

FACULDADE GALILEU

ENGENHARIA CIVIL

LUÍS ALBERTO DE OLIVERIA PIAZENTIN

ESTRUTURAS DE AÇO:
Uma solução sustentável e inovadora

BOTUCATU

2020

FACULDADE GALILEU
ENGENHARIA CIVIL

LUÍS ALBERTO DE OLIVERIA PIAZENTIN

ESTRUTURAS DE AÇO:
Uma solução sustentável e inovadora

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade Galileu, como
parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Bacharel no Curso
de Engenharia Civil, orientado pelo Prof.^a
Esp. Aline Jauch Antônio.

BOTUCATU
2020

LUÍS ALBERTO DE OLIVERIA PIAZENTIN

ESTRUTURAS DE AÇO:
Uma solução sustentável e inovadora

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Aline Jauch Antônio
Docente orientador
Faculdade Galileu

Prof. (Nome do professor avaliador)

Prof. (Nome do professor avaliador)

AGRADECIMENTOS

A Deus por me proporcionar perseverança durante toda a minha vida.

Aos meus pais Carlos Alberto Piazzentin e Maria da Graça de Oliveira pelo apoio e incentivo que serviram de alicerce para as minhas realizações.

À minha irmã Juliana de Oliveira Piazzentin e meu cunhado Bruno Henrique Salvador pela amizade e atenção dedicadas quando sempre precisei.

À minha amada namorada e principal incentivadora na minha jornada na graduação Ana Paula Borgato pelo seu amor incondicional e por compreender minha dedicação ao projeto de pesquisa.

Aos professores orientadores Douglas Ricardo Fumes e Aline Jauch pelas valiosas contribuições fornecidas durante todo o processo.

A todos os meus amigos do curso de graduação que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com o espírito colaborativo.

Também quero agradecer à Faculdade Galileu e o seu corpo docente que demonstrou estar comprometido com a qualidade e excelência do ensino.

RESUMO

Estrutura metálica é um elemento estrutural cuja seção é produzida totalmente em material metálico, principalmente aço. Este é formado essencialmente por ferro e carbono e sua resistência depende da quantidade de carbono utilizado. Para entender os perfis estruturais de aço é importante compreender a relação entre a forma das seções estruturais e os esforços a que elas estão submetidas. A seção transversal de um perfil influencia no seu comportamento estrutural, a distribuição do material também influencia na quantidade, forma e espaço ocupado pelo perfil. Diminuir o espaço ocupado pelos elementos estruturais pode trazer vantagens estéticas, mas também práticas, como por exemplo a ampliação do espaço útil da edificação e a redução do consumo do material e assim, o custo da obra. A montagem das estruturas começa pela descarga e conferência das peças e o pessoal técnico de montar deve dispor de uma lista completa das peças de toda a estrutura. As peças que chegam precisam ser acompanhadas rigorosamente para evitar surgir surpresas de última hora. Porém, quando buscamos entender os benefícios da utilização das estruturas em aço nas obras, observamos que de maneira individualizada ou em obras de pequeno porte, as estruturas de aço podem não apresentar uma redução nos custos. Porém, em obras de médio e grande portes a hipótese desta pesquisa se confirma, sendo quatro os principais benefícios do ponto de vista econômico-financeiro quando levamos em consideração o empreendimento como um todo, desde seu surgimento até seu uso final. Sendo que ele terá uma significativa redução em seus custos, principalmente nos fatores: redução do tempo de construção; aumento da produtividade e racionalização no uso de materiais e mão de obra. Portanto, o empreendimento estruturado em aço pode sim ser mais econômico, mas para isso é preciso saber equacionar os demais custos da obra. Sendo importante lembrar que nem sempre a solução, aparentemente mais barata, é a mais viável economicamente.

Palavras-chave: Aço; Benefícios; Empreendimento; Estruturas.

ABSTRACT

Metal structure is a structural element whose section is produced entirely in metallic material, mainly steel. This is essentially formed by iron and carbon and its resistance depends on the amount of carbon used. To understand the structural steel profiles it is important to understand the relationship between the shape of the structural sections and the stresses to which they are subjected. The cross section of a profile influences its structural behavior, the distribution of the material also influences the quantity, shape and space occupied by the profile. Reducing the space occupied by the structural elements can bring aesthetic but also practical advantages, such as expanding the useful space of the building and reducing the consumption of material and thus the cost of the work. The assembly of the structures begins with the unloading and checking of the parts and the technical assembly personnel must have a complete list of parts for the entire structure. The incoming pieces need to be strictly followed to avoid last minute surprises. However, when we seek to understand the benefits of using steel structures in the works, we observe that, individually or in small works, steel structures may not present a reduction in costs. However, in medium and large-sized projects, the hypothesis of this research is confirmed, with four main benefits from the economic-financial point of view when we consider the enterprise as a whole, from its emergence to its final use. Being that it will have a significant reduction in its costs, mainly in the factors: reduction of the construction time; increased productivity and rationalized use of materials and labor. Therefore, the enterprise structured in steel may indeed be more economical, but for that it is necessary to know how to balance the other costs of the work. It is important to remember that the apparently cheaper solution is not always the most economically viable.

Keywords: Benefits; Property; Steel; Structures.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CS	Coluna Soldada
CVS	Coluna e Viga Soldada
VGv	Valor Geral de Vendas
VS	Viga Soldada

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de aço e perfis para estrutura metálica de edifícios	6
Figura 2: Coberturas Metálicas	10
Figura 3: Aços finos produzidos pela empresa Gerdau	11
Figura 4: Comparativo de custos	14
Figura 5: Comparativo de prazos.....	14
Figura 6: Comparativo de viabilidade econômica	16
Figura 7: Comparação entre edifício de estrutura metálica e de concreto.....	20
Figura 8: Comparação entre os custos utilizando estrutura metálica e concreto armado.....	20
Figura 9: Comparação das seções das vigas.....	21
Figura 10: Comparação das seções dos pilares.....	21
Figura 11 – Comparação entre os custos utilizando estrutura metálica e concreto armado.....	22
Figura 12: Vantagens da construção em aço – Possibilidade de reciclagem.....	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
2	FUNDAMETANÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1	ESTRUTURAS DE AÇO.....	5
2.2	TIPOS DE PERFIS ESTRUTURAIS DE AÇO	5
2.2.1	Classificação dos Perfis – Fabricação	6
2.2.2	Classificação dos Perfis – Geometria	7
2.3	AÇOS ESTRUTURAIS	10
2.3.1	Montagem de estruturas de aço	12
2.3.2	Vedações externas e lajes.....	12
2.4	VIABILIDADE ECONÔMICA DAS ESTRUTURAS DE AÇO	13
2.4.1	Valor Geral de Venda (VGV).....	14
2.4.2	Análise de Viabilidade Econômica	15
3	METODOLOGIA	17
4	RESULTADOS	19
5	CONCLUSÃO	24
6	REREFÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

Este artigo é referente ao Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Galileu, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel no Curso de Engenharia de Civil, trabalho este desenvolvido com o tema “estruturas de aço”, mais concretamente, buscando compreender os benefícios das estruturas de aço, como uma solução inovadora para as construções.

Em justificativa, a escolha desse tema surgiu a partir de benefícios da estrutura de aço em relação à estrutura de concreto armado demonstrando que a estrutura de aço é mais leve, resistente e suporta mais força, além de seu caráter menos agressivo ao meio ambiente.

No Brasil a Estrutura de concreto armado é mais utilizada que a estrutura de aço, segundo Carolina Fonseca, gerente executiva do centro brasileiro da construção de aço (CBCA), a construção representa atualmente cerca de 15% do universo do setor de edificações no Brasil.

Segundo Moura (2018), o aço é 3,14 vezes mais pesado que o concreto, porém o aço chega a 10 vezes a resistência do concreto C25, com esse resultado é possível reduzir o peso das edificações com o uso da estrutura em aço.

“As características de rigidez e de ductibilidade da estrutura são de muita importância, isto é, o material de que são feitas, se aporticadas ou não, se travadas ou não, se são torres, se são muros etc. muitas vezes, é economicamente inviável fazer com que uma estrutura seja capaz de resistir sem danos a um terremoto. Assim, uma estrutura de aço é mais dúctil que uma de concreto” (BRASIL; DA SILVA, 2013, p. 196).

A problematização envolvida seria que, em alguns casos, o custo da estrutura das estruturas de aço é maior do que as alternativas convencionais, mesmo assim, as estruturas de aço podem ser a opção mais econômica para um empreendimento, a comparação nunca deve ser feita apenas em custos, pois o tempo de execução da obra e a geração de resíduos também deverá ser levada em consideração.

A relevância e contribuição social da pesquisa é apontar a importância desta estrutura metálica, frente a construção em concreto. Pois, seu caráter menos agressivo ao meio ambiente. Atualmente, boa parte do aço produzido no mundo é proveniente de reciclagem. No caso da construção civil, parafusos, conexões e membros estruturais podem ser desmontados e reutilizados, implicando em uma

possível reciclagem de 100%, sem perda de resistência mecânica quando da reutilização.

O objetivo desta pesquisa é apresentar um estudo voltado para demonstrar os benefícios do aço na construção civil, bem como suas características e suas qualidades.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESTRUTURAS DE AÇO

De acordo com PEREIRA (2019), podemos definir estrutura metálica como um elemento estrutural cuja seção é produzida totalmente em material metálico, principalmente aço. Este é formado essencialmente por ferro e carbono e sua resistência depende da quantidade de carbono utilizado.

“As estruturas metálicas, têm indicadores de sua utilização em escala industrial a partir de 1750. No Brasil o início de sua fabricação foi no ano de 1812, sendo que o grande avanço na fabricação de perfis em escala ocorreu com a implantação das grandes siderúrgicas. Como exemplo, tem-se a Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, que começou a operar em 1946” (PINHEIRO, 2005, p. 01).

2.2 TIPOS DE PERFIS ESTRUTURAIS DE AÇO

Para entender os perfis estruturais de aço, SOUZA (2017), nos mostra que é importante compreender a relação entre a forma das seções estruturais e os esforços a que elas estão submetidas. Na figura 1 pode-se verificar os tipos de aço e perfis para estrutura metálica comumente utilizados nas edificações.

A seção transversal de um perfil influencia no seu comportamento estrutural, a distribuição do material também influencia na quantidade, forma e espaço ocupado pelo perfil. Diminuir o espaço ocupado pelos elementos estruturais pode trazer vantagens estéticas, mas também práticas, como por exemplo:

- Ampliação do espaço útil da edificação
- Reduzir o consumo de material e assim, o custo da obra.

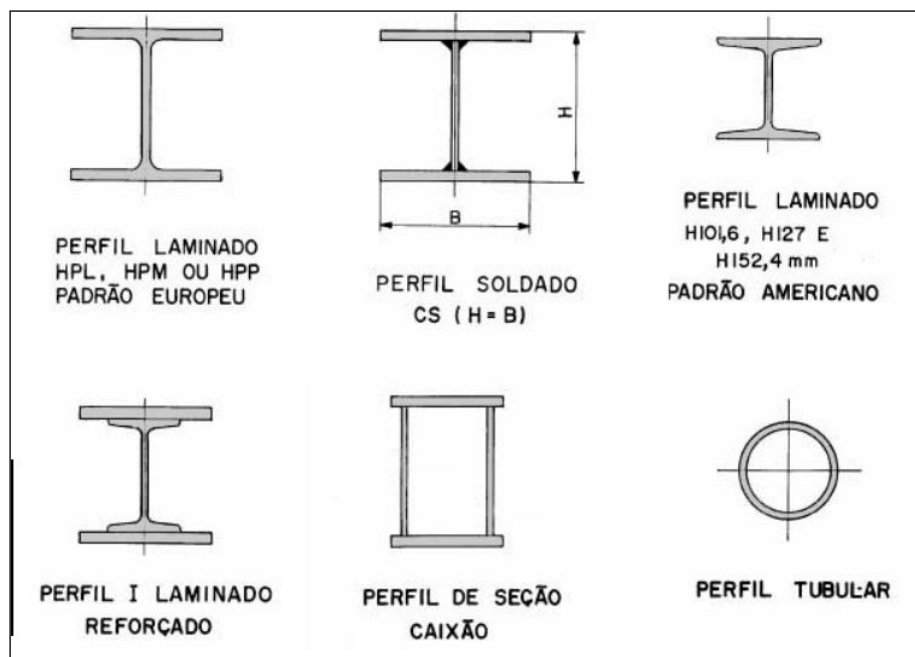


Figura 1: Tipos de aço e perfis para estrutura metálica de edifícios. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=19&Cod=104>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

A parte vertical de um perfil é chamada de alma e as partes horizontais são denominadas de mesas abas ou flanges. Para escolher o melhor perfil é importante levar em conta alguns fatores:

- Facilidade de aquisição;
- Disponibilidade de estoques;
- Prazo de entrega;
- Exigências de natureza estética;
- Requisitos de montagem e manutenção da estrutura.

Sendo importante também, conhecer os perfis disponíveis no mercado, pois os perfis podem ser classificados conforme a geometria da seção ou o processo de fabricação.

2.2.1 Classificação dos Perfis – Fabricação

Os perfis estruturais de aço podem ser fabricados através de três processos:

- Laminação a quente;
- Conformação de chapas a frio;
- Soldagem de chapas.

a) Perfis laminados: Os perfis laminados são obtidos a partir da laminação a quente de tarugos, suas dimensões são padronizadas e limitadas.

Uma das vantagens do perfil laminado é que pode ser adquirido pronto para a aplicação.

b) Perfis formados a frio: conhecido popularmente por perfil de chapa dobrada é obtido a partir do dobramento ou perfilação de chapas a frio. Quando as chapas são finas, com espessuras entre 1,5 e 5 milímetros, os perfis recebem a denominação de perfis leves.

Os perfis leves são mais utilizados em obras de pequenos portes ou em elementos estruturais secundários. Perfis formados a frio permitem grande variação de forma e dimensões nas seções, além disso, podem ser encontrados prontos e padronizados ou até fabricados sob encomenda;

c) Perfis soldados: são obtidos das soldagens das chapas, permitem uma grande variação na forma e dimensão das seções.

Este tipo de perfil é utilizado especialmente em obras de médio a grande porte ou em qualquer situação em que o projeto exigir seções com formas especiais. Nesses casos, os perfis soldados podem ser fabricados sob encomenda.

2.2.2 Classificação dos Perfis – Geometria

Segundo JAVARONI (2015), existem, no mercado, diversas opções de perfis com dimensões e geometrias variadas para atender as todas as necessidades, podendo também ser encontrados perfis prontos de prateleira ou, quando for o caso, pode optar pela fabricação sob encomenda.

O importante é entender que a escolha do perfil mais adequado para uma estrutura deve levar em conta não apenas o custo de aquisição, mas também a compatibilidade com os esforços envolvidos, os aspectos relacionados a montagem e manutenção da estrutura e o atendimento a requisitos arquitetônicos.

Levando em conta a geometria da seção, os perfis podem ser agrupados da seguinte maneira:

- **Perfil L:** as cantoneiras são especificadas com a letra “L” acompanhada das dimensões das abas e da espessura da chapa em milímetros, as cantoneiras podem ter abas iguais ou desiguais;

- **Tração e Compressão:** por apresentar pouca inércia, as cantoneiras isoladas se adaptam melhor a esforços de tração simples. São aplicadas principalmente em tirantes e barras de travamento tracionadas.

Se as cantoneiras simples forem distribuídas adequadamente, compondo

seções com a massa longe do centro de gravidade ou com grande inércia, podem ser usadas na composição de pilares, nesse caso, devem ser travadas para que trabalhem em conjunto;

- **Treliças WT:** é um sistema estrutural em que prevalece os esforços de tração e compressão simples, apresentando barras formadas por cantoneiras duplas. Essas cantoneiras podem ser utilizadas como elementos secundários na ligação entre perfis;

- **Perfil U:** é especificado pela letra “U”, acompanhada das dimensões da estrutura da alma em mm e a informação do seu peso por metro. A discriminação do peso é importante porque existem perfis que possuem a mesma altura, mas larguras e espessuras diferentes.

O perfil U apresenta uma assimetria em relação ao eixo vertical, por isso, a sua utilização se restringe as vigas pouco solicitadas, dessas de coberturas ou escadas. Não devendo ser usadas com a alma na horizontal, principalmente com as abas voltadas para cima, pois além de apresentar pouca inércia nesta direção, esse perfil pode sofrer flambagem das mesas por compressão, o que diminui ainda mais sua resistência.

Com as abas para cima, o perfil U facilita a retenção de água e contribui para a formação de focos de corrosão. A utilização do perfil U pode ser vantajosa por apresentar bom desempenho a compressão e tração;

- **Perfil I:** especificado pela letra “I”, acompanhada das dimensões da altura da alma em mm. E a informação do seu peso por metro. Uma característica do perfil I é apresentar a altura da alma bem maior que a largura das mesas.

Os perfis I laminados recebem a denominação W e os perfis I soldados recebem as siglas VS (viga soldada) ou CVS (coluna e viga soldada). A seção do perfil I faz com que ele seja indicado para as seções submetidas a momentos fletor, ou seja, para as vigas;

- **Viga Mista:** uma solução inteligente e cada vez mais utilizada é associar uma viga com perfil a lajes de concreto, sendo chamadas de vigas mistas.

Na viga mista, a laje de concreto absorve as tensões de compressão e o perfil de aço, as de tração. Essa dinâmica faz com que cada material trabalhe dentro de sua melhor característica;

- **Vigas Alveolares:** quando bem trabalhado, o perfil I pode gerar soluções interessantes como as vigas alveolares. Elas são obtidas a partir de

cortes estratégicos na alma do perfil original, que depois, são submetidas a soldagem;

- **Vigas Casteladas:** com a mesma quantidade de material, as vigas casteladas apresentam uma capacidade maior para vencer vãos e cargas. A associação certa entre pares de perfil I pode criar seções muito resistentes para pilares que são submetidos a grandes esforços de compressão e flexão;

- **Perfil H:** este perfil se distingue do perfil, por apresentar a largura das mesas igualou muito próxima da altura da alma, o perfil H é especificado pela letra “H” acompanhada das dimensões da altura da alma em mm. e a informação do seu peso em metros, da mesma forma que os perfis U e I, discriminação do peso do perfil H é importante, porque existem perfis com dimensões iguais, mas espessuras diferentes. Os perfis H laminado recebem a denominação HP ou W e os perfis soldados recebem a sigla CS (coluna soldada) ou CVS;

A distribuição de material na seção perfil H faz com que ele tenha bom desempenho, principalmente quando é submetido à compressão, por causa disso, é indicado para aplicação em pilares;

- **Perfil Tubulares:** podem ter diversas geometrias, as mais comuns são as seções circulares, quadradas e retangulares. Os tubos quadrados e retangulares são especificados com as suas dimensões externas e espessura em mm. Já os tubos circulares são especificados pelo seu diâmetro e a espessura em mm. Sendo divididos em:

- I. sem costura: são fabricados pelo processo e laminação a quente ou extrusão;
- II. com costuras, quadrados e retangulares: são obtidos a partir da conformação de tubos circulares.

Os perfis tubulares com costuras são obtidos com a conformação de chapas em perfiladoras ou dobramento em calandras e posterior soldagem da emenda. Os tubos com costuras e pequeno diâmetro normalmente são feitos com o processo contínuo de conformação e perfiladoras. Já os tubos com costuras de grande diâmetro geralmente são dobrados em calandras.

Perfis tubulares de seção quadrada e retangular também são obtidos pela composição de dois perfis por meio de solda. A forma como o material é distribuído na seção, principalmente no tubo de seção circular faz, com que o perfil apresente

boa performance quando submetido à compressão. Isso acontece nos pilares e barras de treliças, principalmente as espaciais.

Os perfis tubulares retangulares são especialmente indicados para vigas e os perfis tubulares quadrados para colunas.

2.3 AÇOS ESTRUTURAIS

Aço é uma denominação geral dado a uma grande família de ligas de ferro e carbono que contém uma variedade de diferentes elementos químicos. Não existe um único material denominado aço, assim como não há um só material chamado de plástico (GERDAU, 2002).



Figura 2: Coberturas Metálicas. Disponível em:

<<https://www.cobertecengenharia.com.br/11/servico/coberturas-metalicas>>. Acesso em: 20 mai. 2020.

Segundo SILVA e PANONNI (2010), podemos definir o aço como uma liga ferro-carbono. O aço é a liga metálica mais versátil e mais importante conhecida pelo ser humano, sendo que diversos países produzem aço e o Brasil está entre os maiores produtores mundiais.

Entretanto, “o Brasil é o segundo maior produtor de minério de ferro e o sexto maior produtor de aço, mas essa produção não é suficiente para suprir nossas necessidades internas. Por isso, o Brasil gasta muito dinheiro com importação de sucata de ferro, e as reservas de minério de ferro do planeta podem suprir só por pouco mais de um século” (SENAI-SP, 2014, p. 41).

Chamamos de Aço Estrutural o material usado em edificações, que dão origem a uma grande variedade de aplicações. Esses materiais podem apresentar maiores níveis de resistência através da adição de elementos micro ligantes, como é o caso do Nióbio e do Vanádio, ou através da laminação controlada. O limite de escoamento é a característica mecânica fundamental para determinar a resistência mecânica.

A soldabilidade é importante para que as operações de soldagem, ou corte a chama, não produzam trincas no material ou alterações localizadas nas suas propriedades mecânicas. Aços resistentes à corrosão atmosférica foram desenvolvidos ao longo das últimas décadas. Sob certas circunstâncias esses materiais geram uma ferrugem aderente e muito pouco porosa, que inibe a continuidade do enferrujamento.

Os aços estruturais podem ser classificados em dois grupos principais:

- **Aços carbono de média resistência:** são aços que apresentam limite de escoamento na faixa de 200 a 250 MPa;

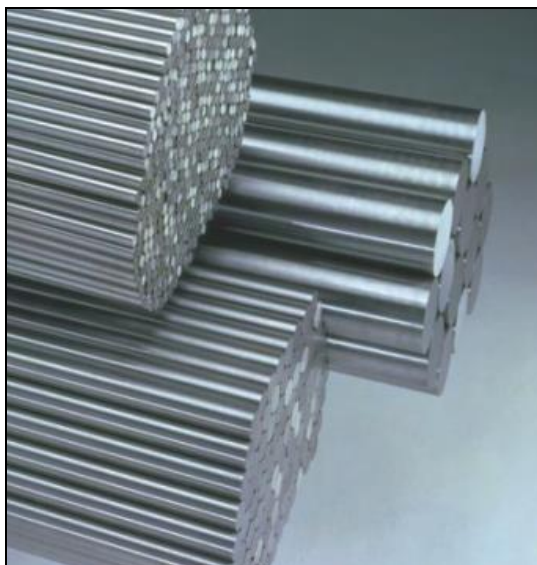


Figura 3: Aços finos produzidos pela empresa Gerdau. Disponível em:

<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2020.

- **Aços de carbono micro ligados de alta resistência:** são aços que apresentam limite de escoamento na faixa de 300 a 350 Mpa.

Os aços estruturais podem ser produzidos na forma de aços planos, como é o caso das bobinas e chapas; e na forma de aços longos com os perfis estruturais nas cantoneiras e outros. Não podem ser substituídos por aços comerciais em

obras de engenharia.

Os aços comerciais não possuem requisitos de propriedades mecânicas para realizar o dimensionamento estrutural. É preciso conhecer as propriedades mecânicas do aço, sobretudo o seu limite de escoamento. No Brasil, a ABNT trata do dimensionamento de estruturas de aço são elas NBR 8800, a NBR 14762 e a NBR 16239.

2.3.1 Montagem de estruturas de aço

A montagem das estruturas começa pela descarga e conferência das peças e o pessoal técnico de montar deve dispor de uma lista completa das peças de toda a estrutura. As peças que chegam precisam ser acompanhadas rigorosamente para evitar surgir surpresas de última hora.

“Para prevenir a interrupção da montagem, geralmente haverá vários caminhões com elementos de aço descarregando na área de depósito ao longo do tempo. O tamanho e a localização dessa área são fatores importantes a se considerar na montagem da estrutura de aço” (PEURIFOY; SCHEXNAYDER; SHAPIRA; SCHMITT, 2015, p. 704).

As estruturas de aço são montadas sobre base de concreto armado, por causa da precisão exigida pelas estruturas uma equipe de topógrafo deve verificar o nivelamento das bases, alinhamento e dimensões em planta. As diferenças de nivelamento são solucionadas com cálcios instalados pela equipe de topografia, após a correção o alinhamento das colunas, os vazios sobre a placa de base serão preenchidos com argamassa especial que devem seguir as informações dos fabricantes.

As situações de instabilidade devem ser evitadas com a aplicação de contraventamentos provisórios, depois de estabilizar as peças realizar o travamento os contraventamentos provisórios poderão ser removidos.

2.3.2 Vedações externas e lajes

Segundo COBERTEC (2018) As vedações e lajes representam uma etapa importante do processo construtivo, elas colaboram na velocidade da obra e na durabilidade da edificação. Um bom projeto das interfaces entre vedação e estrutura pode evitar futuras patologias garantindo a estanqueidade das

edificações. Durante a obra o ideal é que a execução das vedações caminhe junto com a velocidade de montagem das estruturas de aço.

Ao realizar projetos de vedação deve-se observar a posição das paredes em relação as colunas e as vigas, tendo uma atenção especial para a posição das paredes em relação as mesas das vigas. Além dos parâmetros estruturais os sistemas devem responder aos requisitos de isolamento térmico, incêndio, estanqueidade, isolamento acústico, durabilidade, manutenibilidade, os requisitos de saúde, conforto, antropodinâmica e adequação ambiental.

2.4 VIABILIDADE ECONÔMICA DAS ESTRUTURAS DE AÇO

Segundo ONOUE e ZUBERBUHLER (2015), em alguns casos, o custo da estrutura das estruturas de aço é maior do que as alternativas convencionais, mesmo assim, as estruturas de aço podem ser a opção mais econômica para um empreendimento, a comparação nunca deve ser feita apenas entre a estrutura de aço e a convencional. Sendo necessário considerar:

- Custos direto da obra: materiais, mão de obra e equipamentos;
- Despesas indiretas: mobilização da obra, administração, canteiro, almoxarifado, ferramentaria, energia, água, telefone, taxas vigilância e despesas financeiras;
- Tempo de construção;
- Fluxo de caixa;
- Ganhos com antecipação no uso do imóvel.

Entretanto, “as estruturas de aço devem ser protegidas contra a oxidação e corrosão, empregando-se para esse fim vários métodos. O mais frequente é o uso de galvanização a fogo, através do qual o aço recebe uma camada de proteção de zinco por imersão das peças em um banho de zinco fundido” (LABEGALINI, et. al., 1992, p. 83).

Portanto, devemos considerar o empreendimento como um todo, desde seu surgimento até seu uso final, pois os três fatores para o sucesso de qualquer empreendimento são: redução do tempo de construção, aumento da produtividade e racionalização no uso de materiais e mão de obra.

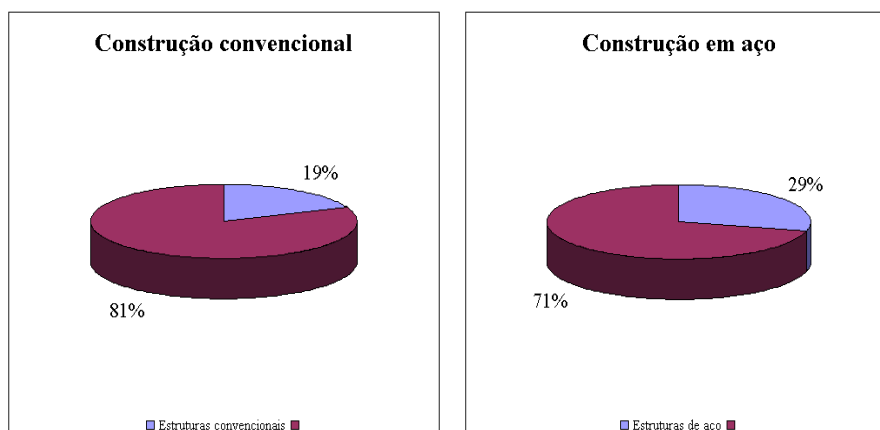


Figura 4: Comparativo de custos. Disponível em:

<https://www.carlosfreire.com.br/carlosfreire/empresa_artigos_comparativo.asp>. Acesso em: 20 mai. 2020.

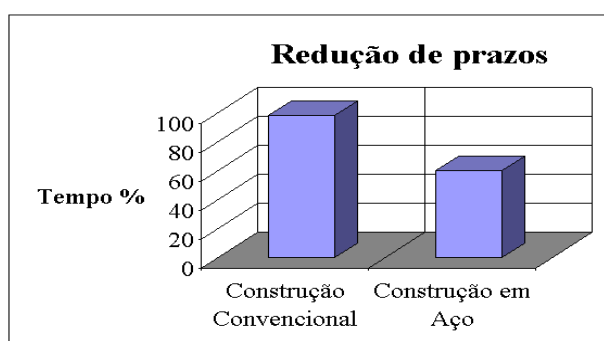


Figura 5: Comparativo de prazos. Disponível em:

<https://www.carlosfreire.com.br/carlosfreire/empresa_artigos_comparativo.asp>. Acesso em: 20 mai. 2020.

2.4.1 Valor Geral de Venda (VGV)

O valor geral de vendas (VGV) é obtido pela multiplicação entre a área privativa comercializada e o valor de metro quadrado praticado na região onde o empreendimento será construído, ou seja, o VGV é o valor máximo que será obtido na venda. Os custos diretos somado as despesas indiretas e ao lucro deve ser igual ao VGV.

Os custos diretos representam a soma de todos os insumos utilizados no canteiro, ou seja, materiais, mão de obra e equipamentos. Portanto, estão relacionados a quantidade de serviços realizados e ao tamanho da obra, fazendo parte dos custos da obra: as fundações, a estrutura e outros materiais. Já as

despesas indiretas estão relacionadas ao tempo de duração da obra.

2.4.2 Análise de Viabilidade Econômica

Quando se realiza a análise da viabilidade econômica de um edifício comercial, comparando a estrutura tradicional de concreto com a estrutura de aço, chegamos aos indicadores a seguir:

- **Custo do terreno:** não existe diferença, o custo é o mesmo tanto para o aço quanto para o concreto;
- **Fundações:** por ser bem mais leve que o concreto, a estrutura de aço propicia um alívio de carga nas fundações, isso favorece a adoção de soluções mais econômicas;
- **Pilares e vigas:** por ser uma solução industrializada, a estrutura de aço gera impostos maiores, por isso seu custo pode ser um pouco maior que a alternativa convencional;
- **Outros materiais:** lajes, paredes, acabamentos, instalações e todos os outros materiais utilizados na obra. A estrutura de aço pode favorecer economias nesse item, mas para essa análise é importante admitir que os custos com outros materiais é o mesmo nas duas soluções;
- **Despesas indiretas:** neste item, o aço leva vantagem. Pois como o prazo de construção é menor com as estruturas de aço, todas as despesas indiretas são reduzidas.

É possível observar que se pararmos por aqui, o lucro do empreendimento poderia parecer maior que o equivalente em aço. No entanto, como a obra em aço é mais rápida o edifício pode ser utilizado vendido ou alugado alguns meses antes, isso representa um rendimento adicional que deve ser somado ao lucro.

Portanto, o empreendimento estruturado em aço pode sim ser mais econômico, mas para isso é preciso saber equacionar os demais custos da obra. Sendo importante lembrar que nem sempre a solução, aparentemente mais barata, é a mais viável economicamente.

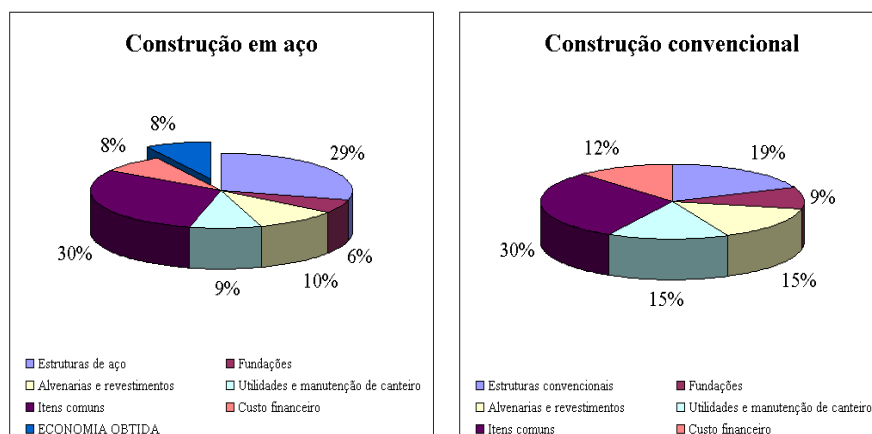


Figura 6: Comparativo de viabilidade econômica – comparação econômica de alternativas de investimento. Disponível em: <<http://www.madeinsteel.com.br/analise-comparativa-custos-estrutura-metalica-x-estrutura-de-concreto/>>. Acesso em: 20 mai. 2020.

3 METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido utilizando como metodologia a revisão bibliográfica de literatura. SILVA E MENEZES (2001) apresentam a revisão bibliográfica como sendo o processo de levantar e analisar conteúdos publicados associados ao tema do trabalho, admitindo como verídico as considerações de quem já escreveu acerca do problema da pesquisa ou tema. Sendo assim, foi realizada a pesquisa bibliográfica junto as revistas, teses, dissertações, sites, livros e artigos científicos para se obter informações sobre estruturas metálicas e de concreto, os benefícios e qualidade de cada tipo de estrutura, quais custos estão relacionados e quais resultados foram alcançados em estudos reais, quando comparado os dois tipos de estrutura.

A pesquisa aconteceu de janeiro a julho de 2020 e foram utilizadas as seguintes palavras chave: estrutura de concreto, estrutura metálica, comparação entre estruturas, benefícios da estrutura metálica. E através desta busca foram selecionados os artigos, teses, livros, etc. que mais se encaixavam na proposta do estudo.

Para explicar o conceito de estrutura de aço PINHEIRO (2005), nos traz, em seu livro intitulado “Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos”, desde quando foi utilizada este material em escala industrial. Para explicar que o Brasil é o sexto maior produtor de aço, foi incluída uma citação de um livro do SENAI-SP (2014) chamado “Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial: conteúdos básicos para construção civil”.

Quando mencionado sobre fatores importantes para a montagem das estruturas de aço, foi colocada uma importante citação referente a prevenção da interrupção da montagem de PEURIFOY; SCHEXNAYDER; SHAPIRA; SCHMITT (2015), demonstrada na 8ª edição da obra “Planejamento, equipamentos e métodos para a construção civil”.

A fim de explicar a importância do entendimento a respeito da viabilidade do projeto, do ponto de vista econômico-financeiro, foi explanada uma citação de LABEGALINI, et. al. (1992), que atenta para a prevenção contra a oxidação e corrosão na obra intitulada “Projetos mecânicos das linhas aéreas de transmissão”.

E por fim, nos resultados foram utilizados basicamente três trabalhos científicos. O primeiro foi de Junior *et al* (2019), que abordam a comparação entre a utilização das estruturas de aço e concreto armado em um projeto de

estacionamento com quatro pavimentos em uma faculdade do Rio de Janeiro. Outro artigo utilizado foi dos autores Montiel e Silva (2019), que redimensionaram em aço uma estrutura já existente em concreto armado, a fim de se obter uma base para o levantamento e comparação dos custos dos dois tipos de estrutura.

4 RESULTADOS

Após esta pesquisa foi possível observar que de maneira individualizada ou obras de pequeno porte, as estruturas de aço podem não apresentar uma redução nos custos. Porém, em obras de médio e grande portes a hipótese se confirma, apresentando quatro dos principais benefícios do ponto de vista econômico-financeiro quando levamos em consideração o empreendimento como um todo, desde seu surgimento até seu uso final, ele terá uma significativa redução em seus custos, principalmente nos fatores: redução do tempo de construção; aumento da produtividade e racionalização no uso de materiais e mão de obra. Segundo Junior *et al* (2019), para afirmar se um tipo de construção é mais vantajoso que outro, é necessário realizar uma análise detalhada do melhor custo-benefício de cada tipo de construção. Segundo Andrade (2000) uma comparação entre as fundações, lajes, administração da obra, instalações elétricas, prazos e custo financeiro pode ser realizada, conforme tabela 1. Pode-se notar que de forma geral, a utilização de estrutura metálica é mais vantajosa que a de concreto armado.

Com o intuito de ampliar o estacionamento da faculdade Redentor da cidade de Itaperuna, Junior *et al* (2019) elaboram o projeto de um estacionamento com quatro pavimentos. Utilizando como base este projeto, os autores fizeram uma comparação entre a utilização das estruturas de aço e concreto armado. Na tabela 2 pode ser visto a comparação entre ambas estruturas. Se compararmos os custos das vigas e pilares, podemos notar que utilizando concreto armado os mesmos são menores. Para a fundação o custo é menor utilizando estrutura metálica, pois como apresentado na tabela 1, para este tipo de estrutura os sistemas utilizados são mais econômicos. No componente laje, o custo é o mesmo, pois utilizou-se o mesmo projeto de laje para ambas estruturas. A maior vantagem da estrutura metálica em relação ao custo é na mão de obra, visto também na tabela 1, utilizando este tipo de estrutura reduz a quantidade de “homens” na obra, o que por sua vez reduz significativamente o custo, neste projeto por exemplo, a redução foi de 56,30%. E por fim, observando o custo total, pode-se notar que foi mais vantajoso neste projeto utilizar estrutura metálica. A redução total foi de 21%, que corresponde à R\$ R\$ 516.355,70.

Edifício em Estrutura Metálica	Edifício com estruturas de concreto
Na administração da obra	
Execução em fábrica	Execução predominantemente no canteiro
Apenas montado no canteiro	
Grande precisão dimensional	Menor precisão dimensional
Grande precisão quantitativa dos materiais	Maior dificuldade de precisão de quantidades
Poucos itens de materiais (aço, parafuso, eletrodos)	Maior diversificação de materiais (cimento, areia, brita, água, formas de madeira, ferros, aceleradores, etc.)
Pouca quantidade de homens na obra (menos problemas trabalhistas) com maior qualificação	Maior quantidade de pessoal na obra, com menor qualificação (mais do dobro ou triplo)
Simplificação do canteiro (minimização ou exclusão de escoramento para forros de laje)	Canteiro mais completo, existência de escoramento com pontaletes
Maior facilidade de fiscalização	Fiscalização mais completa
Nas fundações	
Leveza estrutural	Peso estrutural maior
40 a 80 kg/m ² (vigas e colunas)	250 a 350 Kg/m ² (vigas e colunas)
Menores cargas nas bases	Bases mais solicitadas
Volumes menores nos blocos	Maiores volumes
Sistemas mais econômicos	Sistemas mais onerosos
Nas lajes	
Quando lajes de concreto lançado	Necessita maior escoramento para formas
Formas apoiadas diretamente no vigamento	
Liberação antecipada dos pavimentos para outras operações	Impedimento do trânsito enquanto escorado
Nas paredes (alvenaria ou outros materiais)	
Precisão milimétrica	Maior variação dimensional
Esquadros e prumos exatos resultando em maior perfeição da execução, com tempo reduzido	Irregularidade de prumos e esquadro, aumentando o tempo de execução com enchimentos
Prazos	
Simultaneidade de execução da estrutura e fundações	Dependência de terminar as fundações para iniciar execução da estrutura
Avanços da montagem de 3 em 3 pavimentos	Avanços de um em um pavimento
Possibilidade de alvenarias acompanharem a montagem	Dificuldade de execução de paredes enquanto a estrutura estiver escorada
Custo financeiro	
Prazos finais reduzidos	Maiores prazos aumentam os custos
Antecipação de utilização	
Retorno mais rápido e utilização antecipada	

Figura 7 - Comparação entre edifício de estrutura metálica e de concreto. Fonte: Andrade (2000).

Componentes	Estrutura	
	Concreto armado	Metálica
Vigas	R\$ 381.296,58	R\$ 627.679,89
Pilares	R\$ 165.541,41	R\$ 210.334,93
Fundação	R\$ 64.691,10	R\$ 34.883,37
Laje	R\$ 491.592,06	R\$ 491.592,06
Mão de obra	R\$ 1.381.305,60	R\$ 603.580,80
Total	R\$ 2.484.426,75	R\$ 1.968.071,05

Figura 8 – Comparação entre os custos utilizando estrutura metálica e concreto armado. Fonte: Adaptado de Junior et al (2019)

Ainda no estudo de Junior *et al* (2019), foi abordado a vantagem quanto a ocupação de espaço por ambas estruturas. Na figura 9 pode-se notar a diferença entre o espaço ocupado pelas vigas de concreto com 150.000mm^2 e de aço com 70.441mm^2 , ou seja, uma redução de 53%. Na figura 10 pode-se verificar a área ocupada pelos pilares de concreto 200.000mm^2 e de aço 62.500mm^2 , uma redução de 68,75%. Portanto fica nítido que além do custo total deste projeto, a estrutura metálica apresenta também a vantagem de se ocupar menos da metade do espaço que seria ocupado pela estrutura de concreto.

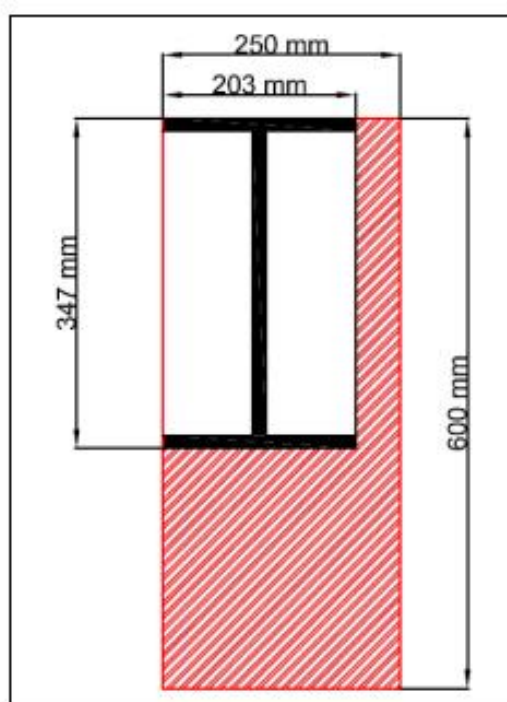


Figura 9 – Comparação das seções das vigas. Fonte: Junior et al (2019)

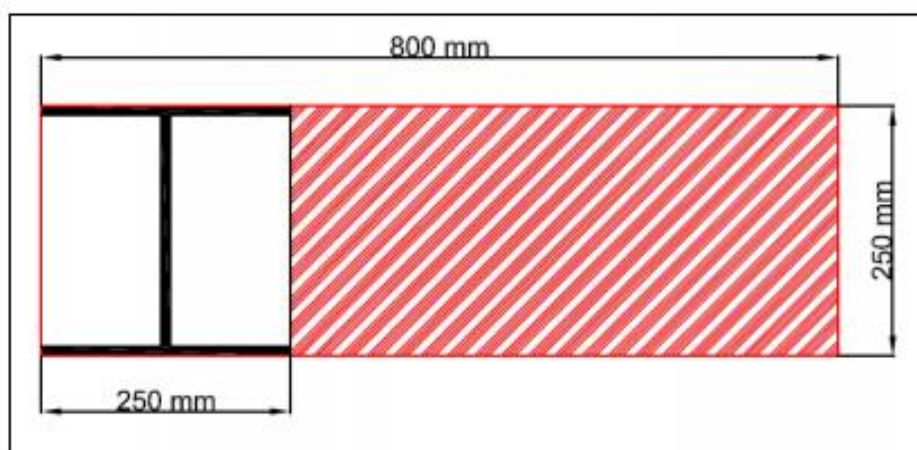


Figura 10 – Comparação das seções dos pilares. Fonte: Junior et al (2019)

Montiel e Silva (2019) realizaram um estudo redimensionando em aço uma estrutura já existente em concreto armado e realizaram a comparação entre os custos das duas estruturas, conforme tabela 3. Pode-se notar, que neste caso não foi considerado a mão de obra. Sendo assim, considerando somente os custos dos materiais, a estrutura de concreto se mostrou mais vantajosa.

	Estrutura	
Componentes	Concreto armado	Metálica
Vigas, pilares e lajes	R\$ 399.257,79	R\$ 845.475,20
Fundação	R\$ 519.919,05	R\$ 149.717,84
Mão de obra		
Total	R\$ 919.176,84	R\$ 995.193,04

Figura 11 – Comparação entre os custos utilizando estrutura metálica e concreto armado.

Fonte: Adaptado de Montiel e Silva (2019)

Conforme GERVÁSIO (2008), as estruturas metálicas permitem a otimização dos recursos naturais e a obtenção de um ambiente construído mais racional e eficaz, contribuindo desta forma para uma construção mais sustentável.

Resistência à corrosão	O aço apresenta excelente resistência à corrosão atmosférica desde que determinados cuidados sejam tomados. Deve-se proteger a estrutura com pintura e/ou galvanização; pode-se ainda trabalhar com aços de alta resistência à corrosão atmosférica, capazes de durar quatro vezes mais que os aços comuns. No ambiente rural são necessários de 40 a 100 anos para a perda de 1mm de camada de aço-carbono comum e nos ambientes marítimo e industrial de 20 a 40 anos (VANTAGENS..., 2009).
Material seco e inorgânico	Os materiais utilizados são secos e inorgânicos prevenindo problemas de umidade e contribuindo para a minimização da manutenção dos edifícios (GERVÁSIO, 2008b).
Tem uma vida útil longa	Quando submetido à manutenção, o aço dura por muito tempo. Esse fator permite amortizar facilmente os impactos ambientais devidos à sua fase de produção (GERVÁSIO, 2008b).
Facilidade de desmontagem e reaproveitamento	Quando as edificações em aço não são mais necessárias em sua locação, elas podem ser desmontadas e reconstruídas em outro lugar. Os custos para desmontagem e reconstrução são normalmente mais baixos que aqueles de uma nova construção. As estruturas podem ser reaproveitadas com menor geração de rejeitos, através da reutilização dos componentes sem necessidade de qualquer reprocessamento (GERVÁSIO, 2008b).
O aço é 100% reciclável	O aço pode ser indefinidamente reciclado em sua totalidade sem perder nenhuma de suas qualidades. Mais da metade do aço produzido na França e na União Européia e 40% da produção mundial de aço é obtida do aço reciclado. Este índice vem aumentando ano após ano, preservando recursos e o meio-ambiente (LEMOINE, 2002). Na maior parte dos setores, incluindo o da construção, as taxas de reciclagem variam entre 80 e 100%. A produção de aço a partir de aço reciclado reduz as emissões de CO ₂ – em 2006 foram poupadas aproximadamente 894 milhões de ton. de CO ₂ . Os resíduos gerados durante a construção são reduzidos e em sua maior parte são recicláveis (GERVÁSIO, 2008b).

Figura 12 - Vantagens da construção em aço – Possibilidade de reciclagem Fonte:

VANTAGENS...,2009; GERVÁSIO,2008b; LEMOINE, 2008.

Portanto, o empreendimento estruturado em aço pode sim ser mais econômico e sustentável, mas para isso é preciso saber equacionar os demais custos da obra. Sendo importante lembrar que nem sempre a solução, aparentemente mais barata, é a mais viável economicamente.

5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho abordou-se, como assunto, estruturas de aço, mais concretamente, buscando uma investigação sobre os benefícios das estruturas de aço, sendo este uma solução inovadora para as construções.

Todos os objetivos foram concluídos de maneira exitosa, pois foi abordado com clareza os benefícios do aço na construção civil, bem como suas características e suas qualidades.

Esse trabalho teve uma grande importância para o desenvolvimento teórico e prático, no qual é fundamental para o sucesso de um engenheiro civil compreender a relevância das estruturas em aço, sendo este um avanço em soluções de arquitetura, que proporciona diversas vantagens como elemento construtivo em relação ao concreto, como o alívio das fundações, redução e tempo de construção, dispensa de escoamento e qualidade da obra, além da redução dos custos totais do empreendimento.

Portanto, é possível concluir que esta hipótese se confirma, pois quando consideramos o empreendimento como um todo, desde seu surgimento até seu uso final, o mesmo terá uma significativa redução nos custos, principalmente nos fatores: redução do tempo de construção; aumento da produtividade e racionalização no uso de materiais e mão de obra.

Sendo importante salientar que o empreendimento estruturado em aço pode sim ser mais econômico-financeiro, mas para isso é preciso saber equacionar os demais custos da obra. Sendo importante lembrar que nem sempre a solução, aparentemente mais barata, é a mais viável economicamente.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, Paulo Alcides; **Porque construir com estruturas metálicas**. São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.pauloandrade.com.br/frameset_links_artigos.htm>.

BRASIL, Reyolando M. L. R. F.; DA SILVA, Marcelo Araújo. **Introdução à dinâmica das estruturas para engenharia civil**. São Paulo: Blucher, 2013.

COBERTEC, Construções Metálicas. **Coberturas Metálicas**. Disponível em: <<https://www.cobertecengenharia.com.br/11/servico/coberturas-metalicas>>. Acesso em: 05 mai. 2020.

FONSECA, Carolina. **Estruturas de Aço**. CBCA Centro Brasileiro de Construção em Aço.

FREIRE, Carlos. **Comparativos de Estrutura de Aço**. Disponível em: <https://www.carlosfreire.com.br/carlosfreire/empresa_artigos_comparativo.asp>. Acesso em: 20 mai. 2020.

GERDAU, Aços Finos Piratini. **Manual de Aços**. PDF Disponibilizado em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2020.

GERVÁSIO, Maria Helena. **A Sustentabilidade do Aço e das Estruturas Metálicas**. <https://www.abcem.org.br/construmetal/PDFs/27_Helena_Gervasio.pdf>

IBDA – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. Fórum da Construção. **Em aço na arquitetura**. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=19&Cod=104>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

JAVARONI, Carlos Eduardo. **Estruturas de aço: dimensionamento de perfis formados a frio**. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2015.

JUNIOR, Almiro, G. S. **Estudo comparativo entre o dimensionamento de uma estrutura em aço e concreto armado de um edifício garagem para a faculdade Redentor, Itaperuna RJ**. Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. ISSN: 2446-6778. Disponível em: <http://www.reinpec.org/reinpec/index.php/reinpec/article/view/262>

Nº 1, volume 5, artigo nº 06, Janeiro/Junho 2019

LABEGALINI, Paulo Roberto, et. al. **Projetos mecânicos das linhas aéreas de transmissão**. São Paulo: Blucher, 1992.

Made Steel – Estrutura Metálicas. **Análise Comparativa.** Disponível em: <<http://www.madeinsteel.com.br/analise-comparativa-custos-estrutura-metalica-x-estrutura-de-concreto/>>. Acesso em: 20 mai. 2020.

MOURA, T. R. C. **Análise Comparativa de Estruturas de Concreto Armado e de Aço.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 04, Vol. 04, pp. 24-42. Abril de 2019.

MONTIEL, José E.S; SILVA, Domingues J. F. **Estudo comparativo entre estrutura de concreto armado e estrutura em aço com perfis de alma cheia.** Disponível em <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2341/1/JoseEmanueldaSilvaMontiel.pdf>. Acesso em 21 jul. 2020.

ONOUYE, Barry S.; ZUBERBUHLER, Douglas. **Sistemas estruturais ilustrados: padrões, sistema e projeto.** 2ª ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2015.

PEREIRA, Caio. **Estrutura metálica:** processo executivo, vantagens e desvantagens. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/estrutura-metalica/#:~:text=Estrutura%20met%C3%A1lica%20%C3%A9%20um%20elemento%20estrutural%20cuja%20se%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9%20produzida,da%20quantidade%20de%20carbono%20utilizado.&text=Na%20estrutura%20met%C3%A1lica%20h%C3%A1%20diferen%C3%A7a%20de%20comportamento%20mec%C3%A2nico%20e%20processo%20construtivo.>>. Acesso em: 05 abr. 2020.

PEURIFOY, Robert L.; SCHEXNAYDER, Clifford J.; SHAPIRA, Aviad; SCMITT, Robert L. **Planejamento, equipamentos e métodos para a construção civil.** 8ª ed. São Paulo: AMGH Editora Ltda, 2015.

PINHEIRO, Antônio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas metálicas:** cálculos, detalhes, exercícios e projetos. São Paulo: Blucher, 2005.

SENAI-SP. **Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial:** conteúdos básicos para construção civil. São Paulo: Senai-SP Editora, 2014.

SILVA, Valdir Pignatta; PANNONI, Fabio Domingos. **Estruturas de aço para edifícios:** aspectos tecnológicos e de concepção. São Paulo: Blucher, 2010.

SOUZA, Alex Sander Clemente de. **Dimensionamento de elementos e ligações em estruturas de aço.** São Carlos: EdUFSCar, 2017.