

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas

Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções

Mestrado Profissional em Engenharia das Construções

Dissertação

**RELAÇÃO DAS CONCEPÇÕES
ARQUITETÔNICA E ESTRUTURAL
ATRAVÉS DA ENGENHARIA
SIMULTÂNEA E TECNOLOGIA BIM**

Gustavo de Oliveira Arantes

2021
Ouro Preto



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções
Mestrado Profissional em Engenharia das Construções – MECON



RELAÇÃO DAS CONCEPÇÕES ARQUITETÔNICA E ESTRUTURAL ATRAVÉS DA ENGENHARIA SIMULTÂNEA E TECNOLOGIA BIM

Ouro Preto
2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções
Mestrado Profissional em Engenharia das Construções – MECON



Gustavo de Oliveira Arantes

RELAÇÃO DAS CONCEPÇÕES ARQUITETÔNICA E ESTRUTURAL ATRAVÉS DA ENGENHARIA SIMULTÂNEA E TECNOLOGIA BIM

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia das Construções.

Orientadora: Prof^a. Rovadávia Aline de Jesus Ribas, D.Sc.
Coorientador: Prof. Geraldo Donizetti de Paula, D.Sc.

Ouro Preto
2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A662r Arantes, Gustavo de Oliveira .

Relação das concepções arquitetônica e estrutural através da engenharia simultânea e tecnologia BIM. [manuscrito] / Gustavo de Oliveira Arantes. - 2021.

81 f.: il.: color., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Rovadavia Aline de Jesus Ribas.

Coorientador: Prof. Dr. Geraldo Donizetti de Paula.

Dissertação (Mestrado Profissional). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções.

Área de Concentração: Engenharia das Construções.

1. Engenharia Estrutural. 2. Concreto Armado. 3. Arquitetura. 4. Engenharia Simultânea. 5. Tecnologia BIM. I. Paula, Geraldo Donizetti de. II. Ribas, Rovadavia Aline de Jesus. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



FOLHA DE APROVAÇÃO

Gustavo de Oliveira Arantes

Relação das concepções arquitetônicas e estrutural através da engenharia simultânea e tecnologia BIM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de mestre

Aprovada em 18 de fevereiro de 2021

Membros da banca

Doutora - Rovadavia Aline de Jesus Ribas - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - Geraldo Donizetti de Paula - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - Flávio Teixeira de Souza - Instituto Federal de Minas Gerais - Ouro Preto
Doutor - Lucas Veloso de Menezes - Universidade de Itaúna

Rovadavia Aline de Jesus Ribas, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 14/04/2021



Documento assinado eletronicamente por **Rovadavia Aline de Jesus Ribas**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/04/2021, às 18:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0159273** e o código CRC **6CBDBEAE**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que sempre esteve comigo em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais, Ricardo Arantes de Souza e Wania de Oliveira Arantes, por sempre serem a minha base e por todo o incentivo que me deram durante esta etapa de minha vida.

À Thayná que, durante todo o tempo em que estive cursando o mestrado, sempre esteve comigo e me incentivou de diversas maneiras até a conclusão do curso.

A todos os professores, amigos e colegas do MECON que compartilharam conhecimento, informações, alegrias, sofrimentos, frustrações e tudo o que envolve a jornada de busca pelo saber.

À minha orientadora, Dra. Rovadavia Aline de Jesus Ribas, por toda paciência e ajuda, não só no desenvolvimento desta dissertação, mas ao longo de todo o curso.

A todos que de alguma forma me deram algum apoio e me ajudaram durante este caminho.

À Universidade Federal de Ouro Preto, por tornar possível a continuação do meu aprendizado.

RESUMO

As variações na economia são bastante comuns ao redor do mundo e, também, no Brasil. Crises econômicas surgem pelos mais diversos motivos como: problemas políticos, guerras, falta de interesse de investidores, crises sanitárias, baixa produtividade, falta de capital e outros. Diante dessa instabilidade, outros setores se veem abalados com a desconfiança por parte de investidores e no campo da construção não é diferente. A construção civil apresenta, ainda, várias peculiaridades no âmbito de desenvolvimento de projetos como: projetos desenvolvidos de maneira sequencial, que podem gerar incompatibilidades e retrabalho no canteiro de obras; divergências entre técnicas construtivas em uma mesma obra; divergências entre projetistas; atrasos de cronogramas; orçamentos imprecisos. Diante desse cenário, muitos são os esforços do setor para encontrar práticas que levem a minimizar problemas. Profissionais responsáveis pelo desenvolvimento de projetos ou pela execução desenvolvem métodos construtivos dos mais variados, sendo que alguns podem se mostrar promissores. Aliado a isso, a academia busca desenvolver estudos e maneiras de aplicar ferramentas e conceitos para sanar os problemas mencionados. Dentre essas pesquisas, a Engenharia Simultânea, bem como o BIM, apresenta conceitos que buscam a interação entre profissionais desde o início da concepção de projetos, gerando maior entendimento e interação entre as disciplinas envolvidas. Essa melhoria busca reduzir tempo de execução, incompatibilidades e aumentar a produtividade em projetos. O presente trabalho buscou contribuir com o conhecimento existente analisando relações entre arquitetura e estrutura; a relação entre arquiteto e engenheiro; além do comportamento estrutural de edificações em que os projetos tenham sido aprovados pelos clientes. Após a caracterização dessas relações, foram analisados os projetos estruturais e arquitetônicos de dois edifícios, por meio de ferramentas BIM, avaliando-se descontinuidades impostas à estrutura (marcadas pela presença de vigas de transição ou mudança de seção de pilares), devidas à incompatibilização de projetos arquitetônico e estrutural. Após essas análises, também com auxílio do BIM, foram propostas intervenções, visando harmonizar arquitetura e estrutura (preservando necessidades arquitetônicas como utilização, estética, funcionalidade etc.), utilizando conceitos da Engenharia Simultânea. Com as alterações feitas, apresentaram-se novas soluções estruturais que foram dimensionadas. Com os resultados, foram feitos comparativos das soluções apresentadas antes e depois das modificações para avaliar quantitativos e custos estimados de materiais, comportamento da estrutura e relação entre a nova solução estrutural e a arquitetura modificada. Foi possível perceber, que, tanto a utilização do BIM, como os conceitos da Engenharia Simultânea, pode gerar benefícios durante o desenvolvimento de projetos.

Palavras-chave: Engenharia Estrutural. Concreto Armado. Arquitetura. Engenharia Simultânea. Tecnologia BIM.

ABSTRACT

Variations in the economy are quite common around the world and also in Brazil. Economic crises arise for the most diverse reasons such as: political problems, wars, lack of interest from investors, health crises, low productivity, lack of capital and others. Faced with this instability, other sectors are shaken by distrust on the part of investors and in the construction field it is no different. Civil construction also presents several peculiarities in the scope of project development, such as: projects developed sequentially, which can generate incompatibilities and rework on the construction site; schedule delay; divergences between construction techniques in the same work; divergences between designers; schedule delays; inaccurate budgets. Given this scenario, there are many efforts by the sector to find practices that lead to minimizing problems. Professionals responsible for project development or execution develop constructive methods of the most varied, some of which can be promising. Allied to this, the academy seeks to develop studies and ways to apply tools and concepts to solve the mentioned problems. Among these researches, Concurrent Engineering and BIM presents concepts that seek interaction between professionals since the beginning of project design, generating greater understanding and interaction between the disciplines involved. This improvement seeks to reduce execution time, incompatibilities and increase project productivity. The present study sought to contribute with the existing knowledge analyzing relations between architecture and structure; the relationship between architect and engineer; in addition to the structural behavior of buildings where projects have been approved by customers. After characterizing these relationships, the structural and architectural designs of two buildings were analyzed, using BIM tools, evaluating discontinuities imposed on the structure (marked by the presence of transition beams or change of column section), due to the incompatibility of architectural and structural projects. After these analyzes, also with the help of BIM, interventions were proposed, aiming to harmonize architecture and structure (preserving architectural needs such as use, aesthetics, functionality, etc.), using concepts from Simultaneous Engineering. With the changes, new structural solutions were presented that were dimensioned. With the results, comparisons of the solutions presented before and after the modifications were made to assess quantitative and estimated material costs, structure behavior and the relationship between the new structural solution and the modified architecture. It was possible to realize that both the use of BIM and the concepts of Concurrent Engineering can generate benefits during the development of projects.

Keywords: Structural Engineering. Reinforced Concret. Architecture. Concurrent Engineering. BIM Technology.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Nível de atividade efetivo em relação ao usual	14
Figura 2: Esquema de equipe multidisciplinar	23
Figura 3: Estrutura matricial de comando.....	24
Figura 4: Parthenon, Grécia	41
Figura 5: Entrada da sede do banco Lloyd, Londres, Inglaterra.....	43
Figura 6: Cúpula da Catedral de Florença	43
Figura 7: Panteão (Roma).....	44
Figura 8: Museu de Design Vitra	45
Figura 9: Sistema estrutural	47
Figura 10: Projeto estrutural em concreto armado finalizado	50
Figura 11: Pavimento Térreo da Edificação 1 (medidas em m).....	55
Figura 12: Primeiro Pavimento da Edificação 1 (medidas em m).....	56
Figura 13: Segundo Pavimento da Edificação 1 (medidas em m).....	57
Figura 14: Arquitetura da Edificação 1	58
Figura 15: Compatibilização entre estrutura e arquitetura.....	59
Figura 16: Incompatibilidade entre pilares e janelas	59
Figura 17: Localização Sapatas do projeto 1, solução 1	61
Figura 18: Vigas V5 e V8, nível +300cm do projeto 1, solução 1 (medidas em cm)	63
Figura 19: Compatibilização do projeto 1, solução 2.....	65
Figura 20: Planta baixa do pavimento térreo - projeto 2 (medidas em cm)	68
Figura 21: Planta baixa do pavimento de moradia - projeto 2 (medidas em cm)	69
Figura 22: Compatibilidade entre disciplinas - projeto 2.....	70
Figura 23: Descontinuidade da estrutura do projeto 2, solução 1	72

Figura 24: Descontinuidade das paredes do projeto 2, solução 1	72
Figura 25: Planta de forma do projeto 2, solução 1	73
Figura 26: Projeto 2, solução 2.....	75
Figura 27: Continuidade dos pilares do projeto 2, solução 2.....	76

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Materiais para a estrutura do projeto 1, solução 1	62
Tabela 2: Carga das Sapatas do projeto 1, solução 1.....	62
Tabela 3: Dados de consumo das vigas do projeto 1, solução 1	64
Tabela 4: Dados de consumo das vigas do projeto 1, solução 2	66
Tabela 5: Materiais para a estrutura do projeto 1, solução 2	67
Tabela 6: Quantitativo de materiais do projeto 2, solução 1.....	71
Tabela 7: Momentos fletores das vigas do pavimento térreo do projeto 2, solução 1	74
Tabela 8: Quantitativos de materiais da edificação 2, projeto 2	77
Tabela 9: Momentos fletores das vigas do projeto 2, solução 2.....	77
Tabela 10: Resumo das alterações.....	78

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABELAS	11
SUMÁRIO.....	12
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos específicos	17
1.3 - METODOLOGIA	17
1.4 - LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	18
2. PROCESSO DE PROJETO E ENGENHARIA SIMULTÂNEA	19
2.1 PROCESSO DE PROJETO.....	19
2.2 ENGENHARIA SIMULTÂNEA, UM BREVE HISTÓRICO.....	21
2.3 APLICAÇÃO DA ENGENHARIA SIMULTÂNEA.....	28
3. BIM: CONCEITOS E APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	32
3.1 O ATUAL FUNCIONAMENTO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	32
3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO BIM	33
3.3 DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO.....	34
3.4 BIM E A MODELAGEM PARAMÉTRICA.....	35
3.5 INTEROPERABILIDADE	36
3.6 BIM NA ELABORAÇÃO DE PROJETOS.....	37

3.7 BIM NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO.....	38
4. RELAÇÃO ENTRE ESTRUTURA E ARQUITETURA	40
5. ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO	47
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
7.1 ESTUDO DE CASO 1 – EDIFICAÇÃO 1	54
7.2 ESTUDO DE CASO 2 – EDIFICAÇÃO 2.....	68
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES.....	79
8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	80
REFERÊNCIAS.....	81

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados da Sondagem Indústria da Construção, de março de 2020, divulgados pela Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2020), o setor da construção civil passou por considerável impacto negativo em indicadores como nível de atividade (registrando 25,5 pontos, ou, 24,5 pontos abaixo de 50 - valores acima de 50 pontos indicam evolução da atividade em relação ao mês anterior), como é mostrado na Figura 1 no gráfico de nível de atividade efetivo. O gráfico classifica os índices da seguinte forma: acima de 50 pontos indica que nível de atividade foi acima do usual para o mês, enquanto que abaixo de 50, a atividade foi abaixo do usual para o mês. Quanto mais afastado dos 50 pontos, maior a diferença em relação ao usual para o mês. Há ainda outros indicadores que mostram a retração no setor como piora nas condições financeiras das empresas, falta de confiança por parte dos empresários, menores investimentos e maior inadimplência. A queda sentida pelo setor já reflete, de acordo com o levantamento, os efeitos causados pela pandemia do novo coronavírus (CoVid-19).

Figura 1: Nível de atividade efetivo em relação ao usual



Fonte: CNI (2020).

As variações econômicas afetam diversos setores, e com o setor da construção civil não é diferente. Variações de impostos, incentivos ou restrições financeiras,

aumento ou redução da demanda, entrada ou saída de investidores do setor, aumento de produtividade, automatização das práticas construtivas; enfim, vários são os aspectos que influenciam a economia no âmbito da construção. Como pode-se ver no gráfico da Figura 1, o setor já vem sentindo os efeitos do novo coronavírus (CoVid-19).

Diante do exposto, muito se discute sobre maneiras que potencializem e auxiliem a inserção, permanência e evolução de novas práticas no ramo das obras civis. Apesar de existirem entraves culturais que possam dificultar mudanças de métodos utilizados, alguns profissionais desse setor (seja em qual nível de formação ou campo específico de atuação) buscam alternativas de aumentar sua produtividade, agregar valor ao serviço que procuram vender ou prestar, viabilizar possibilidades de serem competitivos no mercado etc. Pedrini (2012), traz um exemplo disso, quando ressalta que a Engenharia Simultânea surgiu em um contexto de aumento de complexidade na produção.

Aliada às demandas do mercado, a academia também busca, por meio de trabalhos e publicações, posicionar-se quanto à melhoria das práticas executivas na construção civil (seja para projetos ou execução de fato). Há muitos estudos que exploram métodos de se projetar ou construir, nos quais são avaliados quantitativos de materiais utilizados, custo de produção, aplicação prática dos procedimentos e adaptação da equipe de trabalho. Perotti (2015) comparou projetos desenvolvidos pelas Engenharias Simultânea e sequencial e constatou que na Engenharia Simultânea o custo de projeto tende a ser mais significativo no início do processo, nas fases de concepção. Além disso, o autor ainda relata que não há indícios de reincidência de despesas ao longo do processo de projeto.

Um elemento que possibilita colocar em prática melhorias apresentadas pela Engenharia Simultânea, bem como outras ferramentas de gestão, é a tecnologia *Building Information Modeling* ou BIM, pois essa ferramenta permite, segundo Eastman et. al. (2014) a implementação de melhorias em várias áreas do projeto e da execução de uma edificação.

Nesse sentido, o presente estudo busca contribuir para o debate trazendo uma pesquisa que pretende traçar paralelos entre a Engenharia Simultânea, concepção arquitetônica e concepção estrutural. Para isso, com o objetivo de

nortear o estudo, alguns conceitos são expostos, como o próprio conceito de Engenharia Simultânea e do BIM. Também são abordadas questões sobre concepção da arquitetura e estrutura.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os aspectos econômicos podem levar a práticas que buscam por construções que partem de projetos mais elaborados e planejados resultando em execuções mais enxutas. Alguns pontos significativos para esses parâmetros estão contidos nas teorias da Engenharia Simultânea como, por exemplo, a inserção da prática da participação de todos os envolvidos desde o início da concepção de projetos, procedimento esse que ajuda a reduzir retrabalhos e diminuir interferências entre disciplinas envolvidas na construção durante a execução, além de agregar valor ao atendimento das necessidades do cliente.

Outro ponto importante para a realização deste estudo se passa pelo empenho constante da academia em contribuir para o desenvolvimento de práticas e métodos construtivos e de elaboração de projetos que visam aumentar a produtividade nos canteiros de obra, além de reduzir o consumo de material, evitar retrabalhos e potencializar o uso de recursos. Diante disso, pode-se notar que a relação entre Engenharia Simultânea e concepção estrutural e arquitetônica pode contribuir significativamente no traçado de parâmetros para o desenvolvimento aprimorado de projetos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é avaliar a interação entre projetos estruturais e arquitetônicos de edificações executadas ou com projetos aprovados pelos clientes, propondo, caso necessárias, intervenções que visam harmonizar melhor o projeto arquitetônico e a solução estrutural proposta.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, listam-se:

- i – Avaliar, a partir de modelos arquitetônicos e estruturais existentes, que foram desenvolvidos pelo modelo sequencial de projeto, possíveis mudanças que preservem ao máximo a arquitetura beneficiando sua relação com a estrutura.
- ii – Analisar as alterações efetuadas nas soluções originais dos projetos, bem como os quantitativos da solução original e da intervenção proposta, comparando o comportamento da estrutura e os quantitativos de materiais.
- iii – Introduzir elementos da Engenharia Simultânea, bem como da tecnologia BIM, nas análises de interferência no projeto e nas possíveis alterações.

1.3 - METODOLOGIA

O trabalho se embasa em pesquisa bibliográfica em livros, periódicos e demais textos acadêmicos que levantem questões sobre a concepção estrutural, concepção arquitetônica, Engenharia Simultânea e BIM. Com isso, esses temas são conceituados avaliando-se sua aplicação. Procura-se enfatizar pesquisas que contenham relações entre a engenharia estrutural e a arquitetura para o entendimento como a relação desses temas contribui para o desempenho, economia, execução e outros aspectos de uma edificação.

Os estudos são aplicados em projetos estruturais, avaliando-se discontinuidades impostas à estrutura, devidas à incompatibilização de projetos arquitetônico e estrutural. Neste momento do estudo, a introdução do BIM servirá para a compatibilização das disciplinas, bem como análises de interferências. Após essa avaliação, alterações na arquitetura e estrutura são propostas, visando maior harmonia entre as duas disciplinas.

Além disso, é simulada uma possível solução caso a abordagem da concepção englobe conceitos da Engenharia Simultânea, em que os profissionais envolvidos colaboram com o projeto desde o início da concepção, buscando-se

manter o atendimento às necessidades arquitetônicas, sua funcionalidade e estética.

Depois de executadas as alterações, uma nova estrutura é elaborada e processada por meio do *software* de cálculo estrutural Eberick, possibilitando traçar alguns paralelos e criar comparativos entre a estrutura original e a modificada, podendo-se observar questões como consumo de material, custo estimado nas estruturas antes e depois das modificações, comportamento estrutural, dentre outras.

1.4 - LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O trabalho se limita em analisar a aplicação de soluções estruturais e arquitetônicas que busquem maior harmonia entres essas áreas em projetos executados, ou aprovados pelos cliente, ou seja, o objetivo principal passa pela discussão da arquitetura e estrutura e sua relação. A fim de aprimorar os resultados, são utilizados conceitos da Engenharia Simultânea.

2. PROCESSO DE PROJETO E ENGENHARIA SIMULTÂNEA

2.1 PROCESSO DE PROJETO

Segundo Graziano (2003), o processo de projeto vem passando por alterações desde a década de 1960, onde, devido à demanda na área de construções, profissionais começaram a sair de empresas (que cuidavam tanto da área de projeto quando da área de execução de obras) e optaram por montar escritórios especializados em determinadas disciplinas. A princípio, esse método de trabalho trouxe resultados positivos, visto que os projetistas, mesmo que atuando de maneira independente, vinham de uma cultura de integração entre especialidades de projeto e relação entre projeto e execução.

No entanto, com o passar dos anos, essa prática levou ao distanciamento entre ambientes de projeto e de execução. Alguns efeitos que esse afastamento, entre profissionais projetistas e de execução, pode gerar são: pouca noção por parte do projetista sobre o que é de fato executado; retrabalhos em projetos e na execução; desperdício de materiais.

Esse movimento, que levou profissionais a se tornarem independentes de empresas do setor e montarem escritórios próprios e especializados, contribuiu para a prática sequencial de projeto, que vem sendo tradicionalmente adotada por engenheiros e arquitetos que atuam na construção civil. O processo sequencial consiste, segundo Pedrini (2012), em uma atividade em que as fases do projeto são sequenciais e há quebra do processo entre etapas. O autor ainda diz que, pelo processo sequencial, os projetos são executados por especialistas ou equipes especializadas uni disciplinares de forma que o anterior tem que ser elaborado para que se faça o próximo. O arquiteto é considerado o responsável pelas indicações que são adotadas nos projetos subsequentes.

Mais um aspecto sobre projeto que Pedrini (2012) traz ao debate é a questão de que a construção civil lida com prazos e, muitas vezes, para cumpri-los, os projetos têm que ser desenvolvidos pelo meio, do que chamam, de “via rápida”, que é o desenvolvimento simultâneo de projeto com a obra. Ou seja, os projetos ainda não foram finalizados, porém a obra já começou; essa prática incorre em

incertezas e riscos de equívocos na execução, situações que acarretam retrabalhos e gastos excessivos, que podem não compensar o tempo economizado na fase de projeto.

Outra visão sobre a prática sequencial de projeto é a de Koskela e Huovila (1997), que sugere que alguns dos problemas de gestão do processo de projeto se dão devido ao fato do projeto ser visto com uma conversão de informações que incorporam a necessidade do cliente em conhecimento sobre o produto. Essa visão tende a segmentar o projeto em tarefas endereçadas a diferentes profissionais e especialistas, o que pode gerar diferentes interpretações da necessidade do cliente, diferentes práticas de projeto por parte dos profissionais, retrabalho e falta de compatibilização entre as disciplinas, pouca interação com os projetos que não são da especialidade do projetista (levando a soluções que podem não proporcionar interação com outras disciplinas).

Outro aspecto, levantado por Omokava (1999), são as questões ligadas ao grau de incerteza que existe no início de um projeto e o custo de modificação ao longo de seu desenvolvimento. O autor cita que apesar de, no início do desenvolvimento de projeto, a atmosfera de incertezas pairar sobre os projetistas, é justamente nessa fase que o custo de modificações é mais reduzido e, diante disto, essa a etapa mais viável para se discutir sobre as mais variadas soluções construtivas e, em contrapartida, quanto mais desenvolvido estiver o empreendimento, mais onerosa torna-se a mudança.

Anumba et. al. (2000) contribuem com o debate trazendo questões que são características do processo de projeto na construção civil e que apontam alguns obstáculos para o setor. Dentre os problemas elencados estão: a incompatibilização cultural em processo de projetos que pode surgir entre os diversos projetistas envolvidos; o fato de que os dados gerados em um projeto podem não ser reaplicados em outros, devido à individualidade de cada empreendimento na construção civil; a falta de um ciclo de vida de projetos que inclua análises das fases de implantação, operação, manutenção e outros.

Feitosa e Sakamoto (2020) citam a importância de se ter uma análise mais profunda em relação aos projetos, principalmente no que diz respeito à interoperabilidade entre as disciplinas existentes no processo, e às etapas de um empreendimento. Fatores que contribuem para redução de riscos, falhas,

prejuízos e atrasos. Essa análise proporcionaria consequências vantajosas como redução de falhas, prejuízos, atrasos e perda de qualidade.

Segundo Pedrini (2012), as práticas de projeto e suas consequências indesejáveis, como distanciamento entre ambiente de projeto e execução, retrabalho etc., somadas à instabilidade do mercado da construção civil e às exigências dos profissionais que integram o setor (clientes, fornecedores, projetistas, executores e outros) demandam das empresas capacidade de integrar, em seus processos, todas as partes envolvidas na elaboração de um empreendimento, buscando com isso qualidade e excelência. Diante disso, empresas buscam meios de trazer a simultaneidade da realização de atividades para a sua cultura organizacional. Aliada a esse fator, a academia tem, cada vez mais, estudado campos e ferramentas que possibilitem o trabalho em conjunto, produzindo uma gama de material teórico que visa auxiliar o desenvolvimento e a execução dessa cultura da simultaneidade na produção de projetos.

Em seu trabalho, Pereira Jr., Baracho e Porto (2016) citam que a elaboração de um projeto demanda conhecimento especializado de alguns aspectos ligados à construção como: concepção, projeto, espaço, materiais, tecnologias empregadas, novas soluções, dentre outros. Além disso, acrescentam que cada profissional envolvido deve estar ciente de possíveis soluções apresentadas por outros especialistas inseridos no processo antes de propor uma decisão que diz respeito à sua área de conhecimento. Os pesquisadores concluem destacando a necessidade da utilização da tecnologia da informação para a elaboração de projetos e sugerem a implementação da tecnologia *Building Information Modeling*, ou BIM, como um ambiente de suporte para a integração de profissionais envolvidos.

2.2 ENGENHARIA SIMULTÂNEA, UM BREVE HISTÓRICO

Pedrini (2012) ressalta que a Engenharia Simultânea surgiu em um contexto de aumento de complexidade na produção, além da inserção de novas tecnologias no meio produtivo, aliado ao fator de competitividade. A solução que empresas encontraram, no início dos anos 1980, para superar esses e outros percalços,

foi a implementação do paralelismo entre as atividades desenvolvidas, substituindo, assim, técnicas de desenvolvimento sequencial.

Assim como outros autores, Pedrini (2012) credita os primeiros estudos sobre a Engenharia Simultânea a uma agência do governo americano, a *Defense Advanced Research Project Agency* (DARPA), que buscou formas de aumentar o paralelismo entre atividades. O autor ainda chama a atenção para o fato de que as principais características da Engenharia Simultânea podem ser encontradas na indústria japonesa na década de 1950. Dentre essas características, pode ser observada a da produção enxuta, que teve como ponto inicial de aplicação, a indústria automobilística da Toyota. A ideia básica de seu conceito é a eliminação de estoques, desperdícios, tempo de montagem, automatização da produção além de cooperação com fornecedores.

De acordo com Fabricio (2002), a Engenharia Simultânea é definida como o novo padrão de produção empregado nas empresas. Por meio desse método, aspectos como capacidade e agilidade de desenvolvimento de produtos ganham espaço nos mais diversos empreendimentos. O autor relata também que a denominação “Engenharia Simultânea” teve origem no *Institute for Defense Analysis (IDA)* do governo americano, em estudos realizados entre 1985 e 1989. O conceito de Engenharia Simultânea, segundo o *IDA*, se baliza em integrar os projetistas envolvidos no empreendimento logo no início da elaboração, a fim de considerar todo o ciclo de vida envolvido; além de, também, incorporar as etapas de desenvolvimento de projeto com as fases de execução.

Fabricio (2002) ainda elenca alguns elementos básicos do conceito e aplicação da Engenharia Simultânea. Alguns desses elementos são:

- Valorização do projeto: a Engenharia Simultânea se baseia na importância de priorizar as primeiras etapas de projeto, pois quanto mais no início do desenvolvimento, maiores as quantidades de soluções; além disso, a busca passa pela elaboração de forma multidisciplinar, acarretando em soluções mais coesas que evitam modificações e retrabalhos ao longo da execução.
- Sequência de atividades de projeto: a realização paralela de etapas de trabalho permite reduzir tempo e possibilitar um campo de integração entre os envolvidos.
- Times multidisciplinares de projeto: é uma condição que viabiliza o conceito anterior, pois permite a integração de diversos intermediários envolvidos no

processo com diferentes visões; essa mobilização proporciona equipes, com conhecimento em várias áreas, que são capazes de antecipar demandas do cliente e fases do ciclo de vida do produto. Na Figura 2, ilustra-se esquematicamente a formação de uma equipe multidisciplinar.

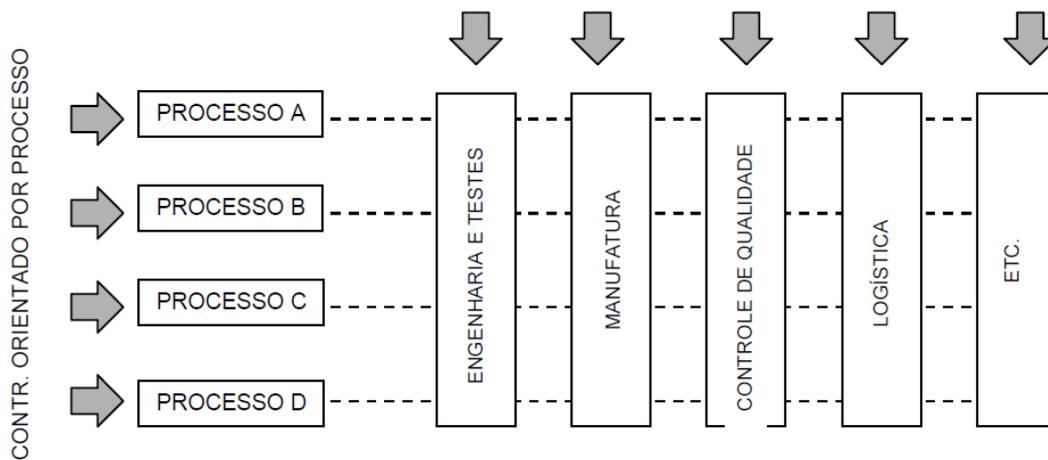
Figura 2: Esquema de equipe multidisciplinar



Fonte: Adaptado de FABRICIO (2002)

- Estrutura organizacional e interatividade nas equipes de projeto: o modelo organizacional predominante nas empresas é o hierárquico, onde há verticalização de autoridade, sendo que existem muitos níveis de comando e esse modelo não se mostra compatível com a formação de equipes multidisciplinares e interdepartamentais; o modelo que se mostra mais adaptado à implantação da Engenharia Simultânea é a matricial, ilustrada na Figura 3. Porém, o autor afirma que em variados estudos de caso, empresas, que buscam implantar a Engenharia Simultânea, não alteram sua estrutura organizacional e, no máximo, eliminam alguns níveis hierárquicos, quando o fazem.

Figura 3: Estrutura matricial de comando



Fonte: FABRICIO (2002)

- Tecnologia da informação: o uso dessa tecnologia visa possibilitar e facilitar a implantação do método da Engenharia Simultânea, seja permitindo o teste de vários modelos de projeto, por meio de *softwares* específicos como Eberick (2020) e Revit, seja possibilitando a comunicação e acesso a uma mesma base de dados por projetistas que estejam distantes geograficamente entre si ou, até mesmo, da matriz da empresa.

- Coordenador de projetos: esse profissional fica encarregado de controlar o fluxo de informações entre os projetistas envolvidos e, também, intermediar conflitos. Apesar disso, a sua presença não é um consenso quando esse tema é discutido. No entanto, há uma tendência de se defender que o ideal é contar com um único coordenador do início ao fim do projeto, embora alguns trabalhos abordem a troca periódica do ocupante do cargo entre os envolvidos na equipe.

- Satisfação do cliente: a Engenharia Simultânea busca identificar necessidades dos clientes e desenvolver, com agilidade, planos para que seja possível suprir todas as carências.

Outro estudioso do tema, Rezende (2008), cita que a origem do processo sequencial de trabalho está ligada à Teoria da Administração Científica (TAC), criada por Henry Taylor, que propôs a divisão racional do trabalho. A TAC contribuiu para a especialização do trabalho e departamentalização das empresas. Essa divisão, na qual o projeto e a prática são independentes entre

si, gera uma prática chamada de engenharia “por cima do muro”, em que os projetos são entregues, depois de prontos, ao setor de produção. Porém, devido à complexidade dos sistemas produtivos, a competitividade de mercado e a necessidade de se lançar um novo produto antes da concorrência, surgiu a busca por reduzir seu tempo de desenvolvimento através de meios como o melhor uso de recursos e a integração dos processos. Dessa lacuna, surgem pesquisas, aplicações e definições das práticas que viriam a compor o processo produtivo proposto pela Engenharia Simultânea.

Ainda de acordo com Rezende (2008), a implantação da Engenharia Simultânea pode enfrentar diversos pontos de resistência como o abandono de métodos e conceitos que se relacionam à estrutura, cultura e gestão das empresas, além, também, da burocratização das companhias ser um entrave na mudança de hábitos que demanda a aplicação da Engenharia Simultânea. Porém, a implantação da prática, no setor da construção civil, pode levar a melhorias como redução de prazos e custos, aumento da qualidade de projeto, integração dos processos de projeto, além da manutenção de informações que são fundamentais no ciclo de vida do empreendimento.

O autor ainda cita algumas ferramentas da Engenharia Simultânea que ajudam a alcançar as melhorias citadas. São elas: desdobramento da função qualidade (QFD ou *Quality Function Deployment*), que visa conciliar as necessidades do cliente com os processos produtivos e características do produto; análise dos modos e efeitos de falhas (FMEA ou *Failure Modes and Effects Analysis*), que é a identificação de falhas e implementação de melhorias ao longo do processo; e matriz da estrutura de projeto (DSM ou *Design Structure Matrix* ou *Dependency Structure Matrix*) que se propõe a medir o efeito que uma atividade transfere para as demais e, com isso, pode-se determinar a necessidade de coordenação bem como favorecer o ambiente da Engenharia Simultânea.

A Engenharia Simultânea, segundo Pedrini (2012), trata da fase de concepção do produto e tem como objetivos a redução do tempo de desenvolvimento e dos custos, atendimento às necessidades do cliente, aumento do valor e da qualidade do produto, redução do desperdício, perdas e do número de problemas que a separação entre projeto e produção causa.

Arantes (2008) traz outra visão em relação aos demais autores citados até aqui. Para ele, a Engenharia Simultânea é apenas mais uma das ferramentas do *Lean Construction* (uma adaptação do *Lean Production* para a indústria da construção civil), que teve início com a publicação do trabalho *Application of the new production philosophy in the construction industry*, por Koskela (1992). O *Lean Construction* traz conceitos sobre o sistema de produção e gestão de projetos que valorizam a entrega de forma rápida, redução do tempo de desenvolvimento e da relação entre custo e benefício, mais qualidade etc.

Arantes (2008) apresenta algumas mudanças que podem ser geradas pela adoção do *Lean Construction*, destacando-se algumas: desenvolvimento de produto e processo de construção de maneira conjunta, evitando erros no decorrer da execução; aumento de valor de projeto por meio da gestão do processo de valor; remoção das fontes de desperdício nos processos de projeto e produção. Além disso, elenca uma série de ferramentas do *Lean Construction*, das quais a Engenharia Simultânea é só mais uma, que são: mapeamento do fluxo de valor, células de produção, manutenção produtiva total, qualidade na fonte, sistema de detecção de avisos e erros, operações padronizadas, gestão visual, ritmo de produção, além do método *Kanban* (originado no Japão) que visa “puxar” a produção a partir da demanda.

Apesar da visão de que a Engenharia Simultânea é uma ferramenta, Arantes (2008) a conceitua de maneira similar aos outros autores citados, adotando como seus elementos:

- Valorização do projeto, sendo fundamental para a qualidade do produto e para a eficiência do processo produtivo.
- Sequência das atividades de projeto, ou seja, a realização em paralelo de etapas simultâneas da elaboração de projeto visando ampliar a integração entre as disciplinas.
- Equipes multidisciplinares de projeto.
- Estrutura organizacional e interatividade nas equipes de projeto.
- Tecnologia da informação, que é a utilização da informática na viabilização da interatividade das disciplinas.

- Coordenação de projetos, onde um coordenador media o intercâmbio dentro da equipe.
- Satisfação do cliente que é o objetivo principal da prática.

Pinto (2012) traz um conceito similar ao da Engenharia Simultânea, ao também classificá-la como instrumento do *Lean Construction*. Além disso, o autor mostra algumas especificidades da indústria da construção civil; um ponto levantado é o fato de que a concretização do produto, nas obras de engenharia civil, se dá em local previamente definido pelo consumidor, um diferencial em relação às outras indústrias. Esse fato traz peculiaridades como, por exemplo, que materiais, maquinário e mão de obra tenham que se deslocar a um novo centro de produção (no caso, as obras) em cada novo empreendimento. Essa particularidade pode causar reestruturação nas relações com clientes, fornecedores, funcionários e demais autores participantes do projeto, a cada construção iniciada.

Outro ponto levantado pelo autor é o fato de cada construção ser um protótipo de si mesma, fato que impossibilita, muitas vezes, que uma informação, ou prática, utilizada na construção de um determinado empreendimento, possa ser aproveitada para outros, o que impossibilita a aplicação em larga escala. O autor coloca, também, o fato de que a vasta gama de subprodutos de diferentes origens utilizados na construção civil (podendo ir da siderurgia até a cerâmica) pode impossibilitar a especialização em um ramo específico, pois há sempre a chance de se lidar com um processo construtivo inédito ou um material fora da prática habitual.

Ainda, segundo Pinto (2012), que apresenta a Engenharia Simultânea como um instrumento, a prática não é aplicável à execução de obras em si, mas tem uma importante implicação na elaboração de projetos, pois a partir dessa utilização, torna-se mais fácil o processo de planejamento das atividades. O autor elenca também alguns pontos em que a ferramenta traz efetivas melhorias, que são os seguintes: valorização e coordenação de projetos, fluxo de valor, equipes multidisciplinares, tecnologia da informação e diminuição de prazos.

De acordo com o que está sendo citado, pode-se conceituar a Engenharia Simultânea como um conjunto de ferramentas que buscam a valorização de

projetos e processos de execução. Essa valorização se dá pela inserção de diversos conceitos como interação entre profissionais das mais variadas áreas de atuação envolvidos num mesmo projeto, integração entre projetos, utilização da tecnologia de informações, equipes multidisciplinares e desenvolvimento conjunto e simultâneo de atividades, visando um atendimento mais eficaz quanto às demandas do cliente.

Assim, como são vários os estudos que buscam conceituar a Engenharia Simultânea, conforme mostrado, outros tantos são os estudos que buscam a aplicação prática dessa corrente produtiva.

2.3 APLICAÇÃO DA ENGENHARIA SIMULTÂNEA

Diversos também são os estudos que visam a implantação da Engenharia Simultânea no setor da construção civil. Alguns dos relatos de casos, resultados de implantação, dificuldades enfrentadas e outras contribuições de alguns estudiosos são explicitados a seguir.

Mikaldo e Scheer (2008) em seu estudo buscaram comparar o processo de compatibilidade de projetos em diferentes situações. Em um dos desenvolvimentos, a elaboração dos projetos foi segmentada, e todo profissional, de cada disciplina, elaborou o seu projeto sem a colaboração dos demais profissionais; enquanto, para outros casos, todos os profissionais integraram a equipe de desenvolvimento de projetos desde o início do empreendimento. O estudo mostrou que, ao se utilizarem *softwares* que acusam interferências entre projetos, o segundo caso (em que os profissionais trabalharam de forma integrada) apresentou um menor número de interferências entre as disciplinas que compunham o empreendimento. Com isso, os autores puderam concluir que a formação de equipes multidisciplinares pode ser mais eficaz no atendimento às demandas de clientes de maneira satisfatória, além de agregar valor ao projeto.

Pedrini (2012) estudou dois empreendimentos que a construtora e incorporadora Incortel realizou, em parceria com a *Cyrela Brazil Realty*. O primeiro foi um empreendimento residencial multifamiliar de alvenaria estrutural, composto por

quatro torres de 11 pavimentos; o segundo foi um empreendimento de uso misto, dividido em três torres, sendo uma com 36 pavimentos (para uso comercial), outra com 31 pavimentos (destinado a moradias) e um centro comercial com três pavimentos. O autor elaborou questionários que buscaram investigar sobre o processo construtivo, se era tradicional (com atividades sequenciais) ou simultâneo (profissionais envolvidos desde a concepção), além de identificar problemas enfrentados pela empresa e oportunidades para empregar conceitos da Engenharia Simultânea. Um dos pontos apontados como negativos foi o fato da elaboração de projetos ainda seguir o processo sequencial, com pouca interação entre os profissionais projetistas. Diante desse empecilho, algumas ferramentas propostas pelo autor foram: valorização do projeto e integração do processo, planejamento estratégico (o processo de projeto deve fazer parte do planejamento), definição do produto e dos recursos, contratação de projetistas que estejam alinhados com a cultura da empresa, planejamento e controle do desenvolvimento de projeto, desenvolvimento de projeto e retroalimentação do sistema.

Perotti (2015) comparou projetos desenvolvidos pelas engenharias simultânea e sequencial e constatou que na Engenharia Simultânea o custo de projeto tende a ser mais significativo no início do processo, nas fases de concepção. Além disso, o autor relata que não há indícios de reincidência de despesas ao longo do processo de projeto, enquanto que, no método sequencial, o custo de projeto se estende e tende a se repetir à medida que surge a necessidade de revisões.

Mariquito *et. al.* (2016) salientam que as principais vantagens da Engenharia Simultânea são a redução do tempo para lançamento do produto e o desenvolvimento simultâneo das fases de produto, além de que a contribuição de todos os participantes contribui para o aumento da qualidade. Porém os autores evidenciam que, apesar do conceito de Engenharia Simultânea oferecer melhorias no processo de produção, a implementação dessa prática pode se deparar com a falta de infraestrutura e ferramentas da empresa. Os autores ainda destacam que as práticas, uma vez implementadas, podem contribuir para a manutenção de empresas no mercado, aumentando sua competitividade.

Ansah *et. al.* (2016) em seu estudo sobre a aplicação de ferramentas do *Lean* no controle de desperdício em projetos construtivos na Malásia, também

conceituam a Engenharia Simultânea como uma ferramenta do *Lean Construction*. Os autores ainda colocam que a ferramenta, que envolve a participação de vários profissionais em equipes multidisciplinares, busca otimizar os ciclos de produção aumentando sua eficiência, qualidade e funcionalidade. Das 40 ferramentas abordadas pelos autores, 30 foram selecionadas como as mais efetivas para controlar as fontes de atraso nas obras de construção civil. A Engenharia Simultânea está entre as 30 escolhidas.

Pereira Junior, Baracho e Porto (2016) ao discutirem as relações entre a Engenharia Simultânea como novo método de projeto, a inserção da tecnologia da informação na arquitetura (por meio do BIM) e as práticas de Gestão da Informação e Conhecimento (GIC), citam algumas características de um ambiente favorável para uma colaboração bem-sucedida no âmbito da GIC. Dentre as características relacionadas, algumas deixam claro o aspecto individual no processo e salientam que é importante que haja espaço para que o projetista explore e avalie, por si só, informações sem ter a influência de outros envolvidos; além de, também, chamarem a atenção para que haja uma fase em que se agreguem as contribuições individuais a fim de chegar a um objetivo coletivo.

Feitosa e Sakamoto (2020) estudaram a execução de um empreendimento da construtora MRV. A construtora optou pelo sistema construtivo de paredes de concreto para a obra habitacional localizada em Palmas, TO. Os autores destacaram o alinhamento de diferentes setores como qualidade, validação de serviços e fiscalização como imprescindível para a produção da obra que, de acordo com os gestores, é de quatro apartamentos concretados por dia. Outros pontos destacados pelos autores são que a falta da comunicação simultânea pode acarretar problemas para a obra; a interoperabilidade de processos pode trazer redução dos riscos de falhas, prejuízos, atrasos e perda de qualidade; uma maior sintonia entre os envolvidos no projeto permite melhores escolhas e tomadas de decisão quanto às especificidades da obra; além de que a Engenharia Simultânea permite o alinhamento de processos, produtos e cadeia de fornecimento.

Conforme exposto, na visão de alguns autores, os conceitos de projeto simultâneo, que a Engenharia Simultânea traz, buscam, entre outras coisas, a

valorização de projeto e integração dos projetistas e disciplinas envolvidas. Com isso, avaliações de soluções que integram a concepção estrutural à arquitetônica e a simulação da aplicação da Engenharia Simultânea a projetos, que não desfrutaram dessa ferramenta para o seu desenvolvimento, podem contribuir para a diminuição de inconformidades em projetos futuros.

3. BIM: CONCEITOS E APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Corroborando com o que foi dito anteriormente, Pereira Jr., Baracho e Porto (2016) ressaltam pontos da prática mais tradicionalmente utilizada na construção de edifícios, que é o processo sequencial. Essa forma de projetar é comum por apresentar formas sequenciais de trabalho, em que equipes especializadas se responsabilizam por um tipo de projeto e, quando ele está pronto, enviam para o próximo grupo de especialistas que dão continuidade ao processo; de forma sucessiva, essa etapa vai se repetindo até o fim da execução da edificação.

O BIM traz aspectos que pode auxiliar na implementação de conceitos da Engenharia Simultânea, de forma que alguns autores abordam sua adoção no processo de projeto, bem como as vantagens e desafios que isso traz.

3.1 O ATUAL FUNCIONAMENTO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Eastman et. al. (2014) ressaltam que, além da fragmentação do processo de implementação de um edifício, a documentação em papel também é uma marca registrada da atual prática de construção. Os problemas causados por erros e omissões em papel vão desde imprevistos financeiros e atrasos até problemas judiciais aos envolvidos. Eastman et. al. ainda reforçam que um dos problemas mais comuns quando se lida com comunicação baseada em papel são os altos gastos e as várias horas necessárias para se gerar informações para a avaliação de uma proposta de projeto. Algumas soluções foram implementadas a fim de reduzir os efeitos negativos dessa prática como, por exemplo, uso de tecnologia de “tempo real” com *sites* para compartilhamento de plantas e documentos e, também, implementação de ferramentas de desenho em 3D. Porém, esses métodos não contribuíram de maneira significativa para mitigar os conflitos causados por documentações de papel em obras.

Eastman et. al. (2014) destacam, também, fatores que impactam negativamente na indústria da construção. Um deles é o fato de que a adoção de melhorias tem sido lenta e, por vezes, limitadas a grandes empresas. Um ponto que o autor chama atenção, quanto a isso, é que, por vezes, é necessário que as

informações e projetos precisam ser apresentadas em papel ou em desenhos feitos em CAD 2D para que todos os membros envolvidos na equipe de empreendimento sejam capazes de manter uma comunicação. Outro ponto de destaque é que, enquanto fabricantes de outras indústrias costumam ter relações longas com parceiros, subempreiteiros e fornecedores, na construção civil o que acontece é que parceiros diferentes atuam juntos e, depois de um tempo, se dispersam. Esse fato contribui para que exista pouca possibilidade de melhoria devido ao aprendizado prático ou à relação entre os envolvidos na construção.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO BIM

Eastman et. al. (2014) nos trazem alguns conceitos de BIM (*Building Information Modeling*) que permitem a descrição e entendimento da tecnologia, bem como suas vantagens de sua implementação e utilização no setor da construção civil. O autor ressalta que um projeto produzido por ferramenta BIM pode trazer aspectos que possibilitam vistas diferentes dos dados de um conjunto de desenhos. Além disso, é dito que um modelo pode ser descrito por seu conteúdo (quais objetivos são descritos) ou pela capacidade (que tipos de requisitos de informação ele pode dar suporte, ou seja, o que se pode fazer com o modelo). Por fim, o autor define BIM como uma tecnologia que proporciona um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção. Os modelos são caracterizados pelos seguintes pontos: componentes de construção (representações que podem ser associadas com atributos computáveis); componentes com dados que descrevem como eles se comportam (análise energética, por exemplo); dados não redundantes (a modificação desses dados é representada em todas as visualizações do componente); e dados coordenados (as visualizações são representadas de maneiras coordenadas).

Os benefícios do BIM, segundo Eastman et. al. (2014), podem ser significativos em quatro campos diferentes dentro de um ambiente de construção, são eles, na pré-construção para o proprietário; na fase de projeto; na construção e fabricação e, por último, na pós-construção. A elaboração de modelos

esquemáticos, durante a fase de análise de viabilidade, por meio de tecnologias BIM, permite que proprietários possam analisar se determinado empreendimento pode ser feito em um dado tempo com um montante destinado à sua construção.

Quanto aos benefícios de projeto, pode-se separá-los em alguns pontos tais como: visualização antecipada, permitindo a visualização em qualquer etapa do projeto; geração de desenhos 2D consistentes também para qualquer etapa de projeto, reduzindo tempo e erro na geração desses desenhos; colaboração antecipada e multidisciplinar em projeto, visto que a tecnologia BIM permite melhor controle de modificações por meio dos modelos 3D; avaliações de intenções de projeto, pois permite facilmente, por meio dos modelos 3D, quantificações de áreas e custos de um projeto, por exemplo; essa facilidade de quantificação auxilia na estimativa de custo de qualquer etapa de projeto; e, por fim, é possível vincular o modelo a ferramentas de análise energética, explorando, com isso, sua eficiência energética e sustentabilidade.

Em relação à construção, os benefícios possibilitados pelo BIM são: sincronia de projeto e planejamento da construção, pois é possível vincular o planejamento a objetos 3D; detecção de interferências, visto que todos os sistemas e disciplinas podem ser comparados; facilitação da utilização em conjunto de projetos, trazendo uma rápida resolução de possíveis problemas de projeto ou execução; além disso, é possível o uso do modelo de projeto como base de elementos fabricados, possibilitando técnicas de construção enxuta e maior sincronia entre aquisição de materiais de projeto e a construção. No pós-construção, o BIM pode auxiliar no gerenciamento e operação das edificações bem como na integração desses sistemas.

3.3 DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO

Apesar das muitas vantagens na implementação do BIM, como as citadas anteriormente, muito se discute também sobre os desafios que podem ser enfrentados com a adoção desta tecnologia. Eastman et. al. (2014) destacam alguns pontos a serem observados quanto à implementação do BIM, alguns deles são: métodos de colaboração entre as equipes, o autor cita aspectos

culturais, como profissionais que trabalham com desenhos em papel, além da utilização de diferentes ferramentas de modelagem; implantação de um modelo de construção compartilhado; substituição do ambiente 2D ou 3D pelo sistema BIM (que pode demandar desenvolvimento de equipes de implantação bem como a utilização de um plano de introdução à tecnologia).

Outros pontos são levantados por Carvalho (2019) como o custo de implantação de uma infraestrutura preparada para o desenvolvimento de projetos em BIM. O autor cita que a implementação do BIM pode demandar novos computadores, licenças de *softwares*, rede com uma maior velocidade de transmissão de dados além de investimentos em treinamentos da equipe. Aspectos que podem causar problemas no orçamento de pequenos escritórios. Outro ponto citado é a resistência à mudança que pode haver por parte dos profissionais.

A fim de contornar essas situações, bem como estimular a adoção da tecnologia BIM em territórios nacionais, o Governo Federal, por meio do decreto nº 9.983 de 17 de maio de 2018, instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* no Brasil, conhecida como Estratégia BIM BR. O decreto tem a finalidade de promover um ambiente de investimento e disseminação do BIM no Brasil. Como principais objetivos o decreto traz: difundir o BIM e seus benefícios; coordenar a estruturação do setor público para a adoção do BIM; criar condições favoráveis para o investimento, público e privado, em BIM; estimular a capacitação em BIM; propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e as contratações públicas com uso do BIM; desenvolver normas técnicas, guias e protocolos específicos para adoção do BIM; desenvolver a Plataforma e a Biblioteca Nacional BIM; estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM; e incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade BIM.

3.4 BIM E A MODELAGEM PARAMÉTRICA

Segundo Santos (2012) a presença de objetos em 3D não é de fato obrigatória para caracterização de um modelo BIM, porém, em aplicativos de projetos BIM,

a modelagem sempre se dá por meio de elementos 3D. A modelagem paramétrica, utilizada em *softwares* BIM, se diferencia da modelagem em 3D, de sistemas CAD 3D tradicionais, pelo fato de que, na modelagem com parametrização, os dados utilizados na modelagem são parâmetros e podem ser alterados. Em modelos de CAD 3D, essas mudanças não são possíveis pois, após a elaboração, não se pode alterar as dimensões de elementos, como em produtos fabricados. Uma edição realizada em um modelo parametrizado é automaticamente processada pelo sistema. E esse processo permite que se altere facilmente itens como, a dimensão de uma parede ou de um pilar em *softwares* BIM.

O autor ainda ressalta que sistemas BIM são mais modernos no quesito de parametrização pois, por meio de uma opção chamada “variacional”, é possível atribuir equações a determinados parâmetros, podendo-se, dessa forma, fazer, por exemplo, com que a área de janela de um cômodo seja adotada em função de sua área de piso. É possível, ainda, obter tabelas e desenhos dos modelos 3D, bem como outros fatores, citando-se, como exemplo, volume de concreto necessário.

3.5 INTEROPERABILIDADE

Uma característica importante do BIM é a interoperabilidade. Segundo Fabricio (2013), esse atributo garante que haja a possibilidade de compatibilidade entre modelos de vários *softwares* de diferentes especialidades. Assim, é possível que vários profissionais conversem entre si por meio da interoperabilidade em projetos.

Em seus estudos, Eastman et. al. (2014) mostram que a interoperabilidade é necessária para que seja possível a circulação de dados entre as disciplinas envolvidas. Nenhuma aplicação é capaz de suportar todas as tarefas de um projeto, sendo impossível que se trabalhe em apenas um *software*. Segundo o autor, para que seja possível colocar este atributo em prática, é necessário que se tenham modelos de dados de produtos, que são capazes de carregar informações de um *software* para outro. Um dos principais modelos de dados

utilizados na construção civil é o *Industry Foundation Classes (IFC)*, desenvolvido para indústria, projeto e ciclo de vida de construções.

Santos (2012) mostra que poucos são os benefícios alcançados com o BIM sem que haja interoperabilidade entre os envolvidos no projeto. O autor conceitua esta qualidade como a capacidade de troca de informação entre dois ou mais sistemas. Como o modelo desenvolvido pode ser utilizado durante todo o ciclo de vida da edificação e, além disso, pode ser aplicado por profissionais ligados ao empreendimento, é de fundamental importância que haja a troca de dados entre *softwares*. A interoperabilidade passa tanto por acessar como por modificar elementos do modelo. Dessa forma, a modificação em uma disciplina pode ser facilmente repercutida em outras envolvidas.

3.6 BIM NA ELABORAÇÃO DE PROJETOS

Como pode ser visto até aqui, a tecnologia BIM, através de conceitos como modelagem paramétrica e interoperabilidade, oferece importantes ferramentas para melhorias no que diz respeito à qualidade da informação no processo de projetos na construção civil. Conforme Eastman et. al. (2014), por meio de *softwares* que facilitam o detalhamento de modelos de uma edificação, disponibilidade de informação, facilidade de integração de ideias e realimentação a partir de análises, o BIM facilita o direcionamento de esforços para a concepção de projeto. O autor lista alguns outros benefícios que são: consistência entre desenhos e relatórios bases para análises, simulações e custos; e melhor visualização em todas as fases de projeto.

Eastman et. al. (2014) ainda continuam a análise da melhoria que o BIM proporciona na elaboração de projetos passando por quatro pontos: anteprojeto, projeto e análise dos sistemas prediais, desenvolvimento de informação para execução e integração de projeto, e construção. Quanto ao primeiro ponto, ele esclarece que o BIM possibilita uma rápida tomada de decisão na fase inicial de projeto devido ao embasamento oferecido por meio de limitações de custos, espaços, limitações ambientais e cronogramas, por exemplo. Em relação ao segundo ponto, muitos aspectos funcionais como integridade estrutural, controle

de temperatura, eficiência energética e consumo de água podem ser abordados e debatidos por meios de *softwares* BIM, havendo, dessa forma, uma integração dos profissionais inseridos nessa fase de projeto. Os *softwares* BIM oferecem, também, meios para agilizar e melhorar a qualidade da geração de documentação padrão; em relação a isto, o autor chama a atenção para a mudança no produto primário da geração de documentos pois, há uma tendência de que o próprio modelo de construção se bastará como base legal para a documentação do edifício. Por último, é possível, por meio do BIM, integrar os processos de projeto e construção, o que pode proporcionar uma rápida execução.

Santos (2012) afirma que, apesar de ser inegável que o BIM traz benefícios amplos e variados, não é apenas a compra de um *software* que garante as vantagens. É necessário que se planeje a forma de implantação da tecnologia no empreendimento para que sua utilização seja de fato benéfica. O autor lista inúmeros benefícios para as mais variadas áreas de projeto. Os principais para arquitetos são: estudos de massa (como volumetria da edificação em si); estudo de alternativas de projetos que, devido à facilidade, pode ser estendido para a avaliação de várias soluções; outras análises preliminares podem ser feitas como insolação e desempenho energético; correções automáticas a partir de alterações feitas; produção de documentos; facilitação da comunicação com clientes e demais membros inseridos no desenvolvimento. Para os demais projetistas, os benefícios levantados pelo autor são: informações em 3D que facilitam o desenvolvimento de projetos; disponibilidade de representação 3D; facilidade de integração entre as demais disciplinas; e também a geração de documentação.

3.7 BIM NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Constata-se que muitos são os benefícios que o BIM pode trazer na fase de processo de projeto. Desde a sua concepção até a elaboração dos documentos, passando pela interoperabilidade proporcionada pelos *softwares*, o BIM se mostra útil em várias etapas de desenvolvimento de uma edificação. Eastman et. al. (2014) ressaltam a importância da utilização do BIM na indústria da

construção, pois a ferramenta pode trazer redução de tempo e economia de recursos, bem como diminuição das chances de erros e conflitos. Para que isso seja possível, é interessante que construtores e clientes antecipem sua participação no desenvolvimento da edificação. Um exemplo que o autor mostra é quando há uma coordenação ativa do construtor, e isso se alcança quando todos os projetistas são envolvidos no processo e utilização do modelo de projeto. Por meio dessa prática, é possível a detecção de conflitos ainda na etapa de projeto, evitando que se tornem problemas maiores no canteiro de obras. Além disso, algumas informações extraídas do BIM podem ser de grande valia para os construtores, e algumas delas são: informações detalhadas da edificação e componentes temporários (como fôrmas), especificações dos componentes utilizados, dados de desempenho energético, além de relatórios do processo de construção.

Santos (2012) cita que, para que o modelo seja melhor aplicado pelos construtores, é ideal que se dividam os componentes de acordo com o cronograma de sua execução, além de acrescentar elementos temporários (como formas ou guias). O autor lista ainda alguns benefícios da utilização do BIM nessa fase, sendo eles: possibilidade de maior uso de elementos pré-fabricados; planejamento da construção; antecipação do consumo de materiais, mão de obra e equipamentos; visualização de detalhes complexos por meio de elementos 3D; projetos compatibilizados e livres de interferência; respostas mais rápidas quando houver necessidade de alterações; melhorias na segurança no canteiro, visto que é possível antecipar situações de risco; melhoria no processo construtivo; geração de *as-built*, pois o modelo atualização permite facilmente a emissão desse documento; e, por fim, aumento da produtividade em campo.

4. RELAÇÃO ENTRE ESTRUTURA E ARQUITETURA

De acordo com Rebello (2000) uma solução estrutural adequada é aquela que melhor atende a uma lista de pré-requisitos, que podem ser em relação à facilidade de construir, custos envolvidos, padrões estéticos, entre outros. A solução escolhida pode ser a que mantém o equilíbrio entre as necessidades levantadas, ou a que melhor atende uma delas, de acordo com o grau de relevância dado pelos profissionais envolvidos. De acordo com o autor, o ato de conceber uma estrutura está intrínseco no desenvolvimento de uma forma. Em outras palavras, a elaboração de uma arquitetura se desdobra, também, no pensamento sobre sua sustentação. Porém, não é raro encontrar profissionais que, ao projetar uma arquitetura, não se atêm a uma solução estrutural, terceirizando essa função a outro profissional, o que pode acarretar desentendimentos entre arquitetura e estrutura.

Em outra publicação, Rebello (2007) nos traz algumas ideias sobre conceitos e considerações para lançamentos estruturais (em concreto armado) sobre projetos arquitetônicos. Em primeiro lugar, o autor define lançamento estrutural da seguinte maneira: locação de peças estruturais (pilares, vigas, lajes etc.) de forma que o modelo estrutural suporte as cargas solicitantes sem que afete esteticamente a arquitetura da edificação. São expostas, também, questões a respeito da importância da concepção arquitetônica alinhada à estrutura. Sobre isso é dito que uma arquitetura que engloba o pensamento estrutural permite que ambas as disciplinas não se prejudiquem, evitando que a estrutura seja forçada a se adequar à demanda arquitetônica ou, ainda, que se abra mão de atributos estéticos ou funcionais em função da necessidade estrutural.

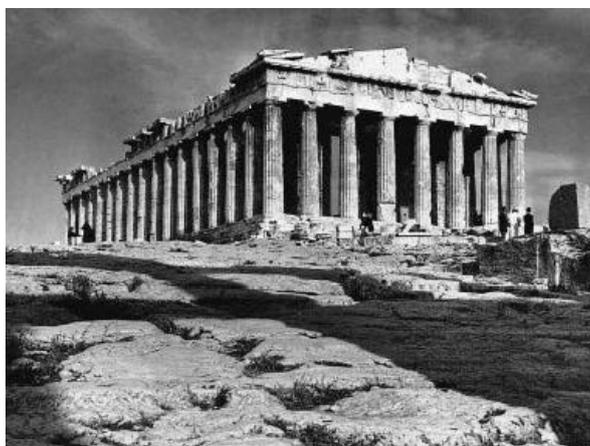
Macdonald (2001) apresenta para discussão duas importantes relações no campo do desenvolvimento de projetos. Uma delas diz respeito à maneira que arquiteto e engenheiro lidam durante o desenvolvimento do projeto, havendo dois extremos, um em que o arquiteto desenvolve a forma da edificação sozinho, enquanto o engenheiro se concentra apenas na parte estrutural, e a outra se resume na atuação do engenheiro de maneira solo, sendo ele responsável pela determinação do formato da construção (e toda a parte arquitetônica) além de pensar na estrutura. O autor relata que o ponto médio entre os dois extremos é

a colaboração do arquiteto e do engenheiro estrutural em todas as etapas de desenvolvimento de ambos os projetos.

A segunda relação que o autor se propõe a discutir é sobre a estrutura e arquitetura. São elencados dois extremos para essa relação onde, em um deles, a arquitetura é completamente dominada pela estrutura, enquanto que no outro há uma imposição das demandas arquitetônicas (tais como formato, funcionalidade e estética) sobre as necessidades estruturais. A discussão é pautada em seis tópicos listados entre os dois extremos, sendo eles: a ornamentação da estrutura, estrutura como ornamento, estrutura como arquitetura, estrutura gerando o formato ou estrutura aceita, e estrutura ignorada. A seguir são expostos cada um dos tópicos.

a) Ornamentação da estrutura: nesse primeiro conceito, as edificações são concebidas pensando-se mais na estrutura do que em seu aspecto visual. A consequência disso é que as formas das construções são determinadas pelas estruturas. Para isso, a estrutura molda a forma da edificação, seus componentes não são locados para fins estruturais apenas, mas sim, estéticos. Com isso, as construções que apresentam essa característica, podem estar superdimensionadas estruturalmente, pois, pilares são concebidos visando à estética, e não o desempenho estrutural. O autor exemplifica essa vertente com várias construções, uma delas é o *Parthenon*, construído na Grécia (Figura 4).

Figura 4: Parthenon, Grécia



Fonte: MACDONALD (2001)

b) Estrutura como ornamento: nessa categoria, a relação entre arquitetura e estrutura envolve a manipulação dos elementos estruturais com critérios estéticos. A estrutura é tratada não só com critérios que avaliam a concepção estrutural como também com parâmetros estéticos e visuais. Nesse ponto que se encontra a diferença entre este conceito e o primeiro, pois, na ornamentação da estrutura, ela é concebida com aspectos técnicos e a forma da edificação é obtida a partir da estrutura; neste caso, os elementos estruturais têm finalidade não só técnica como estética. Conseqüentemente, o desempenho estrutural dessas construções pode ser menor que os ideais. Essa categoria pode ser ramificada em três classes: na primeira, a estrutura é utilizada simbolicamente (a aparência das construções é associada à imagem de progresso, um futuro dominado pela tecnologia; os resultados estruturais não apresentam bom desempenho do ponto de vista técnico); na segunda, tem-se destacada a exposição da estrutura de forma espetaculosa, gerando soluções desnecessárias do ponto de vista estrutural, mas que atendem as demandas estéticas do projeto; na última divisão, apresentam-se construções em que a estrutura é tratada de forma que a produção do edifício leva a uma ideia de tecnologia, mas que contrasta com os aspectos visuais. Um exemplo dessa relação pode ser visto na entrada da sede do banco Lloyd, Londres, Inglaterra, em que as curvas da estrutura metálica são utilizadas com finalidade estética (Figura 5).

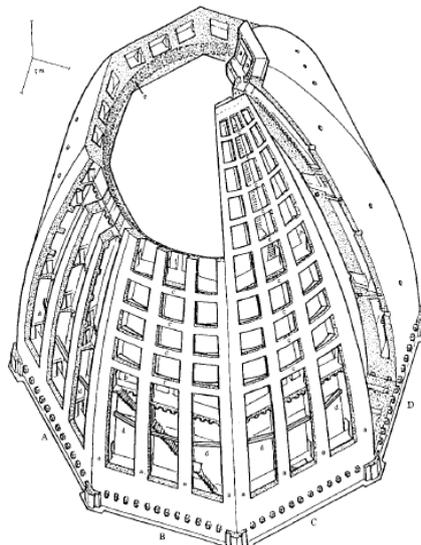
c) Estrutura como arquitetura: a terceira relação entre estrutura e arquitetura é a utilização da estrutura como arquitetura em si. Historicamente, os exemplos dessa categoria passam pelos iglus, outro exemplo é a Cúpula da Catedral de Florença (Figura 6), onde a estrutura da edificação é a própria arquitetura. Essa relação se divide ainda em edificações com grandes extensões estruturais (marcadas pelo fato de que, de acordo com o tamanho da extensão, as considerações técnicas são tão importantes que podem prejudicar o tratamento estético da edificação), estruturas muito altas (onde, devido às cargas verticais e a ação do vento, a necessidade de uma estrutura robusta pode ser um problema para aliar estrutura e arquitetura) e estruturas leves e portáteis (que, por conta das necessidades técnicas, há uma sobreposição dessas necessidades em relação à arquitetura).

Figura 5: Entrada da sede do banco Lloyd, Londres, Inglaterra



Fonte: MACDONALD (2001)

Figura 6: Cúpula da Catedral de Florença



Fonte: MACDONALD (2001)

d) Estrutura gerando o formato ou estrutura aceita: nesse caso os requisitos estruturais influenciam de forma marcante a arquitetura. Mesmo nos casos em

que o suporte estrutural fique escondido, o formato da edificação acaba sendo influenciado pelas necessidades da estrutura. A relação pode se dividir em casos em que a estrutura gera formas que contribuem para o desenho arquitetônico e em casos em que o formato da edificação é planejado para atender às solicitações estruturais, deixando os critérios arquitetônicos com menores prioridades. Exemplos dessa aplicação podem ser encontrados em construções da Roma Antiga (Figura 7).

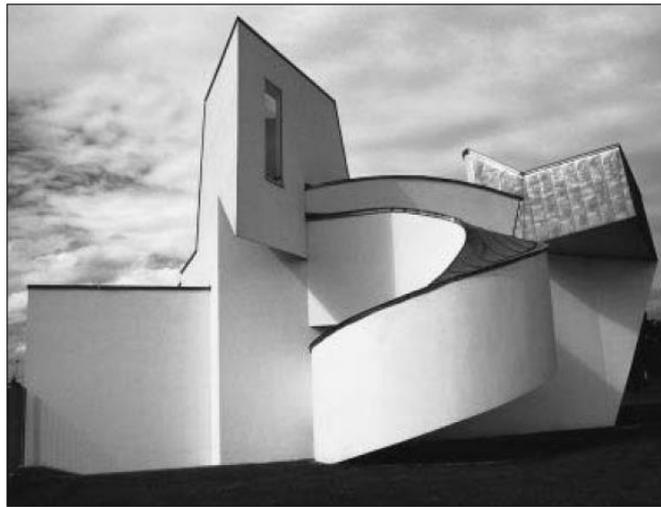
Figura 7: Panteão (Roma)



Fonte: MACDONALD (2001)

e) Estrutura ignorada no processo de concepção arquitetônica: essa relação é marcada pela implementação do concreto armado na construção civil, constituindo-se um fator que, aliado à melhoria contínua dos materiais utilizados nas estruturas de edificações, leva a uma imensa liberdade de criação aos arquitetos. Outro fator que contribui para essa liberdade é a introdução de programas computacionais que auxiliam no cálculo estrutural. Com isso, tem-se um pensamento arquitetônico que negligencia a estrutura, ocasionando esforços internos maiores até que externos, além de grandes e desajeitadas estruturas. Este conceito está presente na obra do Museu de Design Vitra (Figura 8).

Figura 8: Museu de Design Vitra



Fonte: MADONALD (2001)

Outra visão da relação entre a concepção estrutural e arquitetura é evidenciada por Resende (2015), que mostra conceitos e análises sobre situações em que a concepção estrutural é a via condutora para a elaboração de um projeto arquitetônico, prática essa chamada pela autora de “arquitetura vertebrada”. Um ponto levantado é que, para algumas edificações (por exemplo, arranha-céu) o arquiteto não é o profissional mais indicado para dimensionamento das peças estruturais. Por isso, quando ele é auxiliado por um engenheiro calculista de estruturas, é capaz de produzir projetos que apresentam ótimas soluções estruturais.

Resende e Veloso (2017) contribuem para o debate com o estudo que dispõe sobre o ensino e exercício da concepção estrutural integrada à disciplina de Projeto de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo 4 para alunos do curso de graduação em arquitetura nas instituições Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), durante o ano de 2015. Os critérios e etapas de avaliação foram: avaliação do plano de curso, observação das atividades da disciplina, questionários para docentes e discentes, análise geral da disciplina e análise dos projetos desenvolvidos durante a mesma. Na etapa de questionário, os autores abordaram alunos que elaboraram projetos de edificações verticais nos trabalhos aplicados e uma das questões se pautou na concepção estrutural por parte dos alunos; dos 12 alunos,

6 responderam que escolheram o sistema estrutural, 5 precisaram da ajuda do professor da disciplina e 1 aluno contou com o auxílio de demais professores. Além disso, outra questão pediu uma autoavaliação dos alunos quanto à própria concepção estrutural e, dos 12 alunos, 1 achou ruim, 5 consideraram razoável, 5 acharam que foram bem e 1 se avaliou como muito bem. Diante do estudo, em uma das conclusões, ressaltam-se pontos importantes para o ensino da concepção estrutural como: conhecimento da construção e conhecimento de diferentes métodos e materiais utilizados para estruturas.

5. ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

De acordo com Carvalho (2014) um sistema estrutural é o modo como os elementos estruturais (vigas, pilares, lajes, fundações etc.) são organizados entre si para compor uma estrutura (Figura 9). Em alguns casos, o comportamento estrutural depende do arranjo feito com os elementos, que podem ser dos mais variados materiais, sendo que os mais comuns são concreto armado, madeira e aço.

Figura 9: Sistema estrutural



Fonte: O autor, *software* REVIT (2020)

Esse autor destaca a existência de uma classificação de acordo com a maneira que a estrutura é fabricada, havendo estruturas pré-moldadas (podem ser fabricadas fora do canteiro de obras e posicionadas de acordo com projeto) e estruturas moldadas no local (como o próprio nome diz, sua execução se dá na posição que ela permanecerá, de acordo com o projeto). A principal diferença entre esses dois grupos é que a estrutura concretada no local se comporta como um elemento só (estrutura monolítica), enquanto a estrutura pré-moldada não apresenta monolitismo.

As estruturas de concreto armado, segundo Porto e Fernandes (2015), resultam da junção do emprego de concreto, que é material composto de água, cimento e agregados (areia, brita, seixos etc.), que apresenta uma considerável resistência à compressão, e de aço, que apresenta uma elevada resistência à tração (resistindo bem a momentos fletores, por exemplo). Quando colocados em contato em uma estrutura, concreto e aço se solidarizam e trabalham como material estrutural devido à aderência existente entre a superfície de ambos. Dentre os pontos positivos destacados por Carvalho (2014), no emprego dessa tecnologia, têm-se: atende à maioria das solicitações estruturais; apresenta boa trabalhabilidade, adaptando-se a várias formas; apresentam estruturas monolíticas; a técnica construtiva é dominada e difundida nacionalmente; apresenta uma duração e vida útil significativa e, também, um custo menor na maioria das situações. Em relação às desvantagens, pode-se assinalar: dificuldades em reformas; necessidade de associação com materiais que sejam isolantes térmicos e acústicos; maior peso próprio em relação a outras opções construtivas, como aço e madeira; e necessidade de peças maiores para as mesmas solicitações.

Alguns autores buscam abordagens que relacionam projeto e execução de concreto armado com a tecnologia BIM. Ribeiro e César Jr. (2019) discutem a implementação do BIM na concepção de projetos de concreto armado por meio do estudo de caso de duas edificações, um edifício residencial de múltiplos pavimentos e um edifício comercial de dois pavimentos. Os *softwares* utilizados pelos autores foram o Autodesk Revit 2016 e Robot Structural Analysis 2016. O objetivo do trabalho foi sobre, além de conceituação de modelagem, as melhores práticas para as principais etapas de um projeto estrutural em BIM, que são modelagem de objetos paramétricos, modelagem de estruturas, modelagem de armaduras e geração de peças documentais.

Em relação à modelagem paramétrica, Ribeiro e César Jr. (2019) destacaram que a adoção do BIM para projeto, construção e manutenção tende a fazer com que fabricantes de elementos pré-moldados ofereçam, em sua base de dados, catálogos convencionais de objetos paramétricos prontos para serem empregados em projetos. Os autores ainda salientam a criação de bibliotecas virtuais com objetos paramétricos. Quanto à modelagem física, os autores

destacam que o Revit atende ao papel de modelagem inicial e gerenciamento do modelo de informação da construção, principalmente para projetos de menores dimensões. Porém é imprescindível que, dependendo das exigências de projeto, a análise estrutural seja feita em *software* especializado. Assim, o projetista tem dois caminhos, no primeiro a concepção estrutural se dá no Revit, e há uma importação de elementos estruturais para o *software* de estrutura para que seja feito o dimensionamento; ou então, faz-se a importação de todos os elementos do modelo para o *software* especialista para que, até mesmo a concepção estrutural seja feita nele. Para a modelagem das armaduras, é sugerido o uso de *software* BIM especializado em análise e dimensionamento estrutural visto que, por meio de um dos estudos de caso, os autores notaram que a modelagem manual de armaduras não deve ser usual. Por fim, para a emissão de documentos, ressalta-se que, embora os *softwares* BIM ofereçam outras maneiras de representação, ainda é importante que a geração de projetos se dê pela forma tradicional de desenhos, visando a viabilidade da execução dos projetos na prática.

Por outro lado, Marsico et al (2017) estudam e acompanham uma edificação, em concreto armado, com fundação direta (Figura 10), multifamiliar de dois pavimentos a fim de comparar a compatibilização entre os projetos arquitetônico, estrutural, hidrossanitário e elétrico por meio de projetos desenvolvidos com a tecnologia BIM, bem como em projetos desenvolvidos em CAD. Os autores concluem que o atual ciclo de projeto aplica projetos 2D, que apresentam déficit de qualidade e produtividade, requerendo mudanças e evoluções mais profundas nas etapas de desenvolvimento e compatibilização de projetos. Fica claro também que o BIM potencializa a gestão de projetos pois permite a racionalização do processo de tomadas de decisão. Os autores ainda elucidam que as falhas nos processos de elaboração dos projetos muito se dão pela falta de integração entre os profissionais envolvidos. Torna-se essencial que profissionais comecem a estreitar a sua comunicação, visando, além de benefícios para os profissionais, vantagens também para os clientes.

Figura 10: Projeto estrutural em concreto armado finalizado



Fonte: Marsico et al (2017)

São Thiago (2019) aborda a importância do desenvolvimento de projetos e de sua compatibilização nas fases iniciais de uma edificação. O trabalho constitui-se de estudo de caso de uma edificação de concreto armado, com fundações diretas, de uso misto com sete pavimentos destinados a moradia e um destinado a comércio, em que a elaboração dos projetos complementares se deu durante a execução do projeto legal de arquitetura. Após a aprovação do projeto arquitetônico, houve a primeira compatibilização entre os projetos, posteriormente, uma segunda compatibilização ocorreu depois que o projeto arquitetônico executivo foi desenvolvido. A compatibilização feita pelo autor foi por meio dos projetos em 2D. É destacado que a verificação de incompatibilidades deva ser feita nas fases iniciais do processo de concepção da edificação e, também, ao longo dele. Apesar da compatibilização pelos projetos em 2D ser eficaz, segundo o autor, é imprescindível que haja uma evolução no processo para uma forma mais sistêmica, com auxílio 3D ou sistema BIM, o que possibilita uma visão mais completa dos sistemas utilizados, bem como os conflitos entre eles.

Freitas, Ávila e França (2019) destacam, em sua pesquisa sobre sistemas construtivos alternativos (o passo a passo para a análise de viabilidade completa), que o melhor momento para se avaliar a viabilidade do sistema

estrutural a ser utilizado é na fase de concepção do produto. O trabalho lista alguns pontos que devem ser considerados para se conceber um sistema estrutural com lajes planas sem vigas, que incluem estabilidade global, robustez da estrutura, arremate das portas, furos, posicionamento dos pilares etc. Quando comparada a uma solução estrutural pensada na fase de concepção, a laje lisa não se mostra vantajosa, apresentando acréscimo no consumo de concreto e aço, apesar de uma pequena redução de área de forma.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de avaliar e analisar a utilização dos conceitos descritos sobre Engenharia Simultânea e tecnologia BIM, além de outras questões como a relação entre projetos arquitetônicos e estruturais, no âmbito das obras de pequeno e médio porte, são estudados os projetos arquitetônico e estrutural de duas edificações, sendo que uma delas está em construção e a outra ainda não. Ambas possuem projetos arquitetônico e estrutural aprovados pelos clientes e estão situadas próximas à cidade de Governador Valadares, MG.

. Para isso, é avaliado o modo de interação e interoperabilidade que arquiteto e engenheiro tiveram durante a evolução da concepção e desenvolvimento dos respectivos projetos. Além disso, é estudado se houve algum elemento da Engenharia Simultânea que foi aplicado no desenvolvimento dos projetos.

A primeira edificação estudada (Edificação 1) é referente a uma obra de 347m², destinada ao uso misto. A edificação tem três andares, sendo que o pavimento térreo apresenta uma área de 118m² com um ponto comercial e uma residência. O primeiro e segundo pavimentos são destinados à moradia, contando cada um com áreas de 117m² e 112m², respectivamente. Outra característica do projeto é que ele foi elaborado por meio do *software* Revit, versão 2019.

A segunda edificação estudada (Edificação 2) é constituída de um pavimento térreo destinado a comércio, um andar destinado a uso residencial e mais um piso para terraço. A área total construída do térreo é 132m², enquanto o pavimento residencial apresenta uma área igual a 150m², o pavimento de terraço apresenta apenas um banheiro de 6,44m²; desse modo a área total construída do projeto é, aproximadamente, 288,44m². Até o momento da elaboração deste estudo, a edificação não havia sido construída, portanto, os quantitativos aqui expostos são estimados pelo *software* de cálculo estrutural Eberick.

Após definição dos projetos e classificá-los de acordo com as relações entre arquitetura e estrutura e entre arquiteto e engenheiro, o comportamento estrutural que esses projetos apresentam é analisado. Com isso, são destacadas possíveis incompatibilidades na estrutura das edificações evidenciadas, por exemplo, pela descontinuidade na própria estrutura, necessidade de vigas de

transição ou pilares com mudança de seção. Busca-se, então, a utilização de elementos do BIM como a visualização e compatibilização entre projetos, desenvolvimento de modelos 3D, integração com as disciplinas, bem como a comunicação de ideias entre os membros envolvidos, visando detectar e solucionar conflitos entre as disciplinas abrangidas pelo estudo.

Depois de realizar esse levantamento, são propostas mudanças nos projetos arquitetônico e estrutural visando criar maior harmonia entre eles, simulando uma possível solução que poderia ser criada para o caso em que elementos da Engenharia Simultânea (como a cooperação de arquiteto e engenheiro na concepção dos projetos, por exemplo) bem como do BIM (interoperabilidade, desenvolvimento de modelos 3D, modelagem parametrizada), estivessem sendo aplicados desde o início da concepção dos projetos. Essas alterações podem propiciar conservar ao máximo os aspectos arquitetônicos como funcionalidade e estética.

Ao executar as mudanças propostas na concepção arquitetônica, é feita uma readequação da estrutura e, a partir desse ponto, a estrutura é reprocessada com auxílio do *software* Eberick para que se possa analisar a nova solução estrutural. Novamente é feita a análise de conflitos entre as disciplinas. Diante dos resultados, são feitos comparativos e analisa-se se houve melhoria em algum aspecto da estrutura (comportamento estrutural e consumo de material).

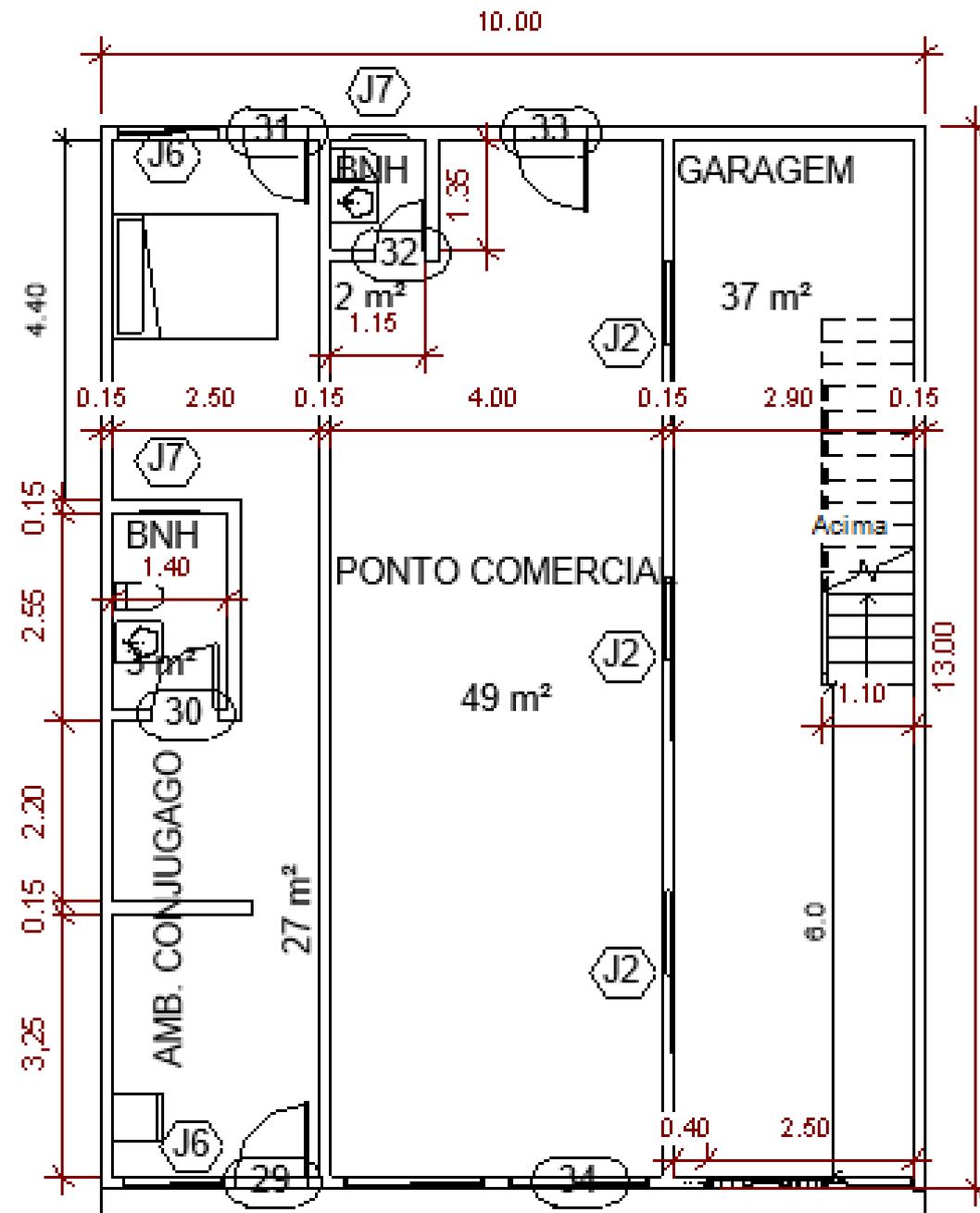
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro estudo de caso é tratado de Edificação 1, enquanto o segundo estudo é tratado de Edificação 2. Os projetos são descritos na sequência, sendo que a solução 1, de cada caso, foi desenvolvida de modo a atender o projeto existente. A solução 2, de ambos os casos, é concebida visando uma melhor interação entre estrutura e arquitetura.

7.1 ESTUDO DE CASO 1 – EDIFICAÇÃO 1

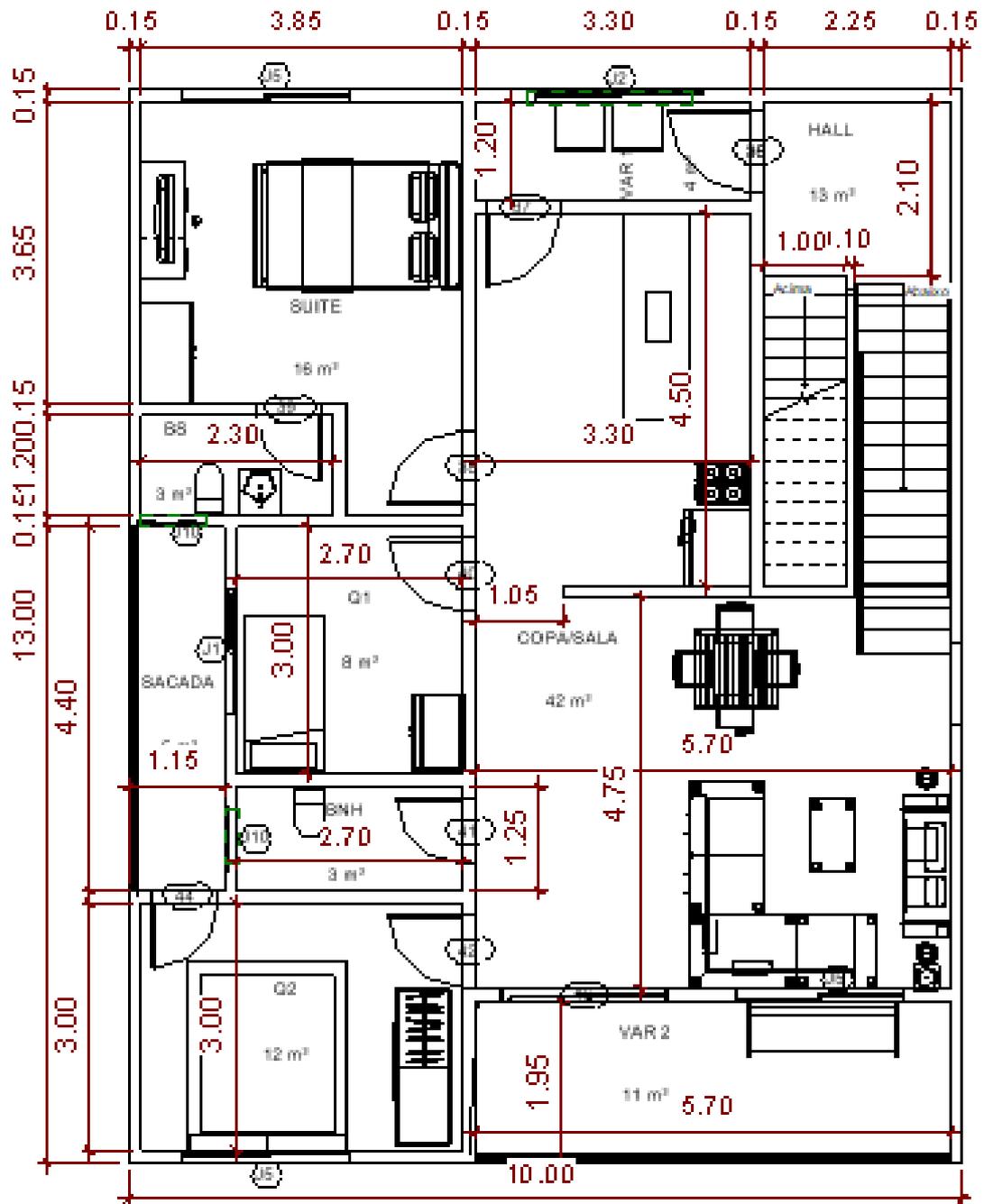
Na Edificação 1, o projeto arquitetônico (Figuras 11, 12, 13 e 14) foi desenvolvido antes da estrutura, sem que houvesse qualquer participação do engenheiro estrutural em sua concepção. Após a arquitetura ser elaborada, o projeto foi encaminhado ao engenheiro estrutural. Somente a partir desse ponto houve contato deste profissional com a arquitetura e o projeto estrutural foi elaborado de forma a atender as solicitações arquitetônicas.

Figura 11: Pavimento Térreo da Edificação 1 (medidas em m)



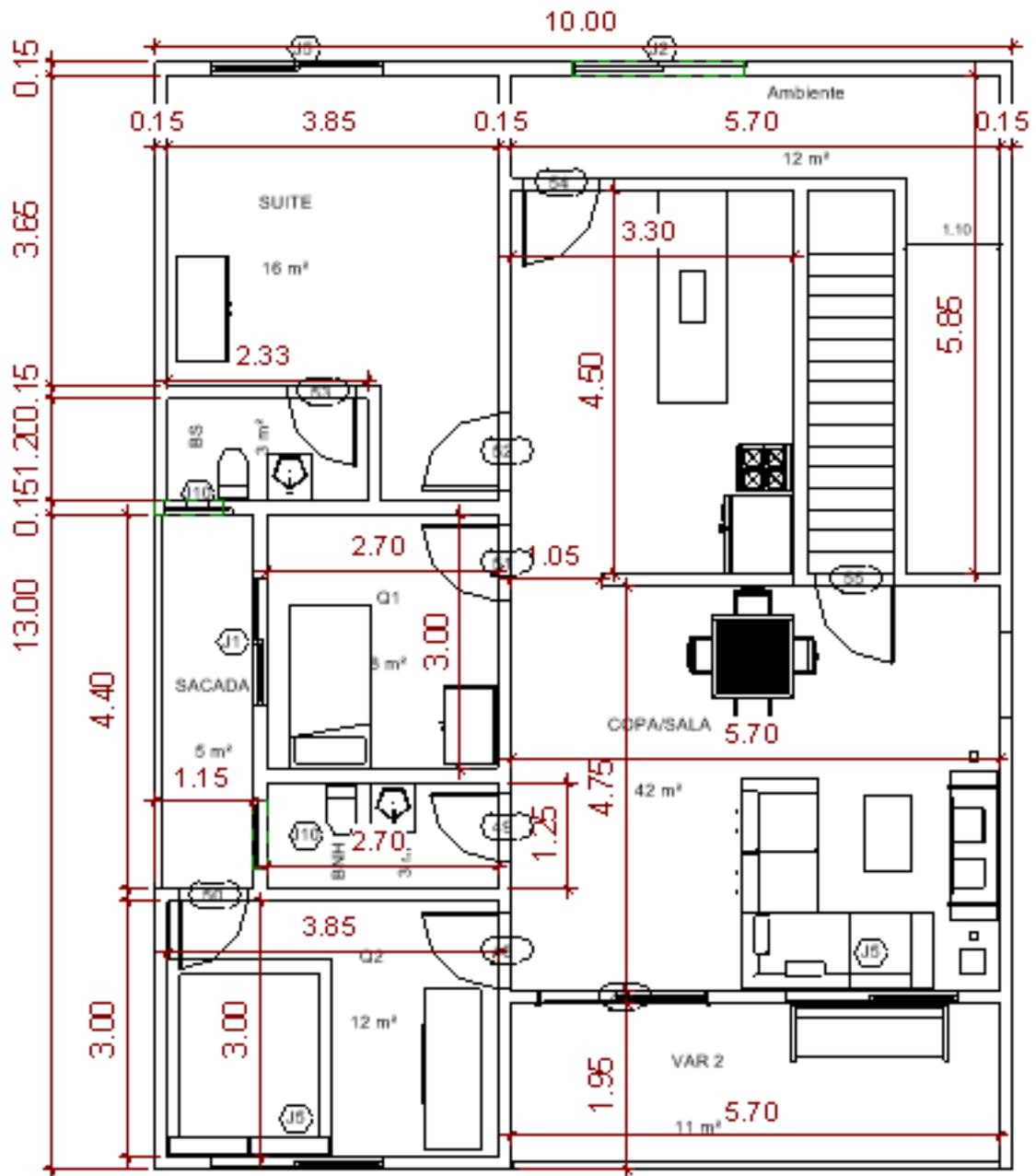
Fonte: O autor, software REVIT (2020)

Figura 12: Primeiro Pavimento da Edificação 1 (medidas em m)



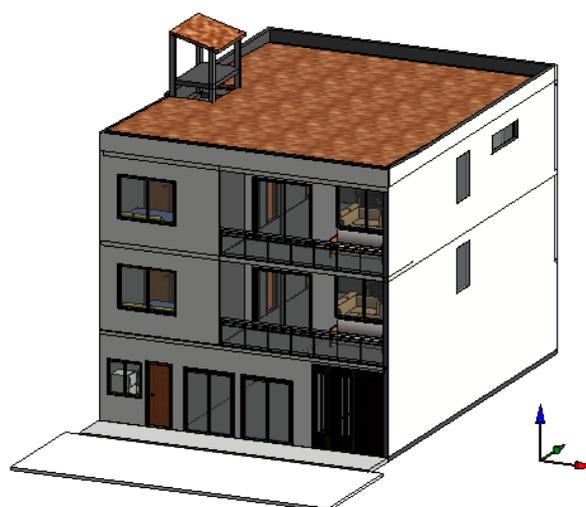
Fonte: O autor, software REVIT (2020)

Figura 13: Segundo Pavimento da Edificação 1 (medidas em m)



Fonte: O autor, software REVIT (2020)

Figura 14: Arquitetura da Edificação 1



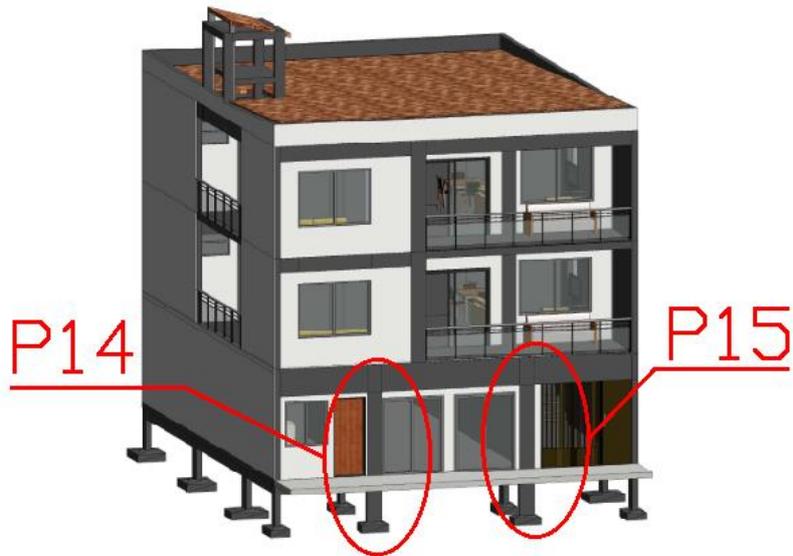
Fonte: O autor, *software* REVIT (2020)

Após contato com a arquitetura, a solução 1 da estrutura da edificação foi concebida de forma a atender critérios arquitetônicos, funcionais e econômicos; bem como demandas normativas, como as descritas nas normas NBR 15575-2 (2013), NBR 6118 (2014), NBR 6120 (2019), NBR 6122 (2019). A etapa de concepção estrutural, inicialmente, não contou com a participação do arquiteto, sendo elaborada somente pelo engenheiro responsável pelo projeto.

Diante do que foi descrito sobre a relação entre profissionais envolvidos, pode-se classificar a relação entre estrutura e arquitetura, de acordo com Macdonald (2001), como sendo a da estrutura ignorada no processo de concepção arquitetônica, ou seja, a estrutura não foi considerada para efeitos estéticos e funcionais. E a relação entre profissionais responsáveis pela arquitetura e pela estrutura foi aquela em que o arquiteto é responsável pelos aspectos estéticos e funcionais, enquanto o engenheiro cuida da parte estrutural da edificação. É possível dizer ainda que, de acordo com Pedrini (2012), foi utilizado o processo sequencial de projeto.

Alguns aspectos dessa relação entre estrutura e arquitetura pode ser observado na Figura 15, em que é possível notar a descontinuidade da estrutura, de forma que os pilares P14 e P15 (Figura 15 e 17) começam na fundação e não vão até a cobertura, parando no nível +300cm.

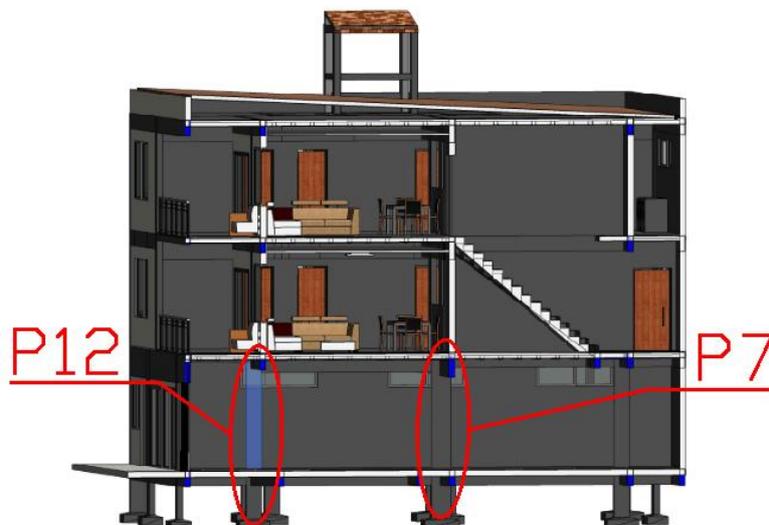
Figura 15: Compatibilização entre estrutura e arquitetura



Fonte: O autor, *software REVIT* (2020)

Embora não houvesse contato entre os profissionais na elaboração e concepção dos projetos, foi realizada a compatibilização da estrutura e arquitetura, por meio do *software Revit*, versão 2020, como se pode observar, nas Figuras 15 e 16. A análise de compatibilização mostrou algumas incompatibilidades sendo que a principal foi o conflito entre os pilares P7 e P12 e algumas janelas (Figuras 16 e 17). Após notar esses problemas, foi sugerida, ao responsável pelo projeto arquitetônico, a mudança de localização das janelas, visando à continuação da prumada dos pilares. Essa modificação foi acatada.

Figura 16: Incompatibilidade entre pilares e janelas



Fonte: O autor, *software REVIT* (2020)

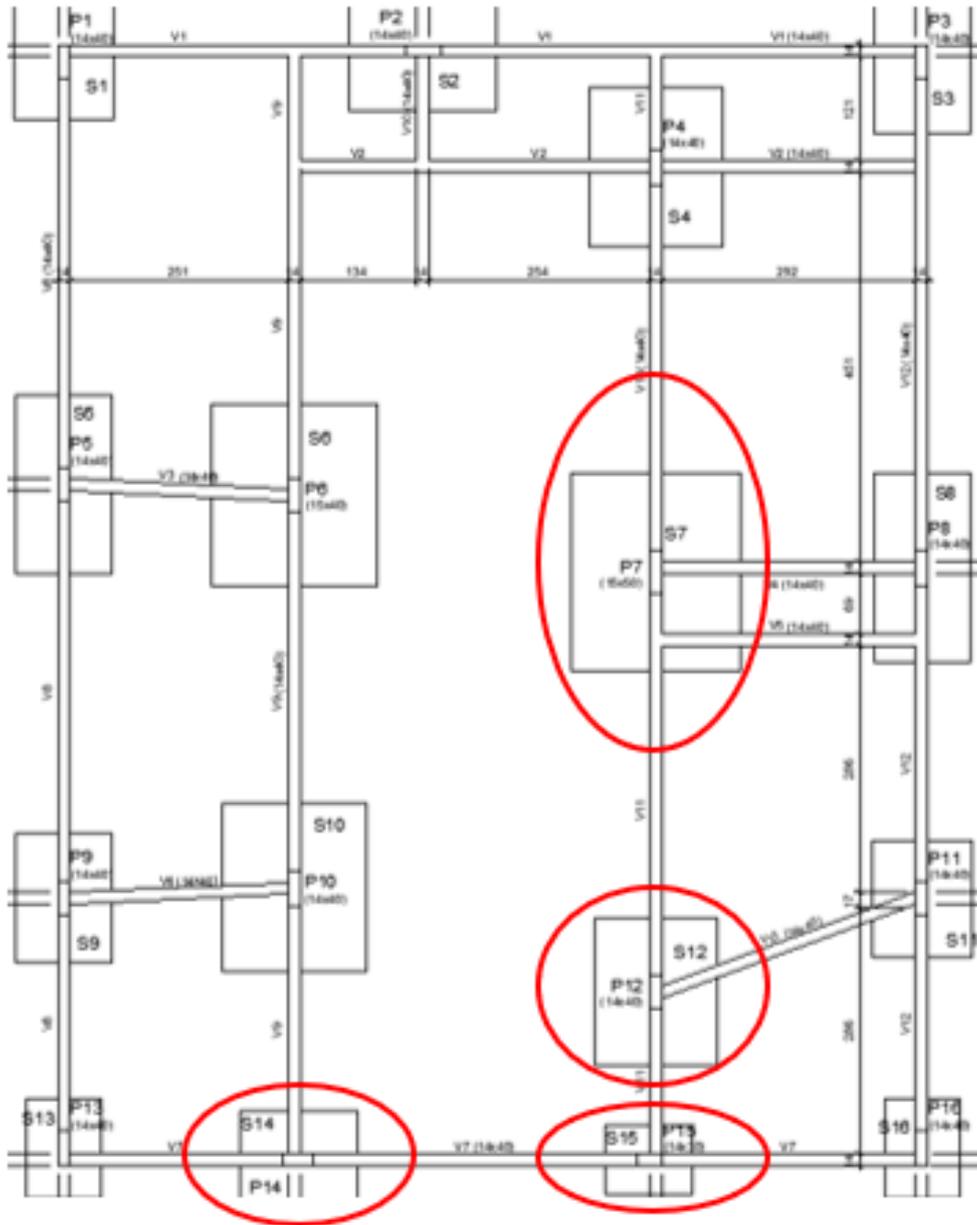
Resolvidas essas incompatibilidades, a estrutura foi calculada com auxílio do *software* Eberick (2020) para que a solução desenvolvida pudesse ser analisada, apresentando-se a solução 1 para a estrutura.

Na análise da solução 1, alguns aspectos podem ser evidenciados, como por exemplo o quantitativo de materiais. Por meio dos dados da Tabela 1, nota-se que a quantidade prevista total de aço foi de 6953,66kg. Em relação ao consumo de concreto, o projeto apresentou um total calculado de 81,56m³ e a quantidade de forma estimada por projeto foi de 711,58m².

A fim de traduzir esses quantitativos em custos, foram utilizados alguns valores de acordo com a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, ou, SINAPI (Custo referente à composição sintética para MG, novembro de 2020, não desonerado; CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2020). Para o concreto, o insumo 949 (CONCRETO FCK = 25MPa, TRAÇO 1:2,3:2,7 (CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_07/2016) foi utilizado e esse insumo apresenta custo de R\$350,66 para cada metro cúbico de concreto e, para o total necessário de material, o custo é de, aproximadamente, R\$ 28.599,83. Buscando uma uniformização no valor de armação, foi utilizado o insumo 92762 (ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0MM - MONTAGEM. AF_12/2015), que apresenta custo unitário por quilograma de R\$10,91, e o total para esse material foi de R\$75.864,43. Utilizando o insumo 92265 (FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA VIGAS, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17MM. AF_09/2020), de valor unitário de R\$72,41 por metro quadrado, pode-se orçar o custo total de forma em R\$51.525,51. Somando os três materiais, chega-se a um montante total de R\$155.989,77 para executar a estrutura para essa solução.

Além disso pode-se retirar alguns dados de esforços do modelo estrutural elaborado. Começando pela fundação, é possível observar, por meio da Tabela 2, que as sapatas mais carregadas são as sapatas S6 e S7 (Figura 17) com 47,89tf e 52,55tf de carga concentrada, respectivamente. A localização de cada peça da fundação pode ser vista por meio da Figura 17. Assim, tem-se que as sapatas mais carregadas são referentes a pilares intermediários.

Figura 17: Locação Sapatas do projeto 1, solução 1



Fonte: O autor, software Eberick (2020)

Tabela 1: Materiais para a estrutura do projeto 1, solução 1

Nível +00														
Fundação			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
1039,2	13,21	47,57	344,5	5,39	90,46							1383,7	18,6	138,03
Nível +300														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
649,5	2,69	51,66	644	7,25	117,32	576,3	9,18		166,5	1,97	16,63	2036,3	21,09	185,61
Nível +600														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
481,3	2,69	51,84	498,4	6,5	106,13	757,1	9,17		41,7	1,05	10,4	1778,5	19,41	168,37
Nível +900														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
365,1	2,69	51,84	432,1	6,13	100,24	689,56	9,63					1486,76	18,45	152,08
Nível +1050														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
121,7	1,09	21,78	138,4	2,7	45,71	8,3	0,22					268,4	4,01	67,49
			TOTAL			Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)						
						6953,7	81,56	711,58						

Fonte: O autor (2020)

Tabela 2: Carga das Sapatas do projeto 1, solução 1

Nome	Carga (tf)
S1	17,17
S2	28,27
S3	20,54
S4	32,42
S5	26,15
S6	47,89
S7	52,55

Fonte: O autor (2020)

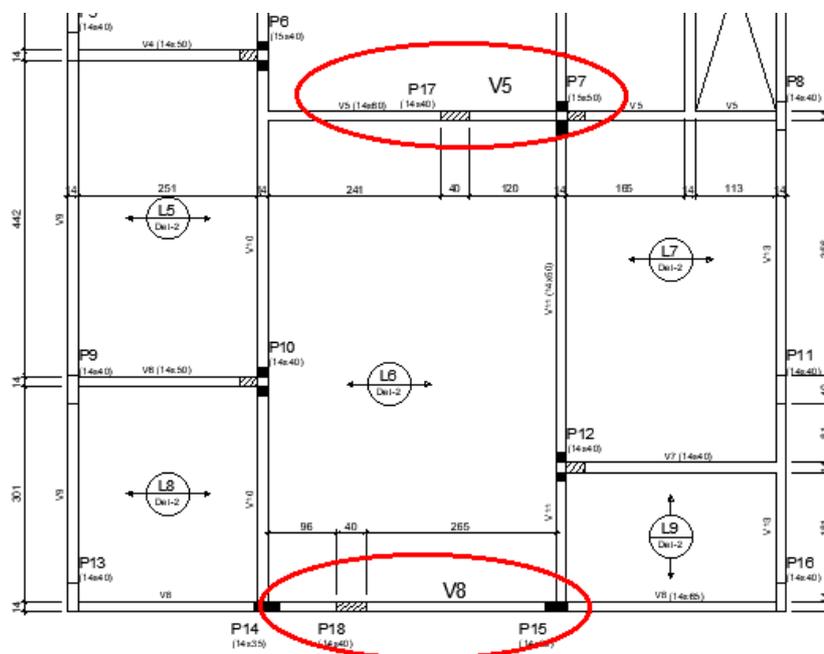
Por meio do modelo estrutural moldado pode-se avaliar, também, quais foram as vigas mais solicitadas de toda a estrutura da edificação. As vigas V5 e V8 (Figura 18), situadas no nível de +300cm, apresentaram solicitações devido aos momentos fletores de 8,56 e 9,38tf*m cada uma. É possível analisar os momentos fletores solicitantes das demais vigas desse pavimento na Tabela 3.

Além disso, ainda pode-se analisar os esforços máximos que cada viga recebeu. Outro dado relevante apresentado na Tabela 3 são as seções das vigas.

Um detalhe sobre as vigas V5 e V8 é que ambas apresentam um pilar nascendo em sua seção. As cargas pontuais dos pilares descarregadas diretamente nas vigas ocasionam momentos fletores com valores que destoam das vigas que não estão submetidas a esta carga. O resultado é que, enquanto a média dos momentos fletores entre as vigas é de 3,93tfm, a viga V5 apresenta momento fletor aproximadamente 218% maior que a média, enquanto a viga V8 apresenta momento 239% maior que a média.

Nota-se que a viga V8 é a que está submetida ao maior momento fletor, cujo valor está ainda mais além da média das demais vigas. Esse tipo de esforço requer uma maior área de aço da seção de concreto armado e ainda uma maior altura desse elemento estrutural, podendo deixar a estrutura antieconômica além de prejudicar a estética e funcionalidade arquitetônica devido à maior seção da viga.

Figura 18: Vigas V5 e V8, nível +300cm do projeto 1, solução 1 (medidas em cm)



Fonte: O autor (2020)

Tabela 3: Dados de consumo das vigas do projeto 1, solução 1

Viga	Carga máxima (tf/m)	Momento Fletor Máximo (tfm)	Seções das Vigas (cm)	Área de aço - As (cm ²)
V1	2,62	3,82	14x60	1,62
V2	1,79	1,15	14x40	0,84
V3	11,36	3,43	14x40	2,36
V4	3,12	3,59	14x50	1,88
V5	3,07	8,56	14x60	3,87
V6	2,58	3,01	14x50	1,56
V7	1,11	1,37	14x40	0,90
V8	1,46	9,38	14x65	3,86
V9	1,29	1,56	14x40	1,03
V10	4,99	5,59	14x60	2,41
V11	6,4	3,53	14x50	1,88
V12	0,48	1,09	14x40	0,84
V13	2,58	5,03	14x55	2,39

Fonte: o autor (2020)

A fim de reduzir os momentos fletores, bem como as armações utilizadas na viga, foram sugeridas mudanças de forma que a arquitetura e estrutura se relacionassem melhor, buscando colocar a interação entre disciplinas em prática, além de melhorar a integração entre profissionais (fatores da Engenharia Simultânea e da tecnologia BIM) e, também, gerar um resultado mais econômico. O *software* BIM Revit foi fundamental para essa mudança pois permitiu, por meio dos aspectos de representação 3D, a visualização do problema, bem como uma rápida solução. Além disso, como o programa permite compatibilização das disciplinas, é possível que as análises sejam feitas em conjunto por ambos os profissionais, permitindo mais integração e dinamismo ao projeto. Dessa forma, por meio da Figura 19, pode-se notar que a mudança sugerida e discutida com o profissional da arquitetura, e posteriormente acatada em ambos os projetos, é em relação ao acesso ao ponto comercial da edificação.

Na solução arquitetônica inicialmente proposta, o acesso era por meio de duas portas de 1,70m x 2,10m; com a modificação, o acesso passou a ser por uma porta de 2,20m x 2,10m. Com a solução 2 os pilares P14 e P15 (Figura 15) se transformaram em um só pilar (P14, Figura 19) que começa na fundação e termina na cobertura, ou seja, prumadas constantes de pilar.

Figura 19: Compatibilização do projeto 1, solução 2



Fonte: O autor, *software* REVIT (2020)

Após a mudança, a viga V8 deixou de ser uma viga de transição, pois não existem pilares nascendo na viga, visto que o P14 (Figura 19) passou a ser um pilar que nasce na fundação e vai, continuamente, até a cobertura. Diante desse fato a viga V8 passou a ser menos solicitada por momento fletor, como pode ser notado por meio da Tabela 4; a solução atual (com as modificações propostas) apresenta momento fletor cerca de 78% menor que o da solução anterior. Essa diferença impacta também na seção de aço (A_s) utilizada na viga. O valor de aço necessário para resistir ao momento fletor teve uma redução de 72% em relação à solução anterior. Além disso, também houve uma redução na altura da viga que, anteriormente, era de 65cm e depois passou para 50cm. Ou seja, a viga tinha um consumo de 0,91m³ de concreto e 14,40m² de forma, e passou a ter um consumo de 0,49m³ de concreto e 8,38m² de forma.

Trazendo esses valores para a verificação do custo financeiro de materiais, de acordo com a tabela SINAPI (Custo referente à composição sintética para MG, novembro de 2020, não desonerado; CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2020),

utilizando o insumo 94965, para essa viga, após as modificações, nota-se que houve uma economia de, aproximadamente, R\$145,09 para o concreto e, para as formas da viga, utilizando o insumo 92265, a economia foi próxima de R\$435,91; em relação à armação, foi utilizado o insumo 92762, visando padronizar os custos, e, por este insumo, houve uma economia de R\$278,21. Ou seja, apenas por uma alteração, auxiliada pelo BIM, foi possível uma melhor integração entre projeto arquitetônico a estrutural, além de melhorar a relação entre projetistas, bem como aplicar princípios da Engenharia Simultânea. No total, a economia gerada em uma peça estrutural foi de R\$859,21.

Analisando a edificação como um todo, para essa solução, pode-se extrair, também, o quantitativo de materiais. Conforme Tabelas 4 e 5, é possível perceber que o consumo de aço diminuiu de 6953,66kg para 6776,6kg; a quantidade de concreto reduziu de 81,56 m³ para 80,64m³; em relação às formas, houve uma redução de 711,58 m² para 697,79m².

Tabela 4: Dados de consumo das vigas do projeto 1, solução 2

Viga	Carga máxima (tf/m)	Momento Fletor Máximo (tfm)	Seções das Vigas	Variação do Momento (%)	Área de aço - As (cm ²)	Variação de As (%)
V1	2,89	3,24	14x50	-15%	1,69	4%
V2	1,79	1,18	14x40	3%	0,84	0%
V3	11,36	3,38	14x40	-1%	2,32	-2%
V4	3,64	3,96	14x50	10%	2,08	11%
V5	3,2	8,48	14x60	-1%	3,83	-1%
V6	4,29	3,56	14x50	18%	1,9	22%
V7	4,59	1,27	14x40	-7%	0,84	-7%
V8	2,04	2,09	14x50	-78%	1,07	-72%
V9	1,28	1,57	14x40	1%	1,03	0%
V10	4,84	4,82	14x50	-14%	2,56	6%
V11	8,98	3,57	14x50	1%	1,91	2%
V12	0,47	1,08	14x40	-1%	0,84	0%
V13	2,59	5,08	14x55	1%	2,41	1%

Fonte: O autor (2020)

A fim de melhorar os parâmetros de comparação, é possível trazer as diferenças em quantitativos para custos, por meio dos custos estimados pelo SINAPI (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2020). Para a armação em aço, o custo caiu em R\$1.931,72; em relação ao concreto armado, a economia foi de R\$322,61; para as formas, houve economia de R\$998,53. A economia total foi de R\$3.252,87. O custo total aço para a execução foi de R\$73.932,71; para o concreto, o custo foi de R\$28.277,22; e, para as formas, o montante necessário foi de R\$50.526,97. O total para a execução foi de R\$152.736,90, ou seja, a economia representa, aproximadamente, 2,13% do custo necessário para a execução da atual solução.

Tabela 5: Materiais para a estrutura do projeto 1, solução 2

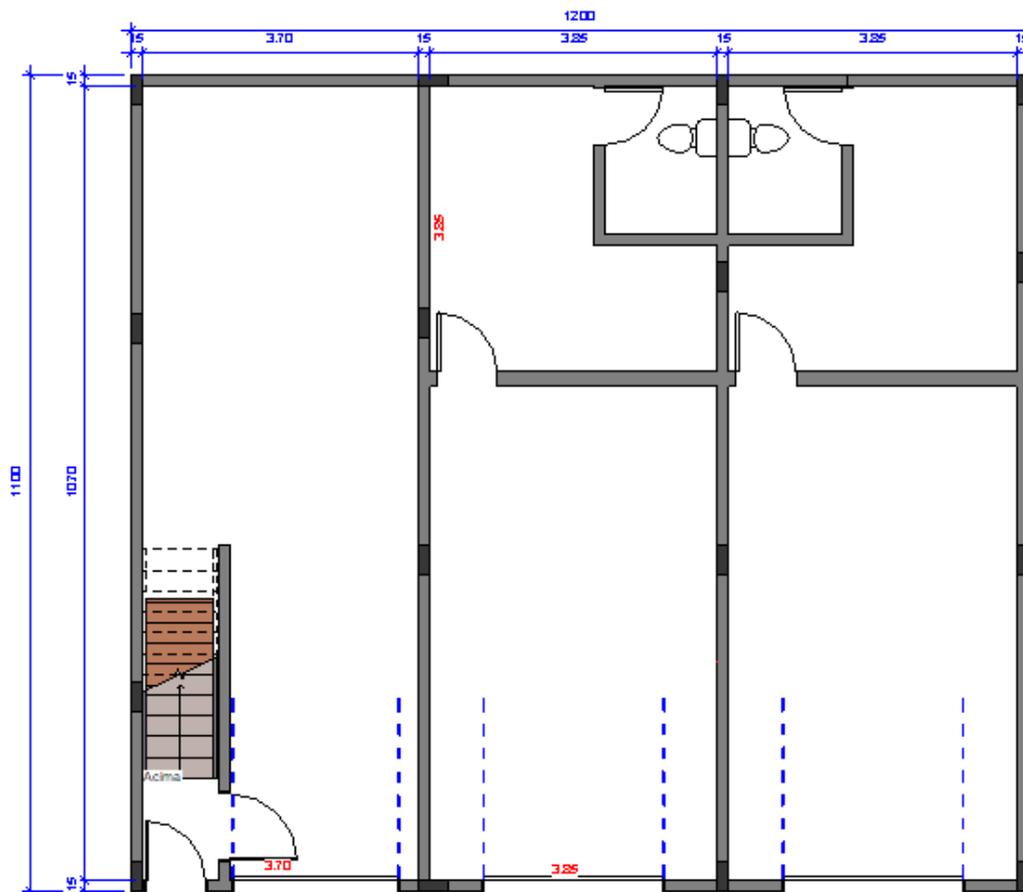
Nível +00														
Fundação			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
995,1	13,11	45,33	341,8	5,74	96,47							1336,9	18,85	141,8
Nível +300														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
577,8	2,59	49,32	653	6,41	105,35	605,1	9,18		166,5	1,97	16,63	2002,4	20,15	171,3
Nível +600														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
426,4	2,69	51,84	421,6	6,27	102,88	798,1	9,17		41,7	1,05	10,4	1687,8	19,18	165,12
Nível +900														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
365,1	2,69	51,84	432,1	6,13	100,24	683,9	9,63					1481,1	18,45	152,08
Nível +1050														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
121,7	1,09	21,78	138,4	2,7	45,71	8,3	0,22					268,4	4,01	67,49
			TOTAL											
						Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)						
						6776,6	80,64	697,79						

Fonte: O autor (2020)

7.2 ESTUDO DE CASO 2 – EDIFICAÇÃO 2

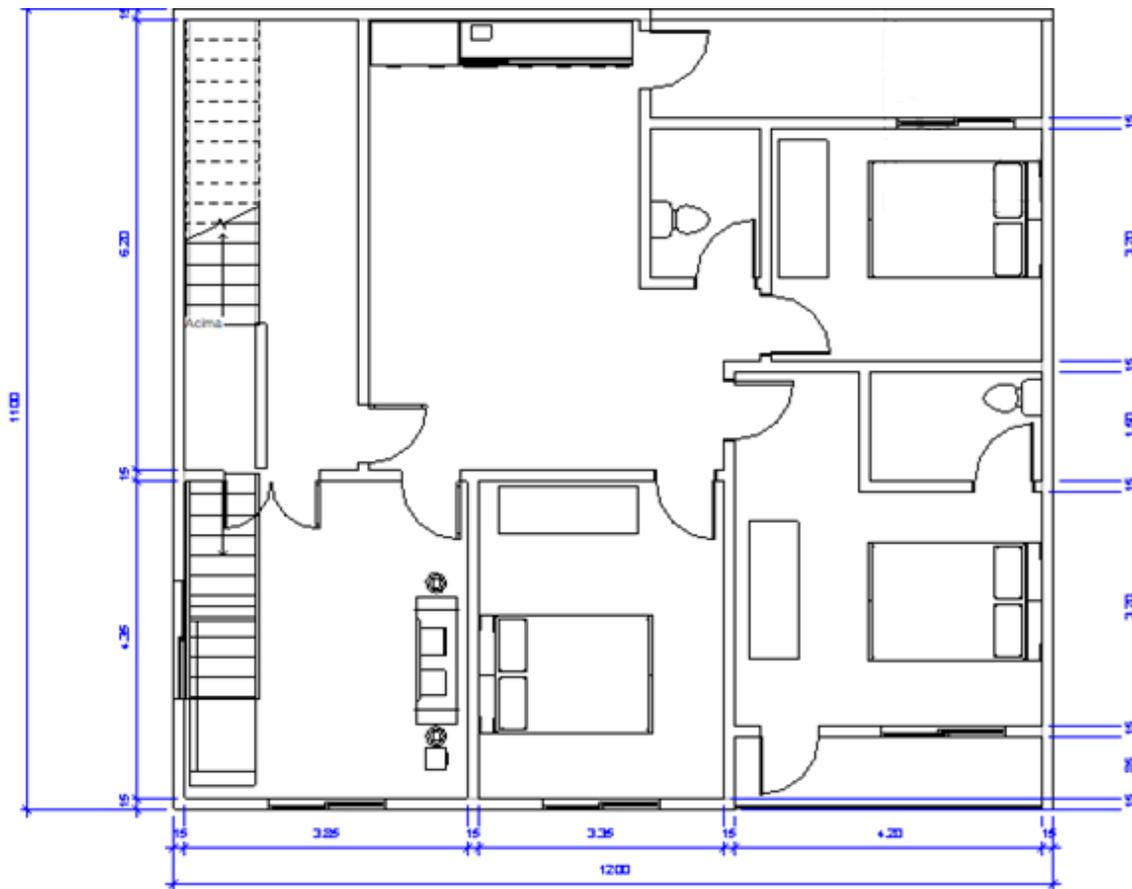
Na Edificação 2, o projeto arquitetônico foi desenvolvido sem consulta prévia a um profissional responsável por projetos de estrutura ou de instalações (que, até a elaboração deste trabalho, não haviam sido desenvolvidos ou contratados). Após a elaboração do projeto arquitetônico, ele foi enviado para o engenheiro de estruturas responsável para que a concepção estrutural fosse elaborada. A solução 1 da estrutura da edificação foi concebida em concreto armado, com a maioria de suas peças moldadas no canteiro de obras, sendo que apenas as vigotas pré-moldadas (utilizadas nas lajes) foram executadas fora do canteiro. A fundação escolhida para este empreendimento foi a do tipo sapata. Assim como no outro estudo de caso, nota-se que neste também não houve um contato entre profissionais desde o início da concepção dos projetos.

Figura 20: Planta baixa do pavimento térreo - projeto 2 (medidas em cm)



Fonte: O autor (2020)

Figura 21: Planta baixa do pavimento de moradia - projeto 2 (medidas em cm)



Fonte: O autor (2020)

Os dois projetos estudados apresentam semelhança nas relações entre arquiteto e engenheiro responsável pelo projeto estrutural, bem como a relação entre arquitetura e engenharia (exclusivamente quando se trata do projeto estrutural), não havendo contato entre profissionais das duas áreas.

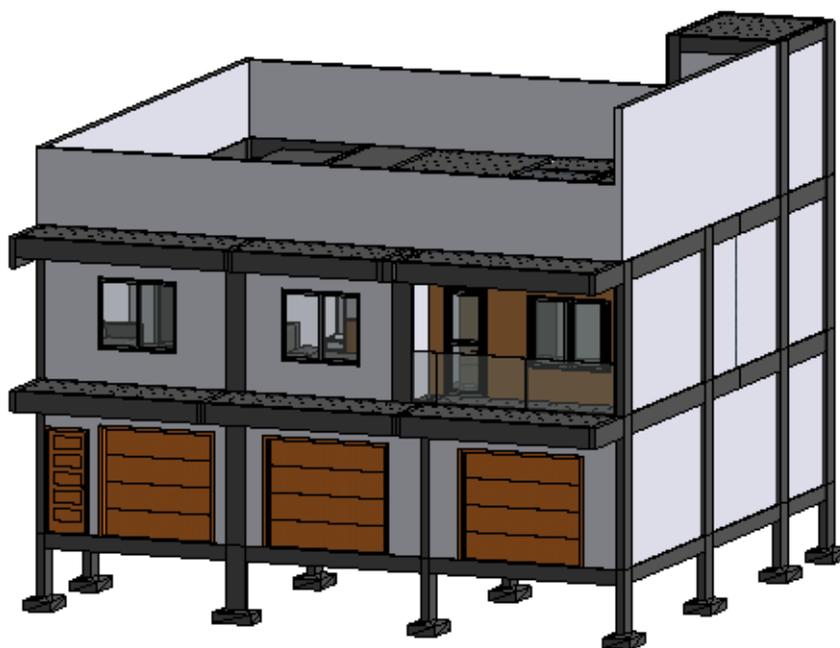
Assim, segundo a classificação de Macdonald (2001), que diz respeito à relação entre estrutura e arquitetura, o projeto do estudo de caso 2 também pode ser apontado como da estrutura ignorada no processo de concepção arquitetônica, ou seja, a estrutura não foi considerada para efeitos estéticos ou funcionais. Quanto à relação entre os profissionais envolvidos, pode-se dizer que foi aquela em que o arquiteto é responsável pelos aspectos arquitetônicos enquanto o engenheiro cuida apenas da parte estrutural da edificação, não havendo relação entre os dois, ou ainda qualquer tentativa de interdisciplinaridade no desenvolvimento dos projetos. Outra classificação que se pode presumir é a de

processo de projeto abordado, não havendo indícios da utilização de elementos da engenharia simultânea. É possível notar ainda, segundo Pedrini (2012), aspectos do método sequencial de projeto.

Embora não houvesse uma relação prévia entre arquitetura e estrutura, ou seja, uma relação que partisse do ponto inicial de elaboração dos projetos, eles foram compatibilizados por meio do *software* BIM Revit (Figura 22). Após a verificação de compatibilidade, o programa não acusou nenhuma interferência significativa entre janelas e portas com elementos estruturais, por exemplo. A interferência constatada foi apenas em relação a paredes e guarda corpos com alguns elementos da estrutura. Isso aconteceu pois, na concepção arquitetônica, as peças de concreto armado não foram consideradas.

Por meio do modelo estrutural elaborado (solução 1), é possível levantar informações relevantes a respeito dos quantitativos dos materiais, afinal pode-se extrair qual o quantitativo final de alguns insumos utilizados para a execução da estrutura. Segundo a Tabela 6 nota-se que o quantitativo de aço necessário para a execução da edificação foi de 4721,9kg, enquanto a quantidade de concreto prevista é 57,82m³. Quanto às formas, houve uma previsão que se gastasse 485,12m².

Figura 22: Compatibilidade entre disciplinas - projeto 2



Fonte: O autor (2020)

A fim de gerar uma melhor mensuração de valores, assim como foi feito no projeto do primeiro estudo, faz-se uma associação dos quantitativos com o custo estimado unitário dos insumos. Utilizando os mesmos itens da planilha SINAPI (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2020), que foram utilizados para o primeiro estudo, é possível estimar um custo a ser gasto com o aço de R\$51.515,93, para o concreto o montante destinado é de R\$20.275,16, enquanto para as formas a previsão é de R\$35.127,54. Somando os custos, chega-se a um total de R\$106.918,63.

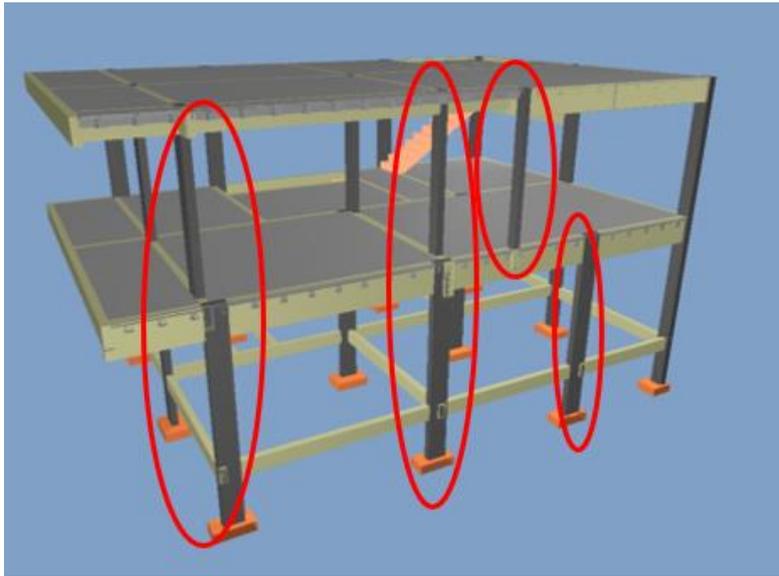
Pode-se extrair, também a partir do modelo estrutural desenvolvido, alguns aspectos da edificação. É possível analisar, por meio da Figura 23, que a estrutura teve descontinuidade em alguns de seus pilares. Isso se deve ao fato de que algumas paredes da edificação não seguem o mesmo alinhamento até a cobertura, como se pode notar na Figura 24. Constata-se que alguns pilares da edificação não partiram desde a fundação, ao invés disso, tiveram sua origem em vigas. Pontos que são característicos da relação entre estrutura e arquitetura apresentados inicialmente.

Tabela 6: Quantitativo de materiais do projeto 2, solução 1

Nível +00														
Fundação			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)
500,9	8,77	43,39	332,7	3,88	68,29							833,6	12,65	111,68
Nível +300														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)
479,7	2,88	52,8	507,1	6,73	105,91	950,6	11,12	4,38	44	1,18	10,89	1981,4	21,91	173,98
Nível +600														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)
397,6	2,62	48,6	436,6	6,92	113,53	914	11,19	7,04	25,7	1,13	11,34	1773,9	21,86	180,51
Nível +900														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)
86,6	0,58	11,4	26,5	0,43	7,55	19,9	0,39					133	1,4	18,95
TOTAL						Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)						
						4721,9	57,82	485,12						

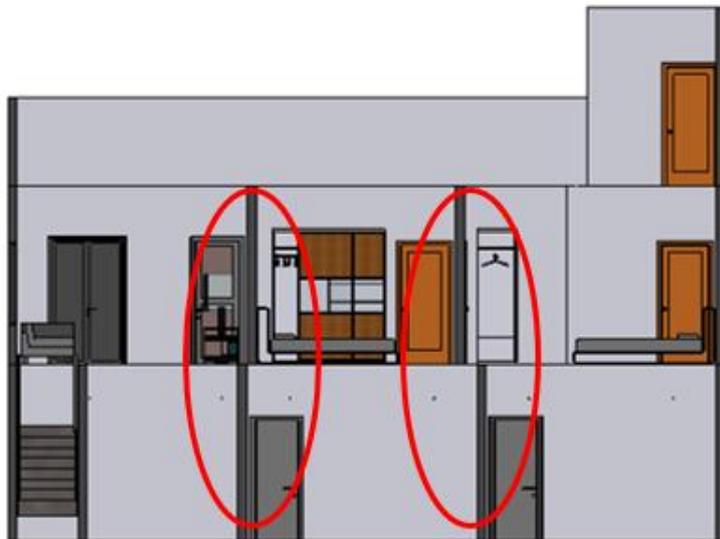
Fonte: O autor (2020)

Figura 23: Descontinuidade da estrutura do projeto 2, solução 1



Fonte: O autor (2020)

Figura 24: Descontinuidade das paredes do projeto 2, solução 1

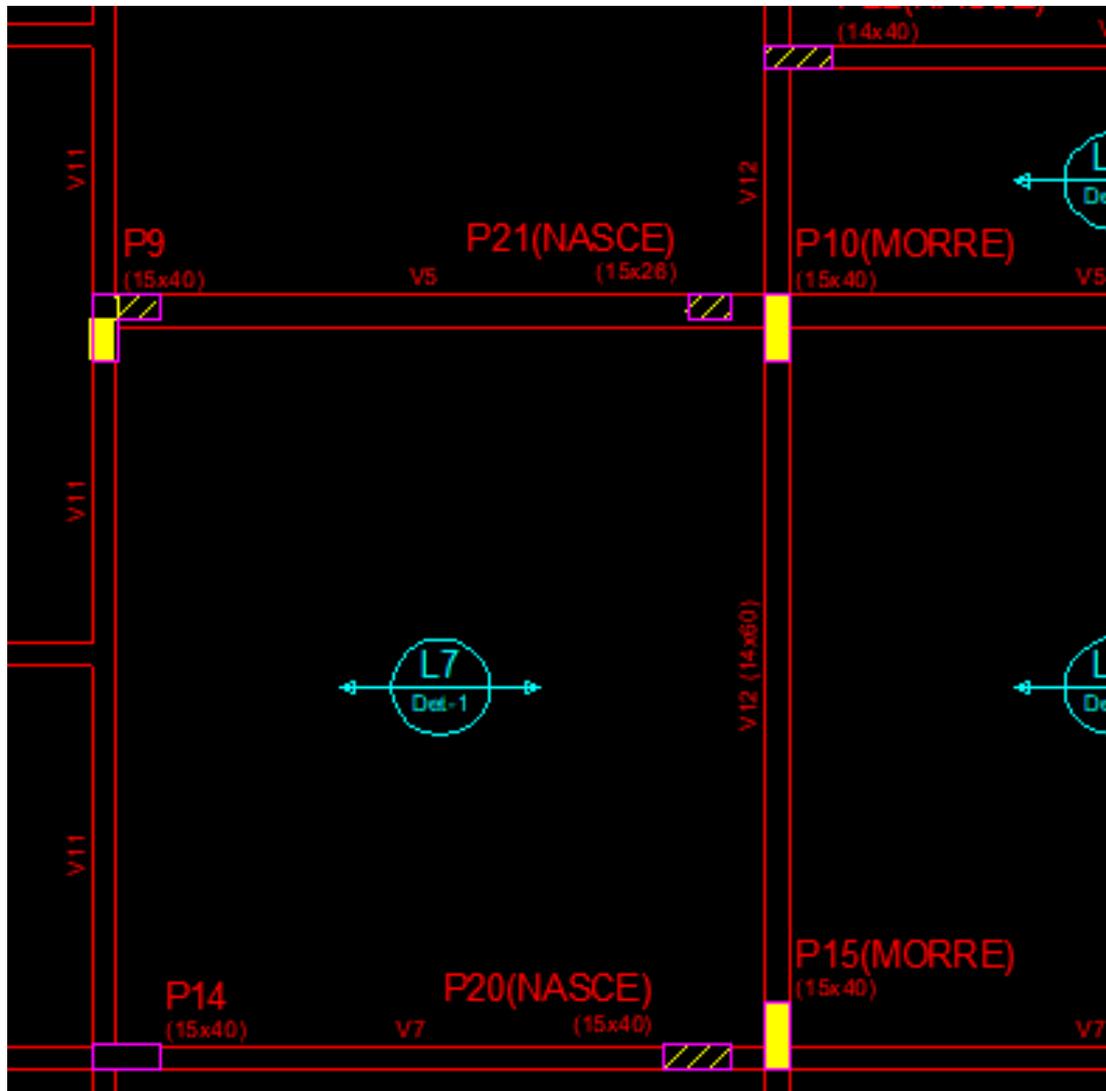


Fonte: O autor (2020)

Observa-se na planta de forma do pavimento térreo que as vigas que dão origem a pilares são a V5, V7 e V12 (Figura 25). Essas vigas estão situadas no nível +300 cm da edificação, que é onde ocorre a mudança de direção das paredes, conforme Figura 24. Esse comportamento da estrutura faz com que os pilares,

ao invés de direcionar as suas cargas para a fundação, descarreguem as nas vigas, ocasionando grandes esforços nessas.

Figura 25: Planta de forma do projeto 2, solução 1



Fonte: O autor (2020)

Na Tabela 7 mostram-se os momentos fletores máximos atuantes nas vigas do pavimento térreo. Nota-se que as vigas V5, V7 e V12 (vigas em que os pilares se originam) apresentam momentos que destoam muito das demais vigas. A viga V5 apresenta um momento de 6,60tfm, enquanto na viga V7 tem-se um momento de 5,07tfm e a viga V12, que é a viga com maior momento do pavimento, tem-se um momento de 10,10tfm. A média dos valores dos momentos atuantes nas

vigas do pavimento é de, aproximadamente, 4,09tfm. A média dos momentos sem considerar as vigas referidas, é de aproximadamente 3,14tfm.

Tabela 7: Momentos fletores das vigas do pavimento térreo do projeto 2, solução 1

Viga	Momento Fletor Máximo (tfm)
V1	4,10
V2	3,38
V3	3,02
V4	1,79
V5	6,60
V6	2,51
V7	5,07
V8	0,92
V9	4,27
V10	2,43
V11	5,35
V12	10,10
V13	3,64

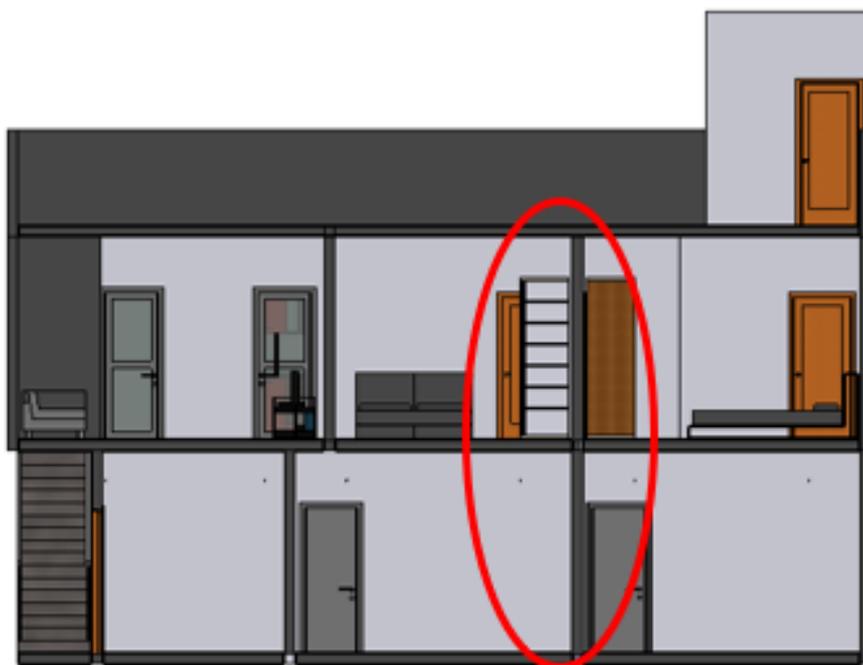
Fonte: O autor (2020)

Conforme mencionado, em estruturas de concreto armado, o elemento responsável por resistir a momentos fletores é o aço, visto que o concreto apresenta resistência à compressão consideravelmente maior do que à tração. Ou seja, uma estrutura com altos valores de momento fletor tende a apresentar um consumo elevado de aço. A fim de diminuir o consumo desse insumo, foi sugerido, junto ao responsável pelo projeto arquitetônico, que se alinhassem as paredes da edificação para que, diante disso, se garantisse a continuidade dos pilares da estrutura até a cobertura, excluindo-se a necessidade de vigas de transição.

Como pode-se perceber por meio das Figuras 23 e 24, o software Revit, que permite colocar conceitos do BIM em prática, foi fundamental para as análises da edificação, bem como da interação de arquitetura e estrutura, além da

identificação do desalinhamento das paredes. A facilidade de visualização proporcionada pelo programa foi de suma importância no desenvolvimento da solução 2. Além disso, aspectos como colaboração na solução das descontinuidades da estrutura e troca de informações (elementos da Engenharia Simultânea) foram primordiais para a elaboração da nova alternativa de projeto. Como pode ser visto na Figura 26, a solução apresentada favorece a continuidade de pilares pois houve o alinhamento de paredes que estavam desalinhadas, evitando que vigas de transição fossem usadas.

Figura 26: Projeto 2, solução 2



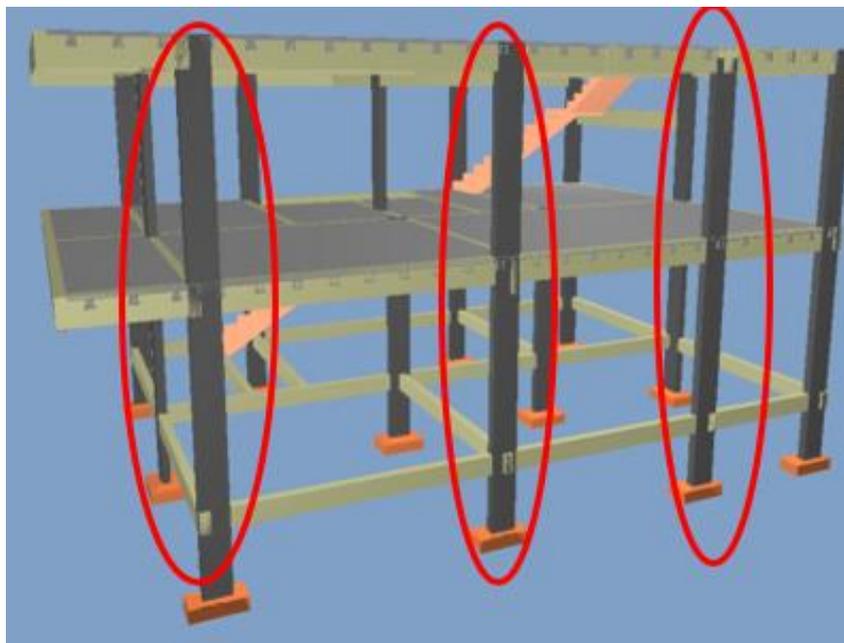
Fonte: O autor (2020)

Esta nova solução permitiu que mais pilares pudessem continuar até a cobertura da edificação, reduzindo a quantidade de vigas de transição de 3 para 1. Como pode-se analisar por meio da Figura 27, os pilares que tinham sua continuação interrompida, agora prosseguem até o último pavimento.

A fim de compreender como essa alteração impactou no quantitativo de materiais da estrutura, outra tabela foi elaborada, desta vez levando em conta a nova solução. Como pode ver por meio da Tabela 8, o quantitativo de aço necessário

para a solução apresentada foi de 4.671,70kg, enquanto foram necessários 57,83m³ de concreto e 470,09m² de forma. Precificando a nova estrutura por meio dos itens da tabela SINAPI (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2020), o aço utilizado ficou orçado em R\$50.968,25, para concreto, o valor foi de R\$20.278,67, para as formas o montante foi de R\$34.039,22. Ou seja, o valor total da nova solução foi de R\$105.286,13, gerando uma economia de R\$1.632,50 apenas ajustando o alinhamento das paredes. Este valor representa uma economia de cerca de 1,55% em relação ao valor estimado para os materiais da estrutura da primeira solução.

Figura 27: Continuidade dos pilares do projeto 2, solução 2



Fonte: O autor (2020)

Por fim, é analisada a influência das alterações nos momentos fletores nas vigas do pavimento térreo da nova solução. Na Tabela 9, constata-se que a quantidade de vigas diminuiu além de que a média dos valores dos momentos fletores atuantes passou de 4,09tf*m para 3,69tfm.

Tabela 8: Quantitativos de materiais da edificação 2, projeto 2

Nível +00														
Fundação			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
577,3	9,45	43,67	283,4	3,88	68,28							860,7	13,33	111,95
Nível +300														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
381,5	2,88	52,8	407,9	5,46	91,63	968,2	11,21	4,38	44	1,18	10,89	1801,6	20,73	159,7
Nível +600														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
357,3	2,7	49,5	448,9	6,8	111,61	1062,6	11,74	7,04	25,6	1,13	11,34	1894,4	22,37	179,49
Nível +900														
Pilar			Viga			Laje			Escada			Total		
Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)	Total Aço (kg)	Total Concreto (m³)	Total Forma(m²)
68,6	0,58	11,4	26,5	0,43	7,55	19,9	0,39					115	1,4	18,95
			TOTAL			Aço (kg)	Concreto (m³)	Forma (m²)						
						4671,7	57,83	470,09						

Fonte: O autor (2020)

Tabela 9: Momentos fletores das vigas do projeto 2, solução 2

Viga	Momento Fletor Máximo (tfm)
V1	4,60
V2	3,11
V3	3,00
V4	5,24
V5	2,59
V6	4,93
V7	0,95
V8	4,10
V9	2,40
V10	5,49
V11	4,58
V12	3,27

Fonte: O autor (2020)

Por meio da Tabela 10, é possível visualizar alguns aspectos dos dois estudos de caso como, por exemplo: as incompatibilidades levantadas, as soluções desenvolvidas, o custo previsto de execução para as soluções 1 e 2 de cada estudo de caso, além da economia no custo previsto de execução para ambos os estudos.

Tabela 10: Resumo das alterações

	Edificação1	Edificação 2
Incompatibilidades	1 - Descontinuidade de estrutura	Descontinuidade da estrutura por desalinhamento de paredes
	2 - Conflito entre pilares e janelas	
Solução	1 - Mudança na entrada do ponto comercial	Alinhamento das paredes, permitindo continuidade dos pilares desde a fundação até a cobertura
	2 - Pilares P14 e P15 viraram um único pilar (P14)	
Custo da Solução 1 (R\$)	R\$ 155.989,77	R\$ 106.918,63
Custo da Solução 2 (R\$)	R\$ 152.763,90	R\$ 105.286,13
Economia (R\$)	R\$ 3.225,87	R\$ 1.632,50
Economia (%)	2,07%	1,53%

Fonte: O autor (2021)

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se observar, por meio das edificações estudadas, que em ambas, a relação entre arquiteto e engenheiro, bem como a relação entre arquitetura e estrutura foi similar. A relação entre estrutura e arquitetura, nas edificações, foi a da estrutura ignorada no processo de concepção arquitetônica, ou seja, não houve, conforme Macdonald (2001), durante a elaboração da arquitetura, qualquer consideração sobre a estrutura. Quanto ao método de desenvolvimento de projeto dos dois casos, pode-se dizer que, segundo Pedrini (2012), foi utilizado o processo sequencial de projeto, caracterizado pelo desenvolvimento de uma etapa após o fim da etapa anterior.

Um fato que pode resultar do método de projeto sequencial, segundo Pedrini (2012), é a incompatibilidade entre essas disciplinas. De acordo com Rezende (2008) a adoção da Engenharia Simultânea pode aumentar a qualidade de projeto. No estudo de caso 1, observam-se incompatibilidades, em que janelas e pilares se sobrepunham no pavimento térreo (Figura 15). Além disso, esse estudo de caso apresentou vigas de transição, com pilares descarregando em vigas. No estudo de caso 2, apesar de não haver incompatibilidades entre estrutura e arquitetura, foram encontradas descontinuidades na estrutura, que podem ter sido derivadas da prática sequencial de projeto, bem como da falta de compatibilização entre as disciplinas.

Apesar dos dois projetos arquitetônicos terem sido elaborados em *software* BIM, a interoperabilidade, que garantiria a possibilidade de compatibilização entre diferentes especialidades envolvidas no projeto, não foi abordada em nenhum dos casos. Na tentativa de solucionar esses problemas, os projetos foram alterados.

Em ambos os estudos, a ferramenta BIM permitiu fácil visualização dos problemas, comunicação entre os envolvidos (após detecção dos problemas) além do desenvolvimento das soluções. A solução desenvolvida para o projeto 1 permitiu uma economia de 2,07%. Em relação ao projeto 2, a solução que foi

desenvolvida, buscando uma melhor relação entre estrutura e arquitetura, gerou uma economia de 1,53%.

Com isso, conclui-se que o BIM pode auxiliar na prática de alguns aspectos da Engenharia Simultânea, permitindo o compartilhamento de informações, inserção da tecnologia da informação no ambiente de projeto, discussão e elaboração em conjunto de soluções para projetos e compatibilização de projetos. Conclui-se que, para projetos do porte das edificações estudadas, o uso do BIM e da Engenharia Simultânea, durante o processo de projeto, pode ser significativamente benéfico.

8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Além dos itens estudados, outros aspectos que envolvem Engenharia Simultânea e BIM podem ser abordados em estudos futuros.

Sugere-se que se aprofundem os estudos sobre Engenharia Simultânea e suas relações com o BIM, podendo-se abordar questões sobre a gestão de projetos, a interoperabilidade proporcionada por estes conceitos e como essas ferramentas podem contribuir para o atual cenário da construção civil. Além disso, propõe-se que se desenvolvam estudos que tratem da interoperabilidade entre arquitetura, estrutura e demais projetos necessários para uma edificação (hidrossanitário, elétrico, combate e prevenção a incêndio, por exemplo).

Por fim, para contribuir com a formação acadêmica e profissional de estudantes de arquitetura e engenharia civil, propõe-se o desenvolvimento de uma metodologia para a elaboração de uma edificação, utilizando métodos da Engenharia Simultânea e da ferramenta BIM, por alunos, supervisionados por professores, abordando a interoperabilidade e realização de atividades paralelas na elaboração de projeto, além da troca de informações entre profissionais, estudantes e professores.

REFERÊNCIAS

ANSAH, R. H.; SOROOSHIAN, S.; MUSTAFA, S. B.; DUVVURU, G. **Lean Construction Tools**. Detroit: International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2016.

ANUMBA, C. J; BALDWIN, A. N; BOUCHLAGHEM, D; PRASAD, B; CUTTING-DECELLE, A. F; DUFAU, J; MOMMESSIN, M. **Integrating Concurrent Engineering Concepts in a Steelwork Construction Project**. Concurrent Engineering Research and Applications, 2000.

ARANTES, P. C. F. G. **Lean Construction - Filosofia e Metodologias**. Porto: Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575-2: **Edificações habitacionais — Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto armado - procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

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

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

BRASIL. Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Dispõe Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* e institui o Comitê Gestor da Estratégia do *Building Information Modelling*. Brasília, 2019.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI – Índice da Construção Civil. Brasil, Governo Federal**. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 31 dez. 2020.

CARVALHO, C. M. H. **Building information modelling na manutenção predial e reformas de edificações hospitalares existentes**. Ouro Preto: Dissertação (Mestrado em Construção Metálica). Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2019.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCAR, 2014. 415p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Sondagem Indústria da Construção**. Ano: 11. Nº: 3, 2020. Disponível em: <www.cni.com.br/sondconstr>. Acesso em: 07/05/2020.

EASTMAN, C.; TELCHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers engineers and contractors**. 3 ed. New Jersey: John Wiley & Sons. 2014. 483p.

EBERICK. AltoQi Eberick 2020. Disponível em: <<https://lp.altoqi.com.br/eberick-2020/>>. Versão demonstrativa. Acesso em: 10 dez. 2020.

FABRICIO, M. M. **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. São Paulo: Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo, 2002.

FABRICIO, M. M. **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. 228-248, 2013. DOI: 10.11606/issn.2317-2762.v20i33p228-248. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/80930>. Acesso em: 5 jan. 2021.

FEITOSA, A. M.; SAKAMOTO, A. R. **Engenharia Simultânea (3DCE) como vantagem competitiva para empresas de construção civil em Palmas (TO)**. Curitiba: *Brazilian Journal of Development*, 2020.

FREITAS, A. G. P.; ÁVILA, J. A.; FRANÇA, R. L. **Sistemas construtivos alternativos - o passo a passo para a análise de viabilidade completa**. nº 48. TQSNews, 2019. 29-32. 56p. Disponível em: http://www.tqs.com.br/tqs-news/download-do-tqs-news/doc_view/134-no-48-setembro19?tmpl=component&format=raw. Acesso em: 28/11/2019.

GRAZIANO, F. P. **Compatibilização de Projetos**. São Paulo: Dissertação (Mestrado Profissionalizante), Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT, 2003.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Technical Report No. 72. Center for Integrated Facility Engineering. Department of Civil Engineering, Stanford University, 1992.

KOSKELA, L.; HUOVILA, P. **On Foundations of Concurrent Engineering**. Londres: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCURRENT ENGINEERING IN CONSTRUCTION, 1997.

MACDONALD, A. J. **Structure and Architecture**. 2 ed. Woburn: Architectural Press, 2001. 151p.

MARIQUITO, J. V. M.; SILVA, L. A. G.; PROENÇA, M. M.; PORFÍRIO, V. H. M.; OLIVEIRA, P. W. S. **Engenharia Simultânea: estudo e referencial teórico**. São Cristóvão: VIII Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe (VIII SIMPROD), 2016.

MARSICO, M. L.; MEDEIROS, R.; DELATORRE, V.; COSTELLA, M. F.; JACOSKI, C. A.; **Aplicação de BIM na compatibilização de projetos e edificações**. Florianópolis: Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial. v. 7, n. 17, p. 19-41, 2017

MIKALDO Jr., J.; SCHEER, S. **Compatibilização de Projetos ou Engenharia Simultânea: qual é a melhor solução?**. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 3, n. 1, p. 79-99, 5 jun. 2008.

OMOKAVA, R. **Utilização de sistemas PDM em ambientes de engenharia simultânea: o caso de uma implantação em uma montadora de veículos pesados**. São Carlos: Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de São Paulo (Escola de Engenharia de São Carlos), 1999.

PEDRINI, M. K. **Engenharia Simultânea: planejamento e controle integrado de processo de produção/projeto na construção civil**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.

PEREIRA Jr., M. L.; BARACHO, R. M. A.; PORTO, M. F. **A gestão da informação e do conhecimento, o trabalho colaborativo e o uso da tecnologia BIM por Arquitetos e Engenheiros**. Bahia: XVII Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação (XVII ENANCIB), 2016.

PEROTTI, L. **Engenharia Simultânea: adaptação da metodologia para a indústria de pré-fabricados de concreto**. Ponta Grossa: Monografia (Especialização em Engenharia de Produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

PINTO, J. M. F. **Lean Construction: proposta de metodologia de avaliação de projetos de construção**. Porto: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Especialização em Construções Civas). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.

PORTO, T. B.; FERNANDES, D. S. G. **Curso Básico de Concreto Armado: conforme a NBR 6118/2014**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 208p.

REBELLO, Y. C. P. **A Concepção Estrutural e a Arquitetura**. São Paulo: Zigurate Editora, 2000. 272p.

REBELLO, Y. C. P. **Bases para Projeto Estrutural na Arquitetura**. São Paulo: Zigurate Editora, 2007. 286p.

RESENDE, C. C. **A Concepção da Estrutura como um Princípio Condutor no Processo de Criação Projetual**. Natal: Projetar, 2015.

RESENDE, C. C.; VELOSO, M. F. D. **A Concepção Estrutural no Processo de Aprendizagem do Projeto de Arquitetura: estudo de caso da UFPE**. Ouro Preto: III Encontro Nacional de Ensino de Estruturas em Escolas de Arquitetura, 2017.

REVIT. Autodesk Revit 2020. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview?term=1-YEAR&support=null>>. Versão estudante. Acesso em: 08 dez. 2020.

REZENDE, P. M. **Integração Projeto-Produção no Processo de Desenvolvimento de Projeto: uma alternativa para melhoria da qualidade no setor da construção de OAE**. Belo Horizonte: Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

RIBEIRO, R. R.; CÉSAR JR, K. M. L. **BIM no projeto estrutural de concreto armado: estudos de caso em Revit e Robot**. Paraná: Revista Técnico-Científica do CREA-PR, 2019.

SANTOS, E. T. **BIM – Building Information Modeling: um salto para a modernidade na aplicação da Tecnologia da Informação à Construção Civil**. Brasília: Unb, 2012.

SÃO THIAGO, H. A. **A importância da compatibilização de projetos para verificação de incompatibilidades na obra**. Rio de Janeiro: Revista Boletim do Gerenciamento, 2019.