

ESTUDO COMPARATIVO DO SISTEMA ESTRUTURAL EM AÇO FRENTE À ESTRUTURA EM CONCRETO CONVENCIONAL

KORZEKWA, Alexsandro Eduardo Ramos.¹
PAGANIN, Ricardo.²

RESUMO

As edificações podem ser executadas com diferentes sistemas estruturais, como por exemplo, podem ser de concreto ou aço. A decisão do tipo de material para estrutura depende de vários critérios, dentre estes pode-se citar o custo. Nesta pesquisa utilizou-se o critério do custo dos materiais para supraestrutura com o objetivo de verificar o desempenho de uma estrutura em aço frente uma estrutura de concreto armado convencional, levando em consideração o critério dos custos dos materiais utilizados para a supraestrutura. Para a realização desta comparação foi utilizado como amostra um edifício garagem, por ser um tipo de edificação que é muito utilizada devido a quantidade de veículos em circulação nas cidades e a necessidade de estacionamento. O projeto utilizado constitui um edifício de cinco pavimentos com cerca de 1200 m² por pavimento, os cálculos foram realizados por *softwares* com base nas normas NBR 6120 (1980) para o levantamento dos carregamentos, NBR 6118 (2014) para o dimensionamento da estrutura de concreto e NBR 8800 (2008) e AISC-LRFD (2010) para a estrutura em aço, após o dimensionamento levantou-se o quantitativo dos materiais e o levantamento dos mesmos pela tabela SINAPI da CAIXA e a fornecedora de perfis metálicos para a região. Após o dimensionamento e comparação observou-se que a supraestrutura em concreto armado convencional é 77% mais barata que a supraestrutura de aço, porém, em contrapartida a supraestrutura em aço é 23% mais leve que a de concreto convencional, sendo que isso poderá reduzir os custos da fundação.

PALAVRAS-CHAVE: Estrutura metálica, Estrutura em concreto e Comparativo.

COMPARATIVE STUDY OF STRUCTURAL STEEL SYSTEM FACING CONVENTIONAL CONCRETE STRUCTURE

ABSTRACT

The edifications can be executed with different structural system, for instance, can be of concrete or steel. The decision of the type of material for the structure depends on many criteria, between them can be quoted the cost. In this paper was used the criteria of material costs for the upper structure with the objective of verifying the performance of a steel structure facing a conventional reinforced concrete, taking into account the criteria of materials costs used in the upper structure. For the realization of this comparison was used as sample a garage building, for being a type of edification that is much used due to the amount of vehicles circulating in the cities and the need of parking spots. The project used is a building of five floors with about 1200 m² per floor, the calculations were made by software based on the norms NBR 6120 (1980) for the loadings collect, NBR 6118 (2014) for the concrete structure design and NBR 8800 (2008) and AISC-LRFD (2010) for the steel structure, after the design were collected the materials quantitative and the same using the SINAPI chart of CAIXA and the provider of metallic profiles for the region. After the design and comparison was observed that the upper structure in conventional reinforced concrete is 77% cheaper than the upper structure in steel, but on the other hand, the upper structure in steel is 23% lighter than the conventional concrete, therefore it may reduce the costs of foundation.

KEY-WORDS: Steel structure, Concrete structure, Comparative.

¹Acadêmico de engenharia civil. E-mail: alexsandro_korzekwa@hotmail.com

²Engenheiro civil especialista. E-mail: engpaganin@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

As duas estruturas apresentadas nesse estudo são as mais conhecidas, que são a estrutura em aço e a estrutura em concreto armado.

Um edifício executado em aço tem um prazo de execução muito curto se comparado com a execução em concreto, pois as peças são fabricadas fora do canteiro da obra, por este motivo podem ser fabricadas durante a execução da fundação. Segundo a CBCA (2015), a parte da montagem de uma edificação feita em estrutura de aço é rápida e não tem a necessidade de um local para armazenamento das peças in loco, somente são movimentadas até a obra as peças que forem possíveis de colocação no mesmo dia, desta forma, a execução em aço facilita e acelera a montagem da edificação.

O concreto é a estrutura mais comumente utilizada nas construções do Brasil, por ter um fácil acesso e utilização. Segundo Almeida (2002), a estrutura de concreto armado tem algumas peculiaridades como a facilidade de adaptação às formas construtivas, podendo assim ter maior variação no desenho das peças, é uma estrutura monolítica, ou seja, é uma peça única sendo assim ela consegue trabalhar a estrutura como um todo, uma união.

Como se tem uma alta nesses dois modelos estruturais, é importante saber qual tem uma maior vantagem na questão de supraestrutura, para isso foi calculado um edifício garagem de cinco pavimento com cerca de 1200 m² cada pavimento, para a estrutura em aço e estrutura em concreto armado. Com os cálculos das estruturas obteve-se os quantitativos de cada estrutura, conseguindo assim o valor final da supraestrutura em custos e peso próprio.

Este estudo foi realizado em cima de uma fundamentação teórica sobre edifícios garagens, estruturas em concreto armado e estruturas em aço. Esta fundamentação serve para que se consiga ter uma ideia melhor sobre o que se trata cada etapa, ter uma base para o projeto arquitetônico já pensando nas estruturas. Posteriormente foi descrito como foi realizado a base dos cálculos, quais fatores foram adotados para as estruturas observadas, para que os resultados sejam os mais precisos possíveis. Perfazendo tem-se a obtenção dos dados retirados dos *softwares* de cálculos e os valores unitários dos materiais para que fosse possível apresentar os resultados finais de custo e peso próprio da estrutura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO OU FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EDIFÍCIO GARAGEM

Um dos principais problemas de uma cidade grande é a dificuldade de se conseguir uma vaga de veículos, visto que a oferta de vagas chega somente a 37% da necessidade em grandes cidades como São Paulo (VEJA, 2013). Isso se deve grande aumento da aquisição de veículos tendo em vista o condicionamento do transporte público e a praticidade que um veículo particular traz, evitando ter de esperar os horários fixos para sair ou ter que se locomover em verdadeiras “latas de sardinhas”, que se tornam os transportes públicos nos horários de pico.

Uma alternativa para suprir esta necessidade de vagas de estacionamento seria a implantação de um edifício garagem, o qual comportaria um grande número de automotores utilitários e veículos de passeio. “A utilização de edifícios garagem permite um aumento do número de vagas e faturamento, que pode chegar a três vezes ou mais” (BEVILAQUA, 2010, p. 2).

De acordo com Bevilaqua (2010), um edifício garagem permite um melhor aproveitamento da área dos terrenos, visto que a cada pavimento construído a mais dobra a quantidade de vagas que seria disposta no pavimento térreo de uma garagem comum de um pavimento. Neste ponto que se implica o maior rendimento do empreendedor do imóvel.

2.1.1 Rampas

Um edifício garagem automatizado se refere a um edifício com um elevador central que leva os automóveis diretamente em suas vagas, sem a necessidade de um motorista, tudo feito por computadores e máquinas. Já aqueles que tem somente elevador necessitam um condutor, pois é como se fosse um elevador comum para pessoas, porém os usuários entram com seus carros e o elevador somente o leva ao andar desejado, portanto a colocação nas vagas é totalmente manual. E por último, os edifícios com rampas, como o próprio nome diz, ele tem rampas que dão acesso aos demais pavimentos, eles são edifícios totalmente manuais, o condutor tem que fazer tudo. Estes edifícios com rampas são os mais usuais por serem os mais econômicos na construção (BEVILAQUA, 2010).

A garagem com rampa reta entre dois pavimentos, que é uma das mais usuais, tem sua locação no perímetro lateral da garagem entre dois pavimentos, conseguindo vencer um lance completo de piso (BEVILAQUA, 2010).

A garagem com rampas retas entre meio-pisos alternados, quando se é observada tem-se a impressão de uma rampa mais compacta. É uma rampa utilizada para evitar o uso de grandes rampas e contínuas, para um melhor conforto do usuário (BEVILAQUA, 2010).

Por último, tem-se a garagem com rampas helicoidais. Esta rampa é bastante utilizada em terrenos com uma largura reduzida, facilitando o acesso aos pavimentos superiores (BEVILAQUA, 2010).

2.1.2 Pilares

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 84), que trata de projetos de estruturas em concreto, pilares são “elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes”.

Nas garagens, um dos maiores problemas que se tem está diretamente ligado com o espaço para se manobrar o automóvel. Para vagas a 90°, que é a maneira de colocação que teria melhor rendimento em pouco espaço (MASCARÓ, 1989), tem-se uma grande dificuldade nos edifícios de estrutura em concreto em deixar os cinco metros necessários em frente a vaga para que o usuário possa manobrar tranquilamente.

2.1.3 Vigas

Por definição da NBR 6118:2014 (p. 83), vigas “são elementos lineares em que a flexão é preponderante”.

O cuidado com as vigas é de suma importância. Como o concreto por sua vez não apresenta resistência necessária para tração, são utilizadas as barras de aço para que a viga consiga resistir aos esforços de tração que nela agem (JÚNIOR, S/D). Já para vigas metálicas não se tem esse problema devido à grande resistência à tração que a mesma apresenta.

2.1.4 Lajes

As lajes, em conjunto com as vigas, compõem o sistema de piso de um prédio. As lajes são elementos planos, geralmente horizontais, tendo suas dimensões de comprimento e largura maior que a espessura. Sua principal função é receber as cargas geradas pelo que estiver em cima proveniente do uso e transferi-las para as vigas, pilares, ou seja, os apoios. Uma laje maciça pode

chegar até 50% do total de consumo de concreto da estrutura (FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS, 2007).

Independentemente se feitas de concreto, mistas ou madeira, as lajes são de suma importância, pois a carga irá agir sobre elas, por isso, para total segurança, este processo deve ser bem estudado, evidentemente em conjunto com as vigas, não deixando grandes espaços que a laje não suporte as cargas que ali se apresentarão, evitando fazer a desforma antes do prazo estabelecido em projeto e a colocação de cargas na laje antes do período mínimo de cura necessário, visto que o não cumprimento correto desses prazos e períodos acarretam em problemas de fissurações nas lajes. (TÉCHNE, 2006). Deste modo, devem ser estudados com muito cuidado para não ocorrer problemas futuros que podem levar à ocorrência de uma ruptura, ocasionando grandes danos físicos e financeiros.

2.2 ESTRUTURAS METÁLICAS

O aço é produzido em várias formas, dependendo da finalidade para qual vai ser usado e como quer ser usado, também depende do que o projetista estipulou para que resista às cargas que ali serão aplicadas.

Para a área da construção civil, os aços de maior interesse são os chamados de aços estruturais de média e alta resistência mecânica. Estes aços são os mais visados pelos fatores de resistência, ductilidade e outras propriedades, que os tornam peças boas o suficiente para que sejam usados em estruturas e para que resistam perfeitamente às cargas que ali serão aplicadas, sem que ocorra qualquer problema de ruptura (PORTAL METÁLICA CONSTRUÇÃO CIVIL, S/D).

Um edifício garagem executado em aço tem um prazo de execução muito curto se comparado com a execução em concreto, pois as peças são fabricadas fora do canteiro da obra, por este motivo podem ser feitas durante a execução da fundação, retirada de solo. Além disso, a parte da montagem é rápida e não tem a necessidade de um local para armazenamento das peças in loco, somente são movimentadas até a obra as peças que forem possíveis de colocação no mesmo dia, desta forma, a execução em aço facilita e acelera a montagem da edificação (CBCA, 2015).

Para cálculo de estruturas metálicas, segundo a norma NBR 8800:2008, deve-se ter o carregamento permanente e variável, pois devem ser realizados os cálculos para todo e qualquer tipo de carga que possa existir naquele elemento estrutural em questão. Também é necessário que sejam delimitados o tipo de aço e o perfil que se pretenderá utilizar para a realização da estrutura.

Com estas delimitações feitas, inicia-se o estudo, com embasamento em cálculos verifica-se se este perfil previamente supostos resistirá a todos os tipos de esforços que atuantes na estrutura.

2.3 ESTRUTURA EM CONCRETO

O concreto é a estrutura mais comumente utilizada nas construções do Brasil, por ter um fácil acesso e utilização. Mas para se tornar o concreto, existem alguns componentes básicos que são misturados, começando pelo primordial cimento (sua matéria prima principal é tida como calcário, segundo a ABCP, 2009), tem-se também em sua composição a adição de água e agregados. Os agregados são divididos entre graúdos e miúdos, ou seja, areia e britas. Este conjunto de componentes formam um conjunto chamado bloco monolítico, como se fosse uma estrutura única (PORTAL DO CONCRETO, S/D).

Para cálculo de estrutura em concreto deve ser considerada a norma da ABNT NBR 6118:2014 que passa os detalhes de dimensionamento que devem ocorrer numa estrutura de concreto. As estruturas em concreto devem atender a alguns requisitos mínimos de qualidade devendo apresentar capacidade resistente, o que basicamente é a segurança quanto à ruptura da peça. Devem também possuir desempenho em serviço, que consiste na estrutura manter suas condições em perfeito estado durante toda sua vida útil, não apresentando danos que possam comprometer parte ou toda a estrutura. Outro requisito básico é a alta durabilidade, o que quer dizer que deve ter a capacidade de resistir às influências ambientais previstas por projeto de cálculo.

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DA PESQUISA

Trata-se de uma análise comparativa entre estruturas metálicas e de concreto em um edifício de 5 pavimentos (garagem) localizado na cidade de Cascavel – PR, um projeto hipotético de estruturas, levando em consideração os quesitos para cálculos estruturais conforme já estabelecidos nas NBR 8800:2008 para as estruturas metálicas e a NBR 6118:2014 para as estruturas em concreto, propondo um comparativo de viabilidade de estruturas para este modelo de edifício.

Se refere a uma pesquisa de abordagem qualitativa, pois foram realizados cálculos para os dois tipos de estruturas citados anteriormente e foi analisado qual seria mais vantajoso para a situação empregada. O estudo dos dados busca demonstrar que se tem algumas possibilidades de

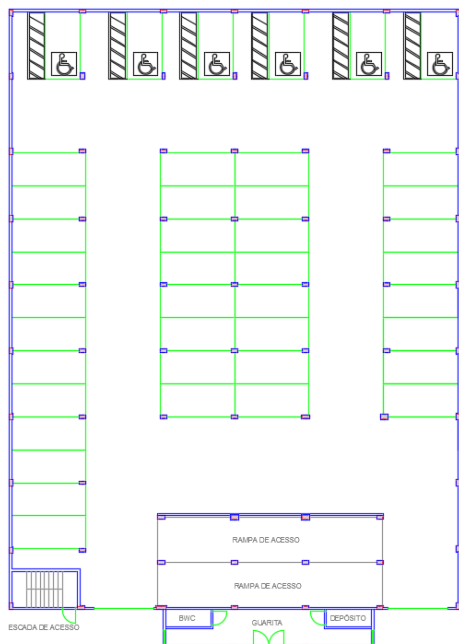
estruturas disponíveis para construções e, para algumas situações, uma se torna mais vantajosa do que a outra.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

O empreendimento foi projetado hipoteticamente, dimensionando e analisando sua estrutura entre metálica e concreto, a fim de verificar a estrutura mais vantajosa para o empreendedor do suposto edifício.

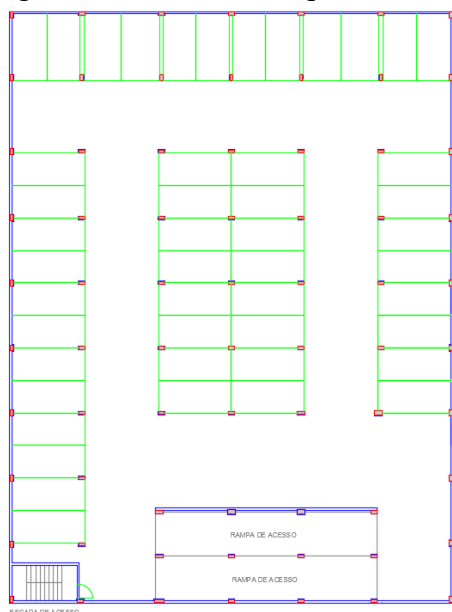
O estudo foi realizado em um edifício tipo garagem, em um terreno estipulado de 35 metros de largura por 50 metros de comprimento. O edifício terá 5 andares de garagem, com 30 metros de frente e 40 metros de profundidade, chegando a um valor por pavimento de 1200 m² de área construída, o que totaliza em um total de 6000 m² de área total. A seguir, apresenta-se a planta baixa do térreo e dos tipos deste edifício (Figuras 1 e 2). Este edifício foi executado de acordo com as normas do Denatran e código de obras de Cascavel – PR.

Figura 1 - Planta baixa térreo



Fonte: Autor (2016)

Figura 2 - Planta baixa tipo



Fonte: Autor (2016)

Com todos os dados prontos, executados pelos dois *softwares*, foi realizada a coleta de dados para a conclusão da pesquisa.

3.3 DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS

Para o carregamento na estrutura, foi levado em consideração na carga variável de veículos as recomendações da NBR 6120:1980. Além disso, foi levado em consideração o peso próprio da estrutura que é determinada pelo seu volume de material multiplicado pelo seu peso específico.

3.3.1 Estrutura metálica

Para a realização dos cálculos de estruturas em aço foi utilizado *software*, seguindo a normativa da ABNT NBR 8800:2008, que descreve o que é necessário para os cálculos.

Para início foi realizada a escolha do perfil a ser utilizado para as estruturas em questão. Deve-se escolher o perfil que mais se enquadra na edificação em questão, dentre: perfil I, perfil U, perfil de abas iguais, perfil de abas diferentes.

A escolha do aço é importante para os cálculos, sendo levados em consideração o limite de escoamento e a resistência à ruptura do aço. Para isto é utilizado os aços com base em padrões

internacionais ASTM (American Society for Testing of Materials), podendo ser usados os dados do livro Estruturas de aço – Dimensionamento básico de acordo com a NBR 8800:2008 (Figura 3).

Figura 3 - Valores de resistência das chapas de aço

Tabela 1.1 Propriedades Mecânicas de Aços-carbono

Especificação	Teor de carbono %	Limite de escoamento f_y (MPa)	Resistência à ruptura f_u (MPa)
ABNT MR250	baixo	250	400
ASTM A7		240	370-500
ASTM A36	0,25-0,29	250 (36 ksi)	400-500
ASTM A307 (parafuso)	baixo	—	415
ASTM A325 (parafuso)	médio	635 (min)	825 (min)
EN S235	baixo	235	360

Fonte: NBR 8800 (2008)

3.3.2 Estrutura em concreto

Para o *software* fazer os cálculos iniciais, foi descrita a taxa de agressividade do ambiente, que é nada menos que as ações físicas e químicas que atuam sobre a estrutura de concreto, independente de outras ações que podem ser previstas no dimensionamento das estruturas. Para isto, o responsável pelo projeto estrutural, tendo posse dos dados relativos ao ambiente, realiza a classificação de agressividade de acordo com a tabela 6.1 da NBR 6118:2014 (Figura 4).

Figura 4 - Tabela de classe de agressividade

Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (2014)

Após ser determinada a classe de agressividade, determinou-se a relação entre água/cimento, tendo isto com um dos pontos mais importantes para o concreto, determinando-se também a mínima resistência do concreto para tal situação. Esta relação pode ser descrita pela tabela 7.1 da NBR 6118:2014 (Figura 5).

Figura 5 - Tabela de correspondências para qualidade do concreto

Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (2014)

Ainda relacionado ao fator de agressividade do ambiente, tem-se a determinação do cobrimento nominal dos elementos estruturais, ou seja, a espessura da camada de concreto que irá cobrir as barras de aço, protegendo-as das intempéries. Para tal determinação, apresenta-se a tabela 7.2 da NBR 6118:2014 (Figura 6).

Figura 6 - Tabela de correspondências para cobrimento nominal

Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.
^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.
^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.
^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Para concretos de classe de resistência superior ao mínimo exigido, os cobrimentos definidos na Tabela 7.2 podem ser reduzidos em até 5 mm.

Fonte: NBR 6118 (2014)

Para dimensionamento de pilares não usar seção menor a 360 cm². Pilares com menor dimensão não inferior a 19 cm, porém em alguns casos especiais podem ser utilizados pilares de 14 a 19 cm de lado realizando-se o acréscimo de um coeficiente adicional para a carga dos pilares.

Já para lajes de estacionamento deve ser observado estas duas opções de carregamento:

- Veículos com carga menor igual a 30 kN: 10 cm de espessura
- Veículos com carga maior de 30 kN: 12 cm de espessura

Por fim, quanto à viga, sua base não deve ser inferior a 12 cm, sem exceções.

3.4 COLETA DE DADOS

Os dados desta edificação foram coletados baseados no projeto da planta arquitetônica para a distribuição de vigas e pilares. Teve a utilização de livros e principalmente as normas da NBR 8800:2008 e NBR 6118:2014 como suporte para esta distribuição.

O objetivo principal desta pesquisa é analisar qual estrutura dentre metálica e concreto, tornar-se-ia mais viável para este modelo de edificação, deixando o projeto em questão atendendo a todos os requisitos necessários citados pelas NBR 8800:2008 e NBR 6118:2014, em perfeita condição estrutural e ainda sendo a mais vantajosa para ambos os lados, empreendedor e usuário.

Os cálculos desta pesquisa foram realizados por *softwares* que para cálculo de estrutura em concreto foi utilizado Eberick V9 Next Plena e para estrutura metálica teve a utilização do Strap 2015, sendo levantados os custos dos mesmos com base na tabela SINAPI e na Gerdau.

3.5 ANÁLISE DOS DADOS

Após realizados todos os cálculos e obtido todas as informações necessárias, foi realizada a análise, verificando quantitativamente os materiais empregados para a estrutura em concreto e para estrutura em aço, de modo a identificar qual teria um menor peso próprio na supraestrutura, desconsiderando acabamentos e fechamentos empregados posteriormente. Para este processo, os dois projetos estruturais devem atender totalmente às normas NBR 8800:2008 e NBR 6118:2014, pois além de vantagem, deve se atender à segurança do usuário e demais pessoas que se envolverão neste empreendimento.

Após os cálculos prontos, foram obtidos os dados necessários para a quantificação dos materiais usados por cada estrutura, assim com o quantitativo em mãos e, baseado na tabela SINAPI, foi apresentado os valores que serão gastos para cada estrutura, possibilitando assim concluir qual estrutura terá menor investimento inicial.

4 ANÁLISES E DISCUSSÕES

4.1 DADOS UTILIZADOS

Os dados que foram utilizados para os dois casos estruturais vieram a ser admitidos através das normativas vigentes pela ABNT NBR 6120:1980.

Para o carregamento permanente das lajes e rampas foi utilizado os parâmetros para garagens e estacionamento para veículos de passageiros ou semelhante com carga máxima de 25 kN por veículo, sendo assim atribuí-se uma carga de 3kN/m² de acordo com a NBR 6120 (1980).

Para a escada foi utilizado a mesma tabela normativa das lajes, sendo assim a escada com acesso ao público atribuí-se uma carga de 3kN/m².

Na laje (L43) do pavimento de cobertura foi acrescido 2,5kN/m² além das cargas consideradas anteriormente devido a utilização de uma caixa d'água de fibra de polietileno com capacidade de 5000 litros.

Para os locais que tem a presença de alvenaria, como fechamentos, escadaria, etc., tem se segundo a mesma norma, NBR 6120 (1980) como carga de tijolo furado 13kN/m².

Além dessas cargas, foi considerada a carga do vento tendo como definição na cidade de Cascavel-PR a velocidade de 42 m/s, com a presença dos fatores S1, S2 e S3, as definições e utilizações de cada fator descritas abaixo segundo a NBR 6123 (1988).

No fator S1 leva em consideração as variações do relevo do terreno, para este caso sendo considerado como terreno plano ou fracamente acidentado igual a um valor de 1,00.

O fator S2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração, para esta situação o S2 é igual a 1,00 sendo considerado categoria 2 o que tem como especificação terrenos abertos em nível, com poucos obstáculos isolados, a cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1metro e com maior dimensão entre horizontal e vertical é entre 20 e 50 metros.

Por fim o fator S3 é baseado em conceitos estatísticos, e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação, sendo admitido o valor de S3 como edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação o que nos dá um valor de 1,00.

4.2 CONCRETO ARMADO

Além das cargas variáveis citadas anteriormente que foram aplicadas para as duas situações desta pesquisa, tem-se ainda as cargas permanentes que variam com o tipo de material. Com isso para a estrutura de concreto armado utilizou-se o peso específico citado pela NBR 6120 (1980) com valor definido de 25kN/m³.

Tendo as cargas já definidas utilizou-se o *software* Eberick V9 Next Plena para que o cálculo da estrutura fosse realizado. Em que se utilizou por arbítrio o concreto com fck de 25 MPa ou 250 kgf/cm², com módulo de elasticidade de 238000 kgf/cm².

Segundo a NBR 6118 (2014, p.74) para locais de passagem de veículos com carga menor igual a 30kN a espessura das lajes deve ser de no mínimo 10 cm. Esta recomendação foi adotada para rampas, escadas e lajes, exceto para as lajes L37 e L38 de todos os pavimentos, pois de acordo com as análises feitas pelo *software* a espessura de 10 cm não seria suficiente para resistir a todos os esforços, portanto foi adotada uma nova espessura igual a 12 cm. Em todas as lajes, rampas e escadas foi adotado a laje sendo maciça.

Após a análise dos resultados do *software* pode-se então ajustar o projeto de maneira que apresenta o melhor desempenho da estrutura. Após os ajustes necessários de dimensões e posições dos elementos estruturais pode-se então levantar o quantitativo dos materiais a serem utilizados na supraestrutura, obtendo-se então o quantitativo de aço (kg) e de concreto (m³).

Para a estimativa de valores dos materiais da supraestrutura utilizou-se a referência da tabela SINAPI com upload 19 de julho de 2016.

Utilizando os dados levantados da SINAPI em conjunto com o quantitativo levantado pelo projeto obteve-se então o custo dos materiais para a supraestrutura considerando a estrutura em concreto armado convencional. Estes valores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores finais da supraestrutura em concreto armado

TABELA DE INSUMOS DA ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO				
<i>Software</i> utilizado: Eberick V9 Next Plena		Projetista responsável: Alexsandro E. R. Korzekwa		
Mês dos valores dos insumos: julho/2016		Data dos cálculos: 19 de setembro de 2016		
Descrição do Insumo	Unidade	Quantidade (unid.)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Aço CA-60 5,0 mm vergalhão	kg	9.906,10	R\$ 2,98	R\$ 29.520,18

Aço CA-50 6,3 mm vergalhão	kg	11.661,80	R\$ 3,14	R\$ 36.618,05
Aço CA-50 8 mm vergalhão	kg	12.984,90	R\$ 3,53	R\$ 45.836,70
Aço CA-50 10 mm vergalhão	kg	7.869,70	R\$ 3,00	R\$ 23.609,10
Aço CA-50 12,5 mm vergalhão	kg	6.660,20	R\$ 2,86	R\$ 19.048,17
Aço CA-50 16 mm vergalhão	kg	6.923,20	R\$ 2,86	R\$ 19.800,35
Aço CA-50 20 mm vergalhão	kg	2.333,10	R\$ 2,67	R\$ 6.229,38
Aço CA-50 25 mm vergalhão	kg	687,50	R\$ 3,09	R\$ 2.124,38
Concreto usinado fck = 25 Mpa brita 0 e 1, slump 10 +- 2	m ³	729,60	R\$ 216,54	R\$ 157.987,58
Total				R\$ 340.773,89
Peso total da supraestrutura em toneladas				1.883,03

Fonte: Autor (2016)

4.3 ESTRUTURAS EM AÇO

As cargas variáveis utilizadas na estrutura em aço foram as mesmas utilizadas para a estrutura de concreto armado convencional.

Para o desenvolvimento do projeto utilizou-se o *software* de análise estrutural Strap 2015, que possui o módulo de estruturas metálicas.

As lajes continuam sendo de concreto e com as mesmas características da estrutura em concreto armado convencional.

No *software* Strap 2015 foi utilizado para o cálculo a norma AISC-LRFD:2010 pelo fato de que o aço disponibilizado para utilização e realização orçamentária da Gerdau é o ASTM A572 GRAU 50. Porém todos os fatores utilizados no *software* tiveram equivalência com a NBR 8800:2008.

Para o aço foi utilizado o aço ASTM A572 GRAU 50, sendo uma estrutura do tipo deslocável, tendo seus perfis de aço tipo I e H de seção W, nos cálculos. Para a determinação de custos foi pego a tabela de perfis metálicos da Gerdau.

Considerando uma estrutura em aço pode-se realizar o dimensionamento de diferentes formas, nesta pesquisa para fins de comparação utilizou-se duas situações para o dimensionamento.

A primeira situação correspondeu a padronização de 04 (quatro) tipos de perfis metálicos que atendiam as solicitações de toda a edificação, porém aumentando o peso da estrutura, na segunda

situação dimensionou-se a edificação separadamente, adotando o perfil necessário para cada situação em específico, evitando assim o superdimensionamento, porém dificultando a praticidade de montagem da estrutura.

Após a análise do modelo estrutural para as duas situações obteve-se então os quantitativos. Os custos dos materiais para a supraestrutura foram levantados para as duas situações.

Os valores específicos de perfis de aço não são disponibilizados na SINAPI, assim para o levantamento dos valores utilizou-se o valor fornecido pela empresa que disponibiliza os perfis para a região de Cascavel – PR, no caso a empresa Gerdau.

Utilizando o quantitativo de materiais e os valores unitários levantados obteve-se os custos dos materiais para a primeira simulação em estrutura metálica, representada na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores finais da estrutura em aço para a primeira simulação

TABELA DE INSUMOS DA ESTRUTURA EM AÇO				
Softwares utilizados: Eberick V9 Next Plena e STRAP 2015		Projetista responsável: Alexsandro E. R. Korzekwa		
Mês dos valores dos insumos: julho/2016 e setembro/2016		Data dos cálculos: 09 de setembro de 2016		
Descrição do Insumo	Unidade	Quantidade (unid.)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Aço CA-60 5,0 mm vergalhão	kg	5.962,80	R\$ 2,98	R\$ 17.769,14
Aço CA-50 6,3 mm vergalhão	kg	11.489,40	R\$ 3,14	R\$ 36.076,72
Aço CA-50 8 mm vergalhão	kg	8.260,50	R\$ 3,53	R\$ 29.159,57
Aço CA-50 10 mm vergalhão	kg	4.184,60	R\$ 3,00	R\$ 12.553,80
Aço CA-50 12,5 mm vergalhão	kg	855,50	R\$ 2,86	R\$ 2.446,73
Concreto usinado fck = 25 Mpa brita 0 e 1, slump 10 +- 2	m ³	447,00	R\$ 216,54	R\$ 96.793,38
Perfil H A572GR50 - W 310x117	kg	96.020,00	R\$ 4,20	R\$ 403.284,00
Perfil H A572GR50 - W 530X82,0	kg	19.016,00	R\$ 4,20	R\$ 79.867,20
Perfil I A572GR50 - W 530X101	kg	2.449,00	R\$ 4,20	R\$ 10.285,80

Perfil I A572GR50 - W 610X113	kg	251.440,00	R\$ 4,20	R\$ 1.056.048,00
Total				R\$ 1.744.284,34
Peso total da supraestrutura em toneladas				1.517,18

Fonte: Autor (2016)

Para a segunda simulação de estrutura metálica realizada com perfis aleatórios adaptados para cada situação obteve-se os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores finais da estrutura em aço para a segunda simulação

TABELA DE INSUMOS DA ESTRUTURA EM AÇO				
Softwares utilizados: Eberick V9 Next Plena e STRAP 2015		Projetista responsável: Alexsandro E. R. Korzekwa		
Mês dos valores dos insumos: julho/2016 e setembro/2016		Data dos cálculos: 09 de setembro de 2016		
Descrição do Insumo	Unidade	Quantidade (unid.)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Aço CA-60 5,0 mm vergalhão	kg	5.962,80	R\$ 2,98	R\$ 17.769,14
Aço CA-50 6,3 mm vergalhão	kg	11.489,40	R\$ 3,14	R\$ 36.076,72
Aço CA-50 8 mm vergalhão	kg	8.260,50	R\$ 3,53	R\$ 29.159,57
Aço CA-50 10 mm vergalhão	kg	4.184,60	R\$ 3,00	R\$ 12.553,80
Aço CA-50 12,5 mm vergalhão	kg	855,50	R\$ 2,86	R\$ 2.446,73
Concreto usinado fck = 25 Mpa brita 0 e 1, slump 10 +- 2	m ³	447,00	R\$ 216,54	R\$ 96.793,38
Perfil I A572GR50 - W 150x18,0	kg	566,00	R\$ 4,20	R\$ 2.377,20
Perfil I A572GR50 - W 200x15,0	kg	584,00	R\$ 4,20	R\$ 2.452,80
Perfil I A572GR50 - W 250x17,9	kg	203,00	R\$ 4,20	R\$ 852,60
Perfil I A572GR50 - W 250x32,7	kg	1.565,00	R\$ 5,20	R\$ 8.138,00
Perfil I A572GR50 - W 250x38,5	kg	200,00	R\$ 6,20	R\$ 1.240,00

Perfil I A572GR50 - W 310x21,0	kg	82,00	R\$ 4,20	R\$ 344,40
Perfil I A572GR50 - W 310x23,8	kg	238,00	R\$ 5,20	R\$ 1.237,60
Perfil I A572GR50 - W 310x28,3	kg	110,00	R\$ 6,20	R\$ 682,00
Perfil I A572GR50 - W 310x32,7	kg	149,00	R\$ 4,20	R\$ 625,80
Perfil I A572GR50 - W 310x38,7	kg	6.877,00	R\$ 4,20	R\$ 28.883,40
Perfil I A572GR50 - W 310x44,5	kg	2.223,00	R\$ 4,20	R\$ 9.336,60
Perfil H A572GR50 - W 310x117	kg	96.020,00	R\$ 4,20	R\$ 403.284,00
Perfil I A572GR50 - W 360x32,9	kg	1.008,00	R\$ 4,20	R\$ 4.233,60
Perfil I A572GR50 - W 360x39,0	kg	151,00	R\$ 5,20	R\$ 785,20
Perfil I A572GR50 - W 360x44,0	kg	2.575,00	R\$ 4,20	R\$ 10.815,00
Perfil I A572GR50 - W 360x51,0	kg	6.108,00	R\$ 4,20	R\$ 25.653,60
Perfil H A572GR50 - W 410X38,8	kg	329,00	R\$ 4,20	R\$ 1.381,80
Perfil H A572GR50 - W 410X46,1	kg	418,00	R\$ 5,20	R\$ 2.173,60
Perfil I A572GR50 - W 410X53,0	kg	29.076,00	R\$ 4,20	R\$ 122.119,20
Perfil I A572GR50 - W 410X60,0	kg	1.053,00	R\$ 4,20	R\$ 4.422,60
Perfil I A572GR50 - W 410X67,0	kg	16.379,00	R\$ 4,20	R\$ 68.791,80
Perfil I A572GR50 - W 410X89,0	kg	2.400,00	R\$ 5,20	R\$ 12.480,00
Perfil I A572GR50 - W 530x72,0	kg	47.485,00	R\$ 4,20	R\$ 199.437,00
Perfil I A572GR50 - W 530x82,0	kg	19.016,00	R\$ 5,20	R\$ 98.883,20
Perfil I A572GR50 - W 530x101	kg	2.449,00	R\$ 4,20	R\$ 10.285,80
Perfil I A572GR50 - W 610X113	kg	12.227,00	R\$ 4,20	R\$ 51.353,40

Total	R\$ 1.267.069,54
Peso total da supraestrutura em toneladas	1.397,74

Fonte: Autor (2016)

Considerando as duas simulações da estrutura em aço, cada uma tem sua peculiaridade.

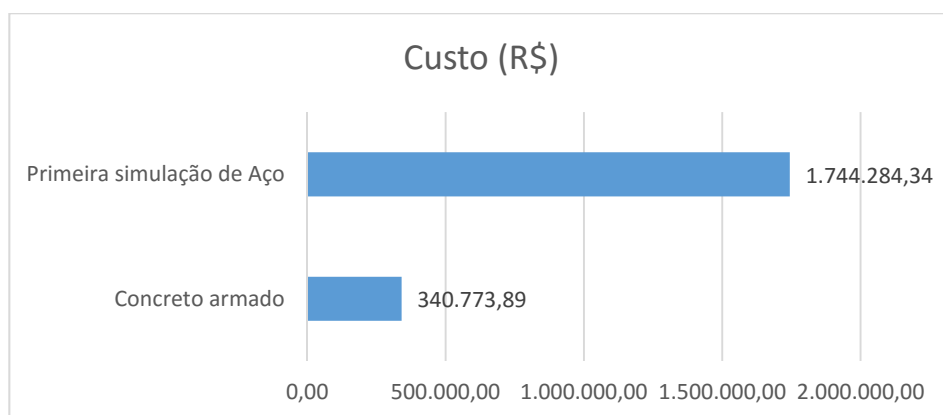
Em relação ao peso e custo da estrutura, que na estrutura em aço tem total proporcionalidade, a primeira simulação tem desvantagem pois quando é feito uma padronização sobre as peças, é utilizada a maior peça como padrão, pois é calculado em cima da pior situação e padronizado para o resto, sendo assim ocorre um superdimensionamento da estrutura tornando-a mais pesada e conseqüentemente mais cara que a segunda situação que tem seu dimensionamento independente para cada peça.

Entretanto, em relação a execução do projeto, a primeira simulação se torna mais vantajosa, porque quando se tem uma padronização de peças é mais fácil e rápido a realização dos encaixes das peças conseqüentemente torna-se mais rápida a execução, o que é o oposto na segunda simulação, que se tem diversas peças, cada encaixe de uma maneira diferente, tornando-a mais demorado toda sua execução.

4.4 CONCRETO X AÇO

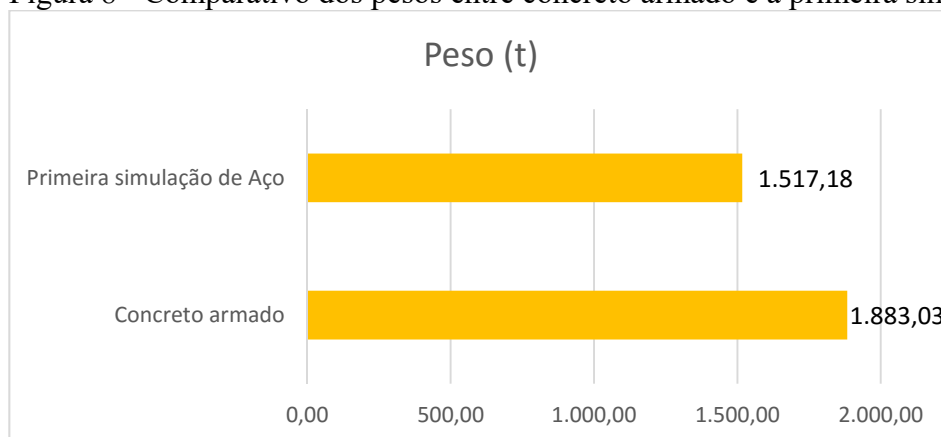
Com os dados da estrutura em concreto e a primeira simulação da estrutura em aço, tem-se os gráficos representados pelas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Comparativo dos custos entre concreto armado e a primeira simulação de Aço



Fonte: Autor (2016)

Figura 8 - Comparativo dos pesos entre concreto armado e a primeira simulação de Aço

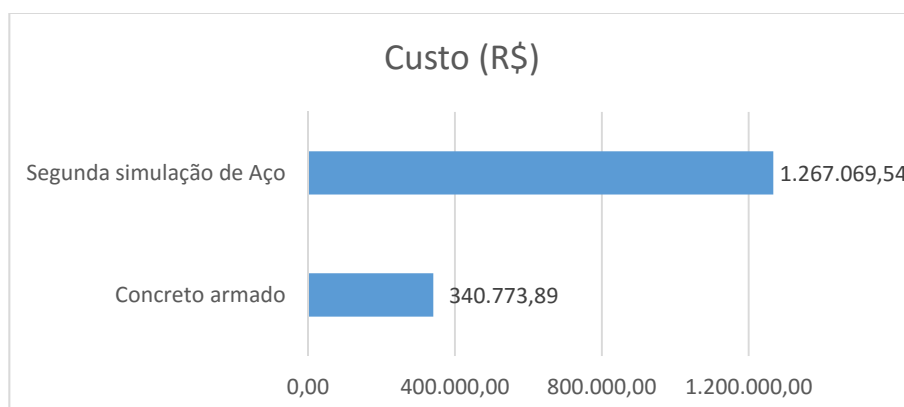


Fonte: Autor (2016)

Com estes gráficos fica mais evidente a diferença dos dados, e com isso observa-se que em relação ao custo dos materiais das duas supraestruturas, a estrutura em concreto armado é mais vantajosa, apresentando um custo de 80% menor do que a primeira simulação da estrutura em aço, porém em contrapartida observa-se que o peso da supraestrutura tem-se sua vantagem para a estrutura em aço sendo 19% mais leve que a estrutura em concreto armado.

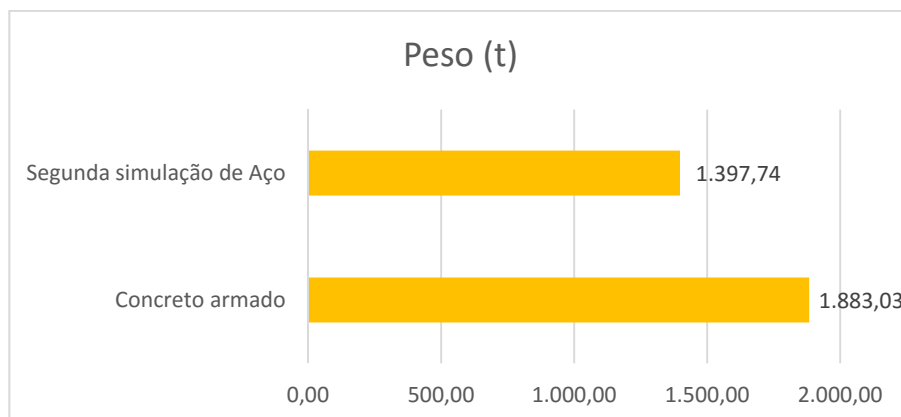
Por conseguinte, com os mesmos dados da estrutura em concreto armado, porém agora com os dados da segunda simulação da estrutura em aço, tem-se representados pelos gráficos das Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Comparativo dos custos entre concreto armado e a segunda simulação de Aço



Fonte: Autor (2016)

Figura 10 - Comparativo dos pesos entre concreto armado e a segunda simulação de Aço



Fonte: Autor (2016)

Tendo essa relação entre a estrutura em concreto e a segunda simulação da estrutura em aço se tem novos números, e em relação a comparação anterior teve uma diminuição dos dois dados da estrutura em aço.

Diante destes dados se tem que a estrutura em concreto é cerca de 73% mais barata do que a segunda simulação da estrutura em aço, todavia, esta estrutura em aço chega a ser 26% mais leve do que a estrutura em concreto armado.

O sistema estrutural em aço teve boa vantagem frente ao sistema estrutural em concreto armado em relação a peso próprio. Baseando-se nos relatórios realizados pelos *softwares* tem-se uma grande diferença no peso próprio da estrutura de aço que é significativamente mais leve na supraestrutura como um todo em relação a estrutura em concreto armado.

Considerando as cargas que chegam na fundação conseguiria ter uma infraestrutura mais leve e menor na estrutura em aço, pois como os carregamentos futuros que podem vir a acontecer devido ao uso da edificação, tem nos dois tipos de estruturas, isso não depende dos materiais utilizados e sim do uso proveniente na movimentação dos veículos no local, sendo assim, a supraestrutura que for mais leve terá a estrutura como um todo mais leve, isso nos tornaria a estrutura em aço mais vantajosa.

Contudo a estrutura em aço se torna muito mais cara devido ao alto custo de sua matéria prima que são os perfis metálicos, sendo eles vendidos por peso (kg) ao invés de por volume como o concreto armado (m³). Isto torna o concreto muito mais vantajoso na hora da escolha da estrutura, apesar de deixar uma fundação mais robusta com utilização de mais materiais, ela é mais barata pelo fato de que o custo do m³ do concreto é muito mais barato do que o custo dos perfis metálicos por kg.

Em contrapartida, conforme entrevista de José Roberto Leite na Revista Pini (2012) tem um ganho de prazo na estrutura em aço diante a estrutura em concreto, pois os necessitam ser parafusados uns aos outros e a estrutura estará pronta, diferentemente do concreto armado que se tem a necessidade da produção e montagem de armaduras, produção e montagem fôrmas, escoramento de fôrmas, concretagem de toda a estrutura através de concreto bombeável ou qualquer outro disponível no mercado, tempo de cura para todos os elementos estruturais. Todo este trabalho leva um longo tempo e muitos trabalhadores, e tempo e trabalhadores custam dinheiro, podendo tornar os custos das duas estruturas semelhantes, levando em consideração este ponto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta comparação entre a estrutura em aço e a estrutura em concreto armado teve todos seus cálculos concluídos com sucesso, seguindo um padrão que era imaginado, tendo seus pontos principais chegado em um resultado sucinto.

Com base na comparação específica do custo da supraestrutura, sem levar em consideração nenhum outro fator, a estrutura em concreto armado teve sem dúvida uma vantagem frente ao aço, tendo cerca de 80% de economia frente a primeira simulação da estrutura em aço, e aproximadamente 73% seu custo menor do que a segunda simulação.

Relacionando o peso próprio da estrutura, sem dúvida tem um melhor desempenho a estrutura em aço, tendo na sua primeira simulação chegado a 19% mais leve do que a em concreto, e na segunda simulação tendo admiráveis 26% menor peso do que a estrutura em concreto armado.

Perfazendo as duas estruturas se igualam no balanceamento dos resultados, ou seja, relacionado a vantagem no custo da supraestrutura em concreto armado e a vantagem no baixo peso da supraestrutura em aço, tem-se um equilíbrio de variações. Porém para se ter uma relação mais precisa de qual é mais vantajoso para o cliente e para o executor, deve se fazer um estudo quanto a fundação, pois devido a variação de peso próprio, varia a quantidade de materiais a serem utilizados para a infraestrutura, também deve ser realizado um estudo quanto ao tempo e gastos de mão de obra para os dois métodos estruturais, assim com todos estes estudos juntos, teria uma maior base de qual a mais vantajosa em todo o conjunto.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Luis Carlos de. Fundamentos do concreto armado. São Paulo, 2002.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. **AISC-LRFD**. Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projetos de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 6120**. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 6123**. Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 8800**. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

BEVILAQUA, Rosane. **Edifícios-garagem estruturados em aço**. São Paulo, 2010.

CAIXA. **SINAPI**. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 21 de maio de 2016.

CBCA. **A fabricação e a montagem de estrutura metálica**. Disponível em <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=7150>>. Acesso em: 10 de junho de 2016.

CBCA. **Construção em aço: aços estruturais**. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-acos-estruturais.php>>. Acesso em: 03 de abril de 2016.

CBCA. **Construção em aço: vantagens**. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-vantagens.php>>. Acesso em 01 de abril de 2016.

JÚNIOR, Tarley Ferreira de Souza. **Estruturas de concreto armado**. Notas de aula.

MASCARÓ, Juan Luis. **Loteamentos urbanos**. L. Mascaró, 2003.

PINHEIRO, Libânio M.. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos: USP, 2007.

Pini. **Estrutura metálica X estrutura de concreto**. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/128/artigo299127-1.aspx?fb_comment_id=304502446355268_1735599#f3c36a6569471d>. Acesso em: 20 de agosto de 2016.

Portal do concreto. **Concreto**. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/concretos.html>>. Acesso em: 03 de abril de 2016

Portal metálica construção civil. **Construções metálicas**. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/construcoes-metalicas-o-uso-do-aco-na-construcao-civil>>. Acesso em: 10 de junho de 2016.

TÉCHNE. **Garantia de boa estrutura**. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/115/artigo286353-1.aspx>>. Acesso em: 10 de junho de 2016.

VEJA. **A dificuldade de parar o carro em São Paulo**. Disponível em: <<http://vejasp.abril.com.br/materia/deficit-de-vagas-para-estacionar-carros-sao-paulo>>. Acesso em: 10 de junho de 2016.