

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

VICTORIA DA FONSECA RIBEIRO

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO
SISTEMA BIM PARA PROJETOS DE
ESTRUTURAS METÁLICAS**

**ILHA SOLTEIRA
JULHO DE 2021**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO SISTEMA BIM PARA PROJETOS DE ESTRUTURAS METÁLICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia, Câmpus de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Victoria da Fonseca Ribeiro

Orientador: Prof. Dr. Rogério de Oliveira Rodrigues

**ILHA SOLTEIRA
JULHO DE 2021**

FICHA CATALOGRÁFICA


Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

R484a Ribeiro, Victoria da Fonseca.
Análise da aplicabilidade do sistema BIM para projetos de estruturas metálicas / Victoria da Fonseca Ribeiro. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021
54 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2021

Orientador: Rogério de Oliveira Rodrigues
Inclui bibliografia

1. Estruturas metálicas. 2. Inovação. 3. BIM. 4. Análise de viabilidade.


Raiane da Silva Santos

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURSO : ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ESTRUTURAS
REALIZADA EM : 23-07-2021
DISCENTE : **VICTORIA DA FONSECA RIBEIRO**

COMISSÃO EXAMINADORA:

1. Prof. Dr. Rogério de Oliveira Rodrigues (Orientador)
2. Prof. Dr. Renato Bertolino Júnior (Examinador)
3. Prof. MSc Emerson Alexandro Bolandim (Examinador)

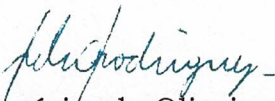
TÍTULO: "ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO SISTEMA BIM PARA PROJETOS DE ESTRUTURAS METÁLICAS "

Local: WEEB – Via Google Mett

Horário de início: 14:00 horas

Em sessão pública, após exposição em torno de 40 (quarenta minutos), a discente foi arguida oralmente, e no final da exposição foi "**APROVADA**" pelos membros componentes da Comissão Examinadora. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ATA, a qual é assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pela Discente.....

Ilha Solteira, 23 de julho de 2021.



Prof. Dr. Rogério, de Oliveira Rodrigues
Orientador



Prof. Dr. Renato Bertolino Júnior
Examinador



Prof. MSc. Emerson Alexandro Bolandim
Examinador

Ciente:
Discente: Victoria Ribeiro

RESUMO

O avanço da tecnologia gerou transformações em várias áreas de atuação, incluindo a Engenharia Civil, e dentro desse contexto surge o *Building Information Modeling* – BIM, com o objetivo de promover uma maior integração das informações, gerando maior eficiência na construção. Neste estudo, foram estudadas as características desta nova tecnologia assim como as particularidades dos projetos de estruturas metálicas com o intuito de verificar a viabilidade da utilização do BIM em projetos de estruturas metálicas. Adicionalmente, foram analisados três estudos de caso com o objetivo de comprovar na prática as informações obtidas na pesquisa e fortalecer o embasamento do trabalho. Foi possível constatar que o processo BIM é viável para estruturas metálicas, trazendo benefícios tanto técnicos como financeiros na elaboração do projeto, desde que alguns cuidados sejam tomados.

Palavras-Chave: Estruturas Metálicas; Inovação; BIM; Análise de Viabilidade.

ABSTRACT

The technology advancement has caused changes in several areas of expertise, including Civil Engineering, and in this context, Building Information Modeling - BIM emerges with the purpose of promoting better integration of information, generating greater efficiency in construction. In this study, the characteristics of this new technology were studied, as well as the singularities of steel structure projects in order to verify the viability of using BIM in steel structure projects. In addition, three cases were analyzed in order to testify in practice the information acquired in the research and reinforce the basis of the work. It was possible to verify that BIM process is viable for steel structures, bringing both technical and financial benefits in the design of the project, as long as some precautions are taken.

Keywords: Steel Structures; Innovation; BIM; Viability Analysis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. BUILDING INFORMATION MODELING - BIM	5
2.1. Histórico	6
2.2. O BIM no Brasil	8
2.3. Vantagens competitivas	10
2.4. Dificuldades enfrentadas	12
2.5. Definição de LODs	14
2.6. Softwares mais utilizados	14
3. ESTRUTURAS METÁLICAS	16
3.1. Histórico	16
3.2. Características	17
3.3. Propriedades mecânicas	19
3.4. Ligações	21
3.5. Vantagens e desvantagens	21
3.6. Projetos de estruturas metálicas	22
4. ESTUDOS DE CASO	25
4.1. Caso 1	25
4.2. Caso 2	32
4.3. Caso 3	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1. Comparação das necessidades de estruturas metálicas e BIM	41
5.2. Análise de viabilidade	42
5.2.1. Viabilidade técnica	42
5.2.2. Viabilidade financeira	44
5.3. Comentários sobre os estudos de caso	45
6. CONCLUSÕES	46
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

O ramo da Engenharia Civil, assim como muitas outras ocupações, tem passado por transformações profundas na era da tecnologia. Muitos *softwares* e equipamentos novos foram inseridos no mercado, visando trazer mais velocidade, eficiência e integração das informações para a construção civil, e é nesse cenário que surge a tecnologia *Building Information Modeling* - BIM.

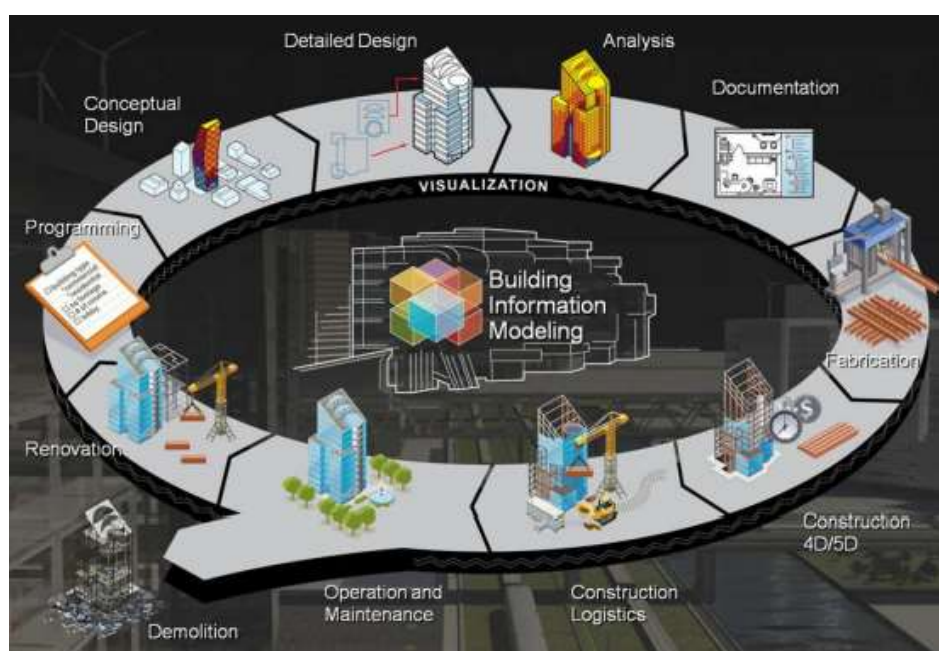
Com tais inovações, algumas das antigas metodologias se tornaram obsoletas, não sendo tão competitivas no mercado atual. Por esse motivo se torna interessante aos atuantes da área conhecer sobre as novas tecnologias disponíveis e buscar incorporá-las ao trabalho.

Porém uma tecnologia pode ser adequada para uma finalidade e não obter o mesmo resultado para outra, sendo necessário analisar a viabilidade da mesma para cada tipo de construção. Por essa razão, esse trabalho busca entender as particularidades da utilização do BIM para construções em estruturas metálicas e concluir sobre sua viabilidade no cenário atual. Para tanto, é necessário conhecer sobre a tecnologia e sobre as características das estruturas metálicas para entender a compatibilidade de tal união.

2. BUILDING INFORMATION MODELING - BIM

A sigla BIM vem do inglês *Building Information Modeling*, que conceitualmente significa **processo de comunicação da informação da construção por meio de uma simulação digital compartilhada**, ou simplesmente **Modelagem da Informação da Construção**, e se refere a uma tecnologia voltada a criar um modelo virtual que integra os vários processos de uma construção, desde a elaboração do orçamento, até o planejamento das fases de montagem, como mostrado na Figura 1. Para isso é necessário um trabalho colaborativo entre Arquitetos, Engenheiros e construtores da obra. Seu diferencial é a capacidade de atribuir propriedades aos objetos do desenho, tais como material utilizado, dimensões, fabricantes, entre outras, e permitir a alteração automática das mesmas.

Figura 1 – Processos da construção englobados no sistema BIM



Fonte: (LINO; AZENHA; LOURENÇO, 2012)

Fazendo uma ligação com a denominação dos *softwares* de modelagem 3D, o BIM engloba até o 7D, sendo um projeto 4D-BIM aquele onde o parâmetro tempo é incorporado, onde é possível analisar as fases de construção. No 5D-BIM é adicionada a variável custo do projeto, mostrando como alterações no projeto pode afetar o planejamento orçamentário do proprietário, até o impacto da produtividade do trabalho pode ser analisada com esse modelo. O 6D-BIM passa a permitir a

análise energética da construção, auxiliando nas escolhas para gerar uma edificação mais sustentável possível. O 7D-BIM passa a compreender o fator de ciclo de vida da edificação, possibilitando uma melhor operação do edifício e a determinação de manutenções preventivas durante sua vida útil.

A execução da plataforma conta com a aplicação do conceito de *lean Kanban*, que por sua vez parte de duas definições, o *lean construction* e o *Kanban*. O *lean construction* é caracterizado pela construção enxuta, tem como foco a gestão da produção em obras de Engenharia, com o intuito de controlar os fluxos presentes nas obras, como por exemplo, o fluxo de materiais, que incluem desde atividades de transporte até inspeção, e busca oferecer mais confiabilidade de prazos e maior produtividade a partir de uma melhor definição de *layout* e diminuição do tempo não produtivo.

O *Kanban* se refere a um sistema de controle dos fluxos de uma empresa, podendo usar as necessidades de entrega para definir o estoque e o momento de recebimento de produtos, seu método de quadros de sinalização tem o intuito de simplificar a administração do serviço de uma forma visual e diminuir o desperdício de insumos, problema muito discutido no âmbito da construção civil atualmente. A combinação das duas definições gera o *lean Kanban* e esse conceito introduzido na plataforma BIM foi chamado de *KanBIM*. Essa técnica promete trazer benefícios não apenas para a construção civil, mas também para a sociedade, por meio da redução do consumo de energia e insumos.

2.1. Histórico

Segundo Jerry Laiserin (2008), citado por Menezes (2011), os conceitos que hoje são englobados pelo sistema BIM existem a mais de 40 anos. O primeiro vislumbre de suas características foi o conceito de *Building Description System*, criado por Charles M. Eastman e sua equipe, que permitia utilizar elementos modelados anteriormente para gerar seções, planos e perspectivas, os quais eram atualizados automaticamente, minimizando assim o redesenho. Também possibilitava a ligação das medidas às descrições dos materiais, podendo gerar valores quantitativos desses materiais, além de estimar os custos e até agendar a compra de materiais.

No âmbito acadêmico, os anos seguintes presenciaram o surgimento de várias pesquisas similares ao trabalho de Eastman na Europa, principalmente no Reino

Unido. Nessa época também se iniciou o interesse comercial na tecnologia. A tecnologia, na forma que é conhecida nos dias atuais, surgiu pela primeira vez em 1986 em um artigo de Robert Aish, onde já era descrito até o 4D. Depois de algumas mudanças de nomenclatura, o termo *Building Information Modeling* foi publicado pela primeira vez pelos professores G. A. van Nederveen e F. Tolman, no artigo *Automation in Construction*, no ano de 1992.

Os *softwares* criados que utilizam a tecnologia BIM se apoiaram nos programas mais antigos de desenho e cresceram a partir deles ao longo do tempo, por meio da incorporação de novas funcionalidades. Em 2005 ocorreu a *First Industry-Academic Conference* em BIM, onde ganhou maior destaque em vários países do mundo, gerando maior divulgação da tecnologia.

Sua adoção começou com mais força na América do Norte e Europa, porém, no início, enfrentaram algumas dificuldades com sua implantação. Uma delas era a incompatibilidade de sistemas, o que atrapalha o bom aproveitamento dos programas, já que esses precisam se comunicar. Para compartilhar informações entre diferentes *softwares* BIM é usado o IFC (*industry foundation classes*), um formato de arquivo de dados de Arquitetura aberta, possibilitando a troca de arquivos entre *softwares* de diferentes fabricantes, no entanto alguns problemas ainda ocorriam na exportação de arquivos entre diversos fabricantes. Atualmente já estão sendo estudadas formas para contornar esses problemas, como a utilização de *softwares* para detectar interferências.

A cultura de trabalho era diferente, os projetistas não estavam acostumados a trabalhar com tantos dados e informações e nem exigir tamanha qualidade dos mesmos, além de não estarem acostumados com o trabalho sendo compartilhado por vários profissionais ao mesmo tempo, exigindo uma melhor comunicação e entendimento entre eles.

Ainda que existam esses obstáculos, a tecnologia BIM vem se espalhando pelo mundo e já é adotada como exigência para obras públicas em alguns países, como Estados Unidos, Austrália, China e alguns países europeus. Já no âmbito acadêmico, muitas universidades vêm inserindo o BIM nas disciplinas, visando preparar melhor seus alunos para o mercado de trabalho, porém a evolução da

implantação da tecnologia é muito diversa entre as universidades, tendo algumas que não oferecem instrução alguma.

2.2. O BIM no Brasil

Nos escritórios de Arquitetura do Brasil, o BIM ganhou mais destaque a partir do ano 2000. Inicialmente pensava-se que a tecnologia demoraria a ser amplamente utilizada no país, porém atualmente já é utilizada por diversos profissionais do ramo da construção civil, apesar de ainda não ser a maioria.

A maior dificuldade encontrada inicialmente foi o alto custo para implantar o uso, tanto com treinamento da equipe, como para adquirir os *softwares* utilizados. Apesar disso, vários profissionais e escritórios optaram por aderir à tecnologia por se tratar de um investimento, onde teriam um retorno em médio e longo prazo.

Outros problemas relatados foram a falta de biblioteca nacional e de um estilo de trabalho que interligasse os profissionais do projeto, o que gerou uma entrada inicial do BIM apenas na etapa arquitetônica da edificação. Destaca-se como uma necessidade fundamental para a adoção da plataforma no Brasil a criação de um sistema de classificação dos itens construtivos baseado nos produtos brasileiros e na organização dos projetos no país.

Alguns escritórios se viram forçados a implantar a nova tecnologia, já que clientes, incluindo instituições ligadas ao governo, passaram a exigir projetos nesse formato, e assim como já acontece em outros países, no Brasil a exigência de utilização dela para obras públicas entrará em vigor no ano de 2021. O conhecimento da ferramenta passou a ser visto como vantagem competitiva no mercado, tanto para as empresas como para os próprios profissionais, já que não existiam muitos com essa experiência no mercado. Porém é importante ressaltar que a escolha de sua utilização deve depender do tipo de projeto e do produto esperado nas fases de trabalho.

Após algum tempo de uso, as empresas começaram a perceber o alto potencial de produtividade da tecnologia, sendo possível executar o mesmo projeto com até metade da equipe necessária para a execução no CAD. Esse avanço só é notado depois de um período, entre 6 e 8 meses em média, de utilização da plataforma, que está relacionado a curva de aprendizado com os treinamentos.

No Brasil, o uso do máximo potencial da tecnologia não foi facilmente atingido. Seu início foi apenas nos escritórios de Arquitetura e, ao chegar nos escritórios de Engenharia, possuía integração com projetos estruturais, porém com os projetos de instalações o mesmo não se sucedia. Essa barreira é causada principalmente pela falta de bibliotecas nacionais prontas, já com conjuntos de componentes que seriam utilizados nos projetos de instalações elétricas, hidráulicas e de ar condicionado.

Atualmente algumas construtoras determinam que seus parceiros executem seus projetos já modelados. Esse fato é impulsionado pela exigência dos próprios clientes, fazendo com que muitos projetistas de instalações hidroelétricas busquem aderir ao novo modelo para não perder parcerias e clientes. Essa transição começou com o desenvolvimento de bibliotecas próprias e a transferência de projetos de instalações com modelagem bidimensional para arquivos tridimensionais.

Além do programa principal, é possível utilizar extensões de programas, que devem ser instaladas no *software* para realizar funções específicas, as quais podem ser produzidas tanto pelo fabricante como por terceiros. Essa particularidade fez com que fabricantes de componentes percebessem a necessidade de criar bibliotecas com seus produtos. Essas extensões tem a vantagem de serem compatíveis com as normas nacionais, podendo, por exemplo, identificar se o projeto das instalações hidráulicas está dentro dos parâmetros mínimos e máximos de pressão exigidos por elas.

A plataforma mudou também o relacionamento entre projetistas e construtores, surgindo até um novo sistema de contratação chamado IPD (*integrated project delivery*). Nesse formato é feito um único contrato de projeto e construção, que engloba projetistas, construtora e proprietário. O diferencial dessa forma de contratação é um componente de risco/recompensa, onde as partes concordam em colocar seu lucro em risco como garantia do cumprimento de seus custos orçados e cronograma. Se o projeto superar as expectativas, o que pode ser alcançado com melhoria nos custos de materiais, menor consumo de energia e sustentabilidade na obra, as economias serão compartilhadas entre as partes, melhorando seus lucros. O objetivo dessa maneira de contrato é incentivar a inovação e a união da equipe de projeto.

Apesar desses avanços, o atraso do Brasil na adoção do modelo BIM comparado a outros países é visível, em parte causado da adoção também tardia do CAD. Foi notado que o atraso na implantação do CAD, tanto no mercado como no ensino, gerou uma lacuna de aproximadamente 20 anos em relação aos países desenvolvidos. A primeira vez que houve uma exigência do MEC para inclusão de uma disciplina de “Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo” foi em 1994, a qual inicialmente ainda não era utilizada para ensino de ferramentas similares ao CAD. Portanto, para a implantação da plataforma BIM no ensino superior, será necessária uma mudança de cultura e não apenas a contratação de *softwares*, podendo levar mais tempo. Alguns cursos já iniciaram essa mudança e acreditam que esse conhecimento ajudará na maior empregabilidade de seus alunos, porém são poucos que tem como obrigatória alguma disciplina para ensinar BIM.

2.3. Vantagens competitivas

A tecnologia BIM pode trazer benefícios para diversas etapas do processo de construção de uma obra e alguns deles serão citados a seguir, porém é importante ter em mente que nem todos eles serão necessariamente encontrados em uma mesma construção.

A plataforma possibilita a criação de um modelo aproximado, que leva em consideração o tamanho, a qualidade pretendida e as necessidades da edificação, e é vinculado a uma base de dados de custos, com o intuito de verificar a viabilidade financeira do empreendimento no pré-projeto, antes mesmo de ser iniciado, fornecendo uma grande vantagem para o proprietário, que pode avaliar, antes de desperdiçar muito tempo, esforço e dinheiro, se a obra poderá ser feita com os investimentos esperados.

O desenvolvimento de um modelo esquemático da construção pode gerar melhor qualidade e desempenho da obra por meio da avaliação preliminar do cumprimento de requisitos funcionais e de sustentabilidade através de análises e simulações, pois permite fazer alterações mais cedo no projeto.

O modelo 3D na plataforma BIM é gerado diretamente nesse formato e permite a visualização do projeto em qualquer fase do processo, tendo dimensões coerentes em todas as vistas, uma vez que não foi gerado por múltiplas vistas 2D. O modelo também apresenta uma automação de correções pequenas, como os objetos

possuem parâmetros, quando alguma alteração é feita no projeto, o *software* pode garantir um alinhamento apropriado.

É possível gerar desenhos para qualquer vista necessária do projeto a partir do mesmo modelo, reduzindo a possibilidade de erros e o tempo para a geração desses desenhos, além de incorporar as modificações feitas ao longo do projeto.

A plataforma BIM facilita o trabalho colaborativo entre as diversas áreas envolvidas no projeto, possibilitando a alteração simultânea e a identificação sistemática e visual de interferências entre elas, antes que sejam identificadas na obra, o que reduz consideravelmente o tempo e os erros do projeto.

A qualquer momento é possível gerar estimativas de custos do projeto, permitindo que todos os envolvidos estejam cientes dos custos antes de partirem para níveis mais detalhados do projeto. Quanto mais avançada é a etapa do projeto, mais assertiva será a estimativa.

A plataforma permite vincular o modelo a ferramentas de análise energética, permitindo a quantificação do uso de energia já em fases mais preliminares do projeto, assim é possível fazer alterações no projeto para melhorar sua eficiência energética.

O 4D da plataforma permite um melhor planejamento da obra, pois possibilita a simulação do desenvolvimento da construção, viabilizando uma visualização da obra e do canteiro em qualquer tempo, o que auxilia na identificação de possíveis problemas, criando uma oportunidade de melhorias antes do período de construção.

O modelo do projeto pode ser detalhado ao nível de fabricação, por meio de uma reprodução cuidadosa dos objetos que serão fabricados, facilitando uma fabricação automática, prática bastante utilizada atualmente para fabricação de alguns materiais como peças em aço, chapas metálicas, componentes pré-moldados e vidros. A utilização dessa função da plataforma pode gerar diminuição dos custos e tempo.

O BIM proporciona a adoção de uma construção mais enxuta, onde é necessário um alinhamento melhor entre a construtora e seus parceiros para que a disponibilização dos materiais aconteça junto com o processo onde serão utilizados, resultando em menor desperdício de esforços e diminuição da necessidade de

estoque. Essa vantagem é possível graças ao modelo preciso do projeto, que fornece uma base de materiais necessários para cada segmento da construção, viabilizando um melhor planejamento e cronograma, garantindo não apenas os materiais no momento certo, mas também equipamentos e pessoal. É importante destacar que essa funcionalidade ainda não está disponível para todos os tipos de objetos, porém, para aqueles que estão disponíveis, vem sendo muito proveitosa.

A plataforma proporciona informações sobre os sistemas utilizados na construção, possibilitando, por exemplo, a execução de análises prévias em equipamentos mecânicos, permitindo verificar se os sistemas irão funcionar devidamente após a finalização da construção.

Outra facilidade que pode ser utilizada é a integração com sensores, possibilitando o monitoramento em tempo real e operação remota. Essa função ainda não está plenamente desenvolvida, mas promete ser muito útil para o gerenciamento e a programação de possíveis manutenções ao longo da vida útil do edifício.

2.4. Dificuldades enfrentadas

Apesar das vantagens encontradas, a tecnologia BIM ainda enfrenta algumas dificuldades para a sua aplicação, principalmente por causar mudanças significativas no meio da construção civil.

Um dos problemas é determinar como será feito o compartilhamento adequado das informações entre os profissionais. Se algum dos profissionais, por exemplo, o Arquiteto, constrói seu trabalho em meios tradicionais, é necessário criar um modelo na plataforma, para que seja utilizado na etapa de planejamento da construção e para gerar projetos mais detalhados, o que custa tempo e dinheiro ao empreendimento. A utilização de diferentes ferramentas pelos membros das equipes pode prejudicar a obra, já que passa a ser necessária a utilização de ferramentas para deslocar os modelos de um ambiente para outro, podendo aumentar o tempo e a possibilidade de erros no projeto. O padrão IFC, já mencionado anteriormente, pode minimizar esses problemas.

Uma barreira para a adoção da tecnologia BIM em novas empresas é o alto custo inicial. O investimento em *softwares* e computadores de alto desempenho que deve

acontecer para a implantação ainda é muito elevado para algumas empresas, principalmente as de porte menor.

A legislação também está sendo um obstáculo para a tecnologia. A dúvida sobre quem é o proprietário dos dados do projeto vem sendo um problema, pois essa definição determina quem paga por eles e quem é responsável por sua confiabilidade e precisão. Proprietários também vão buscar modelos de contratação que viabilizem o suporte à operação da edificação e suas possíveis reformas e manutenções futuras. Essas mudanças contratuais ainda estão sendo estudadas, mas já houve algumas mudanças, como foi comentado anteriormente sobre a contratação IPD.

O BIM muda todo o processo do trabalho, necessita de uma maior integração dos envolvidos e altera a ordem tradicional das etapas de um empreendimento, porém os profissionais não estão habituados a esse modo de trabalho, sendo necessário treinamento e tempo para que essas transformações sejam totalmente incorporadas no mercado da construção civil.

A mudança necessária é complexa, não envolve apenas uma mudança de *software* e sim todos os aspectos do negócio, portanto leva tempo para ser colocada em prática. Deve-se primeiro designar um funcionário de alta gerência, que será responsável pelo desenvolvimento do plano de adoção de BIM, o qual deve ter em mente os impactos gerados interna e externamente, e depois uma equipe para a implantação do mesmo. O início da utilização do BIM deve ser feito em empreendimentos menores, simultaneamente com o método tradicional, para conseguir identificar os pontos problemáticos e proporcionar treinamento para os líderes. Os resultados desse primeiro contato devem ser utilizados para treinamento de mais funcionários da empresa. Tendo mais pessoal treinado, deve-se ampliar a utilização do sistema em novos empreendimentos, e começar a atuar em conjunto com membros de outras empresas, podendo integrar a colaboração e compartilhar o conhecimento. A próxima etapa consiste na mudança de contratos com clientes e parceiros. Periodicamente deve-se revisar o planejamento da implementação, incorporando os benefícios identificados e corrigindo problemas encontrados. Apesar de ser uma complicação inicial para a empresa, os benefícios prometem compensar o esforço.

2.5. Definição de LODs

A sigla significa nível de desenvolvimento do modelo (*Level of Development* em inglês) e é uma classificação das fases BIM, criada pelo Instituto Americano de Arquitetura. Quanto mais avançado o LOD, mais informações serão utilizadas no modelo do projeto. Seus níveis são:

- 100: nível de estudo preliminar. Representação gráfica não muito detalhada e sem muitas informações, apresentando apenas a forma da construção, detalhes do terreno e algumas informações preliminares.
- 200: é equivalente à etapa de anteprojeto, apresenta informações ainda em planejamento sobre tamanho, forma, localização e orientação. Ainda necessita de aprovação para ser utilizado.
- 300: etapa de detalhamento dos projetos. Se inicia depois da aprovação do anteprojeto e é necessária para garantir que não há erros entre os diferentes segmentos do projeto.
- 400: nessa etapa são inseridos cronograma, orçamento, documentação legal e todos os itens necessários para a realização da construção.
- 500: já apresenta o modelo que deverá ser executado, com todas as especificações definidas, além de fornecedores e custos dos materiais necessários.

Essa classificação ajuda na execução de contratos. Sua escolha deve ser definida entre os envolvidos na obra antes de seu início, pois impactam diretamente tanto nos custos como nos prazos do projeto.

2.6. Softwares mais utilizados

Para conseguir aplicar a tecnologia BIM, podem ser utilizados diversos *softwares*, sendo que cada área do projeto possui algumas opções mais usuais entre os projetistas.

Para captura de realidade, etapa utilizada para criar objetos digitais a partir de imagens de elementos reais, os modos utilizados são o processo de *laser scanning*, sendo alguns programas *ReCap*[®], *Faro Focus Software*[®], *Trimble Real Works*[®] e *Leica Cyclone Register 360*[®], ou a fotogrametria, através dos *softwares Photoscan*[®], *Pix 4D*[®] e *3dflow*[®]. Tais métodos podem ser auxiliados com *drones*, para alcançar lugares de difícil acesso.

Para análise de viabilidade, responsável pelo estudo de alternativas de um empreendimento de acordo com requisitos de mercado, dos aspectos do terreno, de situação ambiental e do plano diretor da cidade, é usada a integração entre BIM e SIG (Sistema de Informação Geográfica) através do *software Semanticcity*[®].

Já para os projetos, alguns dos programas utilizados são *Autodesk Revit*[®], *Graphisoft Archicad*[®], *Nemetschek Allplan*[®], *Bentley AECOSim*[®] para projetos arquitetônicos e estruturais, *StruBIM*[®], *Cypetherm*[®] e *Cypelux*[®] para funções estruturais, de ventilação e refrigeração e de iluminação, *AltoQi QiBuilder*[®] e *Eberick*[®] para instalações e estrutural, *SOFiSTiK*[®], *TQS*[®] e *Tekla Structures*[®] para projeto estrutural e *SCIA ENGINEER*[®] para análise estrutural. Durante a elaboração dos projetos, quando se utiliza mais de um programa computacional, devem ser feitas compatibilizações periódicas para garantir integração entre os segmentos e evitar interferências geométricas, para ajudar nessa etapa, alguns dos *softwares* utilizados são *Autodesk Navisworks*[®], *Tekla BIMsight*[®] e *Solibri*[®].

Alguns programas como o *Autodesk Navisworks*[®] também permitem a conexão com cronogramas feitos principalmente no *MS Project*[®], fazendo assim uso do 4D-BIM, que permite simular a construção de acordo com o cronograma, e outros programas já fazendo essa etapa sozinhos, como o *VICO*[®].

Já o 5D-BIM, com associação financeira da obra, pode ser feito através de *softwares* de gestão como *Autodesk Navisworks*[®] e *Solibri Model Checker*[®], ou mesmo nos *softwares* de modelagem, como é o caso do *Revit*[®].

Na operação e manutenção, a utilização de um banco de dados auxilia no acompanhamento da edificação e possibilita o agendamento de manutenções preventivas, o que pode ser feito através da ferramenta *Archibus*[®] por exemplo.

Para esse trabalho, focou-se nas etapas de projetos, voltados principalmente para a etapa estrutural.

3. ESTRUTURAS METÁLICAS

3.1. Histórico

Estima-se que a utilização de insumos metálicos industriais na construção de elementos estruturais teve início em 1750. Sua utilização em pontes, uma das principais aplicações desse material atualmente, teve início em 1779, com a inauguração da ponte sobre o rio Severn em Coalbrookdale, na Inglaterra, sendo constituída de ferro fundido. Entre 1780 e 1820 esse material foi bem difundido entre as construções de pontes.

Durante o século XIX ocorreu um aperfeiçoamento considerável no cálculo estrutural, permitindo a construção de estruturas mais precisas, além de ser o momento de origem da laminação de perfis, possibilitando a produção de elementos estruturais de ferro laminado em indústrias. Também foi durante esse período o primórdio da utilização das estruturas metálicas em construções industriais.

Em um momento em que ocorreram alguns acidentes com pontes feitas de ferro e em que eram elaborados projetos cada vez mais inovadores, que exigiam características melhores dos componentes, o aço se destacou. A criação de um forno que possibilitava a produção de aço em grande escala data de 1856, criado pelo inglês Henry Bessemer. Logo após, em 1865, houve a evolução da indústria siderúrgica.

A aplicação de estruturas metálicas em edifícios de vários andares teve um início mais tardio, sendo o primeiro prédio, desenvolvido ainda em ferro, o *Home Insurance Building*, construído em 1885 na cidade de Chicago.

A Torre Eiffel, concebida por Gustave Eiffel e construída na cidade de Paris, é a edificação mais icônica elaborada com estruturas metálicas do mundo, que foi finalizada em 1889, com seus 320 metros de altura, e até os dias atuais continua sendo um ponto turístico amplamente visitado. Outro ponto turístico confeccionado com estruturas metálicas é o *Empire State Building*, que apresenta seus 102 andares elaborados com estruturas de aço e encontra-se na cidade de Nova Iorque.

No Brasil sua utilização teve início no final do século XIX, início do século XX, com a importação de edifícios e complementos elaborados com ferro pré-fabricado. A princípio o ferro foi utilizado de forma decorativa, mais tarde passou a ser

empregado de maneira mais ampla, tanto como peças estruturais quanto como edifícios pré-fabricados.

Em consequência da crescente utilização desse material, começaram a surgir iniciativas para introduzir indústrias siderúrgicas para fornecer a matéria prima necessária ao mercado interno, o que possibilitou o crescimento na fabricação de perfis. A origem da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) foi nessa época, a qual começou sua atuação em 1946.

Um marco brasileiro importante para estruturas metálicas foi a construção da Estação da Luz na cidade de São Paulo, inaugurada em 1901. Ela possui um vão de cerca de 40 metros, vencido por uma cobertura elaborada com armações curvas de treliça metálica e peças de ferro fundido, sendo toda a estrutura importada da Grã-Bretanha.

3.2. Características

É chamada de estrutura metálica a associação entre elementos estruturais formados por algum material metálico, principalmente aço, feita por meio de soldas ou conectores. Esse tipo de estrutura é muito utilizado em ambientes amplos, pois tem capacidade de vencer grandes vãos.

A composição do aço é fator fundamental para definição das propriedades físicas. A proporção de carbono acrescentada no composto, que varia de 0,008% a 2,11%, definirá aspectos como resistência e maleabilidade, por exemplo, o limite de escoamento do aço aumenta em aproximadamente 3,5 MPa quando se é acrescentado 0,01% de carbono à mistura, porém isso gera uma queda de ductibilidade e deixa a estrutura mais suscetível à ruptura frágil, por esse motivo o limite de carbono em elementos estruturais é de 0,3%. Outros compostos também podem alterar as características do aço, como manganês, silício, fósforo, enxofre, cobre, cromo entre outros, por esse motivo a fabricação desse material deve ser feita com cautela e por empresas qualificadas.

Os aços podem ser classificados de acordo com sua composição química. Podem ser aço-carbono, que é composto majoritariamente por ferro e carbono, esse último variando de 0,008% a 2,11%, ou aço-liga, que contém uma quantidade mais elevada de outros elementos em sua composição. Os aços mais utilizados em

estruturas metálicas são o aço-carbono com valores menores que 0,3% de carbono, que possuem alta ductibilidade e são eficientes para trabalho mecânico e soldagem, e o aço-liga com valores bem abaixo de 8% de outros elementos em sua composição. Os aços estruturais utilizados em construções devem seguir as recomendações da NBR 8800/2008.

Os tipos de materiais metálicos que podem ser utilizados na construção civil são:

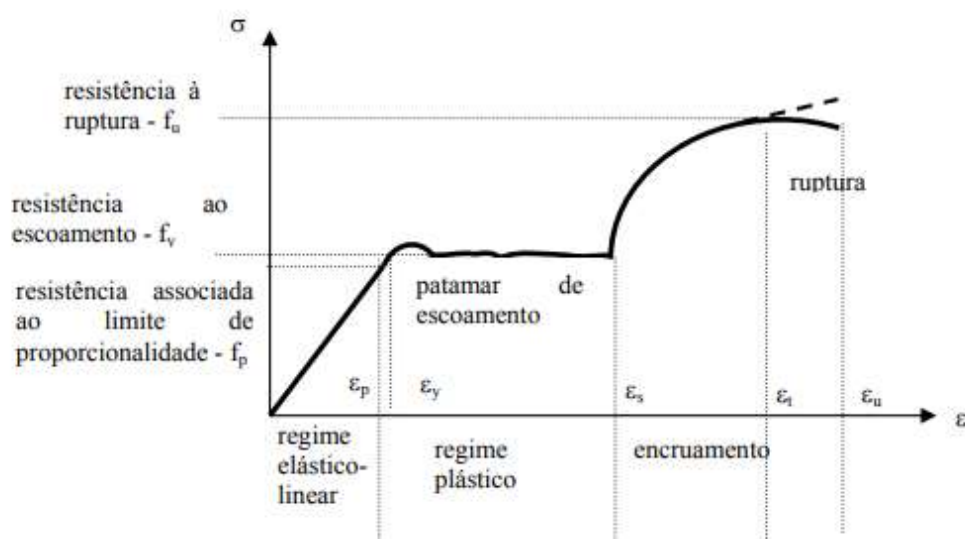
- Chapas: elas são classificadas em finas (com espessura menor ou igual a 6,35 mm), que podem ser utilizadas em esquadrias, portas, calhas ou na fabricação de perfis formados a frio, e em grossas (com espessura maior que 6,35 mm), que são usadas na fabricação de perfis soldados, como elemento de ligação entre componentes ou como placas de base de pilares.
- Perfis laminados: esses perfis são fabricados através de canais usinados, onde o aço passa e altera sua forma gradativamente. Os perfis encontrados hoje no Brasil têm o formato de seção transversal de I, H, U e L.
- Barras: elas são feitas em seções circulares, quadradas ou retangulares. As circulares são mais utilizadas para função estrutural, principalmente como tirantes ou pendurais.
- Tubos: esses elementos são feitos com laminadores especiais, podendo ter o formato circular, quadrado ou retangular, sendo todos vazados. As principais vantagens desses elementos são serem leves e bons para suportar esforços axiais e flexão. Esses perfis vêm ganhando espaço na construção civil, em função das suas propriedades geométricas e utilização em estruturas mistas de aço e concreto.
- Fios, cordoalhas e cabos: os fios são barras circulares finas que são utilizadas para formar cordoalhas e cabos. As cordoalhas são agrupamentos de fios em forma de hélice e são utilizadas em estruturas de fixação de torres de comunicação e suporte de pontes, tanto estaiadas quanto pênséis. Os cabos de aço são compostos por feixes de fios entrelaçados em forma helicoidal e a diferença entre eles e as cordoalhas é a sua elasticidade reduzida, são encontrados em pontes estaiadas e pênséis, em guias e polias.

- Perfis soldados e compostos: esses perfis são compostos pela associação, feita através de solda, de dois ou mais elementos, gerando perfis com dimensões e formas bem variadas.
- Perfis de chapa fina formados a frio: eles são formados a partir da dobra a frio de chapas finas. Por serem estruturas finas e leves elas são econômicas e vem sendo muito utilizadas em estruturas metálicas leves, como coberturas. Sua desvantagem é poder apresentar flambagem local, sendo necessário utilizar a NBR 14762/10.

3.3. Propriedades mecânicas

Quando uma barra é submetida a um esforço de tração crescente, ela apresenta uma deformação gradual na sua extensão, sendo que, até um determinado nível de tensão aplicada, ela tem um comportamento elástico-linear, ou seja, segue a lei de Hooke, sendo sua deformação proporcional à tensão aplicada. Ultrapassando esse nível, a barra começa a ter um comportamento plástico, onde a variação da deformação é crescente sem que ocorra mudança na tensão, caracterizando o patamar de escoamento, sendo que a tensão constante que ocorre nesse momento é uma característica muito importante para os aços estruturais. Depois do escoamento ocorre o rearranjo da estrutura interna do material, e inicia-se a fase de encruamento, onde volta a ocorrer a variação de tensão junto com a de deformação, contudo essa variação não é linear. A ruptura ocorre após o encruamento e o valor máximo que o material suporta antes da ruptura também é uma característica importante para o projetista. Todas essas fases estão identificadas no diagrama de tensão-deformação mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama tensão-deformação dos aços estruturais, em escala deformada



Fonte: SILVA, 2012

Quando o aço ainda está no regime de deformação elástica ele apresenta a capacidade de voltar a sua forma original depois de sofrer carregamento e descarregamento. A relação entre os valores da tensão e da deformação linear específica é seu módulo de elasticidade, que, para os aços, corresponde a, aproximadamente, 20000,0 kN/cm².

Já quando o aço se encontra no regime de deformação plástica a tensão aplicada é maior ou igual à resistência associada ao limite de proporcionalidade (f_p), com deformação permanente. Essa deformação altera a estrutura interna do metal e eleva sua dureza. Quando a deformação supera a marca ϵ_s mostrada na figura 1, além da dureza ocorre um aumento da resistência e redução da ductibilidade do aço, fase chamada de encruamento.

Os metais apresentam uma grande vantagem que vem da ductibilidade, que é a capacidade do material se deformar antes de romper. Sua vantagem em um elemento construtivo é permitir a distribuição das tensões locais e apresentar um alerta antes de romper.

O comportamento de uma peça metálica sob tração vai depender do tipo de ligação utilizada. Relacionada à compressão do objeto metálico, pode ocorrer a flambagem, um ponto importante a ser observado nesse tipo de material. Para essa propriedade deve-se levar em consideração a vinculação existente na barra.

3.4. Ligações

Na construção civil as peças metálicas podem ser conectadas por meio de soldas ou conectores. Ambos os tipos têm seus pontos positivos e negativos e deve-se escolher com cuidado qual utilizar em cada caso.

Os conectores podem ser rebites ou parafusos, esse último pode ser tanto de alta resistência quanto comum. Eles podem estar presentes em situações onde atuam forças de tração, cortante ou uma combinação de ambas. Esse tipo de ligação, quando mal dimensionada, pode apresentar falha por cisalhamento do parafuso, esmagamento do parafuso ou da chapa, tração do parafuso ou da chapa e flexão do parafuso. Para evitar tais problemas as dimensões dos elementos, a distância entre parafusos e a localização destes em relação às bordas da chapa devem ser bem definidas.

A soldagem é a união de duas peças por meio da fusão do material da solda com o material das peças. As soldas possuem a vantagem de poder proporcionar maior economia de material, já que não necessitam da grande quantidade de conectores, de poder gerar estruturas mais rígidas e de ter um menor tempo de detalhamento, fabricação e montagem.

As vantagens dos conectores são não terem necessidade de utilizar energia elétrica ou geradores em sua montagem e a menor possibilidade de sofrer falha por fadiga, em comparação com as ligações por soldagem.

Por apresentarem tantas variações nas ligações, o detalhamento desse tipo de estrutura é um fator muito importante para garantir um trabalho final bem feito.

3.5. Vantagens e desvantagens

As estruturas metálicas podem ser mais esbeltas, gerando um melhor uso do espaço e menor esforço nas fundações, possibilitando uma redução de custo na obra. Também podem ter alta resistência estrutural, o que permite vãos livres maiores, contribuindo novamente para o melhor uso do espaço.

As peças são produzidas com maior confiabilidade de dimensionamento e qualidade, por serem produzidas em indústrias, garantindo inclusive uma redução dos fatores de segurança em relação aos fatores para estruturas de concreto.

Possuem um bom acabamento, permitindo a utilização de estruturas aparentes sem comprometer a estética do empreendimento.

O canteiro de obras é mais limpo e não necessita de grande movimentação de material, permitindo uma organização melhor. Sua montagem é rápida, gerando uma redução de tempo de execução da obra e de armazenamento dos materiais, e necessita de menos mão de obra.

Como desvantagem, essas estruturas podem apresentar flambagem global, principalmente em peças mais longas, causada por sua esbeltez.

Esse material apresenta um comportamento danoso quando submetido ao fogo, que causa dilatação térmica e perda de resistência, por isso necessita de um cuidado especial na prevenção à incêndios.

Por ser produzida na fábrica e precisar ser transportada até o canteiro de obras para montagem, essa estrutura tem limitações quanto ao seu tamanho.

Ainda existe certo preconceito referente à utilização desse material em algumas construções, o que pode gerar resistência por parte dos donos de empreendimentos para adotar a estrutura metálica.

Essa estrutura também pode ser mais suscetível à corrosão, por isso deve-se manter os cuidados com manutenção preventiva.

Outra desvantagem é a possível necessidade de mão de obra especializada para a fabricação dos materiais necessários, podendo ser mais escassas e caras. Também podem necessitar de um alto investimento a curto prazo, já que sua execução e montagem são rápidas.

3.6. Projetos de estruturas metálicas

A qualidade dos produtos do setor de estruturas metálicas dentro da construção civil é fortemente impactada pela qualidade dos projetos, apenas com uma boa elaboração e detalhamento do processo de produção, do canteiro de obras, das

etapas e cronograma das atividades dentro da obra e das medidas de controle é possível garantir que a construção tenha seu melhor aproveitamento.

Vem ocorrendo grandes investimentos em sistemas construtivos industrializados, com o intuito de elevar a qualidade, além de reduzir custos e duração das obras. Porém as interfaces desse sistema precisam estar bem conectadas para que ele seja capaz de melhorar a eficiência do empreendimento e evitar problemas na edificação, é nessa capacidade que se situa a importância do projeto.

O sistema de industrialização pode ter duas classificações segundo FABRICIO (2013), as quais são baseadas na flexibilidade e na produção enxuta. A classificação de “Flexível” é atribuída a uma construção quando seu projeto é composto tanto por Projetos do Produto, que engloba projetos de Arquitetura e Engenharia, quanto por Projetos para Produção, os quais visam melhorar o processo construtivo da obra, deve-se visar projetos que se enquadrem nessa categoria.

Para construções metálicas, é importante dar atenção para as fases anteriores à montagem da estrutura, sendo necessário que o projeto tenha todas as informações essenciais para a execução, para que consiga de fato trazer o resultado final esperado. Uma etapa de elaboração dos projetos ineficiente pode acarretar em grande número de falhas e patologias na construção, prejudicando, além da qualidade, o cronograma e orçamento da obra.

Nessa etapa, alguns critérios devem ser levados em consideração, perseguindo seu ponto ideal para gerar um projeto cada vez melhor. O projeto deve buscar um menor peso da estrutura, que conseqüentemente gera um menor custo da mesma, maior rapidez na execução e simplificação do trabalho.

O Projeto de Estruturas deve ser analisado como composto por três partes distintas, porém complementares. A primeira é o projeto de Engenharia, onde se define as forças atuantes na estrutura, suas dimensões e características geométricas. A segunda é o projeto de produção, em qual é feito o detalhamento dos elementos, descrevendo seus comprimentos, localização de furos, tipo e características dos parafusos e lista de materiais. A terceira e última é o projeto de montagem, que mostram esquematicamente e em detalhes a localização e o cronograma de montagem de cada peça da estrutura.

Percebe-se então que a etapa de projeto para estruturas metálicas deve ter um foco no detalhamento de cada elemento da estrutura e onde se encaixam na sequência de atividades, já pensando em facilitar a etapa de montagem da construção. Para atingir esse objetivo, é necessário utilizar um *software* que atenda muito bem essa demanda.

4. ESTUDOS DE CASO

Foram analisados três estudos de caso fornecidos pelo Prof. Dr. Renato Bertolino Júnior (figura 3), responsável pela etapa estrutural dos componentes metálicos dos projetos analisados, visando comparar a teoria e a prática sobre a implantação de BIM para estruturas metálicas, demonstrando o passo a passo de utilização da tecnologia em cada caso.

Figura 3 – Logomarca de Renato Bertolino Júnior



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

Há uma tendência de desenvolvimento de programas que apresentam essa nova tecnologia. Para abranger um número maior dos mesmos, buscou-se apresentar diferentes *softwares* de detalhamento e análise estrutural disponíveis no mercado que possuem integração BIM.

4.1. Caso 1

O primeiro estudo de caso traz um projeto de residência, cuja autoria do projeto arquitetônico é da empresa NovaOra Arquitetura (figura 4), o qual foi desenvolvido no programa *Autodesk Revit*[®], como mostrado na representação 3D e na planta do pavimento térreo, respectivamente nas figuras 5 e 6. O projeto possui uma estrutura em concreto armado e alguns elementos metálicos e foi escolhido para retratar um modelo com diferentes elementos estruturais no mesmo projeto.

Figura 4 - Logomarca da empresa NovaOra



Arquitetos:

André Luis Ceron da Fonseca
Luciana Ogawa

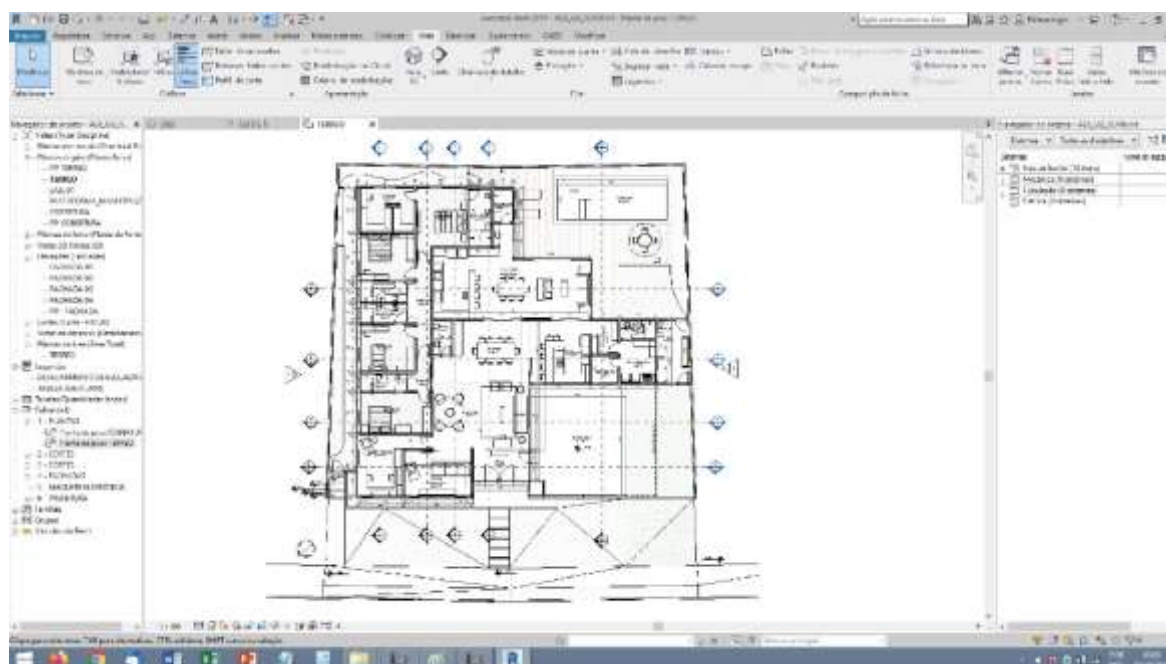
Rua: Rahme Trad Bechara Raga, 2061, Térreo, Sala 01 -
SJR/SP
Tel: (17) 3235-5165 | Site: www.novaora.com.br

Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

Figura 5 - representação 3D da residência no programa *Autodesk Revit*®

Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

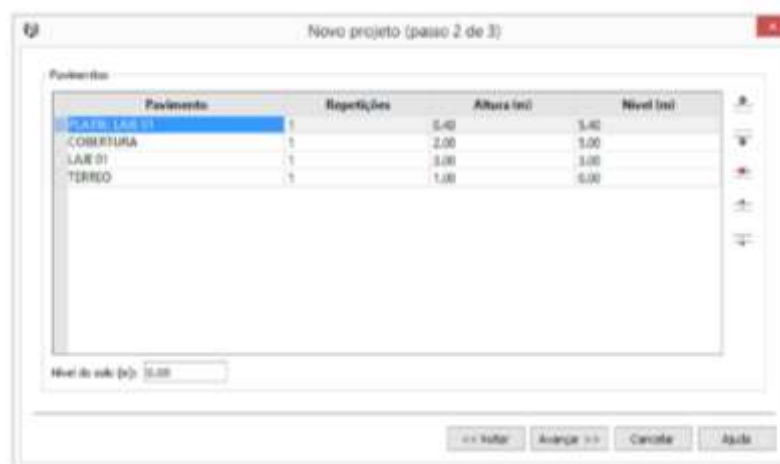
Figura 6 - representação da planta do pavimento térreo no programa *Autodesk Revit®*



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

Neste caso o projeto estrutural dos elementos de concreto armado foi elaborado no programa *Eberick AltoQi®*. Para tal fim foi necessário importar o arquivo IFC do programa *Autodesk Revit®* para o mesmo, funcionalidade encontrada no próprio programa, como mostrado na figura 7.

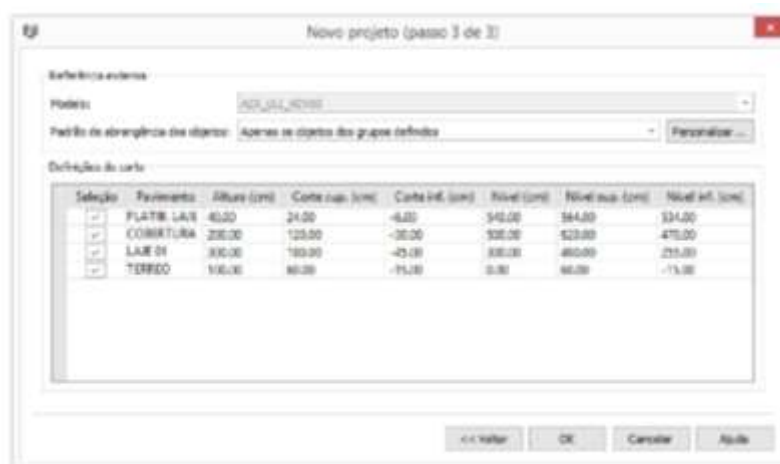
Figura 7 - Importação do arquivo IFC do *Autodesk Revit®* para o *Eberick AltoQi®*



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

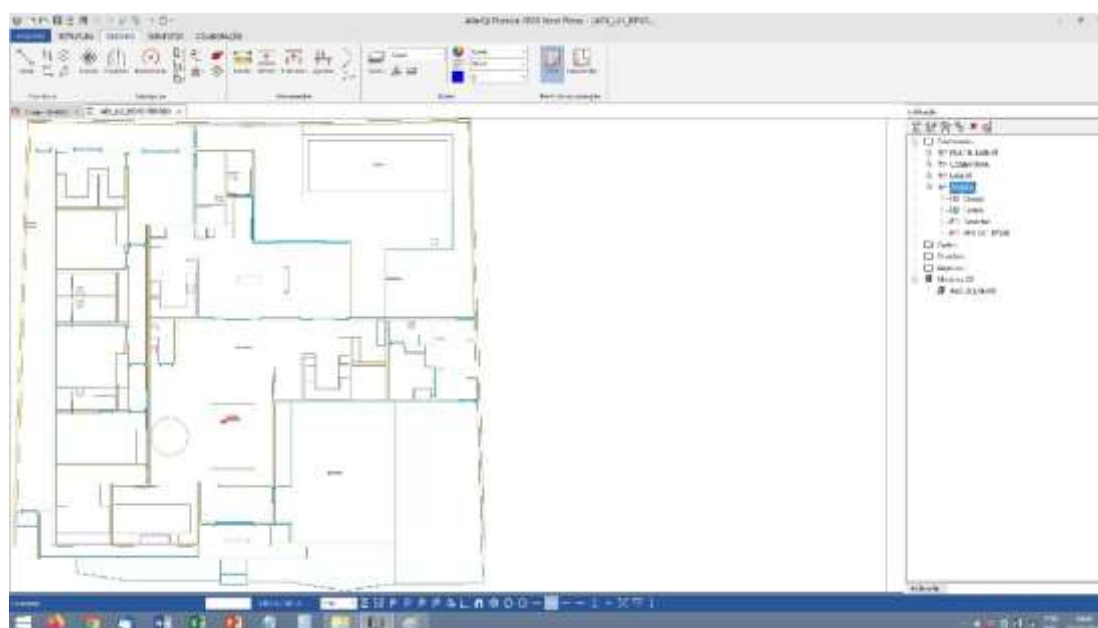
A importação já configura automaticamente os respectivos níveis da Arquitetura para o *Eberick AltoQi*[®] (figura 8) e, depois de configurado, gera as plantas baixas de Arquitetura dos respectivos níveis no *Eberick AltoQi*[®] (figura 9).

Figura 8 - Configuração automática dos respectivos níveis da Arquitetura para o *Eberick AltoQi*[®]



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

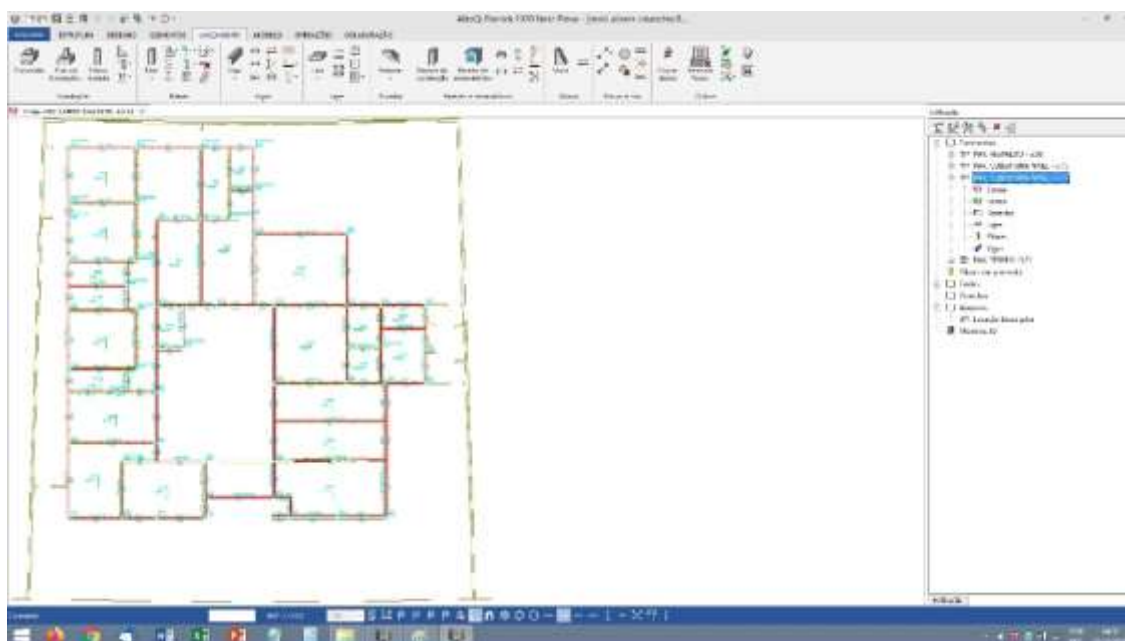
Figura 9 - Planificação do arquivo IFC com geração das plantas de Arquitetura



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

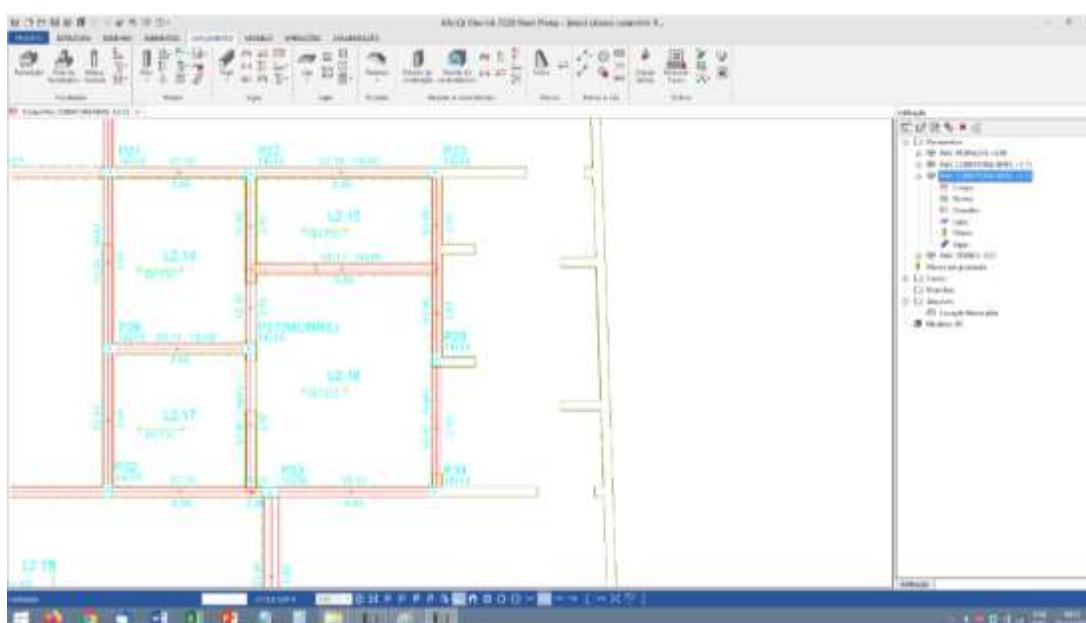
Em seguida é feito o lançamento dos elementos estruturais, tendo como referência as plantas de Arquitetura, para análise e dimensionamento desses elementos no programa *Eberick AltoQi*®, como mostrado nas figuras 10 e 11.

Figura 10 – Lançamento dos elementos estruturais



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

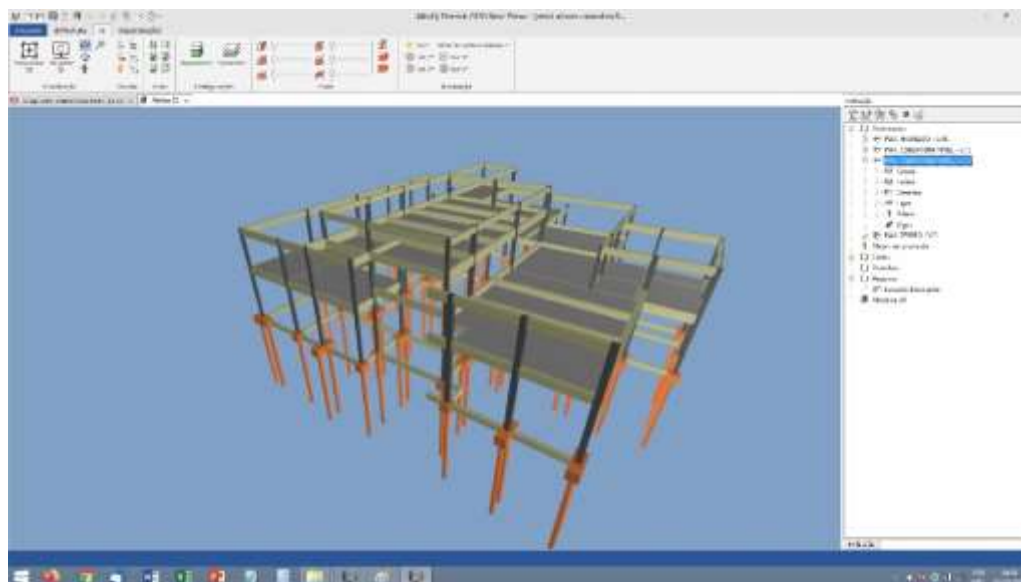
Figura 11 – Detalhe do lançamento dos elementos estruturais



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

Ao final da análise e dimensionamento dos elementos é possível visualizar a estrutura em 3D, como mostra a figura 12.

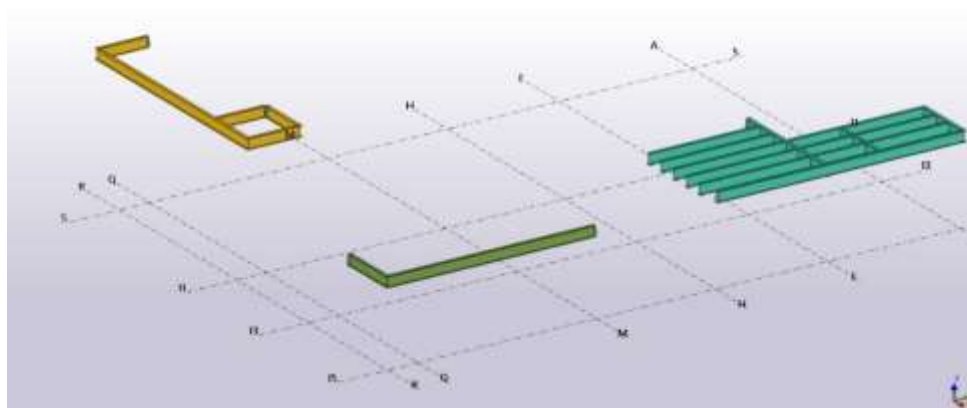
Figura 12 – Representação 3D da estrutura



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

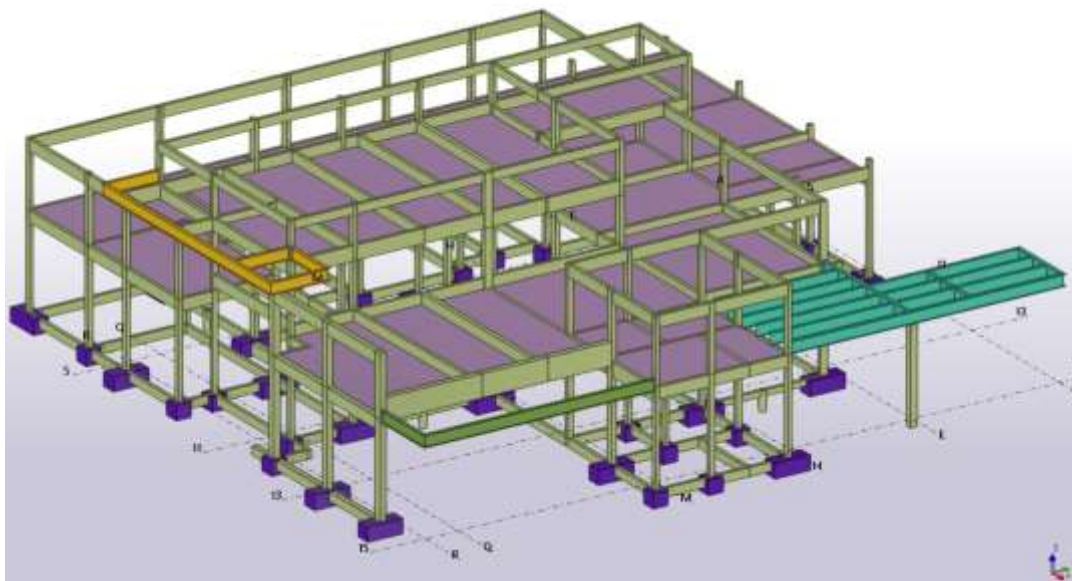
Os elementos em estruturas metálicas foram detalhados no programa *Tekla Structures*® e em seguida compatibilizados com os elementos de concreto armado, como mostrado nas figuras 13 e 14 respectivamente.

Figura 13 – Detalhamento da dos elementos metálicos no *Tekla Structures*®



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

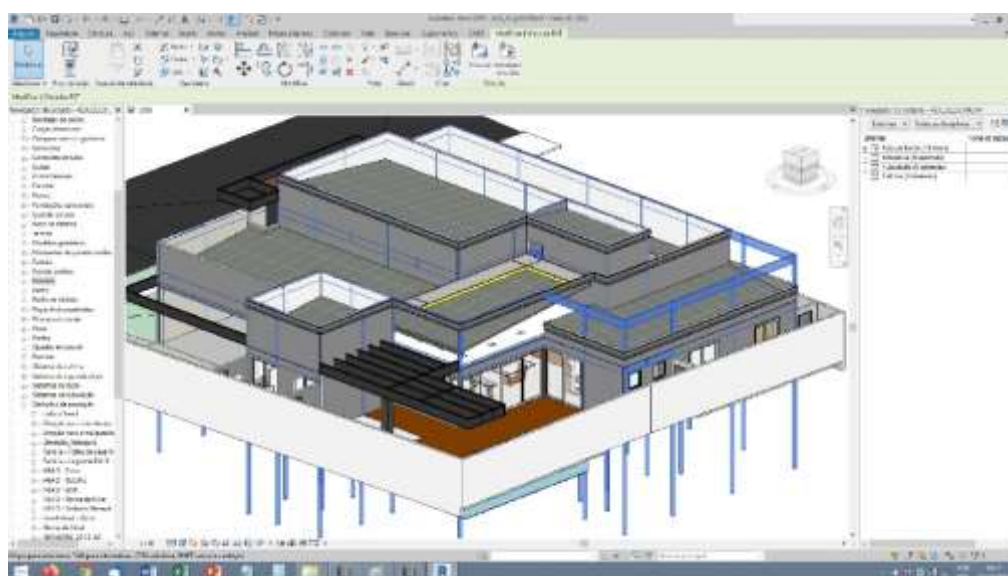
Figura 14 – Compatibilização dos elementos metálicos e de concreto armado



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

Com a estrutura pronta é possível sobrepor a estrutura com a Arquitetura para a interação e compatibilização dos projetos, como mostra a figura 15, onde os elementos estruturais de concreto armado aparecem realçados em azul e os elementos em estruturas metálicas aparecem em cinza escuro.

Figura 15 – Sobreposição da estrutura com a Arquitetura



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

4.2. Caso 2

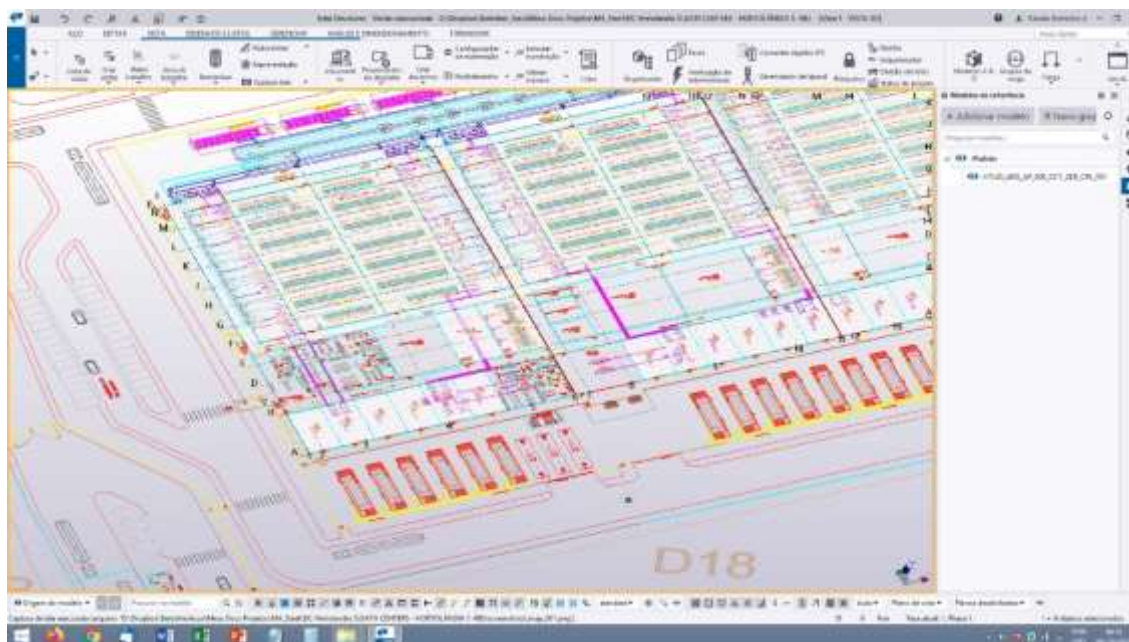
O segundo estudo de caso é de um edifício comercial em aço, projetado pela MASTEEL Estruturas Metálicas (figura 16), cujo projeto arquitetônico foi elaborado no *AutoCAD*® e a planta baixa do mesmo foi importada para a versão acadêmica do *software Tekla Structures*® para o lançamento da estrutura, como mostra a figura 17.

Figura 16 – Logomarca da empresa MASTEEL Estruturas Metálicas



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

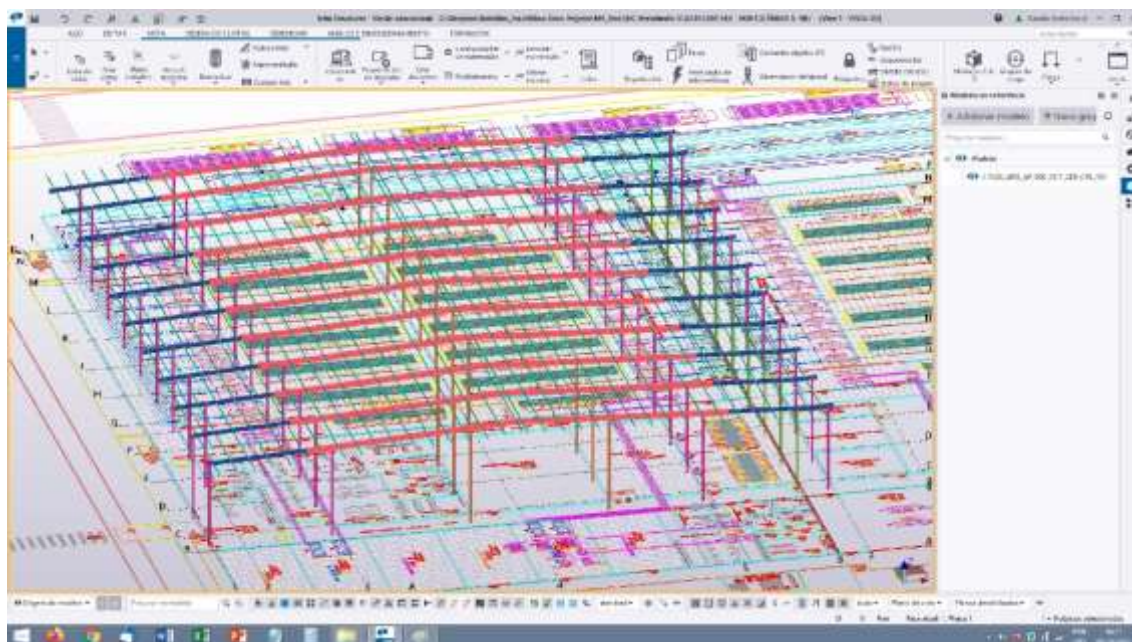
Figura 17 – Importação da planta baixa para o *Tekla Structures*®



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

Em seguida é feito o lançamento da estrutura metálica de cobertura utilizando como referência a planta arquitetônica, como mostra a figura 18.

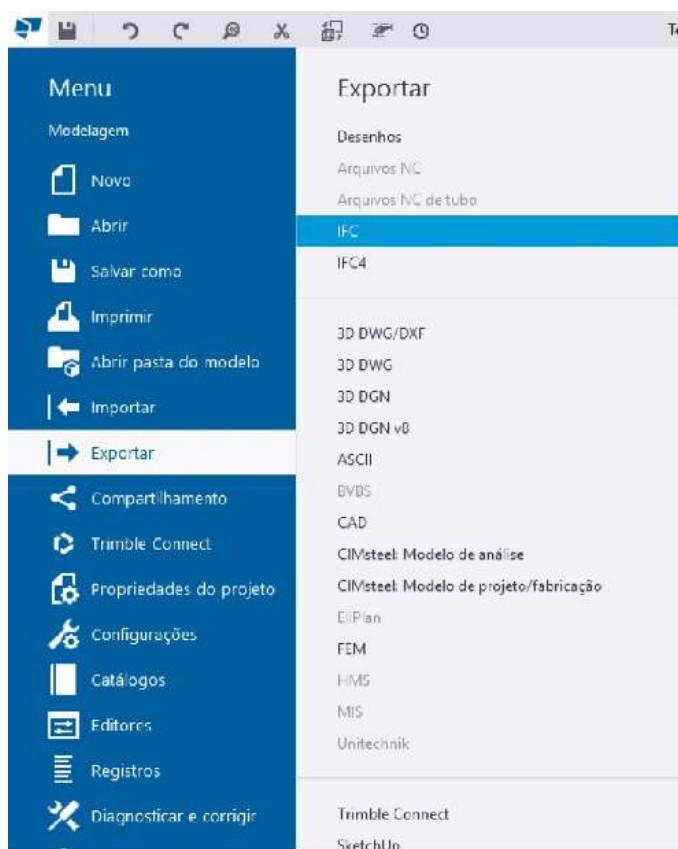
Figura 18 – Lançamento da estrutura metálica no *Tekla Structures*®



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

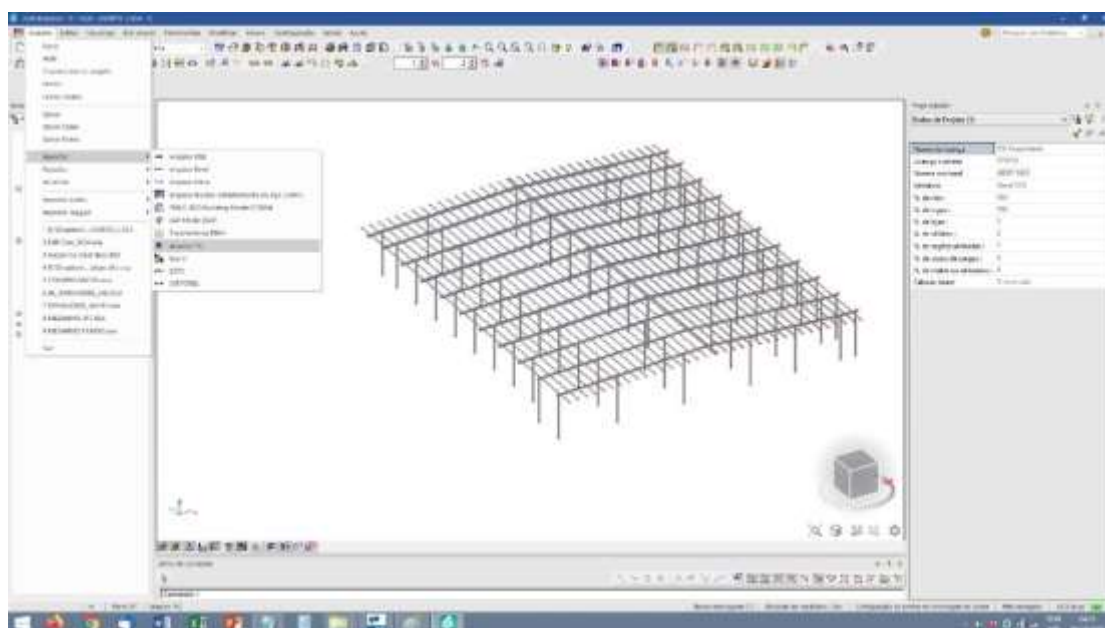
O arquivo IFC da estrutura de cobertura é então exportado do *Tekla Structures*® (figura 19) e importado para o *software SCIA ENGINEER*®, como mostra a figura 20, para a elaboração da análise estrutural e dimensionamento dos elementos estruturais.

Figura 19 – Exportação do arquivo IFC do *Tekla Structures*®



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

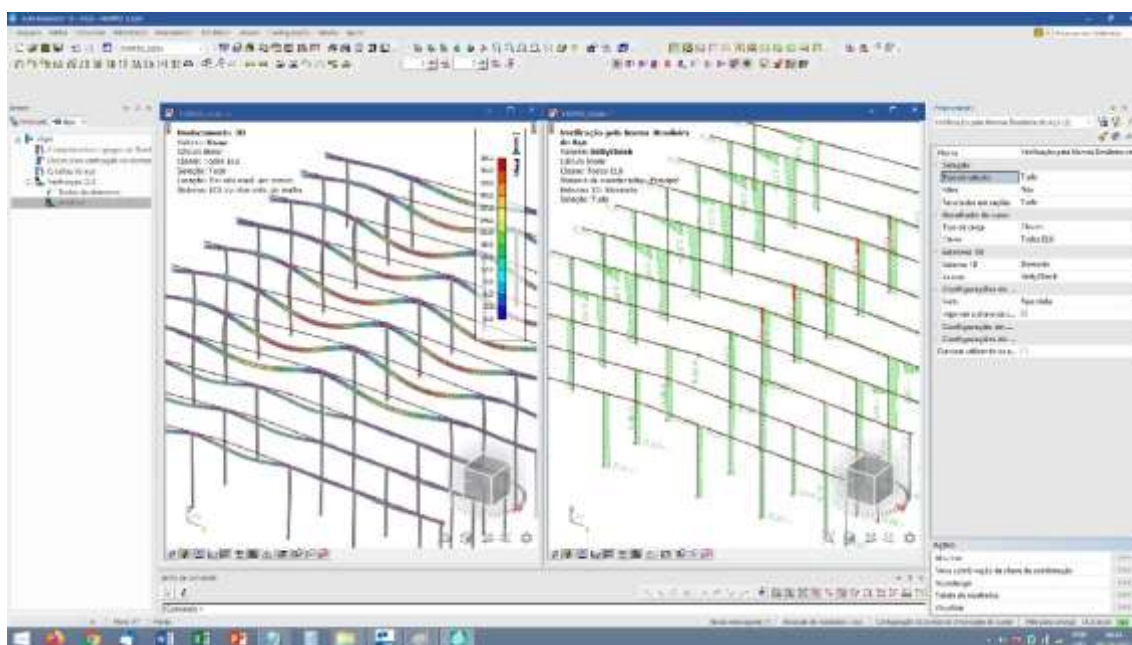
Figura 20 – Importação do arquivo IFC para o *SCIA ENGINEER*®



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

A figura 21 mostra os resultados da análise de deslocamentos, verificação dos elementos estruturais e da eficiência.

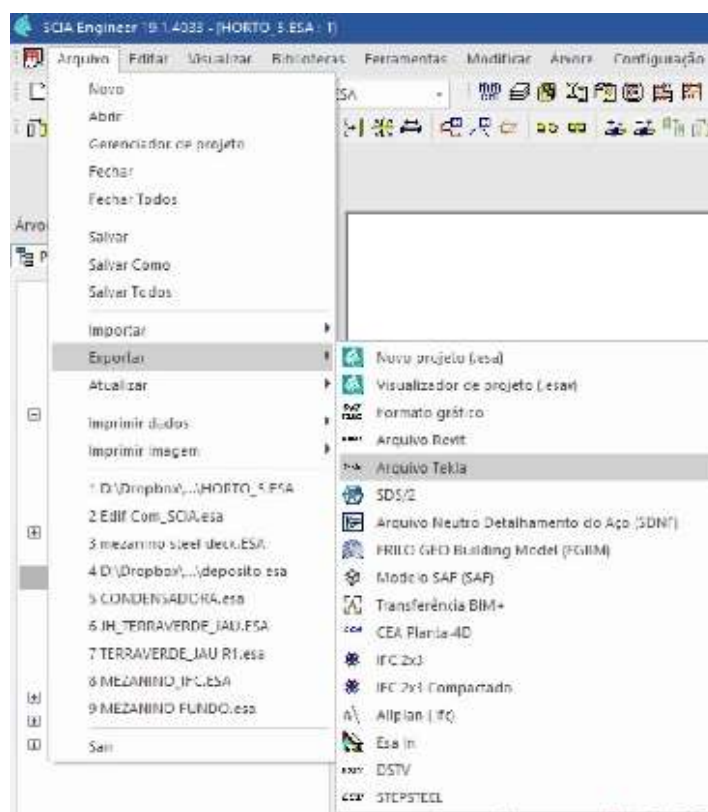
Figura 21 – Exibição dos resultados da análise estrutural no *SCIA ENGINEER*®



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

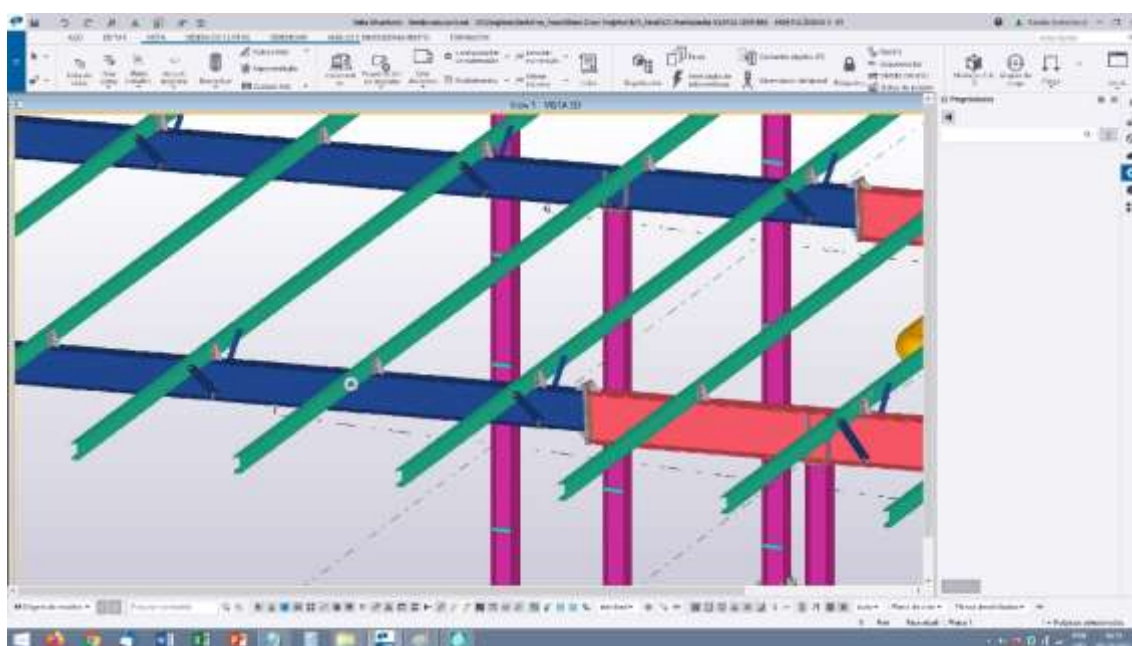
A seguir o arquivo é exportado para o *Tekla Structures*® novamente, como mostra a figura 22, onde é feito o detalhamento final da estrutura para fabricação e montagem (figura 23).

Figura 22 – Exportação do SCIA ENGINEER® para o Tekla Structures®



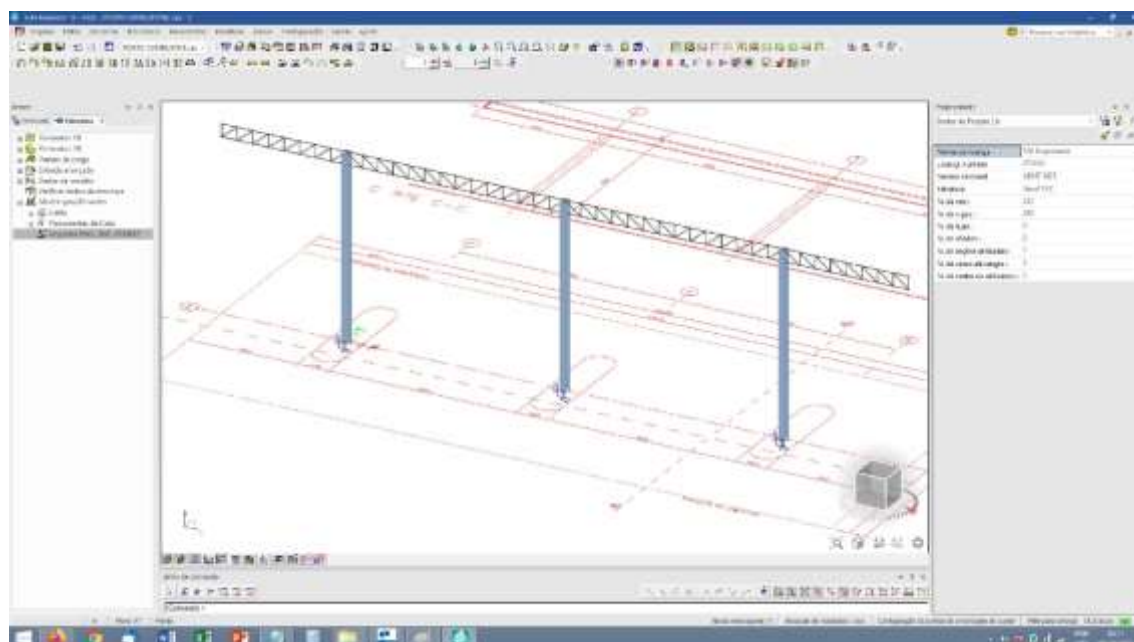
Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

Figura 23 – Detalhamento final no Tekla Structures®



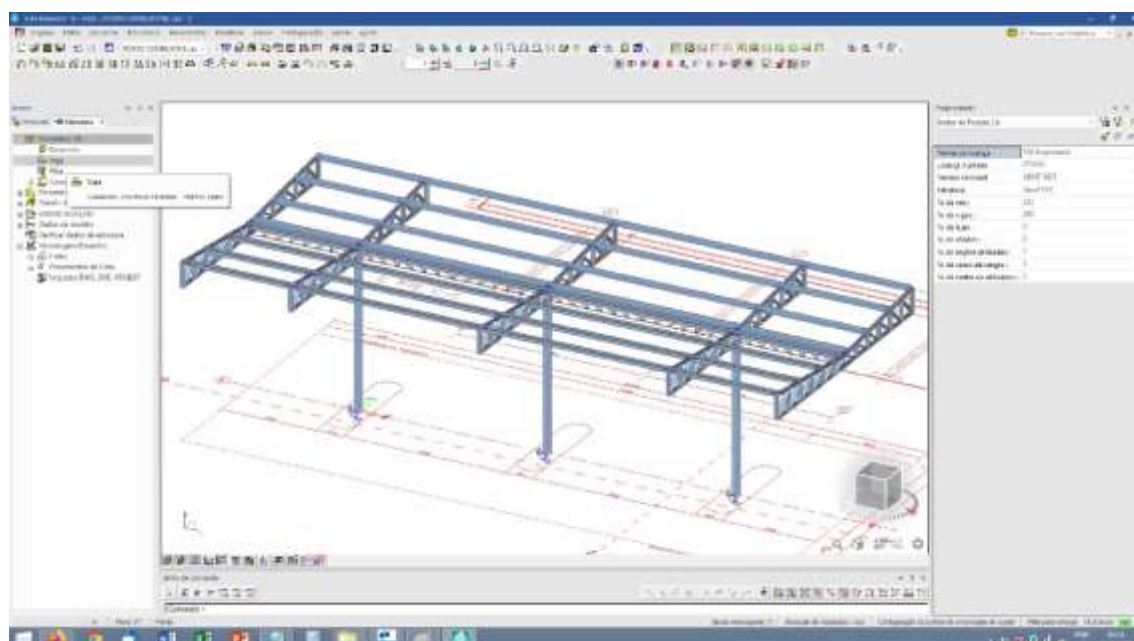
Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

Figura 25 – Lançamento dos pilares e viga principal



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

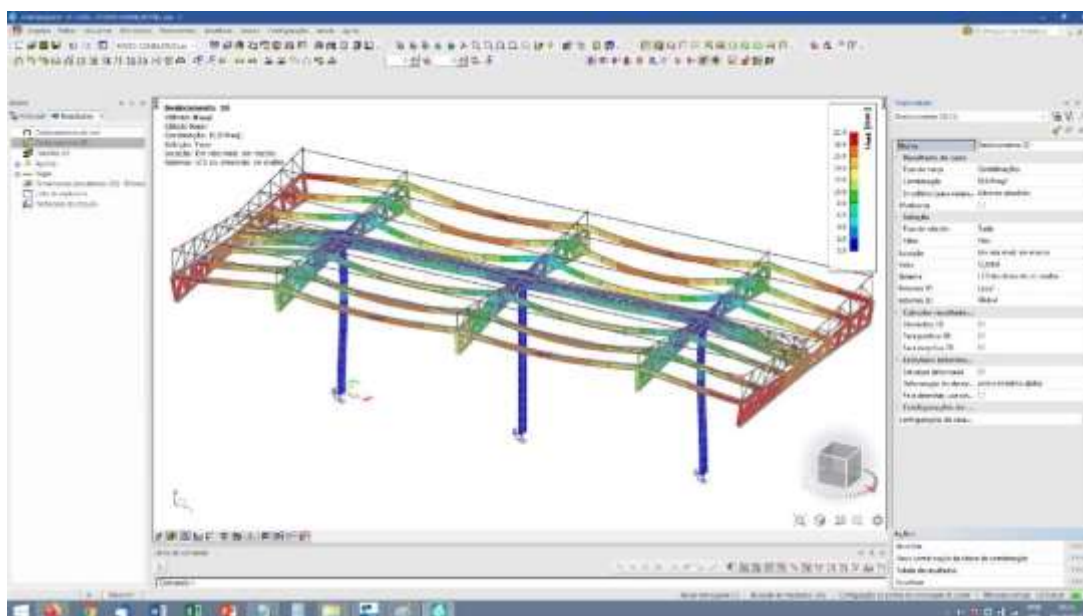
Figura 26 – Lançamento das treliças e terças



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

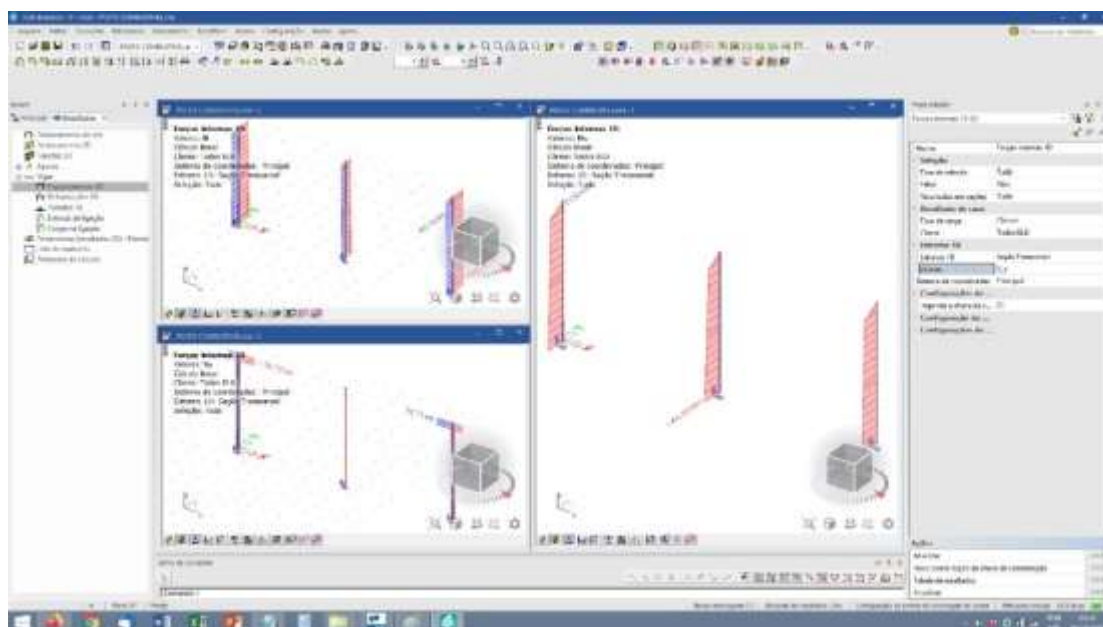
Em seguida foi realizada a análise estrutural no programa. A análise de deslocamentos resultou na figura 27, dos esforços solicitantes (momento fletor, força cortante e força normal) na figura 28 e das tensões 3D e Sigma X na figura 29.

Figura 27 – Resultado da análise de deslocamentos



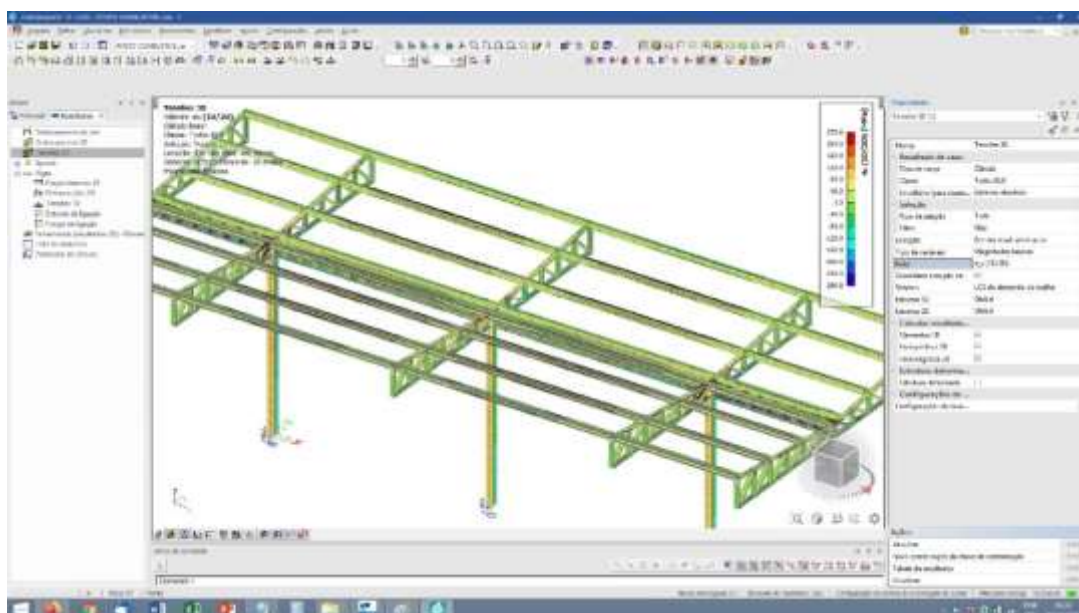
Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

Figura 28 – Resultado da análise dos esforços solicitantes



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

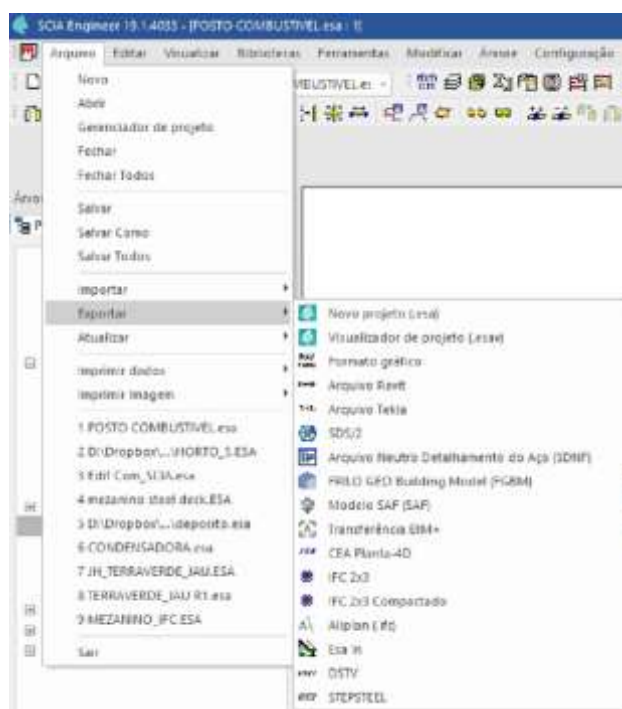
Figura 29 – Resultado da análise de das tensões 3D e Sigma X



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

Ao final das análises o arquivo pode ser exportado para outros programas, como indicado na figura 30.

Figura 30 – Exportação do SCIA ENGINEER® para outros programas



Fonte: fornecido pelo Eng. Renato Bertolino Júnior

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão tem como função relacionar as informações já mencionadas anteriormente de forma a entender a compatibilidade da tecnologia BIM com os projetos de estruturas metálicas, pretendendo compreender em quais situações essa combinação é viável. Para elucidar tal discussão, foram analisados os estudos de caso, bem como a pesquisa.

5.1. Comparação das necessidades de estruturas metálicas e BIM

A partir das particularidades do BIM e das estruturas metálicas já apresentadas, é possível analisar como elas se relacionam, quais são as características que geram vantagens nessa união e quais geram dificuldades.

A tecnologia BIM tem o potencial de consolidar grande quantidade de informações bem detalhadas em um mesmo ambiente, tornando o trabalho mais organizado. Essa característica, quando se trabalha com estruturas metálicas, é de grande vantagem, já que os projetos necessitam de grande detalhamento dos elementos. A possibilidade de compartilhamento fácil dessas informações com todos os envolvidos na execução do empreendimento, também simplifica a construção, sendo possível compartilhar todos os detalhes descritos em um só lugar para os responsáveis por sua fabricação e montagem.

O detalhamento da sequência do processo construtivo é de suma importância quando se trabalha com estruturas metálicas, proporcionando um canteiro mais limpo, um cronograma adequado para a elaboração dos elementos e prevenindo possíveis falhas de montagem. O BIM também prevê grande valor nessa etapa, que é vista como essencial para a elaboração de um bom empreendimento. Sendo assim, essa característica proporciona uma facilidade para a junção de ambos.

Um ponto de atenção para essa combinação é o custo do empreendimento, ao menos no início da adoção do BIM. Os *softwares* envolvidos na utilização dessa tecnologia costumam ter custos elevados, além de necessitar de capacitação da equipe, o que pode gerar uma redução dos lucros para a empresa. Combinado com o alto investimento à curto prazo que as estruturas metálicas exigem, esse montante pode acabar sendo muito elevado para viabilizar a utilização da tecnologia, dependendo do porte da empresa e empreendimento.

Caso apenas parte da equipe esteja utilizando a metodologia, pode ocorrer redução de eficiência na obra, o que elevaria o tempo de execução do empreendimento, perdendo assim essa vantagem competitiva das estruturas metálicas. A empresa deve se atentar a esse aspecto se optar pela utilização dessa união.

Com essa visão geral é possível perceber que algumas características contribuem para a viabilização da utilização da tecnologia BIM para projetos de estruturas metálicas, porém existem alguns obstáculos que podem prejudicar essa união. A seguir discute-se a viabilidade técnica e financeira da utilização da metodologia BIM para empreendimentos de estruturas metálicas.

5.2. Análise de viabilidade

5.2.1. Viabilidade técnica

A utilização do BIM estrutural é vista como muito importante, não apenas para os Engenheiros de Estruturas, mas também para todos os envolvidos no desencadeamento de processos de produção que decorrem desse projeto. Além das informações geométricas, que podem ser extraídas do modelo arquitetônico, o BIM estrutural necessita de um material mais rico, como as propriedades mecânicas dos elementos, seus tipos de conexão e informações de carregamento, o qual deve ser construído pelo Engenheiro Estrutural.

Para que seja viável, o *software* utilizado deve possuir uma boa visualização do modelo e ser capaz de elaborar essas novas informações, permitindo, além do detalhamento das peças, a automatização e personalização do detalhamento dos vínculos, dispondo internamente de recursos de análise estrutural, suportando elementos parametrizados e customizáveis, permitindo a conexão com sistemas de gerenciamento da informação e a importação de dados de outras ferramentas BIM.

Uma boa agregação para fazer o processo de fabricação mais automatizado é a capacidade de exportar material em formato que permita a leitura por máquinas controladas por computador que irão executar as tarefas de fabricação.

O BIM estrutural pode se relacionar com outras ferramentas, porém, por existirem dificuldades de interoperabilidade, é possível que sejam necessárias mais etapas

para conseguir inserir essas informações, quando comparado ao modelo tradicional mais direto.

O BIM viabiliza que a execução do projeto estrutural e da documentação de montagem seja iniciada simultaneamente, sendo as análises e o detalhamento estrutural feitos ao mesmo tempo, isso é possível visto que as informações físicas e analíticas ficam armazenadas em um mesmo ambiente. Existem críticas aos problemas de interoperabilidade que ocorrem nessa função dos *softwares*, sendo muitas vezes necessário dispor de mecanismo indireto, com a utilização de outro *software*.

Ainda existem falhas na metodologia, como a necessidade de criar modelos independentes para cada tipo de análise, a ineficiência na troca de informações na fase de projeto, possibilitando inclusive a perda de informações, que por sua vez promove imprecisão do modelo e perdas na produtividade gerada pela metodologia, a transformação insatisfatória de informações de um modelo de estruturas e a incompatibilidade entre o BIM Estrutural e o Modelo de Análise Estrutural, sendo esse último muitas vezes sanado pela utilização de um *software* intermediário para a transformação dessas informações.

Por outro lado, alguns aspectos que favorecem a utilização do BIM para projetos de estruturas metálicas são a capacidade dos Arquitetos receberem de imediato qualquer mudança feita pelos Engenheiros Estruturais, permitir o trabalho de forma cooperativa entre a equipe do projeto, o compartilhamento eficaz de todos os materiais produzidos ao final do projeto estrutural para as outras áreas de interesse e a boa coordenação de elementos pré-fabricados, como é o caso do aço, melhorando as entregas, montagem e reduzindo tempo e espaço de armazenamento.

Para que seja realmente viável a implementação da metodologia BIM em uma empresa de estruturas metálicas, é proposta a elaboração de um Plano de Execução de Projeto BIM, pelo Guia de Planejamento de Execução de Projetos em BIM para Organizações (Penn State, 2019), que descreve quatro passos que devem ser seguidos para alcançar esse objetivo, são eles:

1. Identificação dos Objetivos e Usos de BIM: nessa etapa se define claramente o potencial do BIM para o projeto e para o time de execução do mesmo, por exemplo: aumento da produtividade em campo, melhoria da qualidade e redução de tempos de projeto e execução. Para facilitar esta etapa, pode-se utilizar como apoio os 25 usos mais comuns de BIM trazidos pelo guia, que foram identificados através da análise de estudos de caso, entrevistas com especialistas e revisão de literatura, para definir os usos mais prioritários para o projeto.
2. Criação de Mapas de Processos BIM: deve ser criado um mapa do processo para planejar a implementação do BIM, destacando sua sequência e interações entre áreas, assim todos os membros do time conseguem ter uma visão clara de como seu trabalho interfere no trabalho do restante da equipe e vice-versa.
3. Definição das Trocas de Informação: nesta fase é definido como a informação vai ser transferida entre cada participante, qual será a entrega de cada um e definindo claramente seu conteúdo.
4. Definição da Infraestrutura de Apoio à Implementação: neste passo são definidos os procedimentos de comunicação, as tecnologias da infraestrutura e procedimentos de controle de qualidade. Nesta etapa é feita a análise dos *softwares* necessários para que o fluxo mapeado seja factível, sendo extremamente necessário garantir a interoperabilidade entre eles, além de garantir a capacidade de desempenho dos computadores para atender as necessidades do projeto.

Os dois últimos aspectos do passo quatro são os que mais impactam a viabilidade financeira da implementação do BIM, fator muito importante detalhado a seguir.

5.2.2. Viabilidade financeira

É de conhecimento que uma das principais desvantagens do BIM é o alto investimento necessário no início de sua implantação para a aquisição de licenças de *softwares*, o treinamento da equipe e possivelmente para a compra de novos computadores mais potentes e compatíveis com os novos programas. Para empresas pequenas esses custos podem tornar inviável a obtenção da tecnologia, porém em empresas de maior porte, as vantagens competitivas podem compensar o investimento elevado inicial, pois trarão retorno para a empresa futuramente.

Uma estratégia para não onerar as contas da empresa é a definição de um projeto piloto para iniciar a adoção da metodologia, de forma que a produção normal da empresa não seja prejudicada. Para isso, deve-se escolher alguns funcionários para se desenvolver nessa área através de treinamentos e, depois de capacitados, serem responsáveis pela elaboração do projeto piloto. Depois da execução bem-sucedida do piloto, esses funcionários também terão um importante papel na disseminação desse conhecimento para os demais colaboradores.

A empresa pode utilizar financiamentos, como do Programa para o Desenvolvimento da Indústria Nacional de *Software* e Serviços de Tecnologia da Informação, disponibilizado pelo BNDES, para a obtenção de licenças de programas computacionais credenciados juntos ao BNDES, além de prestação de serviços correlatos voltados à implantação e treinamento dos *softwares*. Esse tipo de programa pode auxiliar empresas que não tem disponível a quantia necessária para a adoção da tecnologia BIM e pode ser o diferencial para tornar viável esse investimento.

Portanto, percebe-se que cada empresa deverá fazer uma análise individual de sua situação para entender se de fato é viável economicamente investir na metodologia BIM no dado momento. Porém nota-se que para algumas empresas esse investimento é válido, pois irá trazer uma melhoria de gestão, tanto das informações como da obra em si, e conseqüentemente ampliar sua competitividade no setor.

5.3. Comentários sobre os estudos de caso

Com a análise de estudos de caso, que utilizam diferentes *softwares* com integração BIM, foi possível perceber que existe uma variedade para a utilização da tecnologia sem grandes divergências de desempenho entre cada programa, sendo factível encontrar aquele que mais se adapta ao usuário e possui um investimento viável.

Foi identificado maior desprendimento de tempo para a elaboração do projeto estrutural quando o projeto arquitetônico é feito em *AutoCAD*®, pois quando o documento não é inicialmente em formato IFC e o lançamento da estrutura é mais demorado, porém ainda é possível utilizar a tecnologia sem grandes dificuldades.

6. CONCLUSÕES

A partir das literaturas encontradas e dos estudos de caso analisados pode-se concluir que a tecnologia BIM é plenamente aplicável para estruturas metálicas. Com o grau de detalhamento exigido nesse tipo de estrutura, a integração com os demais projetos torna o projeto estrutural mais eficiente e ágil, por permitir o trabalho simultâneo entre modelagem e detalhamento. A tecnologia também gera menos retrabalho para alterar características dos elementos e facilita a verificação do projeto e o acompanhamento da obra.

Além disso, hoje muitos escritórios de Arquitetura já utilizam a plataforma BIM, o que acaba exigindo que projetistas estruturais se integrem diretamente ou trabalhem com programas que permitam a exportação de arquivo IFC para possibilitar a integração dos projetos.

Apesar do custo inicial elevado a implantação da tecnologia será um investimento necessário, já que, como citado anteriormente, a partir de 2021 todos os projetos requisitados por órgãos públicos deverão estar integrados na plataforma BIM. A obrigatoriedade vem apenas dos órgãos públicos, porém esse investimento acaba sendo necessário para se manter competitivo no mercado.

Atualmente existem vários programas com essa integração disponíveis no mercado, sendo possível encontrar aquele que melhor atende as necessidades de cada projeto e em cada etapa do empreendimento, o que contribui para as empresas conseguirem otimizar o investimento.

Inovações no mercado da construção civil são cada vez mais necessárias em um mundo globalizado e que busca rapidez em suas entregas. Portanto, desde que se zele para que os Engenheiros não se tornem “pilotos de programa”, permaneçam com seu senso crítico e percepção para identificar, com os resultados obtidos, se as informações inseridas estão corretas, é importante se familiarizar com tais inovações e aderir a elas caso a viabilidade financeira seja reconhecida.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUILDIN. **Buildin Entrevista (HD) - Tecnologia BIM**. [S. l.], 22 mar. 2018. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?time_continue=41&v=7zQkbseH5xM&feature=emb_logo. Acesso em: 5 nov. 2019.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para Arquitetos, Engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. [S. l.]: Bookman, 2014. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=YSg6AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=vantagens+bim&ots=IT-vhHkBrd&sig=JYNTnE0KgQfDmi0vWEZDO4mBFFeQ&redir_esc=y#v=onepage&q=vantagens&f=false. Acesso em: 18 nov. 2019.

FABRICIO, Márcio Minto. Industrialização das construções: revisão e atualização de conceitos. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, [s. l.], v. 20, n. 33, p. 229 - 249, 26 jun. 2013. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/80930>. Acesso em: 24 mar. 2020.

FARIAS, Vanessa. **PLATAFORMA BIM EXIGÊNCIA PELO GOVERNO FEDERAL INICIA EM 2021**. [S. l.], 22 mar. 2019. Disponível em: <https://www.buildin.com.br/plataforma-bim/>. Acesso em: 14 nov. 2019.

JÚNIOR, Francisco Gonçalves. **BIM: Tudo o que você precisa saber sobre esta metodologia**. [S. l.], 9 jul. 2018. Disponível em: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/tudo-o-que-voce-precisa-saber/#quandosurgiu>. Acesso em: 7 nov. 2019.

LANG, Vicente Accorsi. **PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM EM EMPRESAS DE ESTRUTURA METÁLICA**. Orientador: Néstor Fabián Ayala. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/206047>. Acesso em: 28 abr. 2020.

LIMA, Tomás. **Lean Construction – Conceitos básicos**. [S. l.], 3 set. 2019. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/lean-construction-o-que-voce-precisa-saber-para-comecar-entender-melhor/>. Acesso em: 16 out. 2019.

LINO, José Carlos; AZENHA, Miguel; LOURENÇO, Paulo. **Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas**. In: ENCONTRO NACIONAL BETÃO ESTRUTURAL, 2012, FEUP. Artigo [...]. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~be2012/Indice/BE2012/pdf-files/076_Artigo.pdf. Acesso em: 9 abr. 2020.

MARTINI, Renata Jardim; STARLING, Cícero Murta Diniz; ANDERY, Paulo Roberto Pereira. ANÁLISE DO PROCESSO INTEGRADO DE PRODUÇÃO DE ESTRUTURA METÁLICA EM EDIFÍCIOS DE ANDARES MÚLTIPLOS COM FOCO NOS PROJETOS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO: PROJETOS DA PRODUÇÃO E PROJETOS PARA PRODUÇÃO. **CONPAT**, [s. l.], 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Renata_Jardim_Martini/publication/289756586_ANALISE_DO_PROCESSO_INTEGRADO_DE_PRODUCAO_DE_ESTRUTURA_METALICA_EM_EDIFICIOS_DE_ANDARES_MULTIPLOS_COM_FOCO_NOS_PROJETOS_DO_PROCESSO_DE_PRODUCAO_PROJETOS_DA_PRODUCAO_E_PROJETOS_PARA_PRODUCAO/links/5692717608ae0f920dcd676d.pdf. Acesso em: 24 mar. 2020.

MENEZES, Gilda Lúcia Bakker Batista. Breve histórico de implantação da plataforma BIM. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, [s. l.], ano 21, v. 18, n. 22, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264992377_Breve_historico_de_implantacao_da_plataforma_BIM. Acesso em: 10 out. 2019.

MIGUEL, Prof. Leandro F. Fadel; CARQUEJA, Prof. Moacir H. Andrade. **Apostila da Disciplina: ECV5255 – ESTRUTURAS METÁLICAS I**. [S. l.], 2016. Disponível em: <http://pet.ecv.ufsc.br/wordpress/wp-content/uploads/2016/08/apostila-ecv5255-estruturas-metalicas-i.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2019.

MOZZATO, Ricardo Coelho. **SUBSÍDIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NO PROJETO E FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO**. 2013. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2013. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/298/1/2013RicardoCoelhoMozzato.pdf>. Acesso em: 17 maio 2020.

NAKAHARA, FLÁVIA SAYURI. **Análise da viabilidade estrutural e econômica entre estruturas de concreto armado e estruturas metálicas**. Orientador: Prof. Dr. João Ubiratan de Lima Silva. 2017. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/156658/000900970.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 dez. 2019.

ODEMEC (RJ). **BNDES Prosoft – Programa para o Desenvolvimento da Indústria Nacional de Software e Serviços de Tecnologia da Informação**. [S. l.], 1 abr. 2014. Disponível em: <https://codemec.org.br/geral/bndes-prosoft-programa->

para-o-desenvolvimento-da-industria-nacional-de-software-e-servicos-de-tecnologia-da-informacao/#:~:text=Programa%20que%20visa%20contribuir%20para,de%20desenvolvimento%2C%20com%20agrega%C3%A7%C3%A3o%20significativa. Acesso em: 17 maio 2020.

PEASE, James. **O que é IPD - Parte 1 de 3**. [S. l.], 17 jan. 2018. Disponível em: <http://www.doxplan.com/Noticias/Post/O-que-e-IPD---Parte-1-de-3>. Acesso em: 14 nov. 2019.

PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY (PA, USA). **BIM Project Execution Planning Guide**. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://psu.pb.unizin.org/bimprojectexecutionplanningv2x2/>. Acesso em: 14 maio 2020.

PEREIRA, Caio. **Estrutura Metálica: Processo executivo, vantagens e desvantagens**. [S. l.], 29 jul. 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/estrutura-metalica/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

SANT'ANA, Edson Poyer. **LOD: trabalhando BIM em alto nível**. [S. l.], 2 mar. 2017. Disponível em: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/?s=lod+trabalhando+bim+em+alto+nivel>. Acesso em: 21 nov. 2019.

SILVA, Patricia Fontes; SILVA, Ethel Cristina Chiari. Aplicação do sistema kanban para auxiliar a gestão de estoque de uma empresa do ramo da construção civil. **Anais do X Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe (2018)**, [s. l.], ed. 10, 2018. Disponível em: <https://www.ri.ufs.br/handle/riufs/10436>. Acesso em: 16 out. 2019.

SILVA, Valdir Pignatta. **DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE AÇO**: Apostila para a disciplina PEF 2402 – ESTRUTURAS METÁLICAS E DE MADEIRA. São Paulo: [s. n.], junho 2012. 150 p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/110863/mod_resource/content/0/apostila2012.pdf. Acesso em: 3 fev. 2020.

VALENCIANI, Vitor Cesar. **LIGAÇÕES EM ESTRUTURAS DE AÇO**. Orientador: Prof. Dr. Maximiliano Malite. 1997. 352 p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997. Disponível em: http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1997ME_VitorCesarValenciani.pdf. Acesso em: 20 fev. 2020.