

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO E ESTRUTURA EM AÇO COM PERFIS DE ALMA CHEIA

José Emanuel da Silva Montiel¹; Domingos Jorge Ferreira da Silva²

josemontiel95@gmail.com¹; domingosjsilva@ufgd.edu.br;

RESUMO - As estruturas metálicas no Brasil, apesar de menos usuais que as de concreto armado, vêm se popularizando cada vez mais. No presente trabalho objetivou-se redimensionar, em aço, uma estrutura já existente em concreto armado a fim de saber se a utilização da estrutura metálica é mais viável economicamente que a utilização do concreto armado. Após a análise pôde-se observar que o custo da superestrutura em aço é superior ao custo da superestrutura em concreto armado, por outro lado, a infraestrutura da estrutura metálica apresenta um custo menor, devido ao baixo peso do aço em relação ao concreto armado. Portanto, torna-se interessante que o projetista avalie cuidadosamente cada caso, para assim poder obter a solução mais vantajosa.

Palavras-chave: Estrutura metálica. Edifícios. Quantificação estrutural.

ABSTRACT – Steel structures in Brazil, despite of less usual than reinforced concrete structures, are becoming more and more popular. In this work it is intended to design a steel structure from a pre-existing reinforced concrete structure, with the purpose of analyze if the steel structure is more economical than the reinforced concrete one. The outcomes of the analysis have shown that the superstructure is cheaper when made of reinforced concrete. On the other hand, the infrastructure is more economically feasible when the superstructure is made of steel. Therefore, it is interesting to analyze carefully each possibility so it can be obtained the most advantageous solution.

Keywords: Steel structure. Buildings. Structural quantification.

1 INTRODUÇÃO

Um dos métodos construtivos mais utilizados no Brasil na atualidade é o concreto armado (SANTOS, 2006). Segundo Ibracon (2013), o concreto é também o material construtivo mais utilizado pelo homem, com uma estimativa de consumo anual de 11 bilhões de toneladas. Desde seu surgimento, no século XX, na França, e devido às suas vantagens, o concreto armado se popularizou de tal forma, que passou a ser amplamente conhecido, estudado e aplicado.

De acordo com Carvalho e Filho (2014), o uso do concreto armado traz os seguintes benefícios:

- Apresenta boa resistência à maioria das solicitações;
- Tem boa trabalhabilidade, podendo se adaptar às mais variadas formas, dando mais liberdade ao projetista;
- Permite a obtenção de estruturas monolíticas;
- As técnicas de execução são dominadas em todo o país;
- Dependendo da situação, pode competir com estruturas de aço em termos econômicos;
- Desde que bem executado, apresenta elevada durabilidade bem como resistência ao fogo superior à da madeira ou aço;
- Possibilita a utilização de pré-moldados;
- Resiste a choques e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos.

Por outro lado, as estruturas metálicas vêm ganhando espaço e estão, cada vez mais, se apresentando como soluções alternativas ao uso do concreto armado devido às suas vantagens.

As estruturas metálicas trazem grande funcionalidade às construções. Isto foi possível graças ao desenvolvimento da ciência das construções e da Metalurgia (PFEIL e PFEIL, 2009). Para Pinheiro (2005), o uso de aço em estruturas traz uma série de vantagens. São estas:

- Precisão milimétrica na fabricação das estruturas;
- Devido ao fato das peças metálicas serem fabricadas industrialmente, torna-se mais fácil a garantia das propriedades e dimensões dos materiais;
- Boa resistência à choques e vibrações;
- Diminuição no tempo de execução de obras;
- Obras mais limpas;

- Versatilidade: permite a montagem e desmontagem das peças em diferentes locais;
- Estruturas leves e resistentes, o que possibilita vencer grandes vãos;
- Possibilidade de reaproveitamento de material.

De modo geral, não se pode cometer a ingenuidade de concluir que um sistema estrutural é superior ao outro sem levar em consideração as especificidades de cada projeto. Ambos os tipos de estruturas possuem suas vantagens e desvantagens e o papel do engenheiro é avaliar cada possibilidade cuidadosamente. Faz-se, então relevante, comparar os dois sistemas estruturais para entender em que situações é preferível a utilização de um sistema ante o outro.

Diante do exposto, realizou-se uma comparação entre uma estrutura em concreto armado e uma estrutura em aço. A estrutura feita em concreto armado já existe e trata-se do bloco Faculdade de Engenharia da UFGD (Universidade Federal da Grande Dourados). O propósito desta comparação é verificar se a estrutura em aço se apresenta como uma alternativa mais econômica em relação ao concreto armado.

Evidenciou-se, também, as vantagens na infraestrutura desta edificação, tendo em conta que as estruturas de aço são mais leves que as de concreto armado, tendo essas aproximadamente 10% do peso das estruturas de concreto armado (BELLEI; PINHO e PINHO, 2008).

Para realizar a comparação, foi redimensionada uma estrutura de concreto armado existente, em estrutura metálica, utilizando o software *Strap (Structural Analysis Program)*. Com o resultado obtido, comparou-se o custo de materiais e execução das duas estruturas (concreto armado e estrutura em aço).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

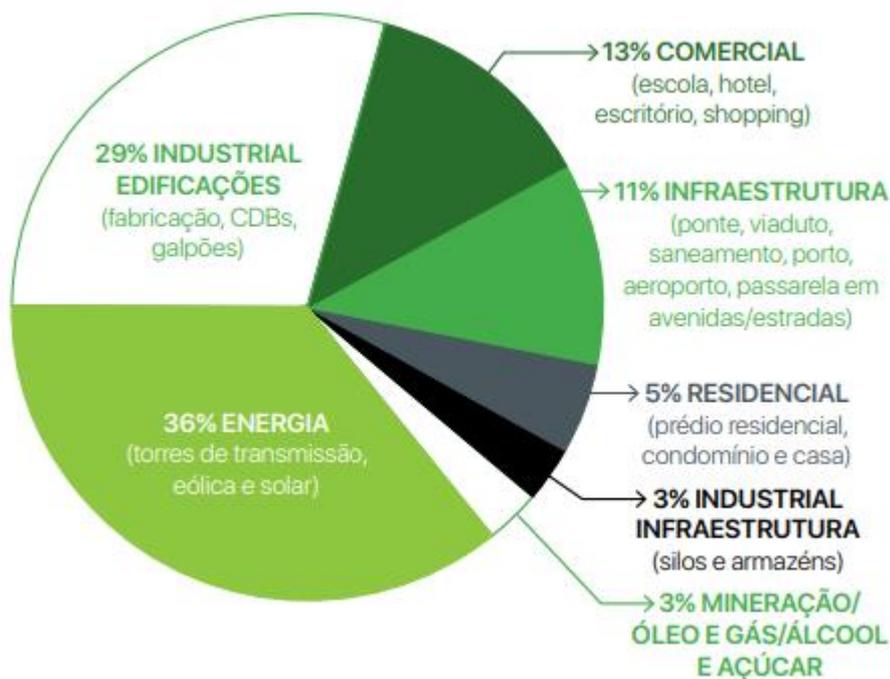
O aço é atualmente um dos produtos siderúrgicos mais importantes. Sua utilização em larga escala iniciou-se no final do século XIX e decorreu da invenção de fornos que possibilitaram um processo industrial para sua fabricação (PFEIL, W; PFEIL, M, 2009). Entretanto, segundo o mesmo autor, antes do advento do aço, utilizavam-se predominantemente o ferro fundido e o ferro forjado, os quais começaram a ser utilizados em larga escala durante a Revolução Industrial em alguns países da Europa.

No Brasil, a produção de aço começou após o término da Primeira Guerra Mundial. Em 1920 foi criada a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira e outras pequenas fundições, período em que produção de aço chegou a 35 mil toneladas, atingindo quase 100 mil toneladas no final dessa mesma década (BELLEI; PINHO e PINHO, 2008).

Em 1945 foi criada a Companhia Siderúrgica Nacional e posteriormente surgiram outras empresas importantes no setor. Isso resultou em um grande crescimento da produção de aço no Brasil, que acabou por se tornar, na década de 70, um país exportador de aço (BELLEI; PINHO e PINHO, 2008). Segundo o mesmo autor, a partir da década de 1950 começaram a surgir obras importantes em aço no Brasil, como o Edifício Garagem América, Edifício Avenida Central, Edifício Escritório Central da CSN, entre outros. Cresceram também o número de fabricantes e projetistas nesse setor.

Hoje, de acordo com a World Steel Association (2018), o Brasil ocupa o posto de nono maior produtor de aço do mundo, produzindo para o seu próprio consumo e também para exportação. A Figura 1, extraída de CBCA (2018), mostra a distribuição do uso de estruturas de aço no Brasil por tipo de obra.

Figura 1 – Participação de estruturas de aço por tipos de obras (%)



Fonte: CBCA (2018).

2.1 AÇO ESTRUTURAL

O aço a ser utilizado em estruturas deve ter boa resistência e elevada ductilidade, além de ter alta soldabilidade e homogeneidade. Estas propriedades mecânicas podem ser melhoradas com tratamentos térmicos (PFEIL e PFEIL, 2009). Ainda, de acordo com o mesmo autor, dependendo da sua composição química, o aço estrutural pode ser classificado como aço-carbono ou aço de baixa liga.

De acordo com Pinheiro (2005), os aços estruturais possuem as seguintes propriedades:

- Ductibilidade: é a capacidade que um material tem de se deformar sob a ação de cargas, sem se romper;
- Fragilidade: é o oposto de ductibilidade. O aço pode se tornar frágil devido à agentes externos como baixa temperatura ambiente;
- Resiliência: é a capacidade que o material tem de absorver energia mecânica em regime elástico;
- Tenacidade: é a capacidade de absorção de energia em regime elástico e plástico por parte do material, até sua ruptura.
- Dureza: resistência ao risco ou abrasão;
- Fadiga: resistência a esforços repetitivos.

2.1.2 PERFIS ESTRUTURAIS DE AÇO

Existe uma grande variedade de perfis metálicos, que diferem entre si pela geometria, espessura, tipo de fabricação, característica de resistência do aço e composição química.

De acordo com o tipo de fabricação os perfis estruturais de aço são classificados em laminados, perfis de chapas soldadas e perfis de chapas dobradas. Os perfis laminados são os que provêm diretamente da laminação dos tarugos, depois que estes passam por máquinas chamadas laminadores. Este tipo de perfil já vem com a geometria a ser utilizada. Os perfis laminados mais comuns no Brasil são: perfil U, perfil I e H, e o perfil cantoneira (REBELLO, 2010).

Além disso, o mesmo autor afirma que os perfis de chapas dobradas são aqueles que se obtêm pelo dobramento de chapas metálicas a frio. Quando estes perfis tem a espessura entre 0,8 mm e 1,5 mm, recebem a denominação de perfis muito leves. Se a espessura estiver entre 1,5 mm e 5,0 mm, recebem a denominação de perfis leves. Existe ainda uma terceira denominação para perfis que podem chegar a uma espessura de até 25 mm, são os perfis pesados. Os perfis dobrados mais usuais são os leves, já as geometrias mais comuns são: perfil U (simples e enrijecido) e perfil cantoneira.

Os perfis de chapas soldadas, por sua vez, são aqueles obtidos pela soldagem de várias chapas. As espessuras das chapas variam entre 5 mm e 50 mm e podem ser criados perfis com as mais diversas geometrias.

As vigas e colunas de uma estrutura metálica mais comumente utilizadas são de perfis de alma cheia ou treliçados. São chamados de perfis de alma cheia os perfis de vigas

Estudo Comparativo entre Estrutura de Concreto Armado e Estrutura em Aço com Perfis de Alma Cheia ou pilares que não possuem abertura em relação ao seu eixo longitudinal (ALMINHANA, 2014). De acordo com Rebello (2010), estruturas com perfis de alma cheia são mais pesadas que estruturas com perfis treliçados, porém, para edificações de pequenas alturas a utilização de perfis de alma cheia pode ser mais vantajosa do ponto de vista de execução e também econômico.

2.2 LAJE

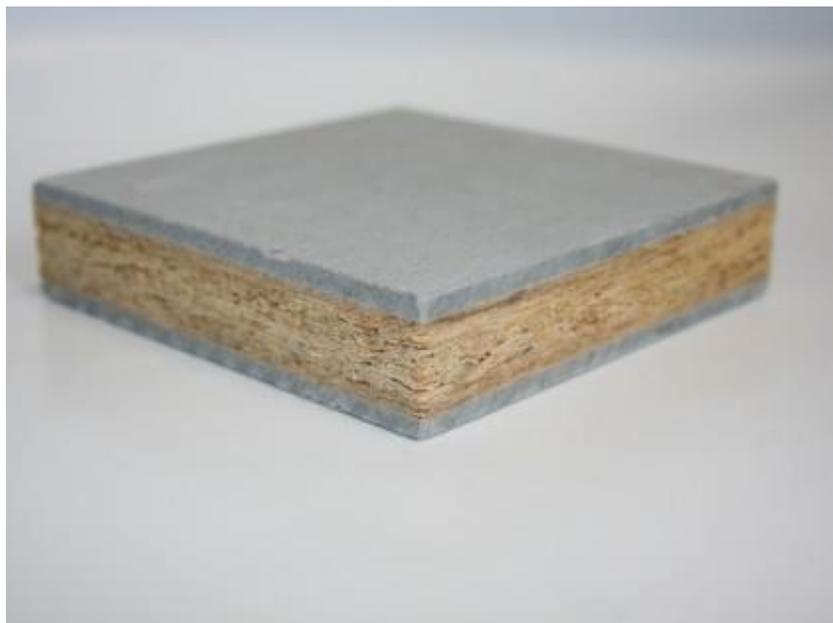
Existem diversos tipos de laje que podem ser utilizados junto com os pilares e vigas metálicas. Dentre esses tipos de laje encontram-se as lajes moldadas no local, sendo mais comuns as de concreto armado, que se caracterizam pelo seu alto peso próprio. Além disso, segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008), este tipo de laje demora mais a ser executada, necessita de formas e também de escoramento durante a concretagem.

Têm-se também as lajes pré-moldadas, que se caracterizam pela utilização de vigotas pré-moldadas dos tipos “trilho” e “treliça”, por materiais de enchimento do tipo Poliestireno Expandido (EPS) ou lajotas cerâmicas, e por um revestimento de concreto moldado no local (CARVALHO e FILHO, 2014).

Outro tipo bem difundido de laje é a laje em *steel deck*, conhecida também como laje mista ou laje com forma colaborante. De acordo com Andrade (2003), o *steel deck* é um sistema de laje que em que se associam forma metálica e concreto armado. A forma metálica serve não só como forma, mas também como armadura positiva, enquanto o concreto atua resistindo aos esforços de compressão. Também são utilizadas armaduras negativas no concreto. Armaduras positivas são dispensadas neste tipo de laje, e na maioria dos casos, também é dispensado o uso de escoramento. Além disso, é possível se ter lajes *steel deck* mais leves que lajes convencionais (CBCA, 2014).

O painel misto estruturado (PME), mostrado na figura 2, é um tipo de laje composta por miolo de madeira laminada ou sarrafeada no centro e coberta em ambas as faces por placas cimentícias em CRFS (Cimento Reforçado com Fio Sintético) prensadas (RIBEIRO, 2017). Existem várias denominações comerciais para este tipo de laje, como Painel Wall (Eternit), LP Mezanino (LP Building Products), Masterboard Panels (Brasilit) e Painel Wall Wood (Dercolit).

Figura 2 - Laje de painel misto estruturado



Fonte: Página da LP Building, (2019).

2.3 SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL

O sistema de vedação de uma edificação pode ser de vários tipos. Um dos mais comuns é o de alvenaria convencional com blocos cerâmicos, este tipo de vedação não tem função estrutural. Têm-se também a alvenaria estrutural, que é feita com a utilização de blocos de concreto ou cerâmicos autoportantes. A utilização de alvenaria estrutural dispensa a utilização de vigas e pilares na edificação. Além de alvenaria, existem outros sistemas de vedação como paredes de concreto, que também tem função estrutural.

O bloco de concreto celular autoclavado (Figura 3) é um tipo de bloco de concreto leve e aerado que comumente utilizado no Brasil como material de vedação vertical de edificações (VARISCO, 2014). Além de ter bom isolamento térmico, possui baixo peso específico, o que o permite ser uma eficaz alternativa de vedação quando se objetiva a redução de peso na estrutura. A norma que estabelece os requisitos mínimos para o recebimento de blocos de concreto celular autoclavado é a NBR 13438/2013.

Figura 3 - Laje de painel misto estruturado



Fonte: Precon, (2019).

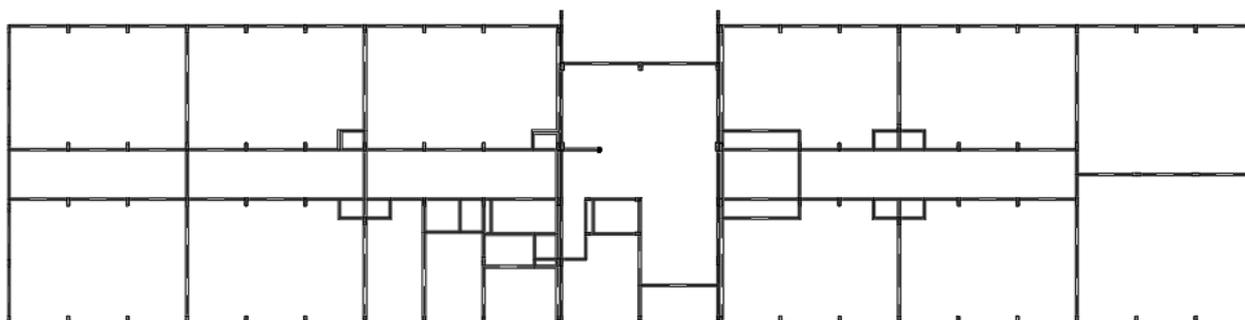
3 METODOLOGIA

Este trabalho consiste em realizar o redimensionamento em aço de uma estrutura, já existente em concreto armado, dimensionando também a fundação da edificação. Para isto, utilizaram-se o projeto arquitetônico e estrutural em concreto armado original, o que permitiu que a estrutura em aço seja a mais próxima possível à estrutura em concreto armado, levando sempre em consideração um bom aproveitamento das peças metálicas. Também foi obtido, através da Prefeitura Universitária da UFGD, o laudo de sondagem do solo do tipo SPT (*Standard Penetration Test*), para a realização do projeto de fundação da estrutura em aço.

3.1 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

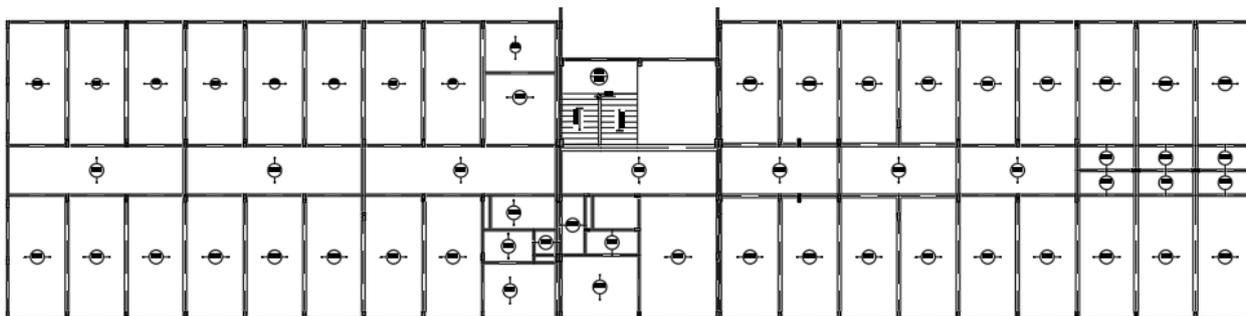
A estrutura construída possui dois pavimentos, pilares e vigas em concreto armado e lajes maciças, também em concreto armado. Os espaçamentos entre os pilares são todos aproximadamente três metros. As plantas de forma do pavimento térreo (vigas baldrame) e do primeiro pavimento da estrutura construída são mostradas nas figuras 4 e 5, respectivamente.

Figura 4 – Planta de forma do pavimento térreo



Fonte: Prefeitura Universitária da UFGD, (2019).

Figura 5 – Planta de forma do primeiro pavimento

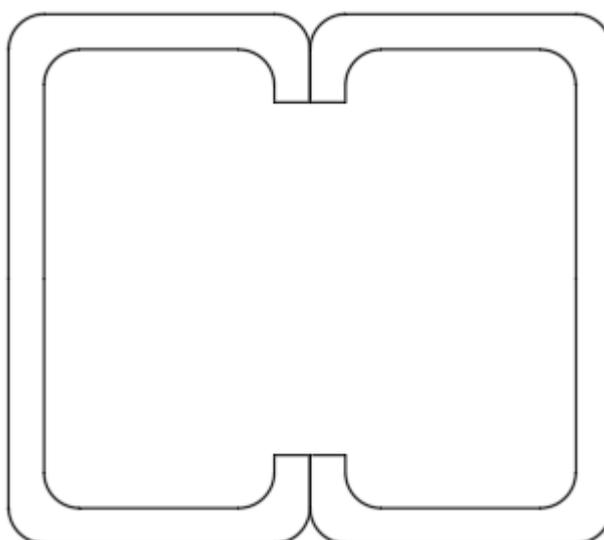


Fonte: Prefeitura Universitária da UFGD, (2019).

A estrutura dimensionada em aço possui dois pavimentos e será composta por pilares e vigas metálicas. As lajes serão do tipo painel misto estruturado (PME) enquanto a vedação da obra será feita com blocos de concreto celular autoclavado (BCCA). O BCCA foi adotado devido à rapidez com que é executado, além de possuir baixo peso específico, quando comparado aos materiais cerâmicos tradicionais de vedação (tijolos comuns).

Para os pilares e vigas, serão utilizados perfis dobrados a frio, formando perfis compostos do tipo caixão 2-u-enrijecido (2UE), mostrado na figura 6. Os pilares serão rotulados na base. Escolheu-se o perfil caixão devido à sua rápida produção pelas metalúrgicas em relação aos outros elementos estruturais em aço.

Figura 6 – Perfil metálico do tipo 2UE



Fonte: Autor, (2019).

A fundação é do tipo bloco sobre estacas, que junto com as vigas baldrame, será feita em concreto armado. Para a fundação será utilizado concreto com $f_{ck} = 25$ Mpa.

O tipo de aço utilizado é o ASTM – A36. Optou-se por este tipo por ser o aço mais utilizado e conhecido na construção civil (CBCA, 2014).

Os programa utilizado para o dimensionamento estrutural foi o *Strap (Structural Analysis Program)*, versão 2017.

3.2 AÇÕES CONSIDERADAS

As ações levadas em consideração para este dimensionamento são: carga de vento, peso próprio da estrutura, peso dos elementos de vedação (alvenaria e revestimentos), peso do reservatório, peso próprio da laje, sobrecarga de cobertura e sobrecarga de utilização.

Para os elementos de vedação foram considerados blocos de concreto celular autoclavado com espessura de 10 cm e espessura de revestimento por face de 1 cm. O seu peso foi extraído da Tabela 2 da NBR 6120/2019. Já as paredes internas são de *drywall*, e seu peso foi adotado com base na Tabela 3 da mesma norma técnica.

Foram considerados dois reservatórios superiores com capacidade de 10.000 L cada um. O peso de cada reservatório é de 140 kg.

A laje escolhida é do tipo PME, da marca Eternit®, também conhecido como Painel-Wall, com 55 mm de espessura, 1,20 m de largura e 2,50 m de comprimento. Seu peso foi obtido do Catálogo Técnico da Painel-Wall. Já, a carga de piso e contrapiso foi obtida da Tabela 4 da NBR 6120/2019, considerando-se o conjunto contrapiso e piso com 5 cm.

A sobrecarga de utilização foi extraída da Tabela 10 da NBR 6120/2019 da ABNT, 2019. Enquanto a sobrecarga da cobertura é de 25 kgf/m², especificada pela NBR 8800/2008. O peso adotado para o conjunto estrutura da cobertura e telha foi 12 kgf/m², devido à utilização de telhas do tipo sanduiche trapezoidais, do catálogo de telhas de aço da ABCEM (2019).

Os cálculos referentes às ações do vento na estrutura seguiram a NBR 6123 (ABNT, 1998). Para a obtenção da pressão dinâmica p_{din} (kgf/m²) utilizaram-se os parâmetros apresentados no quadro 1, juntamente com as equações a seguir. Os parâmetros de velocidade são determinados em m.s⁻¹, de acordo com Sistema Internacional de Unidades (SI).

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (1)$$

$$p_{din} = 0,0613 \cdot V_k^2 \quad (2)$$

Quadro 1 - Velocidade básica do vento " V_k " e os fatores " S_1 ", " S_2 " e " S_3 "

Velocidade básica do vento ($m.s^{-1}$)	$V_0 = 48,0$	Cidade de Dourados, MS
Fator topográfico "S_1"	$S_1 = 1,00$	Terreno fracamente acidentado
Fator de rugosidade "S_2"	$S_2 = 0,94$	Categoria II; Classe C; e $z = 8,78$ m
Fator estatístico "S_3"	$S_3 = 1,00$	Edificação com alto fator de ocupação

Fonte: Autor, (2019).

Para o cálculo do coeficiente de pressão externa foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Maior dimensão em planta – $a = 66,31$ m
- Menor dimensão em planta – $b = 15,97$ m
- Altura – $h = 8,78$ m
- Inclinação da cobertura – $i = 10,0\%$
- $h/b = 0,55$
- $a/b = 4,15$

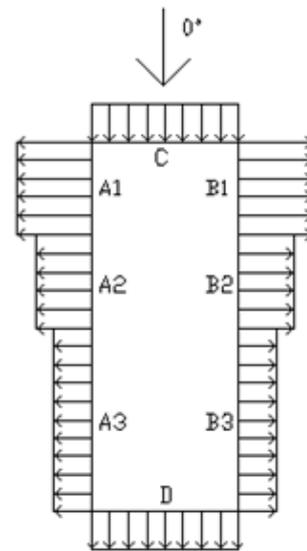
Os coeficientes de pressão externa e a pressão dinâmica nas paredes para os ventos 0° e 90° são mostrados nos quadros 2 e 3, enquanto os coeficientes de pressão externa e pressão dinâmica na cobertura são mostrados nas figuras 4 e 5. Nas figuras 7 a 10 estão mostradas o sentido do vento e o sentido da ação das pressões na estrutura.

Quadro 2 - Pressão dinâmica nas paredes 0°

Coeficientes		Pressão Dinâmica (kgf.m ⁻²)
A1	-0,9	-112,3
A2	-0,4	-49,9
A3	-0,2	-25,0
B1	-0,9	-112,3
B2	-0,4	-49,9
B3	-0,2	-25,0
C	0,7	87,4
D	-0,3	-37,4

Fonte: Autor, (2019).

Figura 7 – Coeficientes de pressão externa - Paredes 0°



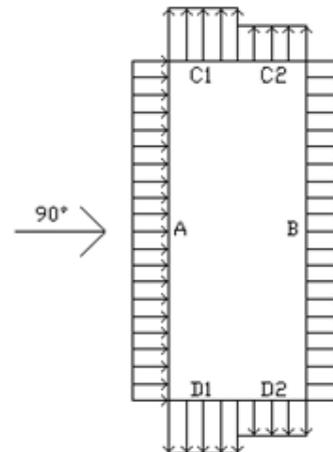
Fonte: adaptado de NBR 6123 (ABNT, 1988).

Quadro 3 - Pressão dinâmica nas paredes 90°

Coeficientes		Pressão Dinâmica (kgf.m ⁻²)
A	0,7	87,4
B	-0,6	-74,9
C1	-0,9	-112,3
C2	-0,5	-62,4
D1	-0,9	-112,3
D2	-0,5	-62,4

Fonte: Autor, (2019).

Figura 8 - Coeficientes de pressão externa - Paredes 90°



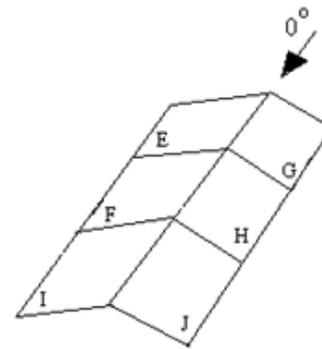
Fonte: adaptado de NBR 6123 (ABNT, 1988).

Quadro 4 - Pressão dinâmica na cobertura 0°

Coefficientes	Pressão Dinâmica (kgf.m⁻²)	
E	-0,89	-111,1
G	-0,89	-111,1
F	-0,6	-74,9
H	-0,6	-74,9
I	-0,2	-25
J	-0,2	-25

Fonte: Autor, (2019).

Figura 9 - Coeficientes de pressão externa – Cobertura 0°



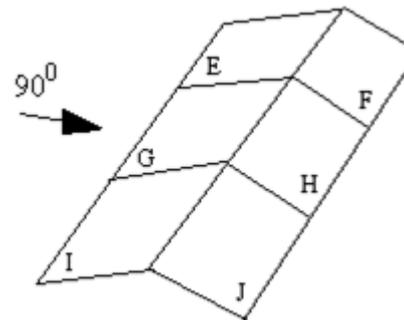
Fonte: adaptado de NBR 6123 (ABNT, 1988).

Quadro 5 - Pressão dinâmica na cobertura 90°

Coefficientes	Pressão Dinâmica - (kgf.m⁻²)	
E	-0,93	-116,1
G	-0,93	-116,1
I	-0,93	-116,1
F	-0,6	-74,9
H	-0,6	-74,9
J	-0,6	-74,9

Fonte: Autor, (2019).

Figura 10 - Coeficientes de pressão externa – Cobertura 90°



Fonte: adaptado de NBR 6123 (ABNT, 1988).

Para a obtenção dos valores de Coeficiente de Pressão Interna (C_{pi}), considerou-se que edificação estudada se enquadra no item “a” da seção 6.2.5 da NBR 6123 (ABNT, 1988). Logo, tem-se dois valores de C_{pi} :

$$C_{pi} = +0,2$$

$$C_{pi} = -0,3$$

Para o dimensionamento desta estrutura foram utilizadas as combinações últimas normais (Estado Limite Último) e as combinações de serviço (Estado Limite de Serviço). Para o cálculo das combinações últimas normais utilizou-se a fórmula da seção 4.7.7.2.1 da NBR 8800 (ABNT, 2008) e os coeficientes de ponderação mostrados na tabela 1, para cada tipo de esforço e combinação.

Tabela 1 – Coeficientes utilizados nas ações em cada combinação última normal

Combinações	Peso Próprio	Ações Permanentes	Sobrecarga	Vento
1º	1,25	1,40	1,50	0,00
2º	1,25	1,40	1,50	0,84
3º	1,25	1,40	1,50	1,40
4º	1,00	1,00	1,50	1,40
5º	1,25	1,40	0,00	1,40
6º	1,00	1,00	0,00	1,40

Fonte: Autor, (2019).

As combinações de serviço foram calculadas de acordo com a seção 4.7.7.3 da NBR 8800 (ABNT, 2008). Os coeficientes de ponderação para cada combinação e esforço estão mostrados na tabela 2.

Tabela 2 - Coeficientes utilizados nas ações em cada combinação de serviço

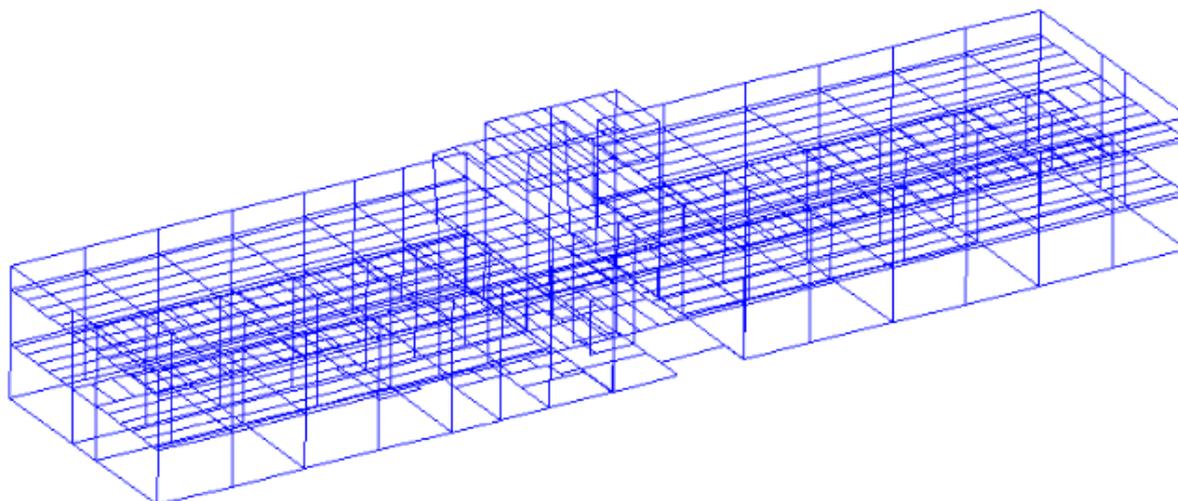
Combinações	Peso Próprio	Ações Permanentes	Sobrecarga	Vento
1º	1,00	1,00	0,70	0,00
2º	1,00	1,00	0,60	0,30
3º	1,00	1,00	0,00	0,30

Fonte: Autor, (2019).

3.3 DIMENSIONAMENTO

Com a geometria da estrutura e todas as cargas definidas procedeu-se ao lançamento do modelo no programa de dimensionamento. Onde a estrutura foi dimensionada com um eficiente aproveitamento das peças metálicas. A figura 11 mostra o desenho unifilar da estrutura em três dimensões.

Figura 11 – Desenho unifilar da estrutura metálica em 3D.



Fonte: Autor, (2019).

Com os valores das cargas de reações obtidas nos pilares, realizou-se o dimensionamento da fundação da edificação, obtendo-se assim, a quantidade de material utilizado para sua execução.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quadro 6 apresenta as seções de aço utilizadas, bem como o comprimento e peso total de cada seção, a fim de realizar o orçamento de materiais e execução da estrutura.

Quadro 6 – Seções de aço utilizadas.

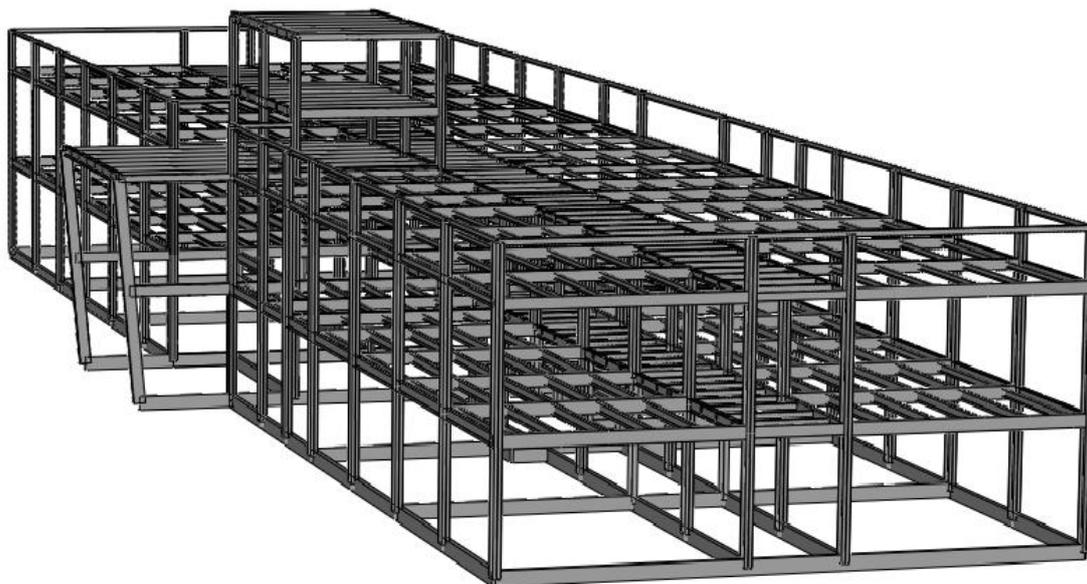
Seção (mm)	Comprimento Total (m)	Peso (t)
Chapa dobrada- Peso de aço:		
2UE 150x50x17x2,00	1226,24	10,429
2UE 200x60x20x2,00	156,45	1,704
2UE 200x75x25x2,00	345,14	4,192
2UE 250x85x25x2,00	321,20	4,608
2UE 300x85x25x2,00	310,80	4,946
2UE 300x85x25x3,00	303,27	7,146
2UE 300x85x25x3,75	36,23	1,057
2UE 350x100x30x3,75	65,99	2,274
2UE 350x100x30x4,75	39,96	1,725
2UE 350x100x30x6,30	133,03	7,481
2UE 350x100x30x8,00	620,53	43,443
TOTAL Chapa dobrada =		89,005

Fonte: Autor, (2019).

O peso total de aço por metro quadrado desta estrutura é 27,8 kgf/m², o que condiz com a literatura. Rebello (2007) afirma que em edifícios de até três pavimentos, com vãos entre seis e oito metros, o consumo médio de aço está entre 25 kgf.m⁻² e 45 kgf.m⁻².

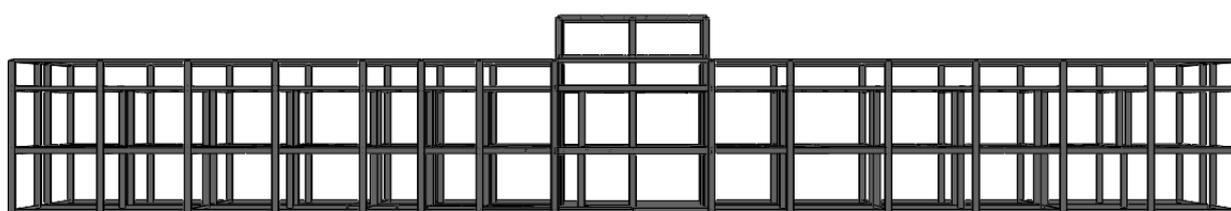
Nas figuras 12, 13 e 14, têm-se representações em 3D da estrutura dimensionada, obtidas com o programa de dimensionamento Strap.

Figura 12 – Imagem em 3D e renderizada da estrutura calculada.



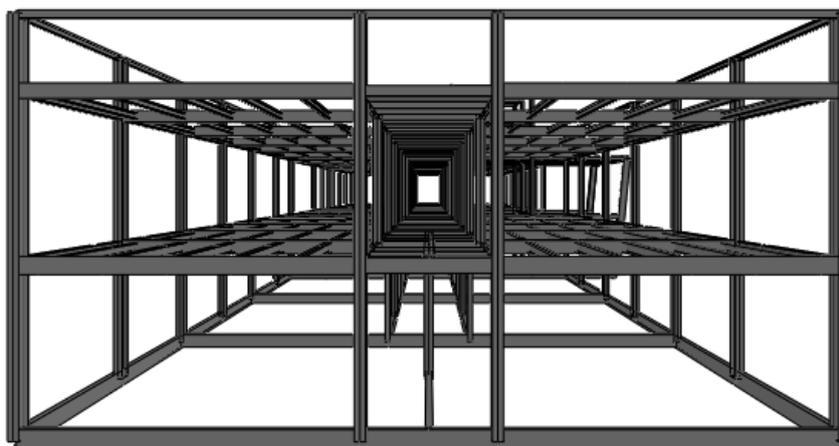
Fonte: Autor, (2019).

Figura 13 – Imagem em 3D e renderizada da vista frontal estrutura calculada.



Fonte: Autor, (2019).

Figura 14 – Imagem em 3D e renderizada da vista lateral estrutura calculada



Fonte: Autor, (2019).

Fazendo-se uma comparação entre a planta de cargas das estruturas analisadas, percebeu-se que a média das reações verticais por pilar em ambas as estruturas tem uma certa proximidade, 23,81 tf para os pilares em concreto armado e 18,85 tf para os pilares em aço, conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Análise das cargas nos pilares das estruturas analisadas

	Quantidade	Carga total (tf)	Carga média por pilar (tf)
Pilares em Concreto Armado	103	2453,8	23,82
Pilares em Aço	74	1395	18,85

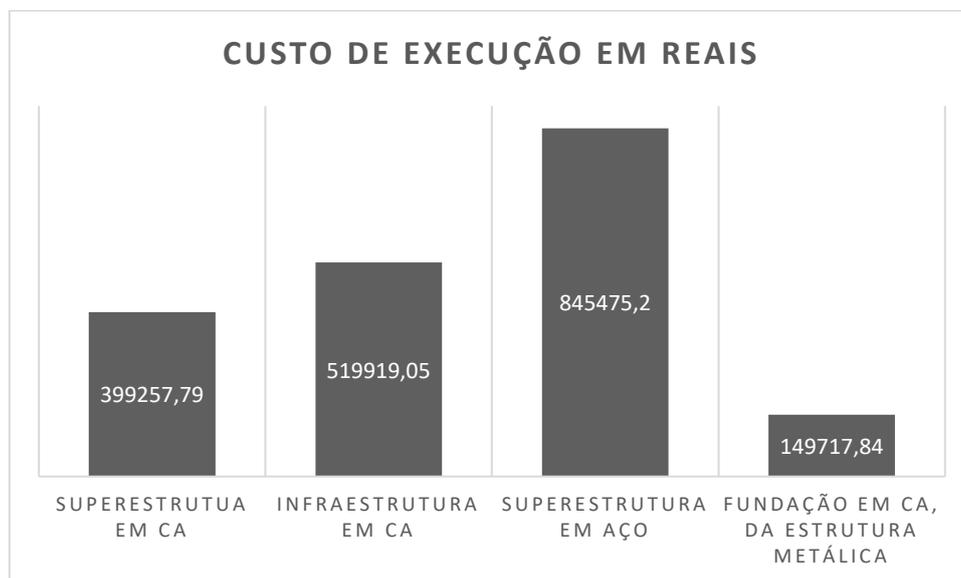
Fonte: Autor, (2019).

As reações verticais dos pilares metálicos são em média 20,8% menores que as reações nos pilares em concreto armado. Contudo, apesar da diferença não muito significativa nas reações, deve-se levar em consideração que a estrutura em aço tem somente 74 pilares, enquanto a estrutura em concreto possui 103. Desse modo, são 2453,8 tf da estrutura em concreto armado contra 1395 tf da estrutura em aço, considerando todas as sobrecargas.

O Gráfico mostrado na figura 15 relaciona o custo de execução de cada uma das estruturas estudadas. As colunas 1 e 2 estão relacionadas à estrutura em concreto armado,

Estudo Comparativo entre Estrutura de Concreto Armado e Estrutura em Aço com Perfis de Alma Cheia superestrutura e infraestrutura, respectivamente. Já as colunas 3 e 4 estão relacionadas à estrutura em aço, superestrutura e infraestrutura, respectivamente.

Figura 15 – Comparação dos custos de execução para cada tipo de estrutura estudada.



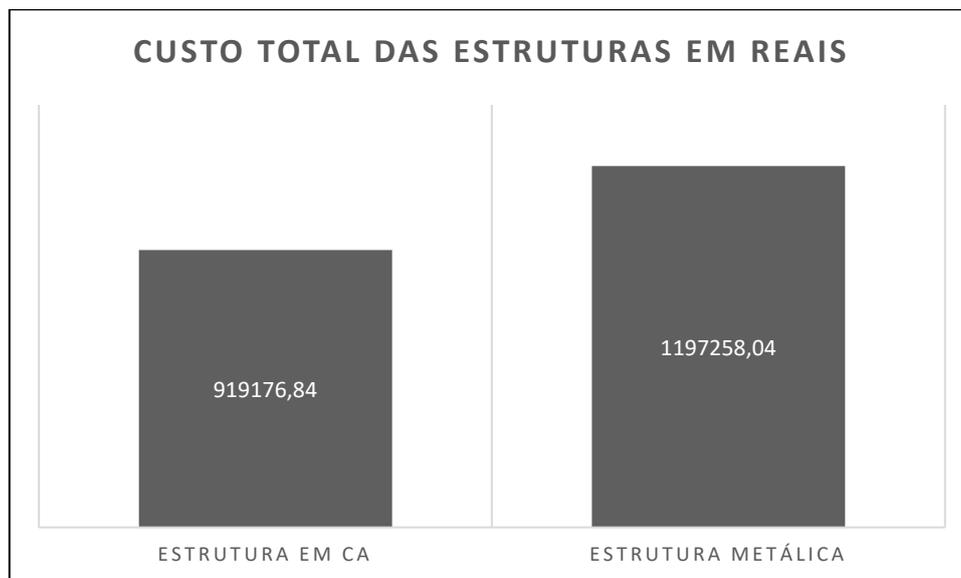
Fonte: Autor, (2019).

Do orçamento das fundações de ambas estruturas obteve-se o seguinte: o custo da fundação da estrutura em concreto armado é de 519.919,05 reais enquanto a fundação da estrutura metálica foi estimado em 149.717,84 reais, 28,8% do valor da fundação da estrutura construída. Essa diferença, como já foi mencionado antes, é explicada pela diferença de carga dos pilares e também pela diferença na quantidade de pilares.

Em relação as superestruturas (pilares, vigas e lajes), tem-se o seguinte resultado: a estrutura em concreto armado foi orçada em 399.257,79 reais, enquanto para a estrutura metálica obteve-se o valor de 845.475,20 reais.

No total, considerando infraestrutura e superestrutura, a edificação em concreto armado atingiu o valor de 919.176,84 reais. Já a edificação em aço, atingiu o valor de 1197258,04 reais, ficando 30,3% mais cara, como mostra o gráfico na figura 16.

Figura 16 – Comparação dos custos totais de execução para cada tipo de estrutura estudada.



Fonte: Autor, (2019).

5 CONCLUSÃO

Os objetivos pretendidos com este trabalho foram alcançados. Foi possível realizar o dimensionamento da estrutura em aço bem como a comparação sobre a viabilidade econômica entre as estruturas. A estrutura metálica se mostrou menos viável economicamente. Em relação à fundação, como já era esperado, verificou-se significativa redução de custo ao utilizar a estrutura metálica. Como trabalho futuro, recomenda-se fazer um estudo para analisar o tempo de execução dos dois tipos de estruturas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço infinitamente aos meus pais, Francisca e Daniel, e as minhas irmãs, Mirela e Paula, por todo o apoio que sempre me deram, e por tudo que me ensinaram. Agradeço a minha namorada, Carolina, pelo companheirismo e por estar sempre ao meu lado. Agradeço aos meus amigos, Lucas Bomura, Arthur Mereles, Iray Fialho, Guilherme Carvalho e Gabriel Neves por todos esses anos de sincera amizade. Por último, e não menos importante, agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha formação acadêmica, pela dedicação e atenção que têm com os alunos.

REFERÊNCIAS

ABCEM. **MANUAL TÉCNICO DE TELHAS DE AÇO**. São Paulo: ABCEM, 2009. 36 p.

ALMINHANA, Guilherme Wienandts. **Vigas metálicas alveolares: análise comparativa com vigas de alma cheia**. 2014. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro. 2019.

BELLEI, I. H.; PINHO, F. O.; PINHO, M. O. **Edifício de Múltiplos Andares em Aço**. 2. Ed. São Paulo: Pini, 2008.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4. Ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

CBCA, **Cenário dos fabricantes de estrutura de aço**, 2018.

CBCA. **Construção em aço: Aços estruturais**. 2014. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-acos-estruturais.php>. Acesso em: 28 outubro 2019.

CBCA. **Estruturas metálicas reduzem o tempo de construção em até 40%**. 2014. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=6421&bsc=&orig=noticias>. Acesso em: 28 outubro 2019.

CBCA. **Lajes em steel deck**. 2014. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=6415>. Acesso em: 07 novembro 2019.

ETERNIT. **Catálogo Técnico: Painel-Wall**. 2008.

WORLD STEEL ASSOCIATION. www.worldsteel.org, 2018. Disponível em: <<https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2019/Global-crude-steel-output-increases-by-4.6--in-2018.html>>. Acesso em: 25, outubro 2019.

LP BUILDING PRODUCTS. www.lpbrasil.com.br, 2019. Disponível em: <<https://www.lpbrasil.com.br/produtos/lp-mezanino-cimenticio/>>. Acesso em: 28, outubro 2019.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço**: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas Metálicas**. 2. Ed. Blücher, 2005.

PRECON. www.precon.com.br, 2019. Disponível em: <<https://precon.com.br/portal/blocos-precon/>>. Acesso em: 28, outubro 2019.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **BASES PARA PROJETO ESTRUTURAL NA ARQUITETURA**. 2. Ed. São Paulo: Ziguarte, 2007.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Dimensionamento de Estruturas em Aço**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2010.

RIBEIRO, Priscilla Izabel dos Santos. **Estudo do comportamento dinâmico de um sistema de piso em aço com lajes secas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

SANTOS, Roberto Eustaáquio dos. **A cultura do concreto armado no Brasil: educação e deseducação dos produtores do espaço construído**, 2006.

VARISCO, Marcelo Queiroz. **Análise do desempenho de blocos de concreto celular autoclavado em um sistema de vedação externa**. 2014. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2014.