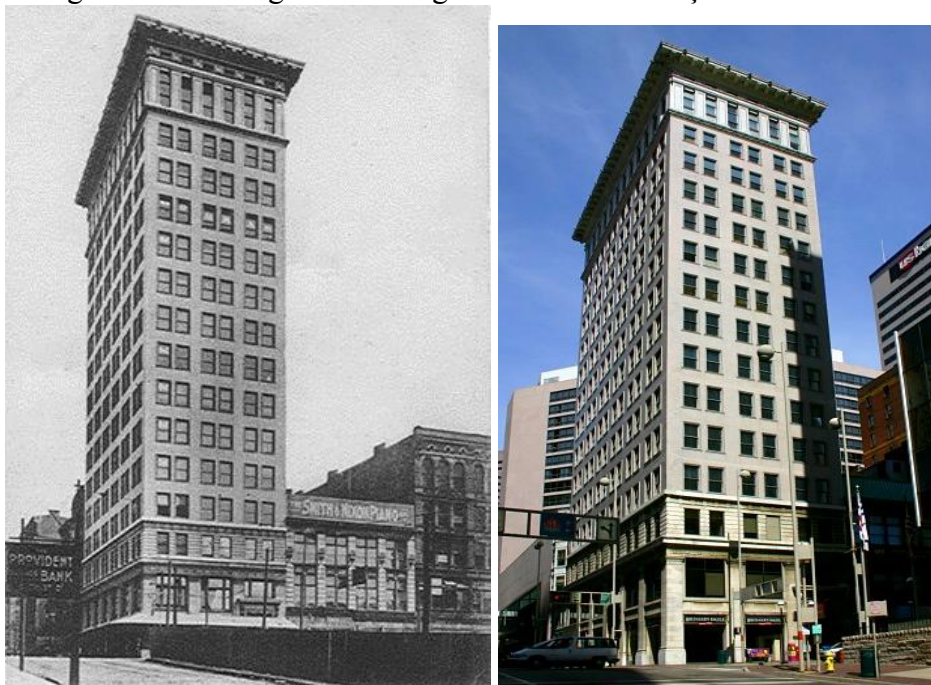
Fonte: Jardin Secrets (2017)

Durante a Exposição de Antuérpia de 1879, Monier vendeu ao engenheiro alemão Gustav Adolf Wayss os direitos da patente para uso na Alemanha. Com isso, Wayss conduziu várias pesquisas para o uso do concreto armado como material de construção em sua empresa, a Wayss & Freytag (MARINGÁ, 2008).

Outro empreiteiro francês também se destaca como um dos pioneiros do concreto armado. François Hennebique teria se inspirado no sistema Monier para desenvolver seu próprio sistema estrutural completo que era baseado em um esqueleto monolítico portante, composto por vários elementos estruturais interligados (MARINGÁ, 2008).

Em 1902 foi construído o primeiro edifício em concreto armado no mundo projetado pela firma de arquitetura Elzner & Anderson. O Ingalls Building (Figuras 4 e 5) foi erguido em Cincinnati, Ohio, Estados Unidos e sua construção gerou polêmica na época por conta da desconfiança de que ele não seria capaz de resistir às ações do vento e à retração do concreto. Felizmente, a construção foi um sucesso e isso conduziu para a aceitação dos grandes edifícios de concreto armado nos Estados Unidos.

Figuras 4 e 5 - Ingalls Building na fase de construção e atualmente



Fonte: Concrete Contractors (2017) e Wikipedia (2017)

#### 4.2.2 No Brasil

A história do concreto armado no Brasil começou com a execução de seis prédios projetados pelo engenheiro Carlos Poma em 1904, no Rio de Janeiro. Hoje, porém, não há

mais informações sobre essas construções, seja sobre onde elas foram erguidas ou sobre seus vestígios.

Segundo Santos<sup>1</sup> (1961 apud SANTOS, 2008, p.114), em 1913 chegou ao Brasil uma filial do sistema Monier, montada por Lambert Riedlinger, que após alguns anos, em 1928, tornou-se a Companhia Construtora Nacional. Nas décadas de 20 e 30 foram construídos os primeiros prédios altos no Brasil. O primeiro deles foi o edifício A Noite (Figura 6), na região portuária do Rio de Janeiro, cujos projetistas foram o arquiteto francês Joseph Gire e o brasileiro Elisário Bahiana, sendo Emílio Henrique Baumgart o responsável pelo cálculo da estrutura de 22 andares. O segundo foi o Martinelli (Figura 7), localizado no centro da cidade de São Paulo, projetado pelo arquiteto húngaro William Fillinger.

Figuras 6 e 7 - Edifício A Noite e Edifício Martinelli (respectivamente)



Fonte: Wikipedia (2017) e Coluna Alfredo Junior (2017)

O concreto armado ganhou força no Brasil por causa das ferrovias. Nesse aspecto, a estrada de ferro Mairinque-Santos foi um marco na história nacional. Surgiu graças ao engenheiro Humberto da Fonseca, que lutou diante de todas as injunções impostas pelos ingleses, que queriam vender aço para o Brasil. Muita gente importante dizia que era um absurdo utilizar concreto armado em estruturas sujeitas a vibrações, como ferrovias. Ele enfrentou todos esses desafios e insistiu no uso do concreto armado. Depois disso, o material ganhou espaço. Na verdade, isso acabou mostrando a capacidade brasileira de buscar soluções diferentes e próprias da nossa realidade (LEAL, 2004).

<sup>1</sup> SANTOS, P.F. **A Arquitetura da Sociedade Industrial**. Belo Horizonte, EAUFMG.1961 apud SANTOS, R.E. **A Armação do Concreto no Brasil**: história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia. Belo Horizonte. 2008.

Segundo Bastos (2006), o Brasil colecionou vários recordes, inclusive mundiais, durante o século passado, como por exemplo:

- Marquise da tribuna do Jockey Clube do Rio de Janeiro, com balanço de 22,4 m (recorde mundial em 1926) (Figura 8);
- Ponte Presidente Feliciano Sodré em Cabo Frio, em 1926, com arco de 67 m de vão (recorde na América do Sul) (Figura 9);
- Elevador Lacerda em Salvador em 1930, com altura total de 73 m (Figura 10);

Figuras 8 e 9 – Tribuna do Jockey Club e Ponte Presidente Feliciano Sodré, respectivamente



Fonte: Reunidas (2017) e Prefeitura de Cabo Frio (2017)

Figura 10 – Elevador Lacerda



Fonte: Bahia Turismo (2017)

- Ponte Emílio Baumgart em Santa Catarina em 1930, com o maior vão do mundo em viga em arco (68 m) (Figuras 11 e 12);

Figuras 11 e 12 – Ponte Emilio Baumgart em fase de construção e atualmente



Fonte: Indaial (2017) e Turismo Indaial (2017)

### 4.3 Estrutura Metálica

Estruturas metálicas (Figura 13) são estruturas formadas por associação de peças metálicas ligadas entre si por meio de conectores ou soldas. De acordo com a Associação Brasileira de Construção Metálica (ABCEN), o uso de estruturas de aço cria melhores condições para se vencer grandes vãos, o que permite a elaboração de projetos arquitetônicos arrojados, devido a alta resistência mecânica desse tipo de estrutura.

Figura 13 – Exemplos de Estruturas Metálicas



Fontes: Engemetal (2017) e Es Madrid (2017)

“Os aços estruturais são fabricados conforme as características mecânicas e/ou químicas desejáveis no produto final. A escolha do tipo de aço a ser utilizado em uma estrutura será determinante no dimensionamento dos elementos que o compõem.” (PINHEIRO, 2005, p.6).

Ainda segundo Pinheiro (2005), as principais propriedades dos aços estruturais são:

- Ductilidade: capacidade do material de se deformar sob a ação de cargas;
- Fragilidade: oposto da ductilidade. Os aços podem ter características de elementos frágeis em baixas temperaturas ambientes;
- Resiliência: capacidade do material de absorver energia mecânica em regime elástico;
- Tenacidade: capacidade do material de absorver energia mecânica com deformações elásticas e plásticas;
- Dureza: resistência ao risco ou abrasão;
- Fadiga: resistência a carregamentos repetitivos.

Para Bonafé ([2017]), para que não ocorra sub ou superdimensionamentos, um projeto arquitetônico composto por peças metálicas exige precisão no cálculo estrutural. Além disso,

é necessário que o tipo de material mais adequado a ser utilizado seja definido após análise do local da obra.

#### 4.3.1 Tipos de Vedações Para Estruturas Metálicas

As estruturas metálicas permitem grande flexibilidade na escolha do sistema de fechamento, seja ele horizontal ou vertical. A definição do tipo escolhido estará relacionada ao tipo de projeto e de suas características (quesito econômico, estético, tempo, etc).

A seguir estão listadas algumas opções de fechamento:

- Para fechamento Vertical (paredes):

Figura 14 – Fechamento com bloco de concreto



Fonte: Construtora Alphaville (2017)

- Alvenarias: tijolo maciço, blocos cerâmicos, blocos de concreto (Figura 14), etc.
- Painéis: de concreto, aço (Figura 15), gesso acartonado (*drywall*) (Figura 16).

Figuras 15 e 16 – Fechamento com painel de aço e *drywall*, respectivamente



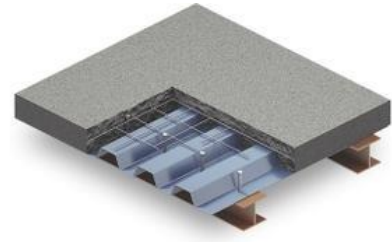
Fontes: Portal Metálica (2017) e Habitissimo (2017)

- Para fechamento Horizontal (lajes e coberturas):
  - Laje de concreto moldado *in loco*;
  - *Steel deck* (laje composta por uma telha de aço galvanizado e uma camada de concreto) (Figura 17);
  - Laje de painel de madeira e fibrocimento (Figura 18);



- Telhas de todos os tipos (Figura 19).

Figura 17 – Laje *Steel Deck*



Fonte: Real Estruturas (2017) e Mclean (2017)

Figura 18 – Laje de Pannel de Madeira e Fibrocimento



Fontes: Sul Modulos (2017) e Techne (2017)

Figura 19 – Exemplos de cobertura para telhados



Fontes: O Azulejista (2017) e Unimetal (2017)

## 4.4 História da Estrutura Metálica

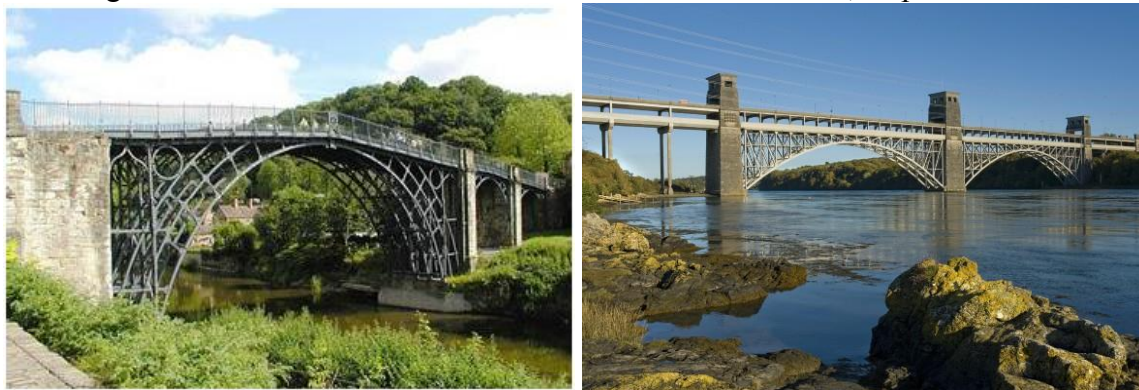
### 4.4.1 No Mundo

Não se pode determinar ao certo a origem do ferro, porém, o vestígio mais remoto deste material é datado de 4000 a.C., que são quatro esferas de ferro que foram encontradas em El-Gezivat, Egito (BANDEIRA, 2008). Além disso, no período neolítico, há vestígios da obtenção deste material a partir do minério de ferro. Contudo, foi aproximadamente a partir de 1500 a.C. que se iniciou a exploração regular do ferro como insumo para produção de artefatos.

Já o uso de metais como matéria prima para estruturas começou bem mais tarde com o ferro fundido, e alguns indicadores mostram que a utilização dessas estruturas em escala industrial começou a partir de 1750 (PINHEIRO, 2005). Considerada como a primeira ponte a ser construída com ferro fundido no mundo, a ponte sobre o rio Severn em Coalbrookdale, na Inglaterra, foi inaugurada em 1779 e foi projetada para vencer um vão de 30m (Figura 20). Entre 1780 e 1820 muitas pontes foram construídas em ferro fundido e geralmente elas eram feitas em arco, sendo que as vigas principais eram compostas por peças deste material e formavam barras ou treliças (FAKURY; CALDAS; SILVA, s.d.).

Na primeira metade do século XIX aconteceram dois fatos relevantes na história da estrutura metálica: o visível progresso pelo qual passou o cálculo estrutural, o que resultou no surgimento de sistemas estaticamente precisos; e o início da laminação de perfis, o que permitiu a produção industrializada de componentes estruturais de ferro laminado. Como exemplo tem-se a ponte Britannia em Menai, no País de Gales, com vãos de 70m, 140m, 140m e 70m (Figura 21). Nesse período também, as estruturas metálicas começaram a ser utilizadas para a construção de edifícios industriais (FAKURY; CALDAS; SILVA, sem data)

Figuras 20 e 21 – Ponte sobre o rio Severn e Ponte Britannia, respectivamente



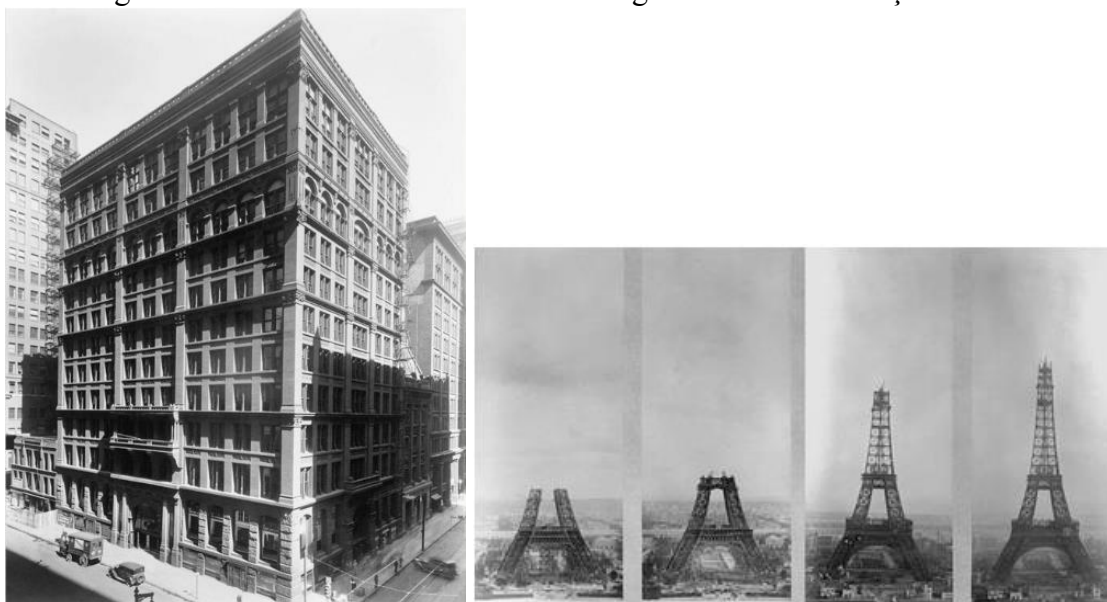
Fonte: Educacional (2017) e Our Heritage (2017)

Com projetos de estruturas cada vez mais arrojados e após alguns acidentes ocorridos com algumas pontes com estrutura de ferro, foi crescendo a necessidade de se utilizar um material estrutural que apresentasse melhores características. Foi nesse momento que o aço chamou a atenção. Em 1856 o inglês Henry Bessemer criou um forno que possibilitou a produção do aço em grande escala e, em seguida, em 1865, se deu a aceleração do desenvolvimento da siderurgia a partir dos processos de Siemens-Martin.

Já com relação aos edifícios de andares múltiplos em estrutura metálica, empregando ainda o ferro como matéria prima, eles começaram a aparecer no início da segunda metade do século XIX. O primeiro deles foi o Home Insurance Building, construído em Chicago em 1885 (Figura 22) (FAKURY; CALDAS; SILVA, sem data).

Um exemplo marcante de construção com estrutura metálica é a famosa Torre Eiffel (Figura 23), em Paris, concluída em 1889 e idealizada por Gustave Eiffel. Ela possui aproximadamente 320m de altura e até hoje é um dos pontos turístico mais visitado no mundo.

Figuras 22 e 23 – Home Insurance Building e Fases da construção da Torre Eiffel



Fonte: BBC (2017) e Educacional (2017)

Outro exemplo bastante conhecido é o Empire State Building (Figura 24), localizado em Nova York. Ele é um edifício de 102 andares construído usando estruturas de aço e também é um dos cartões postais da ilha de Manhattan.

Figura 24 – Empire State Building



Fonte: Liberty Harbor (2017)

#### 4.4.2 No Brasil

“No Brasil, a atividade metalúrgica no início da colonização era exercida pelos artífices ferreiros, caldeireiros, funileiros, sempre presentes nos grupos de portugueses que desembarcavam nas recém-fundadas capitanias” (NETO, 2008, p.1-4).

Segundo Castro (2007), entre meados do século XIX e início do século XX, o Brasil importou da Grã-Bretanha, Alemanha, França e Bélgica, um grande número de edifícios e complementos arquitetônicos de ferro pré-fabricados. Junto com a importação do material, veio também a arquitetura europeia. Em São Paulo, o ferro foi aplicado, num primeiro momento, como elemento decorativo: colunas, portões, gradis e chafarizes. Após isso ele passou a ser comercializado e utilizado em maior escala, seja como peças estruturais ou edifícios pré-fabricados.

Visto que o Brasil era defasado com relação a soluções e empregabilidade do ferro, durante um longo período foram surgindo várias iniciativas para a implantação de indústrias siderúrgicas, com o propósito de tentar suprir o mercado interno (CASTRO, 2007). Foi essa implantação que permitiu que houvesse um grande avanço na fabricação de perfis em larga escala (PINHEIRO, 2005). Um dos exemplos de companhia siderúrgica que surgiu nessa época foi a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), que começou a operar em 1946 (PINHEIRO, 2005).

A Estação da Luz, em São Paulo, é um grande marco na construção com estrutura metálica do Brasil. Ela foi inaugurada em 1901, localizada na zona central de São Paulo

(Figura 25). Sua cobertura é constituída por uma estrutura de grande porte, composta por armações curvas de treliça metálica e por peças de ferro fundido. Toda essa estrutura foi importada da Grã-Bretanha e vence cerca de 40 metros (KÜHL, 2015).

Figura 25 – Interior da Estação da Luz



Fonte: Estação da Luz (2017)

#### **4.5 Vantagens e Desvantagens**

O tipo de material a ser escolhido para realizar a estrutura de uma obra, como já dito, é uma etapa muito importante do projeto e requer uma série de considerações para que seja eleito o material mais vantajoso. Os principais quesitos a serem analisados são: tipo de obra (pequeno, médio ou grande porte) e sua finalidade, tempo disponível para sua realização, verba e arquitetura. São por esses motivos que é essencial que se conheça as principais vantagens e desvantagens, nesse caso, da estrutura de concreto armado e da estrutura metálica.

##### **4.5.1 Estrutura de Concreto Armado**

###### **4.5.1.1 Vantagens**

- Adaptabilidade: fácil modelagem. Permite construir elementos com as mais variadas formas e volumes;
- Disponibilidade: o material e as ferramentas necessárias são facilmente encontrados;
- Boa resistência aos esforços dinâmicos (choques e vibrações) – os problemas de fadiga são menores;
- Boa resistência ao fogo, desde que a armadura seja protegida por um cobrimento mínimo adequado de concreto;
- Boa resistência à água, desde que receba um tratamento adequado para tal;

- Mão de obra mais abundante, uma vez que ela é pouco especializada e, assim, mais barata;
- Durabilidade: a resistência do concreto aumenta com o passar do tempo.

#### 4.5.1.2 Desvantagens

- Peso próprio elevado;
- Tempo de execução demorada: o concreto exige um tempo de cura que paralisa algumas etapas da obra, o qual pode ser considerado como um tempo morto;
- Transmite calor e som;
- Reformas e adaptações são de difícil execução e caras;
- A estrutura é executada *in loco* e por isso demanda vários materiais diferentes que, por sua vez, necessitam de um canteiro de obras organizado onde serão armazenados;
- Requer vários profissionais na obra: armadores, carpinteiros, pedreiros e ajudantes.

#### 4.5.2 Estrutura Metálica

##### 4.5.2.1 Vantagens

Como dito por Pugliesi e Lauand (2005), de modo geral, as estruturas metálicas são empregadas para a satisfação de alguns requisitos da engenharia, como os que seguem:

- Redução do peso próprio da estrutura: a estrutura metálica geralmente é muito mais leve que a de concreto armado, o que resulta em peças mais esbeltas e menos carga sobre a fundação;
- Provável economia no projeto de fundações visto à diminuição de esforços e redução de reações, especialmente em terrenos de baixa resistência;
- Ganho de tempo: rápida montagem;
- Menor quantidade de mão de obra;
- Reciclagem dos elementos utilizados na estrutura: possibilidade de reaproveitamento dos materiais em estoque, ou mesmo, sobras de obra;
- Obra mais limpa;
- Fabricação das estruturas com precisão milimétrica, possibilitando um alto controle de qualidade do produto acabado;

- Garantia das dimensões e propriedades dos materiais;
- Em caso de necessidade, possibilita a desmontagem das estruturas e sua posterior montagem em outro local;
- Alta resistência estrutural, possibilitando a execução de estruturas leves para vencer grandes vãos.

#### **4.5.2.2 Desvantagens**

- Mão de obra pouco abundante no Brasil: a estrutura metálica requer uma mão de obra mais qualificada e, conseqüentemente, mais cara que a utilizada para a construção de estruturas de concreto armado;
- Limitação de execução em fabrica, em função do transporte até o local de sua montagem final;
- Necessidade de tratamento superficial das peças contra oxidação (corrosão), devido ao contato com ar atmosférico e contra chamas;
- Necessidade de equipamentos especializados para sua fabricação e montagem;
- Custo mais alto que a do que a de concreto armado, sendo sua vantagem econômica relacionada principalmente à diminuição do prazo da obra;
- Desembolso em curto prazo: como a fabricação e a montagem são rápidas, o desembolso com a estrutura acaba sendo rápido também;
- Necessidade de um grau de precisão muito maior nos cálculos de pré-dimensionamento, visto que a rigidez de cada peça é muito menor que as equivalentes em concreto.

#### **4.6 Impacto Ambiental / Sustentabilidade**

Com os níveis de consumo cada vez mais altos, a exploração de recursos para suprir tais demandas vem exercendo uma pressão crescente sobre os sistemas do planeta. Esse processo está causando uma impactante destruição dos sistemas ecológicos dos quais todas as espécies dependem (BENTO, 2016, p.16).

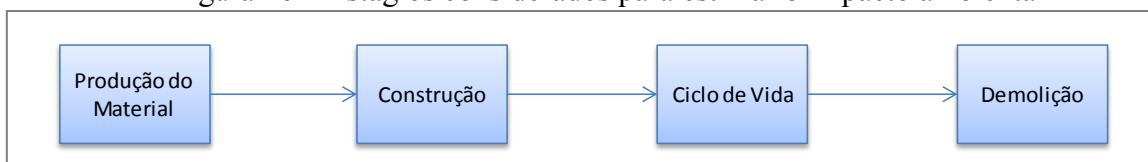
Pode-se dizer que as principais consumidoras de recursos, tanto energética como de materiais, e que também são grandes geradoras de resíduos, são a indústria da construção civil

e a do ambiente construído (CIB, 1999; ANDRADE et al, 2004; ORTIZ et al, 2009 apud BENTO, 2016)<sup>2</sup>.

No âmbito da construção o conceito de sustentabilidade engloba vários itens como: menor emissão de gases do efeito estufa, menor uso de energia, menos ruído, mais rapidez, maior durabilidade, menos produção de entulho, maior reciclabilidade, mais possibilidades de reaproveitamento e maior vida útil, além de menor necessidade de manutenção para o produto final (HELENE, 2011).

Segundo Bento (2016, p.27), a produção, transporte e uso de materiais, produtos e componentes de construção contribuem para a poluição gerada para a execução das edificações. Para estimar o impacto ambiental de um material de construção é necessário considerar todos os estágios da vida do material (STRUBLE; GODFREY, 2004) (Figura 26).

Figura 26 – Estágios considerados para estimar o impacto ambiental



Fonte: Autor, 2017

Cada material de construção é fabricado através de uma combinação de matérias primas, com certo gasto de energia, e com resíduos associados. Portanto, a fabricação deles é um elemento essencial quando se quer avaliar o impacto ambiental. As matérias primas são renováveis? Elas são escassas? Quanta energia é necessária para sua fabricação? Quanto resíduo é gerado durante o processo de fabricação e qual o impacto deles no meio ambiente? (STRUBLE; GODFREY, 2004)

O tempo de vida da estrutura possui um impacto direto na sustentabilidade e é diretamente controlada pela durabilidade dos materiais de construção e pelo tipo de material que é empregado. Quando uma estrutura se deteriora, ela deve ser destruída ou restaurada. Por isso, tanto a adaptabilidade do projeto quanto a realização de reparos e renovações também influenciam o impacto ambiental (STRUBLE; GODFREY, 2004).

<sup>2</sup> CIB – INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION, **Agenda 21 on sustainable construction**: CIB Report Publication 237, 130 p.,1999. ANDRADE, A.C.; AGOPYAN, V.; PALIARI, J.C.; SOUZA, U.E.L. **Diagnóstico de combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva**. Ambiente Construído, Porto Alegre, vol.4, n.4, p.33-46, 2004. ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. **Sustainability in the construction industry**: A review of recente developments based on LCA. Construction and Building Materials: 23, p.28-39, 2009. apud BENTO, R.C. **Análise do Desempenho Ambiental de Estruturas de Concreto Armado**: uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no processo decisório do dimensionamento. São Carlos, 2016.



O estágio final na vida da estrutura é a demolição e seu impacto também deve ser considerado. Quanto da estrutura pode ser reutilizado? Quanto de material pode ser reciclado? Qual é o impacto ambiental do resíduo produzido durante a demolição? (STRUBLE; GODFREY, 2004)

#### **4.6.1 Estruturas de Concreto Armado**

##### **4.6.1.1 Impactos Ambientais**

Segundo Bento (2016), o concreto armado necessita de grandes quantidades de matérias-primas que são, em sua maioria, compostas por materiais não renováveis, além de consumir enormes quantidades de água e de energia para o seu beneficiamento. Nesse processo há também emissões de gases e produção de resíduos perigosos.

A seguir serão citados os principais componentes das estruturas de concreto armado e alguns de seus impactos ambientais:

##### **4.6.1.1.1 Cimento Portland**

O cimento Portland é o aglomerante essencial para a fabricação do concreto e os principais impactos ambientais relacionados à sua fabricação podem ser os seguintes (KARSTENSEN, 2006 apud BENTO, 2016)<sup>3</sup>:

- a) Emissão atmosférica dos gases NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, compostos orgânicos voláteis (VOCs) e outros. O CO<sub>2</sub> é gerado pela reação química da calcinação do calcário e pela combustão dos combustíveis fósseis utilizados nos fornos (BENTO, 2016);
- b) Emissão de poeiras fugitivas e material particulado de chaminés (BENTO, 2016);
- c) Emissão de odores, ruído e vibrações (BENTO, 2016);
- d) Grande consumo de recursos naturais como energia e matérias primas. Segundo Hooton e Bickley (2014, apud BENTO, 2016)<sup>4</sup>, 90% da energia incorporada ao concreto são atribuídas ao cimento Portland.

---

<sup>3</sup> KARSTENSEN, K.H. Formação e Emissão de POPs pela Indústria de Cimento, Fundação para a Pesquisa Científica e Industrial da Noruega: **Word Business Council for Sustainable Development – Cement Sustainable Initiative** [Edição Brasileira Fundação Cristiano Ottoni (FOC) / UFMG], 2006 apud BENTO, R.C. **Análise do Desempenho Ambiental de Estruturas de Concreto Armado**: uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no processo decisório do dimensionamento. São Carlos, 2016.

#### 4.6.1.1.2 Agregados

Segundo a ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção – (2015), o Brasil utiliza em torno de 740 milhões de toneladas de agregados por ano. Para suprir essa demanda, a extração, o processamento e as operações de transporte envolvendo essa grande quantidade de agregados consomem consideráveis quantidades de energia, além de causar efeitos desfavoráveis imediatos ao ambiente de áreas florestais e leitos de rios (BENTO, 2016).

#### 4.6.1.1.3 Água

Grandes quantidades de água são utilizadas na indústria do concreto, seja na preparação da mistura, na cura do concreto ou na indústria da limpeza. De acordo com um artigo da Revista Construção Mercado (2008), são necessários em torno de 700L de água para lavar um caminhão-betoneira, sendo que essa água, na maioria das centrais, vai para tanques de sedimentação onde recebe tratamento para corrigir seu pH. Não obstante, a formação de resíduos sólidos, que neste caso é a lama, é inevitável.

#### 4.6.1.1.4 Aço

“A indústria de siderurgia, responsável pela produção de aço, também é grande geradora de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)” (BENTO, 2016). Em média, no mundo, para cada tonelada de aço produzido são liberadas 1,9 toneladas de CO<sub>2</sub> (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2017).

#### 4.6.1.1.5 Madeira

A madeira é a matéria-prima para as fôrmas, que são utilizadas para dar ao concreto fresco a geometria desejada, e para o cimbramento que “é o conjunto de todos os elementos que servem para sustentar o concreto fresco até que atinja a resistência suficiente para auto suportar os esforços que lhe são submetidos” (BENTO, 2016).

Os impactos ambientais nesse caso podem ser resumidos a: exploração ilegal de madeira e emissão de CO<sub>2</sub> decorrente do transporte da madeira de seu local de extração até seu local de uso, visto que esse transporte acontece principalmente por modal rodoviário.

---

<sup>4</sup> HOOTON, R.D.; BICKLEY, J.A. **Design for durability**: The key to improving concrete sustainability: Construction and Building Materials, 2014 apud BENTO, R.C. **Análise do Desempenho Ambiental de Estruturas de Concreto Armado**: uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no processo decisório do dimensionamento. São Carlos, 2016.

#### **4.6.1.2 Sustentabilidade**

Apesar dos impactos ambientais causados pela estrutura de concreto armado, a mesma também possui alguns pontos positivos com relação a sua interação com o meio ambiente.

- a) Durabilidade: uma estrutura de concreto armado pode durar por muito tempo, até séculos;
- b) Baixo custo de manutenção e reparos;
- c) Reciclagem: ao fim da sua vida, o concreto pode ser utilizado como agregado;
- d) Absorção de CO<sub>2</sub> pelas estruturas de concreto com o passar dos anos (BENTO, 2016).

#### **4.6.2 Estruturas Metálicas**

##### **4.6.2.1 Impactos Ambientais**

O principal impacto ambiental causado pela utilização de estrutura metálica se refere ao processo de produção do aço, que pode ser feito a partir de matérias primas (minério de ferro, calcário e coque) em alto-forno ou a partir de sucata em forno elétrico de arco. Ambos os processos utilizam aço reciclado, sendo que o primeiro citado utiliza entre 25% a 35% enquanto que para o seguinte essa porcentagem sobe para aproximadamente 95% (GERVASIO, 2008).

Na produção do aço as emissões mais significativas são aquelas emitidas para a atmosfera, principalmente a emissão de CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito estufa. Neste caso, a produção de uma tonelada de aço em forno elétrico de arco gera cerca de 460 kg de equivalentes de CO<sub>2</sub> (GERVASIO, 2008), ao passo que a produção da mesma quantidade em alto forno, em média no mundo, produz cerca de 1,9 toneladas de equivalentes de CO<sub>2</sub> (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2017).

##### **4.6.2.2 Sustentabilidade**

Segundo Gervasio (2008) o aço é comumente apontado como um material “amigo do ambiente” devido principalmente ao seu potencial de reciclagem. Não obstante, além dessa característica sustentável, há outras que também merecem ser destacadas e que serão comentadas a seguir.

#### **4.6.2.2.1 Reciclagem**

De acordo com o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), o aço é um material 100% reciclável, o que permite que, esgotada a vida útil da edificação, todo ele retorne aos fornos sob a forma de sucata para ser transformado em um “novo” aço, sem perda de qualidade. Ademais, a cada tonelada reciclada desse material, são poupadas 1,25 toneladas de minério de ferro, 630 kg de carvão e 54 kg de calcário (SPOT, 2002, apud GERVASIO, 2008)<sup>5</sup>.

Outro ponto positivo nesse quesito é que as estruturas podem ser reaproveitadas após serem desmontadas.

#### **4.6.2.2.2 Economia de materiais e diminuição dos impactos**

As estruturas metálicas são relativamente leves e isso reduz as fundações e escavações, preservando mais o solo e resultando em menor retirada de terra. Isso conseqüentemente demanda menos viagens de caminhões para a remoção de terra, reduzindo a emissão de CO<sub>2</sub>, e também diminui a necessidade de áreas para o descarte da mesma (CBCA, s.d).

Outra economia com material se refere ao consumo de madeira na execução desse tipo de estrutura, pois, uma vez que ele não utiliza fôrmas e dispensa escoramentos, muita madeira deixa de ser descartada.

#### **4.6.2.2.3 Flexibilidade**

As construções que utilizam estrutura em aço podem ser facilmente modificadas e adaptadas, isso porque esse tipo de estrutura oferece máxima liberdade ao empreendimento, seja na fase de operação ou em futuras adaptações.

#### **4.6.2.2.4 Economia de Energia**

Dadas as características do aço como resistência e ductilidade, as estruturas metálicas permitem a construção de fachadas mais leves, pilares mais esbeltos e vãos livres mais amplos (GERVASIO, 2008). Tudo isso aliado com telhados transparentes, por exemplo, favorecem a iluminação natural e, conseqüentemente, a economia de energia elétrica.

---

<sup>5</sup> SPOT, M. **The application of structural steel to single-family residential construction**. Node Engineering Corp., Surrey, B.C., 2002. apud GERVASIO, H.M. **A Sustentabilidade do Aço e das Estruturas Metálicas**. 2008. Disponível em: <[http://www.abcem.org.br/construmetal/2008/downloads/PDFs/27\\_Helena\\_Gervasio.pdf](http://www.abcem.org.br/construmetal/2008/downloads/PDFs/27_Helena_Gervasio.pdf)>. Acesso em: 18 out.2017

#### 4.7 Utilização No Mundo

De acordo com Bastos (2014), as estruturas de concreto armado são comuns em todos os países ao redor do mundo, sendo que aqui no Brasil é o tipo de estrutura mais utilizado. Isso pode ser explicado, ainda segundo Bastos (2014), pelo fato de que, comparada com estruturas feitas de outros materiais, há uma maior disponibilidade dos materiais componentes do concreto (cimento, agregados e água) e do aço, além da maior facilidade de aplicação. Isso também pode ser explicado pelo fato da cultura do concreto armado estar muito mais enraizada no Brasil, e pelo fato de que a estrutura metálica ainda traz algumas dúvidas e mitos para os arquitetos, projetistas e engenheiros.

Já em outros lugares do mundo, como Estados Unidos, Europa e Ásia, é a estrutura metálica que predomina nas construções. Segundo publicação na revista AU – Arquitetura e Urbanismo da editora Pini, em 2006, cerca de 70% dos prédios com mais de quatro andares na Inglaterra usam estrutura de aço, em contrapartida, no Brasil, esse percentual não passava de 5%.

Desde o século 18 que europeus e norte americanos passaram a construir edificações com o uso de estruturas metálicas. Por isso pode-se dizer que no hemisfério Norte, por exemplo, não faltam exemplos da utilização de estrutura metálica: desde a famosa Torre Eiffel em Paris (Figura 23), passando pelo museu Guggenheim em Bilbao (Espanha) (Figura 27), os arranha-céus da Escola de Chicago nos Estados Unidos e o luxuoso hotel Burj Al Arab em Dubai (Figura 28).

Figuras 27 e 28 – Museu Guggenheim em Bilbao e Hotel Burj Al Arab (respectivamente)



Fonte: Controsol (2017) e Web Luxo (2017)

#### 4.8 Exemplo Análise Comparativa

Para melhor visualizar e entender as diferenças de algumas das características dos dois tipos de estruturas estudadas neste trabalho, a seguir será comentado um estudo comparativo feito pela Brandão e Marmo Engenharia e Construções e que foi publicado no artigo Estrutura metálica x estrutura em concreto armado na revista Construção Mercado – Negócios de Incorporação e Construção Civil, da editora Pini, em 2014. O objetivo principal era analisar a viabilidade econômica e o prazo de execução de cada uma.

O empreendimento escolhido foi uma loja na cidade de Osasco (SP), o qual possuía apenas os projetos de arquitetura a princípio. Os quadros a seguir (Quadros 1 e 2) mostram a composição do custo de cada estrutura para o projeto em questão:

Quadro 1 – Custo da Estrutura de Concreto Armado

DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)		CUSTO TOTAL (R\$)	
			MATERIAL	MÃO DE OBRA	MATERIAL	MÃO DE OBRA
Concreto usinado dosado em central, brita 1 de 30 Mpa, abatimento 10x2 cm. Lançamento com bomba	m <sup>3</sup>	418,00	371,14	77,74	155.136,52	32.495,32
Fornecimento e montagem de fôrma em chapa compensada resinada (largura: 1,10 m/comprimento: 2,20 m/espessura: 12mm) (considerado reaproveitamento duas vezes)	m <sup>2</sup>	5.016,00	35,71	66,63	179.121,36	334.216,08
Fornecimento e montagem de armadura média (Bitola de 5,00 mm a 25 mm) - CA-50/CA-60	kg	41.800,00	3,90	3,89	163.020,00	162.635,44
Despesas fixas de canteiro e de fiscalização: engenharia, equipe técnica, operacionalização e manutenção de canteiro	vb/dia	120,00		3.343,68		401.241,60
<b>Custo total (R\$)</b>					<b>497.277,88</b>	<b>930.588,44</b>
<b>Custo total geral (R\$)</b>						<b>1.427.866,32</b>

Fonte: Revista Construção Mercado – Negócios de Incorporação e Construção Civil (2017)

Quadro 2 – Custo da Estrutura Metálica

DESCRIÇÃO	UNID.	QTDE.	CUSTO UNITÁRIO (R\$)		CUSTO TOTAL (R\$)	
			MATERIAL	MÃO DE OBRA	MATERIAL	MÃO DE OBRA
Estrutura metálica (vão: 6,00m a 7,50 m/sobrecarga útil: 400kgf/m <sup>2</sup> )	kg	120.000,00	8,96	3,84	1.075.200,00	460.800,00
Despesas fixas de canteiro e de fiscalização: engenharia, equipe técnica, operacionalização e manutenção de canteiro	vb/dia	60,00		3.343,68		200.620,80
<b>Custo total (R\$)</b>					<b>1.075.200,00</b>	<b>661.420,80</b>
<b>Custo total geral (R\$)</b>						<b>1.736.620,80</b>

Fonte: Revista Construção Mercado – Negócios de Incorporação e Construção Civil (2017)

Nota-se que a estrutura metálica se mostrou cerca de 20% mais cara que a de concreto armado, tornando esta última a melhor opção no quesito econômico. Entretanto, como dito anteriormente, as estruturas de concreto armado possuem um prazo mais longo de execução e logística mais complexa quando se trata de movimentação e entregas de materiais, principalmente de concreto usinado, uma vez que ele demandaria interrupções no trânsito e, consequentemente, traria transtornos à via pública.

O engenheiro Eduardo Marmo, diretor comercial da Brandão e Marmo Engenharia, explicou que como o terreno estava localizado em uma avenida movimentada e com grande tráfego de pedestres, tanto o projeto quanto a viabilização da construção deveriam ponderar sobre a logística complexa do mesmo. Ademais, o curto prazo de obras e as limitações de verba também deveriam ser considerados.

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A realização deste trabalho permitiu conhecer as principais características da estrutura de concreto armado e da estrutura metálica, tornando possível fazer uma comparação entre elas. Por exemplo, com relação ao custo de execução, a estrutura de concreto armado sai em vantagem, pois é mais barata. Um dos motivos para tal é que a mão de obra necessária para sua concepção requer menos especialização, o que a torna mais abundante e menos onerosa.

No entanto, quando se trata de tempo de execução a estrutura metálica é mais vantajosa já que ela é até 40% mais rápida para executar. Essa maior agilidade aliada com uma maior precisão viabiliza uma rotatividade de construção em um curto prazo. Já com relação a sustentabilidade ambas apresentam pontos positivos e negativos, mas em uma comparação geral, a estrutura metálica se destaca, principalmente no quesito reciclagem e processo de fabricação de sua matéria prima.

No mundo, tanto nos Estados Unidos quanto na Europa, a estrutura metálica é mais utilizada que a de concreto armado. Já no Brasil ocorre o inverso, pois é a estrutura de concreto armado que é a mais difundida e escolhida pelos engenheiros, muito pelo fato dela ser conhecida e dominada há mais tempo.

O Quadro 3, a seguir, mostra um resumo comparativo entre os dois tipos de estruturas estudadas neste trabalho.

Quadro 3: Resumo comparativo

	Estrutura de Concreto Armado	Estrutura Metálica
Peso próprio da estrutura	Elevado	Baixo
Tempo de execução	Mais demorada	Mais rápida
Mão de obra	Abundante	Limitada (requer especialização)
Vãos livres	Indicada para vãos livres pequenos	Indicada para grandes vãos livres
Comportamento contra incêndio	Bom	Requer medidas de proteção
Reforma e demolições	Mais difícil	Mais fácil
Liberdade arquitetônica	Alta	Restrita
Impacto ambiental	Alto consumo de água e emissão de VOCs	Produção de aço (emissão de CO <sub>2</sub> )
Sustentabilidade	Reciclagem do concreto e absorção de CO <sub>2</sub>	Aço 100% reciclável
Custo geral	Mais baixo	Alto
Utilização no Brasil	Mais comum	Menos comum
Utilização no Mundo	Menos comum	Mais comum

Fonte: Autor (2017)



## 6 CONCLUSÃO

Visto que atualmente o mercado de materiais para construção civil é muito vasto e concorrido, se faz necessária a realização de uma comparação abrangente entre os diversos materiais que são disponibilizados. Para tanto as seguintes informações devem ser avaliadas: as características dos materiais, preço, garantias, disponibilidade dos produtos, impactos ambientais, se existe mão de obra qualificada para a aplicação dos produtos em questão, entre outras informações.

Após a análise dos resultados no qual se comparou os pontos positivos e negativos tanto das estruturas de concreto armado quanto das estruturas metálicas, foi possível constatar que não existe um tipo de estrutura perfeito, ou seja, não dá para afirmar que um tipo é melhor que o outro em todas as ocasiões. O que se pôde concluir é que sempre haverá aquela que se adequa melhor às necessidades do projeto.

Portanto, a solução estrutural deve ser adotada em razão dos benefícios que ela irá trazer para o projeto, enfatizando não apenas uma única análise comparativa como custo, peso ou tempo de construção. Também devem ser avaliados outros fatores, seja seu valor agregado, custos econômicos, produtividade e sustentabilidade. A opção entre a estrutura de concreto armado e a estrutura metálica só pode ser decidida de forma racional após a verificação conjunta de todas as condições que influenciam a organização dos espaços e os interesses do cliente.

## REFERÊNCIAS

- AECWEB. **Concreto armado é solução durável e econômica.** Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/concreto-armado-e-solucao-duravel-e-economica\\_6993\\_0\\_1](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/concreto-armado-e-solucao-duravel-e-economica_6993_0_1)>. Acesso em 1 jul.2017
- ANEPAC – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO. **Panorama e Perspectivas para o Setor de Agregados para Construção.** São Paulo, 2015. 11p. Disponível em: <<http://www.anepac.org.br/agregados/mercado>>. Acesso em: 10 out.2017
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. **Manual da Construção Industrializada: conceitos e etapas.** Vol.1. Agência Brasileira de Desenvolvimento da Indústria, 2015. Disponível em: <<http://www.abcem.org.br/site/arquivos/manual-versao-digital-selecao.pdf>>. Acesso em: 26 jun.2017
- BAHIA TURISMO. **Elevador Lacerda.** Disponível em: <<http://www.bahia-turismo.com/salvador/elevador-lacerda.htm>>. Acesso em 08 dez.2017
- BANDEIRA, A.A.C. **Análise do Uso de Estruturas de Aço em Edificações Habitacionais de Interesse Social.** Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Monografia%20Adriana%20Almeida%20de%20Castro.pdf>>. Acesso em: 4 ago.2017
- BASTOS, P.S.S. **Histórico e Principais Elementos Estruturais de Concreto Armado.** Bauru, 2006. Disponível em: <[http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798\\_Estruturas%20de%20Concreto%20I/HIST.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798_Estruturas%20de%20Concreto%20I/HIST.pdf)>. Acesso em: 25 jun.2017.
- BASTOS, P.S.S. **Estruturas de Concreto Armado.** Bauru, 2014. Disponível em: <<http://www.pbastos.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Introducao.pdf>>. Acesso em: 10 out.2017.
- BBC. **The City That Changed Architecture Forever.** Disponível em: <<http://www.bbc.com/culture/story/20150930-chicago-birthplace-of-the-skyscraper>>. Acesso em 01 dez.2017
- BENTO, R.C. **Análise do Desempenho Ambiental de Estruturas de Concreto Armado: uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no processo decisório do dimensionamento.** São Carlos, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-23012017-101051/pt-br.php>>. Acesso em: 27 jun.2017
- BONAFÉ, G. **Estruturas Metálicas Reduzem o Tempo de Construção em até 40%.** AECweb, Revista Digital. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/estruturas-metalicas-reduzem-o-tempo-de-construcao-em-ate-40-\\_10301\\_0\\_1](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/estruturas-metalicas-reduzem-o-tempo-de-construcao-em-ate-40-_10301_0_1)>. Acesso em: 02 ago.2017
- CASTRO, E.M.L. **Light Steel Framing para Uso em Habitações.** Revista Construção Metálica, 2007. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/238267085/Artigo-Ed-84>>. Acesso em: 01 nov.17

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Construção em Aço: Sustentabilidade**. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-sustentabilidade.php>>. Acesso em 24 jun.2017

COLUNA ALFREDO JÚNIOR. **Edifício Martinelli**. Disponível em: <<https://alfredojunior.wordpress.com/2013/06/20/imagem-edificio-martinelli/>>. Acesso em: 01 jun.2017

CONCRETE CONTRACTOR. **Ingalls Building – Cincinnati, Ohio**. Disponível em : <<http://www.concretecontractor.com/concrete-construction-projects/ingalls-building/>>. Acesso em : 08 dez.2017

CONTROSOL. **Museu Guggenheim- Bilbao**. Disponível em <<http://www.controsol.pt/pt/portfolio/museu-guggenheim-bilbao/>>. Acesso em: 01.nov.2017

CONSTRUTURA ALPHAVILLE. **Quanto Vou Gastar Para Construção Galpão?** Disponível em: < <http://www.construtoraalphaville.com/galpao>>. Acesso em 01 jul.2017

EDUCACIONAL. **História da Arquitetura**. Disponível em: <<http://www.educacional.com.br/reportagens/arquitetura/industrial.asp>>. Acesso em 01 nov.2017

EDUCACIONAL. **Torre Eiffel: a ciência e a história por trás do símbolo**. Disponível em: <[http://www.educacional.com.br/noticiacomentada/torreeiffel\\_090623\\_imprimir.asp](http://www.educacional.com.br/noticiacomentada/torreeiffel_090623_imprimir.asp)>. Acesso em 01 dez.2017

ENGEMETAL. **Estruturas Metálicas**. Disponível em: <<http://engemetal.com.br/solucoes/estruturas-metalicas/>>. Acesso em 01 jul.2017

ESCALES MARITIMES. **L’incroyable filiation d’un petit bateau un peu fou**. Disponível em : < <https://escales.wordpress.com/?s=lambot>>. Acesso em: 01 jul.2017

ES MADRID. **Puente Monumental Parque de Arganzuela**. Disponível em: < [https://www.esmadrid.com/pt/informacao-turistica/puente-monumental-parque-de-arganzuela?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com.br%2F](https://www.esmadrid.com/pt/informacao-turistica/puente-monumental-parque-de-arganzuela?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com.br%2F)>. Acesso em 01 dez.2017

ESTAÇÃO DA LUZ. **Fotos**. Disponível em: < <https://estacaodaluz.org.br/fotos-da-estacao-da-luz>>. Acesso em 10 dez.2017

FAKURY, R.H.; CALDAS, R.B.; SILVA, A.L.R.C. **Introdução ao Aço: histórico**. Minas Gerais. Disponível em: <<https://www.sites.google.com/site/acoufmg/home/historico>>. Acesso em: 01 nov.2017

GERVÁSIO, H.M. **A Sustentabilidade do Aço e das Estruturas Metálicas**.2008. Disponível em: <[http://www.abcem.org.br/construmetal/2008/downloads/PDFs/27\\_Helena\\_Gervasio.pdf](http://www.abcem.org.br/construmetal/2008/downloads/PDFs/27_Helena_Gervasio.pdf)>. Acesso em 09 out.2017

HABITISSIMO. **Fechamento Lateral**. Disponível em:  
<[https://fotos.habitissimo.com.br/foto/fechamento-lateral\\_655358](https://fotos.habitissimo.com.br/foto/fechamento-lateral_655358)> Acesso em: 01 jul.2017

HELENE, P. **40 Perguntas – Materiais, componentes e sistemas construtivos**: Revista Técnica, nº 162. Ed. PINI, 2011. Disponível em: < <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/162/40-perguntas-materiais-componentes-e-sistemas-construtivos-286746-1.aspx>> . Acesso em: 10 dez.2017

INDAIAL. **A História da Ponte dos Arcos (Ponte Emílio Baumgart)**. Disponível em:  
<<http://www.indaial.com.br/a-historia-da-ponte-dos-arcos/>>. Acesso em 01 nov.2017

JARDIN SECRETS. **Joseph Monier Biographie**. Disponível em : < <http://jardin-secrets.com/joseph-monier-article-588,964,fr.html>>. Acesso em: 01 jun.2017

KAEFER, L.F. **A Evolução do Concreto Armado**. São Paulo, 1998. Disponível em:  
<<http://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>>. Acesso em: 25 jun.2017.

KÜHL, B.M. **A Arquitetura da Estação da Luz**. 2015. Disponível em:  
<<http://www.caubr.gov.br/a-arquitetura-da-estacao-da-luz-artigo-de-beatriz-mugayar-kuhl/>>. Acesso em: 10 dez.2017

LEAL, U. **Memorial do Concreto Armado**. Revista Técnica, 2004. ed.93. Disponível em:  
<<http://piniweb17.pini.com.br/construcao/noticias/memorial-do-concreto-armado-79450-1.aspx>>. Acesso em: 25 jun.2017

LIBERTY HARBOUR. **Empire State Building**. Disponível em:  
<<http://www.libertyharborrv.com/empire-state-building>>. Acesso em 01 nov.2017

MCLEAN. **Steel Deck**. Disponível em: < <http://www.mclean.ind.br/produto/detalhar/Steel-Deck-Mclean>>. Acesso em 01 jul.2017

MARINGÁ, J.D.N.C. **Um pouco sobre a história do concreto**. Maringá, 2008. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAH4sAE/historia-concreto>>. Acesso em: 10 dez.2017

NETO, A.C. **Estruturas Metálicas I**: notas de aula. Campinas, 2008. Disponível em:  
<[http://www.acn.eng.br/imagens/downloads\\_acad/EM%20I.pdf](http://www.acn.eng.br/imagens/downloads_acad/EM%20I.pdf)>. Acesso em: 01 nov.2017

O AZULEJISTA. **Telhado de Estrutura Metálica é Melhor que Madeira?** Disponível em:  
< <https://oazulejista.blogspot.com.br/2014/09/tehado-de-estrutura-metalica-e-melhor.html#ixzz3D2Km1z2V&i>>. Acesso em 01 jul.2017

OUR HERITAGE. **Britannia Bridge**. Disponível em:  
<<http://www.snowdoniaheritage.info/en/location/294/britannia-bridge>>. Acesso em 01 jul.2017

PINHEIRO, A.C.F.B. **Estruturas Metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. 2ed. São Paulo: Editora Blücher, 2005. 301p.

PORTAL MATÉLICA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Estrutura Metálica na Construção**. Disponível em: < <http://wwwo.metallica.com.br/estrutura-metalica-na-construcao>>. Acesso em 01 jul.2017

PREFEITURA DE CABO FRIO. **Ponte Feliciano Sodré Completa 91 Anos de História**. Disponível em: < <http://cabofrio.rj.gov.br/noticia/ponte-feliciano-sodre-completa-91-anos-de-historia>>. Acesso em: 10 dez.2017

PUGLIESI, M.; LAUAND, C.A. **Estruturas Metálicas**. Brasil: Editora Hemus, 2005. 892p.

REAL ESTRUTURAS. **Lajes Steel Deck**. Disponível em: <[http://www.realestruturas.com.br/?page\\_id=219](http://www.realestruturas.com.br/?page_id=219)>. Acesso em 10 dez.2017

REUNIDAS. **Brazilian Sketches by Rudyard Kipling**. Disponível em: <<http://www.reunidas.com/blog/brazilian-sketches-by-rudyard-kipling>>. Acesso em 01 nov.2017

NAKAMURA, J. **Revista AU – Arquitetura E Urbanismo - Tecnologia: Era do Aço**. Editora Pini, ed 152, 2006. Disponível em: <<http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/152/artigo34881-1.aspx>>. Acesso em: 25 out.2017

MARIANE, A. **Construção: Custo comparado**. Revista Construção Mercado. Editora Pini, ed 157, 2014. Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/157/artigo319701-1.aspx>>. Acesso em: 26 jun.2017

LOTURCO, B. **Tecnologia e Materiais: Aditivo evita descarte de água para lavar betoneira**. Revista Construção Mercado. Editora Pini, 2008. Disponível em: <<http://piniweb17.pini.com.br/construcao/tecnologia-materiais/pesquisa-comprova-eficiencia-de-aditivo-estabilizador-em-concreto-rejeitado-92950-1.aspx>>. Acesso em 09 out.2017

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. Minas Gerais: Editora da UFMG, 2006.

SULMODULOS. **Mezanino Para Construção a Seco**. Disponível em: <<http://www.sulmodulos.com.br/produtos/mezanino-para-construcao-a-seco/attachment/03/>>. Acesso em 10 dez.2017

STRUBLE, L.; GODFREY, J. How Sustainable is Concrete? In.: **International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology**. Beijing, 2004. Disponível em: <<http://www.ctre.iastate.edu/pubs/sustainable/strublesustainable.pdf>>. Acesso em 27 jun.2017

TÉCHNE. **Lajes Secas de Painéis Cimentícios com Miolo de Madeira**. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/166/artigo286789-1.aspx>>. Acesso em 01 jul.2017

TURISMO INDAIAL. **Ponte dos Arcos**. Disponível em: <<http://www.indaial.sc.gov.br/turismo/pontos-turisticos.php?c=40>>. Acesso em 10 dez.2017

UNIMETAL ESTRUTURAS. **Estruturas Metálicas**. Disponível em: <<http://www.unimetaestruturas.com.br/>>. Acesso em 01 jul.2017

WEBLUXO. **Hotel Burj Al Arab Hotel**. Disponível em:  
<<http://webluxo.com.br/home/turismo/burj-al-arab-dubai>>. Acesso em: 30 nov.20017

WIKIPEDIA. **Ingalls Building**. Disponível em:  
<[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ingalls\\_Building&oldid=771133091](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ingalls_Building&oldid=771133091)>. Acesso em: 01 jun.2017

WIKIPEDIA. **Edifício Joseph Gire**. Disponível em:  
<[https://pt.wikipedia.org/wiki/Edif%C3%ADcio\\_Joseph\\_Gire](https://pt.wikipedia.org/wiki/Edif%C3%ADcio_Joseph_Gire)>. Acesso em: 10 dez.2017

WORLDSTEEL ASSOCIATION. **Sustainable Steel: Indicators 2017 and the Future**. Disponível em: <[https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:938bf06f-764e-441c-874a-057932e06dba/Sust\\_Steel\\_2017\\_vfinal\\_web.pdf](https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:938bf06f-764e-441c-874a-057932e06dba/Sust_Steel_2017_vfinal_web.pdf)>. Acesso em: 09 out.2017

**BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

GRAZIANO, F.P. **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Armado**. 1ed. São Paulo: O Nome da Rosa Editora, 2005. 160p.

BOTELHO, M.H.C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado Eu Te Amo**. 8ed. São Paulo: Editora Blucher, 2015. 530p.