



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



LETÍCIA FERREIRA MACEDO

**COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS DE UM
PAVIMENTO TIPO EM ALVENARIA ESTRUTURAL COM
USO DO BIM**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

UBERLÂNDIA
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

LETÍCIA FERREIRA MACEDO

**COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS DE UM
PAVIMENTO TIPO EM ALVENARIA ESTRUTURAL COM
USO DO BIM**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Betânia Carvalho Costa

UBERLÂNDIA
2018

LETÍCIA FERREIRA MACEDO

**COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS DE UM
PAVIMENTO TIPO EM ALVENARIA ESTRUTURAL COM
USO DO BIM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Uberlândia, 18/12/2018

Banca Examinadora – Assinaturas

Profa. Dra. Eliane Betânia Carvalho Costa – UFU/MG
Orientadora

Profa. Dra. Ana Carolina Fernandes Maciel – UFU/MG
Examinadora Interna

Profa. Dra. Maria Cláudia De Freitas Salomão – UFU/MG
Examinadora Interna

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por sempre me iluminar e abençoar o meu caminho e ter me dado forças para não desistir em momentos de extremo cansaço.

Aos meus pais, Romeu e Rosilda, meu irmão e minha madrinha, pelo amor, dedicação, valores ensinados e por nunca medirem esforços em me fornecer tudo que fosse preciso para que eu pudesse me tornar a pessoa que sou hoje. Vocês são meus exemplos de vida e orgulho.

Ao Geraldo Neto, por todo auxílio na realização deste trabalho e pelo companheirismo durante os últimos anos deste curso, com quem sempre pude contar com o apoio nos momentos difíceis e partilhar as vitórias alcançadas.

Aos meus professores por compartilharem seu conhecimento, em especial minha orientadora, Professora Dra. Eliane Betânia Carvalho Costa, que tanto admiro e me orientou da melhor forma possível com bastante disposição e comprometimento.

Agradeço imensamente a AZM Construtora, em especial ao Sr. Alaídes, por me fornecer os projetos utilizados neste trabalho e estrutura física, além de todo apoio para a realização deste estudo. Foram três meses de muito trabalho, aprendizado, persistência e, acima de tudo, gratidão por ter feito parte da família AZM.

RESUMO

Durante décadas as construções foram projetadas e construídas baseando-se em representações bidimensionais. Atualmente, a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) passa por um importante momento de mudança nos modelos de concepção e gestão de empreendimentos, devido principalmente a introdução da modelagem da informação da construção (BIM). Esta pesquisa consiste na aplicação e avaliação do uso da metodologia BIM para a modelagem 3D e compatibilização de projetos, bem como o levantamento de quantitativos do projeto estrutural. Trata-se de um estudo de caso, no qual fez-se a modelagem em BIM dos projetos referente ao pavimento tipo de um edifício residencial multifamiliar em alvenaria estrutural, previamente desenvolvidos pelo método tradicional bidimensional. Como resultados foram gerados os modelos de arquitetura, estrutura, elétrica e hidrossanitária; a análise das incompatibilidades encontradas e, por fim, a extração automática do quantitativo do projeto estrutural. Pelos resultados obtidos pode-se afirmar que a modelagem com utilização da metodologia BIM torna os projetos mais realistas e auxilia na detecção de interferências, o que torna mais rápida a resolução e prevenção dos problemas na construção ainda na fase de projeto. Além disso, os quantitativos gerados foram extraídos mais facilmente e condizentes com os fornecidos na metodologia tradicional.

Palavras-chave: BIM, modelagem da informação da construção, compatibilização de projetos, alvenaria estrutural.

ABSTRACT

For decades the constructions were designed and constructed based on two-dimensional representations. At present, the architecture, engineering and construction industry (AEC) is going through an important moment of change at the design and management of projects, mainly due to the introduction of Building Information Modeling (BIM). This study aims to apply and evaluate the use of BIM methodology for the 3D modeling and compatibilization of projects, as well as the quantitative resources of the structural structure. In this case study, it was developed a 3D modeling of projects related to the pavement type of a multifamily residential building in structural masonry, previously developed by the traditional two-dimensional method. As results were generated models of architecture, structural, electrical and hydro sanitary; the analysis of the incompatibilities and the automatic extraction of the quantitative resources of the structural design. From the results obtained it can be stated that the modeling by BIM methodology makes the projects more realistic and assists in the detection of interferences, which makes faster the resolution and prevention of construction problems even in the design phase. In addition, the quantitative generated were extracted more easily and in accordance with those provided in the traditional methodology.

Key words: BIM, construction modeling, project compatibilization, structural masonry.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Blocos da família 39 | 17 |
| Figura 2 – Plantas de primeira e segunda fiada..... | 18 |
| Figura 3 – Paginação de parede..... | 18 |
| Figura 4 – Juntas a prumo | 19 |
| Figura 5 – Amarração direta de parede em “L” (a) e parede em “T” (b)..... | 19 |
| Figura 6 – Amarração indireta – Grampos metálicos (a) e telas metálicas (b) | 19 |
| Figura 7 – Detalhe dos elementos utilizados na instalação elétrica | 20 |
| Figura 8 – Detalhe da instalação hidráulica | 21 |
| Figura 9 – Bloco Hidráulico..... | 21 |
| Figura 10 – Graute e armaduras de uma parede..... | 22 |
| Figura 11 – Espessuras máximas e mínimas das juntas | 23 |
| Figura 12 – Ausência de argamassa nas juntas verticais..... | 23 |
| Figura 13 – Junta de dilatação..... | 24 |
| Figura 14 – Junta de controle | 24 |
| Figura 15 – Verga e contra-verga..... | 26 |
| Figura 16 – Cinta de amarração | 26 |
| Figura 17 – Possibilidade de interferências e custos nas fases de um empreendimento..... | 27 |
| Figura 18 – Ciclos do empreendimento através BIM | 29 |
| Figura 19 – Comparativo das informações entre modelo CAD e modelo BIM..... | 29 |
| Figura 20 – Comparativo entre os custos das alterações em projetos CAD e BIM | 31 |
| Figura 21 – Os cinco diferentes níveis de LOD publicados pela AIA | 34 |
| Figura 22 – Comparativo entre LOD 300 e LOD 400 | 35 |
| Figura 23 – Conhecimento dos softwares BIM..... | 37 |
| Figura 24 – Impacto do BIM de acordo com o nível de experiência do usuário | 42 |
| Figura 25 – Exemplo detecção de interferência com CAD 2D..... | 44 |
| Figura 26 – Exemplo detecção de interferência com BIM..... | 45 |
| Figura 27 – Empreendimento do estudo de caso..... | 46 |
| Figura 28 – Planta baixa humanizada dos apartamentos do pavimento tipo | 47 |
| Figura 29: Fluxograma de Trabalho..... | 48 |
| Figura 30 – Planta baixa do projeto arquitetônico recebido em Autocad | 49 |
| Figura 31 – Modelagem do projeto arquitetônico | 50 |
| Figura 32 – Exemplo de paginação de uma parede do projeto estrutural | 51 |
| Figura 33 – Grauteamento e armaduras das paredes..... | 52 |
| Figura 34 – Detalhe da modelagem das armaduras positivas (em azul) e negativas (em cinza) das lajes..... | 52 |
| Figura 35 – Vigas da caixa do elevador | 53 |
| Figura 36 – Modelagem projeto estrutural..... | 53 |
| Figura 37 – Aplicação de filtros nos blocos estruturais para facilitar a identificação dos tamanhos | 54 |
| Figura 38 – Projeto elétrico recebido em Autocad..... | 54 |
| Figura 39 – Modelagem do projeto elétrico: área privativa | 55 |
| Figura 40 – Modelagem do projeto elétrico: área de circulação | 55 |
| Figura 41 – Modelagem projeto elétrico: interfone e TV/telefone/internet | 56 |
| Figura 42 – Projeto hidrossanitário fornecido em <i>Autocad</i> | 56 |
| Figura 43 – Modelagem do projeto hidrossanitário – banheiro (a) e cozinha/área de serviço (b) | 57 |
| Figura 44 – Incompatibilidade projeto arquitetônico | 59 |
| Figura 45 – Canaletas interceptando outros blocos estruturais | 60 |
| Figura 46 – Blocos canaletas de diferentes comprimentos e mesma denotação | 60 |
| Figura 47 – Especificações de uso das telas metálicas tipo BelgoFix de acordo com o projeto estrutural..... | 61 |

| | |
|--|----|
| Figura 48: Especificações de uso das telas metálicas tipo BelgoFix conforme fabricante | 61 |
| Figura 49 – Adequação do uso das telas metálicas BelgoFix no projeto estrutural..... | 62 |
| Figura 50 – Incompatibilidade projeto estrutural obtida pelo <i>Navisworks</i> | 62 |
| Figura 51 – Conduítes se interceptando (a), realinhamento dos conduítes (b) | 63 |
| Figura 52 – Alocação de ar-condicionado no projeto elétrico | 63 |
| Figura 53 – Incompatibilidade projeto elétrico obtida pelo <i>Navisworks</i> | 64 |
| Figura 54 – Alocação de ar-condicionado no projeto hidrossanitário | 64 |
| Figura 55 – Divergência entre tabelas com a altura dos pontos de utilização no projeto hidrossanitário | 65 |
| Figura 56: Divergência entre legenda e desenho | 65 |
| Figura 57 – Isométrica de água fria..... | 66 |
| Figura 58 – Interceptação das tubulações dos banheiros | 67 |
| Figura 59 – Interceptação das tubulações das áreas de serviço e cozinha | 67 |
| Figura 60 – Compatibilização entre projeto estrutural e arquitetônico evidenciando o desalinhamento das paredes em planta baixa | 68 |
| Figura 61 – Diferença entre as dimensões do quarto apresentadas no projeto arquitetônico e no estrutural..... | 68 |
| Figura 62 – Divergência entre a altura do pé direito no projeto arquitetônico e estrutural | 69 |
| Figura 63 – Incompatibilidades entre o projeto arquitetônico e estrutural obtidos pelo <i>Navisworks</i> | 69 |
| Figura 64 – Conduítes sobressaindo as paredes | 70 |
| Figura 65 – Interferências no <i>shaft</i> da área de serviço entre arquitetura, estrutura, elétrica e hidrossanitária – 3D | 71 |
| Figura 66 – Interferências entre os projetos de arquitetura (a), estrutura (b), elétrica (c) e hidrossanitária (d) - Planta baixa..... | 71 |
| Figura 67 –Tubulações de água fria passando por dentro da alvenaria | 72 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Carga horária dos cursos realizados | 47 |
| Tabela 2 – Resumo dos LODs e programas utilizados na modelagem de cada disciplina | 48 |
| Tabela 3 – Tabela de blocos estruturais obtida pelo <i>software Revit</i> | 58 |
| Tabela 4 – Tabela de graute das paredes obtida pelo <i>software Revit</i> | 58 |
| Tabela 5 – Comparativo do quantitativo de blocos estruturais de concreto..... | 73 |
| Tabela 6 - Comparativo do quantitativo de graute das paredes | 73 |

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

| | |
|-----------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AEC | Arquitetura, Engenharia e Construção |
| AIA | <i>American Institute of Architects</i> |
| BIM | <i>Building Information Modeling</i> |
| CAD | <i>Computer Aided Design</i> |
| CBIC | Câmara Brasileira da Indústria da Construção |
| DWG | Extensão de arquivos em AutoCAD |
| IAI | <i>International Alliance for Interoperability</i> |
| IFC | <i>Industry Foundation Classes</i> |
| LOD | <i>Level of Development</i> |
| MCMV | Minha Casa Minha Vida |
| MEP | <i>Mechanical, Electrical, and Plumbing</i> |
| NCMA | <i>National Concrete Masonry Association</i> |
| PBQP-H | Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade Habitacional |
| PDF | Formato de arquivo para representar documentos independente do software usado para criá-lo |
| PERT-CPM | <i>Program Evaluation and Review Technique - Critical Path Method</i> |
| 2D | Duas dimensões / Bidimensional |
| 3D | Três dimensões / Tridimensional |
| 4D | Quatro dimensões |
| 5D | Cinco dimensões |
| 6D | Seis dimensões |
| 7D | Sete dimensões |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1. | OBJETIVOS | 13 |
| 2. | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 14 |
| 2.1. | ALVENARIA ESTRUTURAL | 14 |
| 2.1.1. | Vantagens e Desvantagens | 15 |
| 2.1.2. | Análise de Viabilidade | 16 |
| 2.1.3. | Conceitos e Critérios Básicos de Projeto | 17 |
| 2.1.3.1. | Modulação..... | 17 |
| 2.1.3.2. | Amarração..... | 19 |
| 2.1.3.3. | Instalações Elétricas..... | 20 |
| 2.1.3.4. | Instalações Hidrossanitárias..... | 20 |
| 2.1.3.5. | Grauteamento e armaduras | 22 |
| 2.1.3.6. | Juntas Horizontais e Verticais..... | 22 |
| 2.1.3.7. | Juntas de Dilatação e Juntas de Controle | 24 |
| 2.1.3.8. | Vergas e Contravergas | 25 |
| 2.1.3.9. | Cinta de Amarração | 26 |
| 2.2. | PROJETOS DE EDIFICAÇÕES..... | 26 |
| 2.3. | MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM) | 28 |
| 2.3.1. | Modelagem Paramétrica..... | 32 |
| 2.3.2. | Interoperabilidade..... | 33 |
| 2.3.3. | Níveis de Desenvolvimento do Modelo (LOD) | 33 |
| 2.3.4. | Softwares BIM | 36 |
| 2.3.4.1. | <i>Autodesk Revit</i> | 37 |
| 2.3.4.2. | Conceito de Famílias em BIM | 38 |
| 2.3.4.3. | <i>Autodesk Navisworks</i> | 39 |
| 2.3.5. | Dimensões do BIM..... | 39 |
| 2.3.5.1. | BIM – 3D | 39 |
| 2.3.5.2. | BIM – 4D | 39 |
| 2.3.5.3. | BIM – 5D | 40 |
| 2.3.5.4. | BIM – 6D | 40 |
| 2.3.5.5. | BIM – 7D | 40 |
| 2.3.6. | Benefícios do BIM | 41 |
| 2.4. | COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS | 42 |
| 2.4.1. | Detecção de interferências com CAD 2D | 43 |
| 2.4.2. | Detecção de interferências com BIM | 44 |
| 3. | ESTUDO DE CASO: EDIFÍCIO EM ALVENARIA ESTRUTURAL..... | 46 |
| 3.1. | DESCRIÇÃO DA OBRA..... | 46 |
| 3.2. | METODOLOGIA..... | 47 |
| 3.2.1. | Modelagem Dos Projetos | 48 |
| 3.2.1.1. | Modelagem do Projeto Arquitetônico..... | 49 |
| 3.2.1.2. | Modelagem do Projeto Estrutural | 50 |
| 3.2.1.3. | Modelagem do Projeto Elétrico | 54 |
| 3.2.1.4. | Modelagem do Projeto Hidrossanitário | 56 |
| 3.2.2. | OBTENÇÃO DOS QUANTITATIVOS..... | 57 |
| 4. | ANÁLISE DOS RESULTADOS | 59 |
| 4.1. | Análise do Projeto Arquitetônico | 59 |
| 4.2. | Análise do Projeto Estrutural..... | 59 |
| 4.3. | Análise do Projeto Elétrico..... | 63 |
| 4.4. | Análise do Projeto Hidrossanitário..... | 64 |
| 4.5. | Compatibilização entre Arquitetônico x Estrutural | 67 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.6. | Compatibilização entre Arquitetônico x Estrutural x Elétrico | 70 |
| 4.7. | Compatibilização entre Arquitetônico x Estrutural x Elétrico x Hidrossanitário..... | 70 |
| 4.8. | Levantamento de Quantitativos do Projeto Estrutural..... | 72 |
| 5. | CONCLUSÃO | 74 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 75 |
| | APÊNDICE A – RELATÓRIO INCOMPATIBILIDADE DO PROJETO HIDROSSANITÁRIO FORNECIDO PELO <i>NAVISWORKS</i> | 79 |

1. INTRODUÇÃO

A etapa de projeto é de grande importância para o sucesso de um empreendimento, tendo em vista que as principais decisões e definições estratégicas serão tomadas nessa fase a fim de evitar erros durante a execução que podem acarretar no aumento de custos e prazos. De acordo com Eastman *et al.* (2014), atualmente o processo de entrega de um empreendimento permanece fragmentado e baseado em documentações impressas em papel como forma de comunicação. Além disso, os documentos gerados muitas vezes possuem erros e omissões das informações que podem causar custos adicionais e retrabalhos. Esta inconsistência na coordenação de projetos e erros de interferências são problemas recorrentes nas construções brasileiras.

Segundo Melhado *et al.* (2005) a compatibilização de projetos possui influência decisiva no desempenho de produção e nas deficiências relacionadas a esse processo. As principais causas de baixa produtividade, elevado índice de desperdícios e a baixa qualidade dos produtos gerados estão relacionadas a essa etapa, muitas vezes negligenciada.

A complexidade envolvida em um empreendimento da construção civil é elevada, uma vez que cada decisão afeta um grande número de outras decisões, demandando ações, métodos, técnicas e ferramentas apropriados para gerenciá-los com sucesso. Nesse contexto, a modelagem da informação da construção (BIM) vem ganhando notoriedade por apresentar-se como uma alternativa de automatizar e minimizar os erros comumente vistos no canteiro de obras.

O BIM é uma das metodologias mais promissoras para o desenvolvimento da indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC) e sua aplicação tem sido impulsionada pela criação de normas, comitês e decretos. Na metodologia BIM, um modelo preciso da edificação é construído virtualmente. Após sua finalização, o modelo gerado contém a geometria exata de seus objetos, além de informações necessárias para dar suporte na sua execução (EASTMAN *et al.*, 2014).

A base de um sistema BIM é o banco de dados que, além de exibir a geometria dos elementos construtivos em três dimensões, armazena seus atributos. Portanto, transmite mais informação que os modelos CAD utilizados. Além disso, como os elementos são paramétricos, é possível alterá-los e obter atualizações instantâneas em todo o projeto. Esse processo estimula a experimentação, diminui conflitos entre elementos construtivos, facilita revisões e aumenta a produtividade.

A metodologia BIM será implementada obrigatoriamente segundo o decreto nº 9.377 a partir de 2020. E, assim, seu conhecimento passa a ser de suma importância para todos profissionais envolvidos na área, sendo este trabalho uma fonte de pesquisa para os mesmos. Nesse sentido, o

presente trabalho propõe analisar o uso do BIM no processo de modelagem e compatibilização dos projetos referente ao pavimento tipo de um edifício em alvenaria estrutural.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é analisar as incompatibilidades de projetos de um pavimento tipo em alvenaria estrutural com o uso do BIM.

São objetivos específicos:

- ✓ Transferir os projetos arquitetônico, estrutural, elétrico e hidrossanitário do sistema CAD para o BIM;
- ✓ Analisar os projetos das diferentes disciplinas;
- ✓ Verificar as interferências através da compatibilização das disciplinas;
- ✓ Obter o quantitativo do projeto estrutural a partir do modelo BIM;
- ✓ Identificar as vantagens e limitações na utilização da metodologia BIM.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir, são apresentadas algumas características e conceitos fundamentais para uma melhor compreensão do estudo em questão.

2.1. ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo no qual as paredes da edificação exercem função estrutural, não sendo necessário o emprego de vigas e pilares para a sustentação do edifício, substituindo o sistema construtivo tradicional, de concreto armado (MOHAMAD, 2015).

Neste sistema, as paredes da edificação utilizam blocos estruturais industrializados de dimensões e peso que os fazem manuseáveis, e, ligados por argamassa, formam um conjunto monolítico. Estas peças são componentes básicos da alvenaria estrutural, podendo representar até 95% do volume de alvenaria, sendo eles os principais responsáveis pelas características de resistência à compressão, estabilidade, resistência ao fogo, intempéries e ao bom isolamento térmico e acústico. Estes blocos podem ser feitos de concreto, cerâmica ou sílico-calcário (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

De acordo com Sabbatini (1989), as paredes são os elementos principais da alvenaria estrutural devendo resistir às cargas que lhe forem impostas assim como nos pilares e vigas utilizados nas construções em concreto armado, aço ou madeira. Portanto, a distribuição das paredes deve ser feita de forma a estabilizar uma a outra.

Edifícios em alvenaria estrutural têm como característica possuir elementos que sirvam como estrutura e vedação ao mesmo tempo. Este sistema construtivo torna-se mais viável em edificações residenciais com limitado número de pavimentos e com vão médio entre paredes de 4 a 5 metros, sendo usualmente indicado quando não há previsão de alteração na arquitetura, pois a remoção de qualquer parede fica sujeita a análise e execução de reforços (PARSEKIAN; SOARES, 2011).

O principal conceito desse sistema construtivo é a transmissão de ações através de tensões de compressão. Os esforços de tração podem ser admitidos desde que sejam em pontos específicos e de pequeno grau, caso contrário, se fará necessário a utilização crescente de pontos de graute e armaduras, o que resulta na perda de agilidade e economia (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Segundo Tauil e Nesse (2010) este sistema construtivo pode ser dividido basicamente em duas categorias: alvenaria armada e não armada. Na alvenaria armada são introduzidas, em pontos pertinentes, barras de aço nos vazios dos alvéolos dos blocos e, posteriormente, esses são preenchidos com graute, cuja função é dar união e aderência adequada entre a alvenaria e o aço

garantindo uma ação conjunta. Desta forma, a alvenaria passa a se comportar semelhantemente as peças de concreto armado, sendo seu uso indicado de acordo com as exigências estruturais. Na alvenaria não armada, são inseridas apenas armaduras em vergas, contravergas e cintas de amarração, tendo estas a atribuição de evitar patologias como trincas e fissurações provenientes de acomodação da estrutura, dilatação térmica e pontos de concentração de tensões.

Um bom projeto em alvenaria estrutural deve ser compreendido como um processo construtivo racionalizado, projetado, calculado e construído em conformidade com as normas técnicas pertinentes, visando funcionalidade com segurança e economia. Para tal, durante seu processo de elaboração é fundamental a integração entre arquiteto e engenheiros, objetivando a obtenção de uma estrutura economicamente competente para suportar todos os esforços previstos, sem que haja prejuízo tanto da estética quanto das demais funções, tais como: compartimentação, vedação, isolamento termo acústico, instalações hidráulicas e elétricas (MOHAMAD, 2015).

2.1.1. Vantagens e Desvantagens

Mohamad (2015) cita diversas vantagens de se construir usando alvenaria estrutural em relação às estruturas de concreto armado, algumas delas são:

- ✓ mão de obra qualificada,
- ✓ limpeza do canteiro de obras,
- ✓ redução nas armaduras e fôrmas,
- ✓ redução de resíduos,
- ✓ otimização no tempo de execução,
- ✓ necessidade de integração e compatibilização com instalações prediais e
- ✓ redução do número de profissionais no canteiro de obras.

Além das vantagens citadas acima, a economia está intrínseca em todas elas, ocorre em virtude da racionalização e otimização de tarefas na obra, de técnicas executivas simplificadas, da facilidade de controle nas etapas de produção e da eliminação de interferência. Esses fatores geram uma redução no desperdício de materiais que são produzidos pelo constante retrabalho nas obras. Embora o sistema possua diversas vantagens, também possui algumas desvantagens, pois além de não permitir paredes e conjuntos muito esbeltos, seus vãos livres são limitados e os vãos em balanços não são recomendados. Outra desvantagem está relacionada à arquitetura, uma vez que

não são permitidas improvisações quanto a sua forma, restringindo assim a possibilidade de futuras mudanças no rearranjo das paredes (MOHAMAD, 2015).

2.1.2. Análise de Viabilidade

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), em casos usuais, o sistema de construção em alvenaria estrutural tem seu custo de produção compensado com a economia que se obtém da eliminação de pilares e vigas de uma edificação. Entretanto, detalhes importantes da edificação devem ser analisados com cuidado antes de se optar por este sistema construtivo. Caso contrário, a situação pode ser a oposta, ocasionando em um processo mais oneroso. Para a escolha do tipo de sistema construtivo a ser utilizado para a concepção da edificação, os autores citam algumas considerações, sendo algumas delas:

- ✓ *tipo de uso*: a alvenaria estrutural torna-se viável em edificações residenciais de médio e baixo padrão, onde seus vãos são menores. Em edifícios residenciais de alto padrão, onde há necessidade de grandes vãos, este sistema torna-se inviável. No caso de edifícios comerciais, sua utilização é desaconselhada pois torna o ambiente inflexível às adaptações de futuras mudanças dos arranjos arquitetônico.
- ✓ *arranjo arquitetônico*: além deste tipo de sistema não permitir futuros arranjos arquitetônicos, a quantidade de paredes estruturais influencia no comportamento de sua estrutural. Logo, é necessário considerar a quantidade de paredes estruturais por m² de um pavimento. Um valor indicativo razoável é que se tenha de 0,5 a 0,7 metros de parede por m² de área do pavimento. Fora desses limites, não se considera a densidade de paredes usual, tornando o sistema de alvenaria estrutural desfavorável.
- ✓ *altura da edificação*: de acordo com parâmetros usuais no Brasil, edificações em alvenaria estrutural com mais de 15 ou 16 pavimentos tornam-se inviáveis, pois estruturas com um número de pavimentos superior a esse limite acabam por sofrer grandes esforços de compressão, gerando a necessidade do uso de blocos com resistência elevada aos quais não se encontram no mercado, resultando assim, em um grauteamento generalizado. Além disso, as ações horizontais advindas do vento geram tensões de tração significativas, acarretando um consumo elevado de armaduras e graute, prejudicando a economia da obra.

Além destas considerações, Gallegos *apud* Ramalho e Corrêa (2003) e Mohammad (2015) recomenda a análise de outras variáveis, sendo uma delas as relações dimensionais do edifício, onde sua robustez é avaliada pelas relações entre as suas dimensões de comprimento (C), largura

(L) e altura (H). O autor indica os parâmetros dessas relações como sendo: ideais ($C/L < 1$ e $H/L \leq 1$), aceitáveis ($C/L \leq 4$ e $H/L \leq 3$) e ruins ($C/L > 4$ e $H/L > 3$).

2.1.3. Conceitos e Critérios Básicos de Projeto

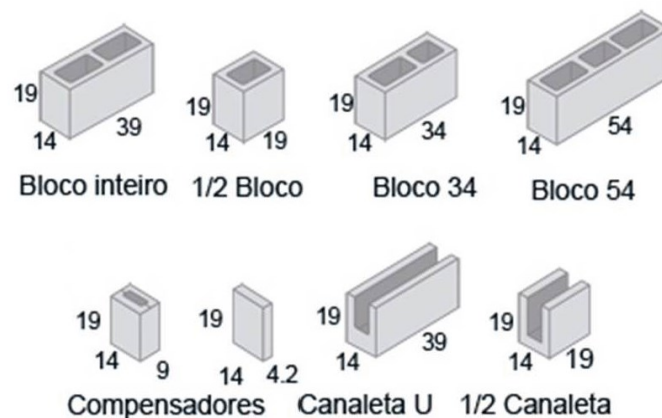
O sucesso de um empreendimento em alvenaria estrutural se inicia pela elaboração de um projeto adequado, onde é necessário o conhecimento dos critérios de projeto que regem este sistema construtivo. Alguns destes critérios e conceitos são listados a seguir.

2.1.3.1. Modulação

Um dos aspectos mais relevantes é a definição do tipo de bloco a ser empregado no projeto. Com um módulo básico escolhido (dimensão real do bloco mais a espessura da junta), as alturas e comprimentos das paredes devem ser múltiplos deste módulo básico (MOHAMAD, 2015). No caso das dimensões de uma edificação não serem moduladas, os enchimentos necessários para a complementação dos espaços acarretam em um maior custo e menor racionalização da obra.

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), no Brasil são encontrados mais facilmente blocos com comprimentos múltiplos de 15 e 20 cm, sendo eles respectivamente das famílias 29 e 39 cm. Os blocos cerâmicos são geralmente constituídos pela família 29, enquanto os blocos de concreto são geralmente constituídos pela família 39. Segundo Parsekian e Soares (2011), os blocos mais usuais possuem largura de 14 cm e altura de 19 cm, sendo os quatro blocos principais da família 39: bloco inteiro (14x19x39), meio bloco (14x19x19), bloco 34 ou bloco de canto (14x19x34), bloco 54 ou bloco de cruzamento (14x19x54), além dos blocos canaletas e especiais (Figura 1).

Figura 1 – Blocos da família 39

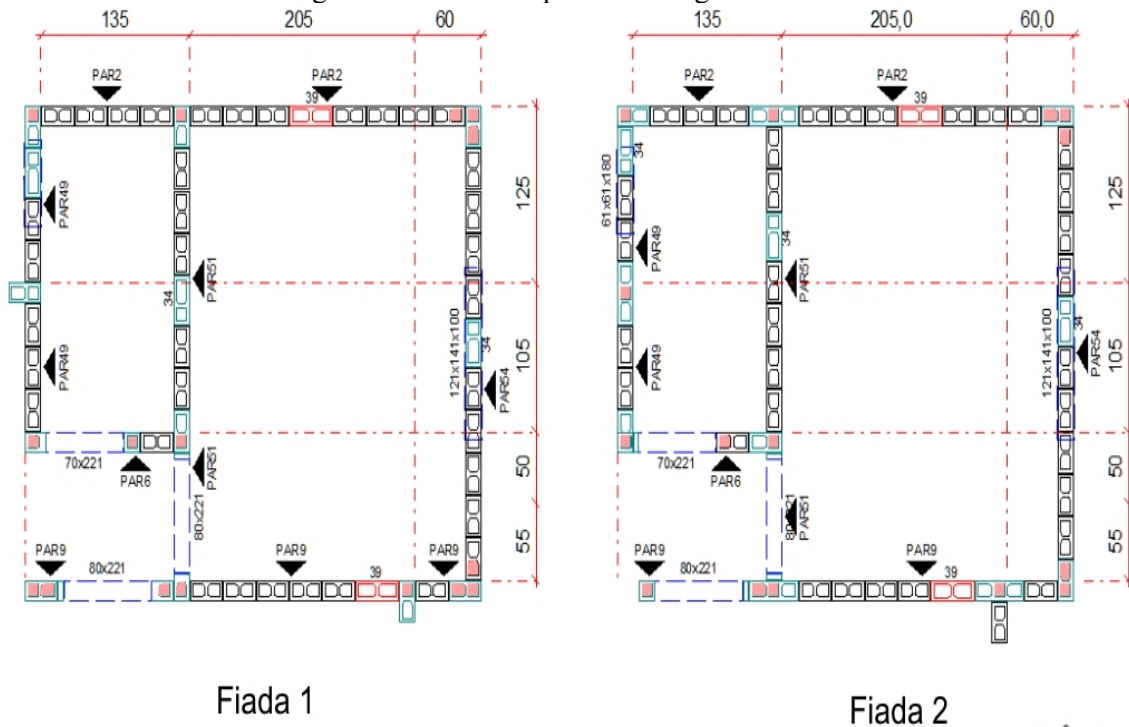


Fonte: Site CimentoTubo (2018).

De acordo com Mohamad (2015), o engenheiro responsável pelo projeto estrutural deve gerar as pranchas de primeira e segunda fiada, também conhecido como fiada ímpar e par, respectivamente (Figura 2). Além destas, também deve gerar a modulação vertical contendo as paginações das

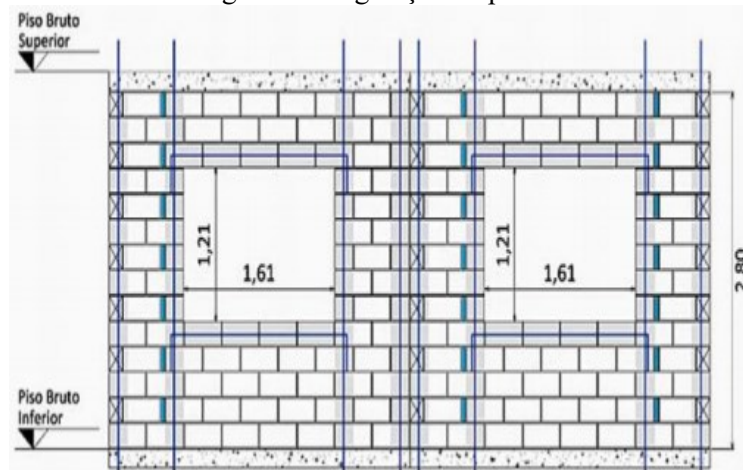
paredes (Figura 3). Nas elevações de cada parede devem constar: a posição de cada bloco, vergas e contravergas, pontos de graute e armaduras, bem como a existência de pontos elétricos e hidráulicos.

Figura 2 – Plantas de primeira e segunda fiada



Fonte: Site AltoQi (2018).

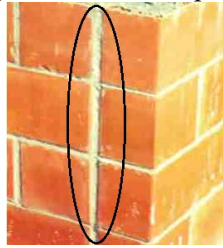
Figura 3 – Paginação de parede



Fonte: Tauil e Nese (2010).

Quando se está gerando o lançamento das fiadas, deve-se ter o cuidado para evitar locais onde não existam blocos se cruzando, denominadas juntas a prumo (Figura 4), para que não haja possíveis fissuras verticais na parede acabada (PARSEKIAN; SOARES, 2011).

Figura 4 – Juntas a prumo



Fonte: Site Acervir (2018) – adaptado.

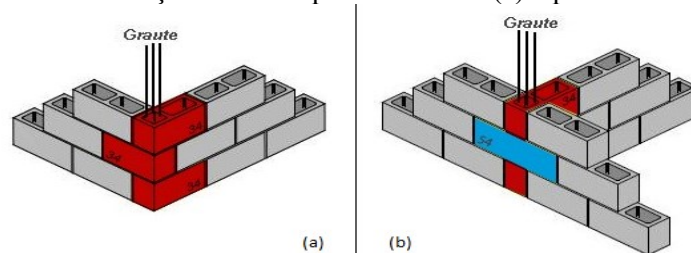
2.1.3.2. Amarração

Para obter a estabilidade da construção e a transmissão dos esforços oriundos do peso próprio e do vento, é fundamental que se faça a amarração entre os elementos estruturais. Segundo a ABNT NBR 15961-1:2011, a amarração pode ser efetuada, basicamente, de duas maneiras:

- ✓ *amarração direta*: onde se tem um padrão de ligação das paredes formado pelo intertravamento de blocos, obtido com a interpenetração alternada de 50% das fiadas de uma parede na outra.
- ✓ *amarração indireta*: são amarrações feitas em paredes com junta vertical a prumo, em que o plano da interface comum é atravessado por armaduras, normalmente, constituídas por grampos metálicos devidamente ancorados em furos verticais adjacentes grauteados ou por telas metálicas ancoradas em juntas de assentamento.

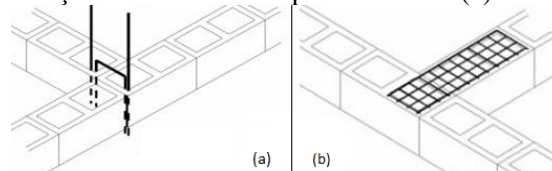
As Figuras 5 e 6 apresentam exemplos de amarração direta e indireta, respectivamente.

Figura 5 – Amarração direta de parede em “L” (a) e parede em “T” (b)



Fonte: site AltoQi (2018).

Figura 6 – Amarração indireta – Grampos metálicos (a) e telas metálicas (b)



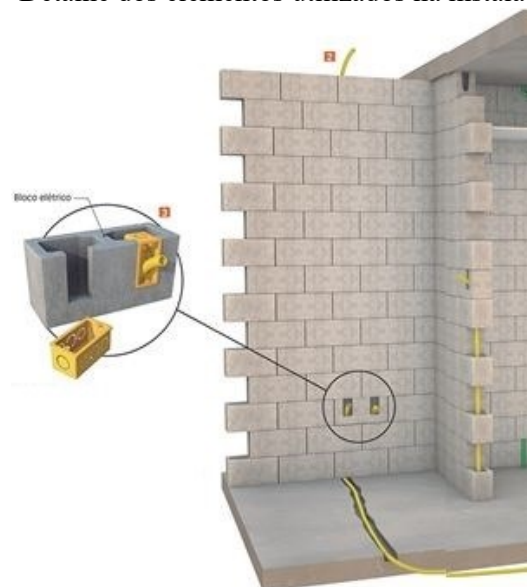
Fonte: site Comunidade da Construção (2018).

2.1.3.3. Instalações Elétricas

Antes de iniciar a execução da obra é primordial que se faça a compatibilização entre os projetos existentes para que se obtenha um sistema construtivo racionalizado. Em obras de alvenaria estrutural, é inconcebível a hipótese de se rasgar paredes para a passagem de instalações. Essa prática, tão comum em alvenaria de vedação, deve ser eliminada, pois os rasgos reduzem a espessura da parede que, no caso da alvenaria estrutural, constitui a própria estrutura resistente. Além disso, essa prática também gera retrabalho, desperdício de mão de obra e de material (MOHAMAD, 2015).

Segundo Mohamad (2015), o caminhamento vertical das instalações elétricas deve ser feito através dos alvéolos existentes nos blocos. E, o caminhamento horizontal é feito através das lajes, sendo os pontos de consumo alimentados por descidas (ou subidas) sempre na vertical. Em pontos onde se tem tomadas e interruptores, existem blocos especiais que apresentam o recorte necessário (Figura 7). Entretanto, estes blocos especiais têm maior custo, o que leva algumas construtoras a optar por utilizar um bloco convencional e, posteriormente, realizar o recorte na obra com serra de discos diamantados.

Figura 7 – Detalhe dos elementos utilizados na instalação elétrica



Fonte: Site Construção Mercado (2016) – adaptado.

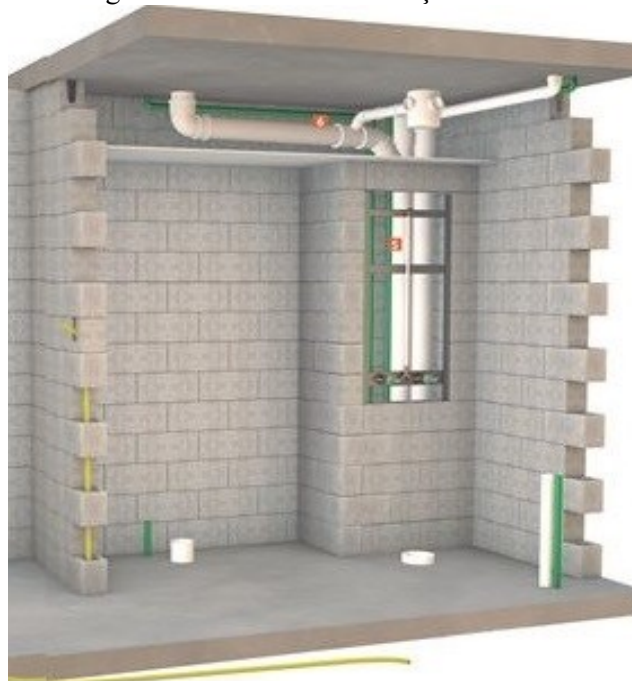
2.1.3.4. Instalações Hidrossanitárias

De acordo com Mohamad (2015), as instalações hidráulicas devem ter em seu projeto, o detalhamento de todas as descidas de instalações por meio da paginação das paredes, tendo os espaços necessários para a passagem das tubulações reservado no projeto estrutural e arquitetônico. Existe uma grande dificuldade em alocar estas tubulações, uma vez que não são

admitidas, em hipótese alguma, a passagem de instalações hidrossanitárias dentro dos alvéolos dos blocos. Esta dificuldade pode ser vencida adotando pontos de água e esgoto em *shafts* e agrupando as instalações hidrossanitárias em paredes hidráulicas (paredes que não tem função estrutural).

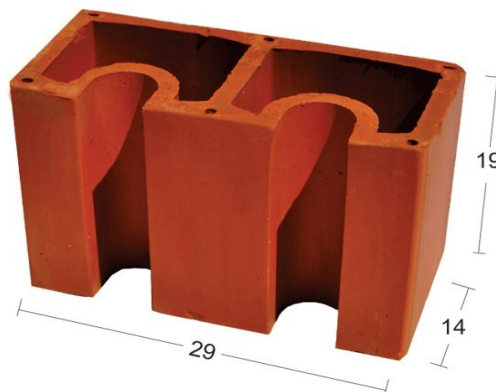
A distribuição horizontal das tubulações pode ser feita através da laje que deve ser devidamente calculada para tal. Essas instalações são, por fim, ocultadas pelo forro de gesso do pavimento superior (Figura 8). Outra solução, é utilizar em paredes de vedação blocos mais estreitos, capaz de formar reentrâncias que permitem embutir as tubulações ou, então, utilizar blocos hidráulicos que possuem reentrâncias na face externa dos blocos, conforme mostrado na Figura 9 (MOHAMAD, 2015).

Figura 8 – Detalhe da instalação hidráulica



Fonte: Site Construção Mercado (2016) – adaptado.

Figura 9 – Bloco Hidráulico

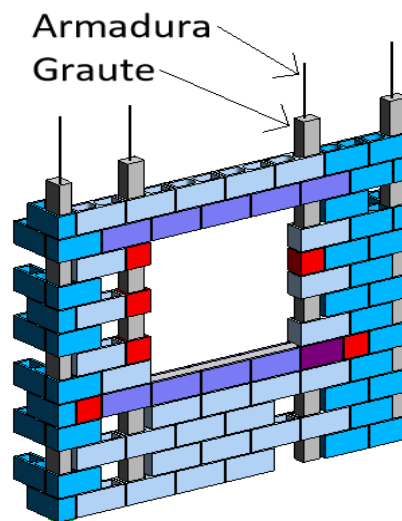


Fonte: Cerâmica 6 (2018).

2.1.3.5. Grauteamento e armaduras

Utiliza-se o graute quando se tem a necessidade de aumentar a capacidade portante da alvenaria à compressão, pois trata-se de um concreto com agregados de pequena dimensão e relativamente fluido, capaz de preencher os vazios dos blocos. Juntamente com o graute são utilizadas armaduras de modo a garantir o trabalho conjunto entre aço e concreto, combatendo também os esforços de tração (Figura 10). As armaduras também podem ser utilizadas nas juntas de argamassa com o intuito de realizar um melhor ligamento entre blocos (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Figura 10 – Graute e armaduras de uma parede



Fonte: Autora (2018).

2.1.3.6. Juntas Horizontais e Verticais

A união do bloco e da argamassa forma o elemento misto conhecido por alvenaria, sendo esta união caracterizada de forma horizontal e vertical. Segundo Mohamad (2015), as juntas horizontais são parte da estrutura tanto quanto as unidades de blocos estruturais.

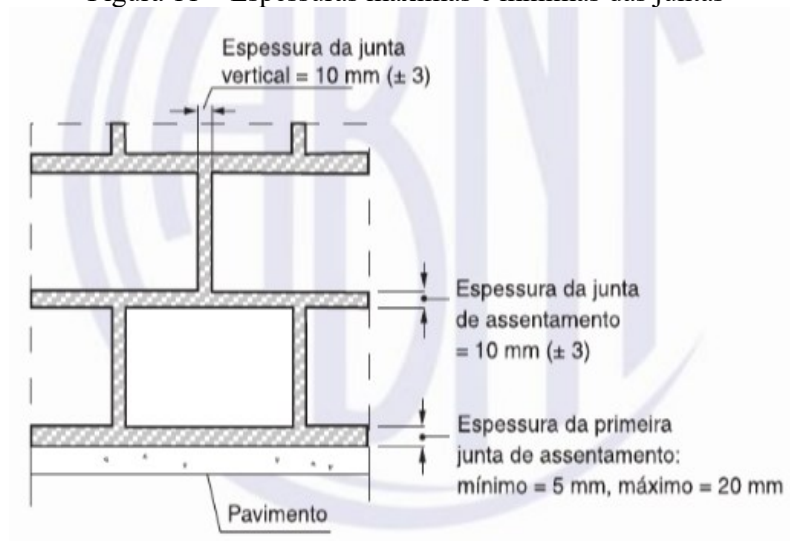
Segundo Parsekian e Soares (2011), a resistência à compressão da argamassa não pode ser superior à resistência do bloco, pois quando se utiliza uma argamassa muito rígida ela perde sua capacidade de absorver deformações. Entretanto, utilizar uma argamassa fraca resulta em uma baixa aderência entre os blocos e pouca resistência à compressão, prejudicando a eficiência da parede portante.

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), a argamassa de assentamento deve possuir de 70% a 100% da resistência do bloco. O autor ainda menciona que argamassas que contenham até 50% da resistência do bloco dificilmente acarretará em diminuição significativa da resistência da parede.

Além da resistência da argamassa utilizada no assentamento dos blocos estruturais, a espessura da junta horizontal também tem grande influência na resistência final da parede. Segundo Ramalho e Corrêa (2003) as juntas horizontais não podem ser muito estreitas, pois a estrutura se tornaria muito

rígida, favorecendo o aparecimento de fissuras por concentração de tensões que prejudicam a resistência da alvenaria. Entretanto, não devem ser muito espessa porque a resistência da parede decresce com o aumento de espessura da junta horizontal. De acordo com Camacho (2006), dos fatores relacionados à mão-de-obra, a variação na espessura das juntas acarreta na redução de 25% na resistência da alvenaria. A ABNT NBR 15961-2:2011 descreve que a espessura da junta horizontal da primeira fiada deve ser de 5 mm a 20 mm, as demais juntas horizontais e verticais podem variar de 7 a 13 mm (Figura 11).

Figura 11 – Espessuras máximas e mínimas das juntas



Fonte: ABNT NBR 15961-2 (2011).

As juntas horizontais devem ser completamente preenchidas, pois juntas incompletas podem reduzir a resistência da alvenaria. As juntas verticais têm pouco efeito na resistência à compressão, mas afeta a resistência à flexão e ao cisalhamento da parede. A aplicação de argamassa somente nas paredes longitudinais (Figura 12) gera menor uso de material e maior rapidez de execução, porém, também produz maior permeabilidade à água, menor aderência e falta de monoliticidade da estrutura (MOHAMAD, 2015).

Figura 12 – Ausência de argamassa nas juntas verticais



Fonte: Revista Técnica, 142 (2009).

2.1.3.7. Juntas de Dilatação e Juntas de Controle

As juntas de dilatação têm a função de permitir que aconteçam todas as movimentações necessárias aos materiais sem concentrar tensões entre os elementos estruturais. Esse tipo de junta deve ser posicionado sempre que houver mudanças de rigidez que levem a edificação a se separar, resultando em fissuração. Estas juntas são formadas por um espaço deixado entre duas paredes estruturais onde deve ser preenchido com material deformante (isopor, por exemplo) e suas extremidades vedadas com material impermeável e elástico (MOHAMAD, 2015).

Segundo a ABNT NBR 15961-1:2011, a cada 24 metros da edificação em planta, deve ser prevista junta de dilatação, podendo esse limite ser alterado conforme avaliação precisa dos efeitos de variação de temperatura e expansão estrutural.

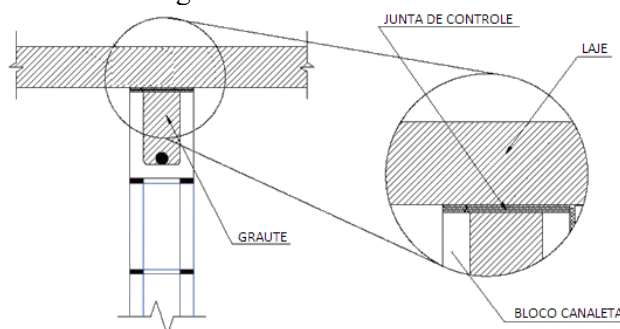
Além da junta de dilatação (Figura 13) existem também juntas de controle (Figura 14). Estas têm a função de permitir movimentos relativos das partes da estrutura, sem prejudicar a sua integridade funcional e estrutural. Os locais mais indicados para colocação dessas juntas são: no encontro da cinta de amarração com a laje de cobertura, em aberturas de portas e janelas, em mudanças de espessura de parede, em mudanças de altura de paredes e em interseções entre pilares e alvenaria (MOHAMAD, 2015).

Figura 13 – Junta de dilatação



Fonte: site Neves Teixeira.

Figura 14 – Junta de controle



Fonte: site Techsys Engenharia – adaptado.

Vale ressaltar que a colocação de uma junta exige muitos cuidados especiais, visto que elas não podem afetar a estabilidade e transmissão de carga das paredes e não podem reduzir a resistência ao fogo do elemento estrutural ou ser local de propagação. Portanto, sempre que possível, seu uso deve ser evitado (MOHAMAD, 2015).

Para que não seja preciso o uso de juntas, pode-se optar por utilizar outras soluções para reforçar as áreas mais frágeis onde possam surgir trinca, são alguns exemplos: uso de colunas de graute, barras de transferência e treliças planas, bem como o controle do tamanho do painel em alvenaria de concreto que, segundo NCMA *apud* Mohamad (2015) esse não deve ser superior a 7,62 m.

Segundo Mohamad (2015), as aberturas (portas e janelas) são os pontos mais vulneráveis ao aparecimento de fissuras na alvenaria. Se a relação entre largura x altura da parede for menor que 2, não é necessário reforço no entorno da abertura. Entretanto, se essa relação for maior que 2, pode ocorrer fissuração, logo, é necessário reforço no seu entorno. Para abertura maior que 1,83 m e sem armadura, esse reforço deve ser feito nos dois lados do vão e consistir de: juntas de controle na finalização da verga, material deslizante abaixo da verga e barras de transferência para garantir a estabilidade lateral. Para abertura menor que 1,83 m, estes reforços são necessários em apenas um lado do vão.

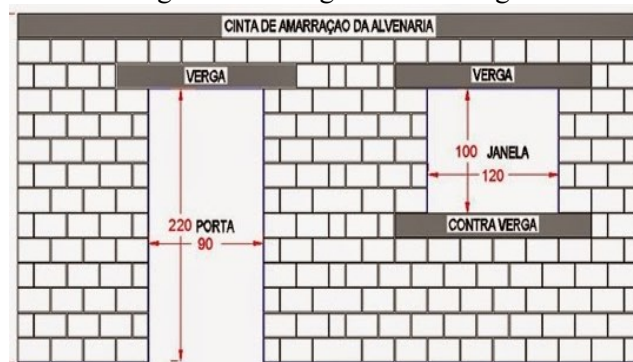
Ainda de acordo com Mohamad (2015), quando não se optar pela execução de junta de controle no entorno das aberturas, deverá ser feito um reforço nas laterais do vão da abertura consistindo de grauteamento vertical e armação. Além disso, na região da contraverga, o autor recomenda posicionar uma treliça plana horizontalmente distribuída na primeira e segunda fiada abaixo da contraverga ou armá-la com ferros longitudinais.

2.1.3.8. Vergas e Contravergas

As aberturas de portas e janelas geram uma descontinuidade na parede, o que propicia o acúmulo de tensões nos cantos de portas e janelas. Para evitar as fissurações oriundas deste acúmulo de tensão, são executadas vergas e contravergas que atuam de forma a absorver os esforços de tração nestes locais.

Segundo Mohamad (2015) para absorver os esforços de flexão são utilizadas vergas na parte superior da abertura e contravergas em sua parte inferior (Figura 15). Estes componentes são executados com blocos canaletas preenchidos com armadura de solidarização e com concreto convencional sendo seu agregado constituído de brita 0 ou 1. Em casos de verga e/ou contravergas de duas esquadrias ficarem muito próximas, o autor sugere que se faça a união das mesmas, formando um único elemento.

Figura 15 – Verga e contra-verga

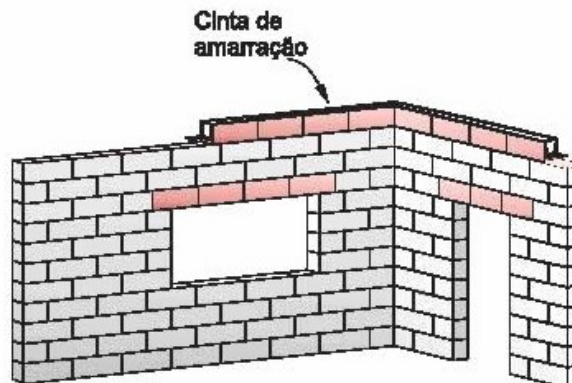


Fonte: Site Blogdatin (2015).

2.1.3.9. Cinta de Amarração

De acordo com a ABNT NBR 15961-2:2011, na última fiada de cada pavimento, deve ser executada uma cinta contínua que solidariza todas as paredes, denominada cinta de amarração ou de respaldo (Figura 16). Esta cinta, pode ser feita com canaletas tipo J ou tipo U e o seu grauteamento é realizado juntamente com a laje.

Figura 16 – Cinta de amarração



Fonte: Site Cimento.Org (2015).

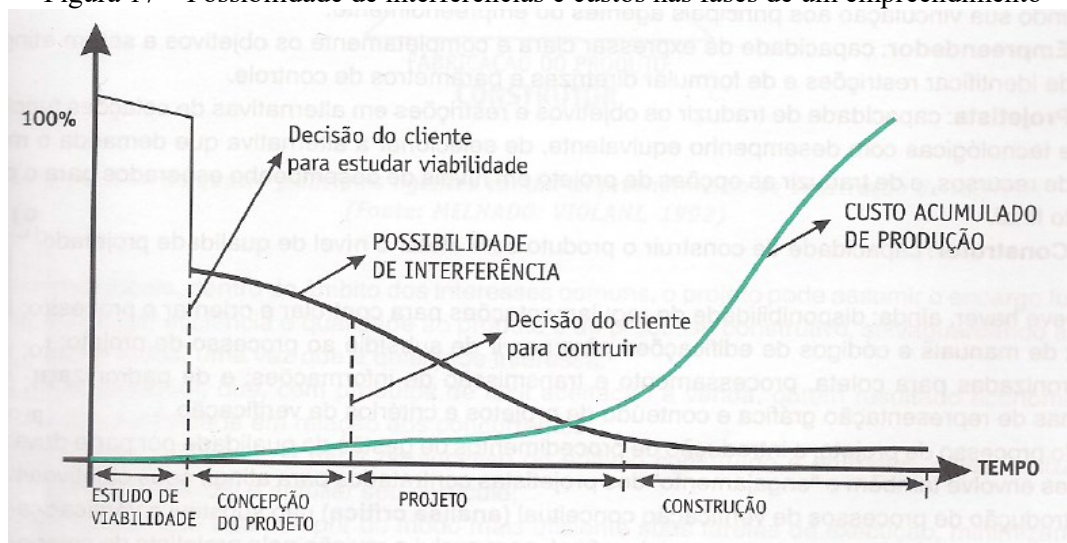
2.2. PROJETOS DE EDIFICAÇÕES

Denomina-se projetos para edificações o desenvolvimento de um produto para construção civil, voltado para um ou mais clientes, cujas necessidades devem ser atendidas (SILVA; SOUZA, 2003).

A etapa de projeto é de grande importância para o sucesso do empreendimento, pois é nesta etapa que boa parte das decisões e definições estratégicas de maior impacto serão tomadas. Segundo Melhado *et al.* (2005), nas etapas que antecedem a construção, são grandes as possibilidades de haver interferências, entretanto, para solucioná-las necessitam-se de custos menores. Após o início da construção, os custos de produção são elevados (Figura 17). Ainda segundo Melhado *et*

al. (2005) quando se tem a priorização da fase de projetos no início de um empreendimento, faz-se necessário um maior investimento inicial e tempo para a sua elaboração, entretanto, as decisões tomadas nas fases que antecede a execução tem maior capacidade de influenciar no custo final da obra (Figura 2). Além disso, a qualidade na elaboração e coordenação dos projetos também tem grande impacto no empreendimento, afetando não somente os custos como também os prazos de execução e a qualidade do produto final. Contudo, o autor ainda afirma que, na prática, o projeto é muitas vezes entendido como um ônus para o empreendedor e, portanto, encarado como uma despesa a ser reduzida o máximo possível.

Figura 17 – Possibilidade de interferências e custos nas fases de um empreendimento



Fonte: Melhado et al. (2005).

De acordo com Oliveira e Freitas (1997) apesar da etapa de execução representar grande parte do custo de uma obra, é na etapa de projeto que se define entre 70 e 80% do custo total da edificação. Ainda segundo o autor, em países desenvolvidos, o tempo dedicado a etapa de projeto chega a ser equivalente ao da fase de construção, o que permite não somente obter mais qualidade nos projetos, mas também um melhor planejamento do processo construtivo. Entretanto, essa prática ainda está um pouco distante da realidade da construção civil no Brasil.

Segundo Rodriguez e Heineck (2003) a fase de projeto pode ser subdividida e classificada em seis etapas, sendo elas:

- ✓ *Planejamento e concepção do empreendimento*: estudo de mercado, levantamento dos dados do terreno e elaboração do programa de necessidades.
- ✓ *Estudo preliminar*: estudos preliminares de arquitetura, estrutura, instalações elétricas e hidrossanitárias, bem como a primeira compatibilização de projetos.

- ✓ *Anteprojeto*: anteprojetos de arquitetura, estrutura, instalações elétricas e hidrossanitárias e sua segunda compatibilização.
- ✓ *Projetos legais*: elaboração dos projetos legais, também conhecido como projetos básicos.
- ✓ *Projetos executivos*: elaboração de projetos executivos de arquitetura e complementares e sua terceira compatibilização.
- ✓ *Acompanhamento da execução e uso*: assistência técnica à obra, elaboração de projeto *as built* e acompanhamento do desempenho.

De acordo com Rodríguez (2005), nos empreendimentos imobiliários no Brasil, uma das características marcantes da fase de projeto é a sobreposição com as etapas de planejamento e execução. Tal prática ocorre devido a questões derivadas da atuação das empresas no mercado imobiliário do país pois, na maioria das vezes, os empreendimentos são lançados no mercado apenas com os projetos legais. Os projetos executivos, enriquecidos com o alto grau de detalhamento exigido para a execução, acabam sendo desenvolvidos apenas durante a execução do empreendimento, o que desfavorece as oportunidades de racionalização de recursos através da análise, controle e integração das diferentes disciplinas de projeto. Além disso, segundo Eastman *et al.* (2014), o distanciamento entre projeto e construção só aumenta à medida que os projetos demandam cada vez mais representações complexas para serem enviadas aos canteiros de obras.

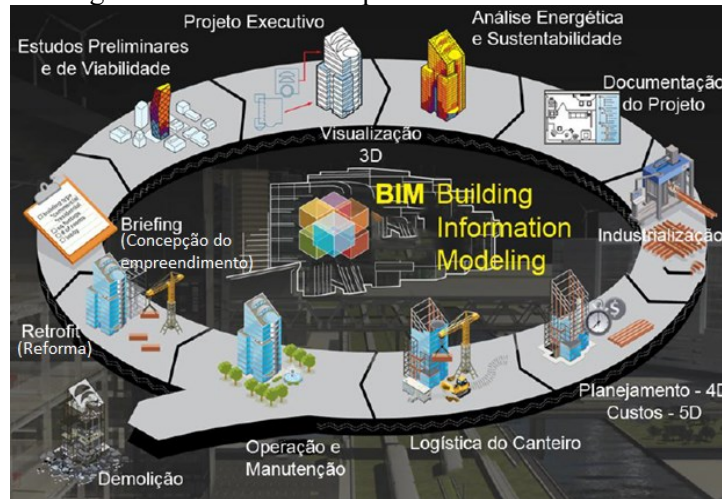
2.3. MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)

A indústria da construção civil tem se baseado, desde o seu início, em representações e desenhos bidimensionais (2D) para definir e executar a sequência de atividades necessárias para a construção de uma edificação (EASTMAN *et al.* 2014). Contudo, as representações em 2D apresentam algumas deficiências, como a de dependerem basicamente da interpretação e abstração de quem as lê, pois são baseadas em linhas, arcos e outros elementos bidimensionais para representar um objeto. Portanto, para se ter o sucesso do projeto, é de fundamental importância que as representações sejam perfeitamente compreendidas por todas as partes envolvidas na construção, porque o planejamento e a execução das atividades são baseados nos documentos gerados.

De acordo com Eastman *et al.* (2014), o *Building Information Modeling* (BIM) conhecido no Brasil como Modelagem da Informação da Construção, trata-se de um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção, tendo como objetivo a integração de projetos para a construção de um modelo virtual único do edifício. Além disso, Lima (2014) define BIM como um modelo de informação do edifício, onde todas as informações necessárias para construí-lo constam no modelo digital criado ao se projetar com esse conceito. Este modelo

eletrônico torna-se um banco de dados que permite a simulação real de um protótipo da construção verdadeira, tendo grande utilidade nos diversos ciclos do empreendimento (Figura 18), como nos ciclos de planejamento, execução, manutenção e, até mesmo, na demolição de uma edificação.

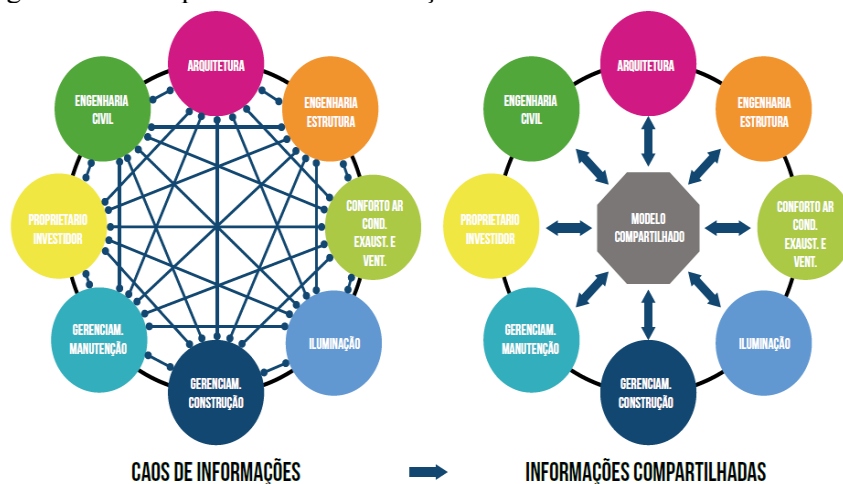
Figura 18 – Ciclos do empreendimento através BIM



Fonte: Site Ditecsa (2017) – adaptado.

Uma das grandes diferenças entre um projeto feito em BIM para um feito no modelo CAD é que o BIM constitui-se geralmente de um modelo único e compartilhado que simula a construção real. Este modelo contém todas as informações necessárias onde se pode extrair vistas, cortes e documentos sobre o projeto (Figura 19). Além disso, o modelo BIM pode ser alimentado de forma simultânea por todos os agentes envolvidos, enquanto que no modelo CAD isso ocorre de forma burocrática e lenta, passando de um projetista para o outro (CBIC, 2016).

Figura 19 – Comparativo das informações entre modelo CAD e modelo BIM



Fonte: CBIC (2016).

De acordo com a CBIC (2016) quanto mais adiantado o estágio de desenvolvimento de um empreendimento, mais altos serão os custos das eventuais alterações de projetos. Isso ocorre porque a capacidade para impactar custos de obra e características funcionais de um

empreendimento diminui conforme o projeto evolui pelos estágios do seu ciclo de desenvolvimento.

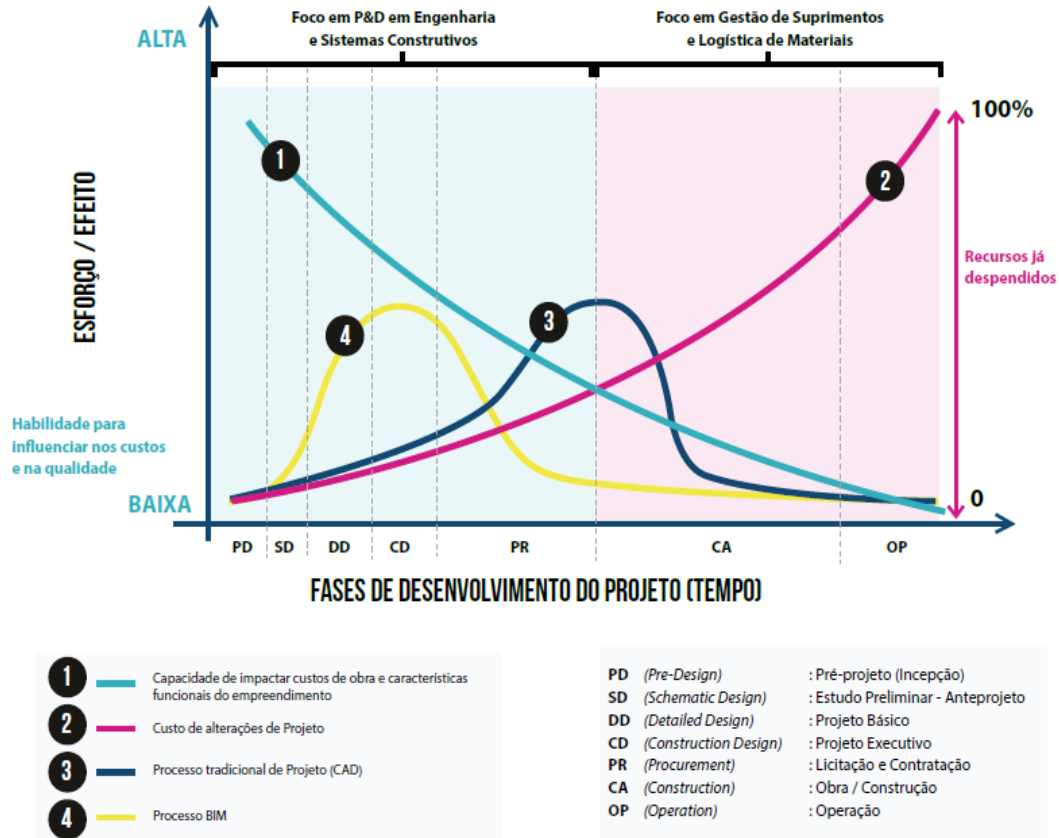
De acordo com Hergunsel *apud* Sena (2012), o ciclo de vida de um empreendimento pode ser dividido em três grandes fases: pré-construção, construção e pós-construção, onde a aplicação do uso do BIM gera diversos impactos para todos os envolvidos nestes processos. Alguns destes impactos são listados a seguir:

- ✓ *fase de pré-construção*: consiste na fase de concepção e elaboração de projetos, onde as aplicações do BIM geram maior redução de custos, pois nesta etapa a equipe de projetistas e engenheiros podem antecipar e solucionar problemas que teriam grande impacto financeiro. Além disso, com o uso do BIM, é possível ter um rápido e preciso levantamento de quantitativos, gerando a elaboração de orçamentos mais assertivos, bem como a visualização de todas as fases da construção e as implicações no canteiro de obras, possibilitando melhor planejamento e cronograma da obra. Outras aplicações ligadas às análises de desempenho também são possíveis nesse estágio.
- ✓ *fase de construção*: nesta fase, o impacto financeiro com o uso do BIM tem uma diminuição, entretanto, ainda são vastas as aplicações que ele permite. É possível ter um melhor controle dos custos, pois pode-se obter levantamento dos gastos de maneira mais rápida e precisa. Além disso, o controle do cronograma da obra pode ser feito de forma mais eficiente, através da geração de comparativos visuais tridimensional entre o planejamento elaborado com o que realmente está sendo executado, facilitando a detecção das causas de atrasos e adotando melhores soluções para finalizar a obra dentro do prazo.
- ✓ *fase de pós-construção*: nesta etapa, o modelo se torna uma poderosa ferramenta de manutenção e reformas, pois funciona como registro de todos os elementos contidos na construção e suas informações associadas.

Na Figura 20 demonstra-se um comparativo entre o processo tradicional de projetos desenvolvidos em modelo CAD e em modelo BIM, onde pode-se notar que antes do início das obras (parte esquerda do gráfico, com o fundo azul), estão as grandes e mais significativas oportunidades para obter reduções de custos e definir racionalizações. Portanto, são nessas fases de desenvolvimento do projeto, que o foco dos esforços deve estar nas atividades de concepção, pesquisas e desenvolvimentos de sistemas, de soluções construtivas e de engenharia. Após o início das obras (parte direita do gráfico, com o fundo rosa), numa situação ideal, a maioria das especificações e decisões sobre os métodos construtivos a serem utilizados já terão sido tomadas e estariam

congeladas. Portanto, o foco dos esforços deverá migrar para a gestão de suprimentos de materiais e dos demais recursos logísticos (CBIC, 2016).

Figura 20 – Comparativo entre os custos das alterações em projetos CAD e BIM



Fonte: CBIC (2016)

Quando comparado com outros setores, percebe-se que a construção civil precisa mudar a forma como se pensa e elabora suas obras, pois assim poderá atingir um grau de eficiência, padronização e qualidade. A metodologia BIM muda completamente o processo de projeto e construção, saindo de uma realidade bidimensional para uma n -dimensional (Addor *et al.*, 2010). Isso representa uma grande mudança de paradigma que trará grande impacto, rompendo o modelo tradicional e propondo um modelo novo e integrado que possibilita trazer grandes benefícios, não apenas para a indústria da construção, mas para a sociedade como um todo, visto que as obras são executadas com menor consumo de materiais, menos trabalho e menor custo. Sendo assim, o BIM não se trata de um programa ou ferramenta, mas sim de uma metodologia que representa um grande potencial para reduzir erros decorrentes de trocas de informações e melhorar todas as etapas no ciclo de vida de um empreendimento.

De acordo com CBIC (2016), atualmente ainda existe muita confusão sobre o que é BIM, que vantagens ele traz e a mudança que ele representa no fluxo e processo de trabalho. Para lidar com

esse mal-entendido, essa instituição descreve uma série de soluções de modelagem que não utilizam a tecnologia BIM, dentre as quais destacam-se:

- ✓ *modelos que contém apenas conteúdo 3D e nenhum (ou pouco) atributo de objeto*: modelos que podem ser utilizados unicamente para visualização tridimensional e não possuem nenhuma inteligência à nível de objeto;
- ✓ *modelos sem suporte a comportamento*: modelos que definem objetos, mas não ajustam o seu posicionamento ou proporção porque não são paramétricos. Isso faz com que mudanças sejam um trabalho intenso e não dispõem de ferramentas para proteção contra inconsistências do modelo;
- ✓ *modelos que são compostos por múltiplas referências de CAD 2D*: é impossível garantir que o modelo 3D resultante será factível, consistente, contável e inteligente no que tange os objetos contidos nele;
- ✓ *modelos que permitem mudanças de dimensão em uma vista, mas que não as refletem automaticamente em outras vistas*: podem dar ocasião a erros no modelo que são de difícil detecção.

2.3.1. Modelagem Paramétrica

De acordo com Eastman *et al.* (2014), a modelagem paramétrica e a interoperabilidade são as principais características de um modelo BIM, sendo estes conceitos a base dessa revolucionária metodologia.

A modelagem paramétrica é feita com base em objetos que possuem parametria, ou seja, dispõem de um ou mais parâmetro. Portanto, estes objetos paramétricos não possuem geometria fixa, mas parâmetros e regras que podem ter relações entre diferentes objetos, permitindo que todo o projeto atualize de forma automática quando um objeto é modificado. Essa atualização automática é um dos grandes diferenciais do BIM em relação ao CAD (EASTMAN *et al.*, 2014).

As diversas informações inseridas nos objetos paramétricos na forma de parâmetros e regras, podem ser interpretadas e utilizadas por outros aplicativos, formando assim um verdadeiro banco de dados sobre todos os elementos que existem dentro do modelo. Estas informações podem ser acerca dos materiais, propriedades físicas, dimensões, fabricantes, dentre outras. Quanto maior for a diversidade e qualidade das informações dos objetos, melhor será a qualidade do modelo. Entretanto, o modelo único que é gerado com essas informações, acaba exigindo uma grande capacidade de memória e processamento dos computadores, exigindo máquinas com alto

desempenho e de alto valor de aquisição para rodar e analisar os modelos, sendo esse um dos problemas relacionados ao BIM (EASTMAN *et al.*, 2014).

2.3.2. Interoperabilidade

O conceito de interoperabilidade, como mencionado anteriormente, é um dos principais requisitos para se produzir em BIM. Este conceito está diretamente relacionado a uma eficiente troca de informações dentro de um modelo único. Com a integração e intercâmbio das informações dos projetistas de diferentes disciplinas, torna-se fundamental que nenhuma destas informações seja perdida, afim de obter um modelo consistente.

Em geral, cada equipe de projeto utiliza diferentes *softwares* para alimentar este modelo único. Sendo assim, as extensões de arquivos que são gerados variam de acordo com os fabricantes e modelos dos *softwares* utilizados. Buscando reduzir o problema gerado pela falta de padronização e dificuldade na transferência de dados entre as diferentes extensões de softwares, uma organização chamada *International Alliance for Interoperability* (IAI) criou, em 1997, um modelo de dados chamado *Industry Foundation Classes*, chamado de IFC. Deste então, o IFC passou por constante melhorias e, atualmente, é o modelo de dados mais utilizado no setor (CARVALHO; SCHEER, 2011).

De acordo com Kymmell (2008) o IFC representa um formato de arquivo padrão com especificações padronizadas para o BIM, onde permite aos fabricantes de softwares converter suas distintas extensões de arquivos para um formato único, o formato IFC. Portanto, o modelo criado a partir de diversos *softwares* pode carregar e transferir muito mais informações anexadas ao projeto.

2.3.3. Níveis de Desenvolvimento do Modelo (LOD)

Antes de iniciar a criação do modelo, é preciso estabelecer quais serão as funções que este irá exercer, determinando quais informações são pertinentes para o projeto em questão, ou seja, qual será o seu nível de detalhe e de desenvolvimento. Sendo assim, o nível de desenvolvimento é pertinente à fase em que o projeto se encontra. Em um anteprojeto ou projeto básico, por exemplo, não se faz necessário um nível de detalhamento elevado. Entretanto, um projeto para se extrair quantitativos, deverá ter seu modelo suficientemente detalhado para fornecer as quantidades de materiais necessárias para a avaliação de custos (Eastman *et al.*, 2011).

Segundo Silva (2013) o nível de desenvolvimento (*Level of Development* –LOD) pode ser definido como um critério de maturidade e de usabilidade do BIM em diferentes fases de um projeto, sendo

expresso por uma série progressiva de números que correspondem a níveis de pormenorização diferentes e crescentes. Esses podem ser relacionados com as diferentes etapas de concepção e utilização de um edifício.

Segundo Oliveira (2015), num mesmo modelo haverá elementos com diferentes níveis de desenvolvimento. Sendo assim, no ambiente de trabalho colaborativo em que é proposto pelo BIM, faz-se necessário ficar visualmente claro, para todos os projetistas, quais elementos estão definidos, quais processos de desenvolvimento e quais estão presentes apenas para um mero entendimento do todo. Pensando nisso, a *American Institute of Architects* (AIA), uma das principais entidades que representa os arquitetos nos Estados Unidos, publicou em 2013 um documento em que organiza e descreve cinco diferentes níveis de LODs (Figura 21). Embora este seja apenas um dos muitos tipos de classificação propostos, será o adotado durante o estudo de caso.

Figura 21 – Os cinco diferentes níveis de LOD publicados pela AIA

| Ilustração | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
|--|--|--|---|--|--|
|  |  |  |  |  |  |
| LOD | <p>100</p> <p>Equivale ao Projeto Conceitual.</p> <p>O modelo consistirá das massas totais das edificações.</p> | <p>200</p> <p>Similar ao projeto esquemático.</p> <p>O modelo consistirá de sistemas genéricos ou montagens com quantidades aproximadas, tamanhos, forma, localização e orientação.</p> | <p>300</p> <p>Os elementos do modelo definirão as montagens de modo preciso em termos de quantidades, tamanhos, forma, localização e orientação. Informações não geométricas podem ser relacionadas aos objetos.</p> | <p>400</p> <p>Os elementos do Modelo definirão as montagens de modo preciso em termos de quantidades, tamanhos, forma, localização e orientação, e incluirão informações completas e detalhadas sobre fabricação e montagens. Informações não-geométricas podem ser relacionadas aos objetos.</p> | <p>500</p> <p>Equivale ao <i>As-built</i>.</p> <p>O nível final de desenvolvimento que representa o projeto como ele foi realmente construído.</p> <p>O modelo servirá para a gestão da manutenção e da operação da edificação ou instalação.</p> |

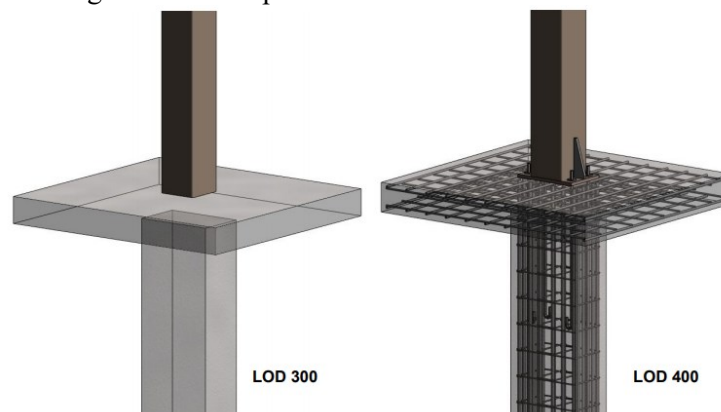
Fonte: CBIC (2016) – adaptado.

Ainda com relação aos padrões estabelecidos pelo AIA, a seguir, são conceituados os cinco diferentes níveis de LOD propostos, a saber:

- ✓ *LOD 100*: equivale a um projeto com finalidade conceitual, onde é constituído de formas geométricas simples. Geralmente, é utilizado na fase de concepção do projeto. Serve para análises básicas de questões como: o tamanho do empreendimento, o tempo total da obra, as possíveis dificuldades de implantação do mesmo, entre outras análises da edificação como um todo.

- ✓ *LOD 200*: é um nível constituído por modelos com sistemas e peças genéricas, sendo possível obter tamanho, formas e quantidades aproximadas. É similar ao projeto esquemático usado na fase de anteprojeto. Neste nível, as estimativas de custo podem ser realizadas, mas sem precisão. No planejamento, pode-se incluir apenas a definição da ordem de construção.
- ✓ *LOD 300*: o projeto é desenvolvido a nível executivo, mas sem aprofundamentos nos detalhes de execução como, por exemplo, sua fabricação e montagem. Os elementos e os sistemas são definidos de forma detalhada, além disso, as informações não geométricas podem ser incorporadas aos objetos. O modelo gerado com este nível, serve para a elaboração de documentos tradicionalmente utilizados nos processos de contratação e construção de um empreendimento. Ao usar como base um modelo mais detalhado, é possível obter estimativas de custos mais precisas que no LOD 200, além de um planejamento que leva em conta a ordenação de cada atividade da construção.
- ✓ *LOD 400*: neste nível, deve-se incluir um alto grau de detalhamento, onde a definição gráfica é ainda mais refinada do que no LOD 300 como, por exemplo, as armaduras que constituem uma determinada laje (Figura 22). Projetos que possuem esse nível de desenvolvimento, é considerado um projeto executivo podendo, ainda, incluir informações completas e detalhadas sobre a fabricação, a montagem e a construção de seus elementos, se tornando uma ferramenta de acompanhamento da obra. Em modelos com este nível de desenvolvimento, as estimativas de custo são precisas e feitas com base em um custo de venda atualizado. O planejamento da construção é feito através de um ensaio virtual da obra incluindo seus métodos e sistemas construtivos. Outra finalidade para modelos com este nível de desenvolvimento, é a realização de análise energética, utilizado para análises de desempenho da edificação.

Figura 22 – Comparativo entre LOD 300 e LOD 400



Fonte: Silva (2013).

- ✓ *LOD 500*: corresponde ao nível final de um desenvolvimento, podendo ser relacionado com o *as built* do empreendimento, em que se pretende representar um projeto como ele de fato deve ser construído. Este nível de desenvolvimento em um modelo é feito pensando no pós-obra (*as built*), com foco no cliente final da edificação, onde o mesmo possa obter um mapa completo do que foi executado, de modo a auxiliá-lo nas manutenções, reformas ou modificações da estrutura. Portanto, sua finalidade é servir de base para a realização da gestão da manutenção e operação do empreendimento.

Um limitante da utilização de níveis de desenvolvimento elevado é o peso do arquivo gerado. Quanto maior a complexidade e informações contidas no modelo, maior deverá ser a capacidade de processamento e placa de vídeo do computador. Caso contrário, o desenvolvimento do projeto fica inviável.

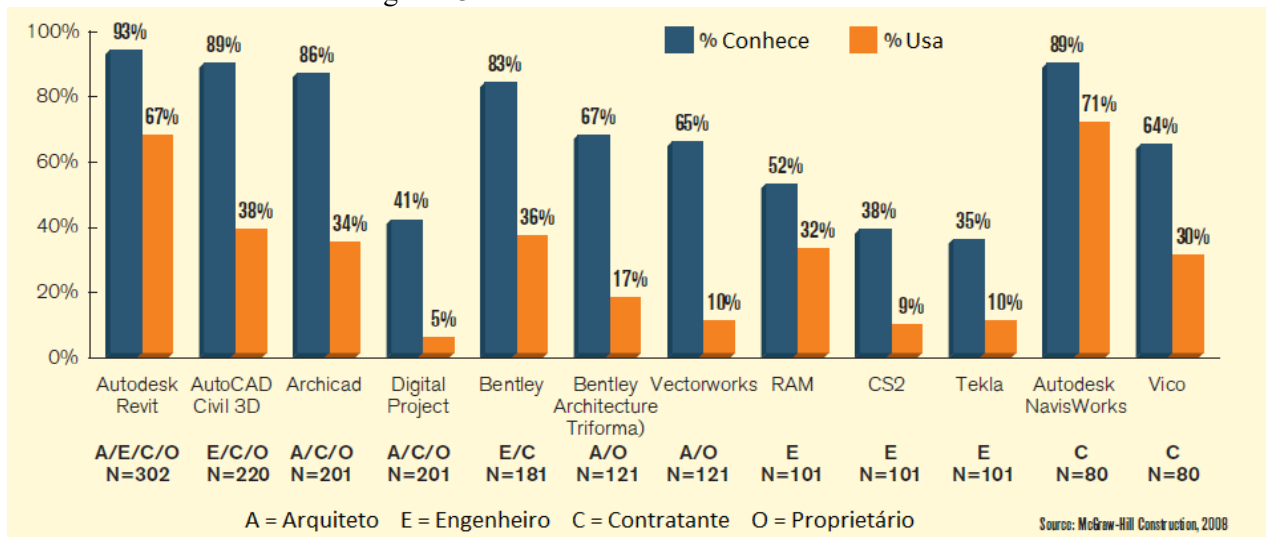
Ainda vale ressaltar que, com a possibilidade de desenvolver modelos em diferentes níveis, há novas possibilidades contratuais para os projetistas. Portanto, não será mais vendido apenas um projeto geométrico, mas modelos que são focados em atingir diferentes objetivos, tendo seu valor agregado diferenciado em relação ao que é pedido pelo cliente – denominados pela CBIC (2016) de ‘Entregáveis BIM’. Por exemplo, se o cliente quiser fazer o planejamento de sua obra em BIM-4D, será preciso inserir elementos no modelo que tenham essa finalidade.

2.3.4. Softwares BIM

Existe no mercado diversos softwares que utilizam a metodologia BIM, onde a escolha de uma ferramenta adequada às necessidades de cada projeto é de suma importância para se ter o máximo benefício de uso desta tecnologia.

De acordo com uma pesquisa realizada, em 2008 pela *McGraw-Hill Construction*, a Autodesk, empresa norte-americana que desenvolveu o AutoCAD é a atual líder no mercado de *softwares* BIM, com os programas *Revit* e *NavisWorks*. Segundo essa pesquisa, o *Revit* é o programa mais conhecido e o segundo mais usado, com utilização de 67% dos entrevistados e conhecido por 93% (Figura 23).

Figura 23 – Conhecimento dos softwares BIM



Fonte: McGraw-Hill Construction (2008) – adaptado.

Neste estudo, será abordado apenas os softwares *Revit* e *Navisworks*, os que serão empregados para a modelagem e análises do estudo de caso.

2.3.4.1. Autodesk Revit

A finalidade da ferramenta é permitir aos profissionais projetar e documentar empreendimentos através da criação de um modelo paramétrico tridimensional que contenha informações geométricas e não-geométricas do desenho e da construção. Com a utilização deste programa, é possível o desenvolvimento de modelos com recursos para modelagem, anotação, documentação, levantamento de quantitativos, geração de legendas, tabelas, câmeras e renderizações, além de passeios interativos, chamados de *walkthroughs* (CBIC 2016). Além disso, todas as informações dos modelos são armazenadas num único banco de dados coordenado, permitindo que as revisões e as alterações sejam automaticamente repercutidas em todo o modelo.

De acordo com Tarrafa (2012), atualmente, o programa computacional apresenta módulos para diferentes especialidades, sendo elas:

- ✓ *Revit Architecture*: é específico para modelagem da disciplina de arquitetura, onde todos os elementos constituintes de um modelo arquitetônico são feitos de forma intuitiva e paramétrica.
- ✓ *Revit Structure*: é utilizado para modelar e detalhar toda a parte estrutural do edifício, tais como vigas, pilares, lajes e armaduras. É importante salientar que o *Revit Structure* não realiza a análise do modelo estrutural, tal função fica a cargo de *softwares* específicos.

- ✓ *Revit MEP*: utiliza ferramentas voltadas para as instalações do edifício, sejam em disciplinas de elétrica, hidrossanitárias ou, até mesmo, mecânicas.

2.3.4.2. Conceito de Famílias em BIM

Para se iniciar uma modelagem em Revit, é preciso primeiramente entender o conceito de famílias, visto que todos os elementos utilizados no *software*, são famílias. Logo, não é possível criar qualquer coisa no Revit sem que se faça uso destas (AUTODESK, 2018).

Famílias são grupos de elementos que utilizam representações gráficas relacionadas, possuindo um conjunto de propriedades denominado “parâmetros”. Uma família pode possuir diferentes elementos que, por sua vez, podem possuir diferentes valores para seus parâmetros. Entretanto, o conjunto de parâmetros devem ser o mesmo. As variações dos valores de parâmetros em uma mesma família, são denominadas de “tipos de famílias” ou, simplesmente, “tipos” (Autodesk, 2018). Por exemplo, ao criar uma família de porta, pode-se estabelecer alguns parâmetros como material, altura, largura e espessura e, ao variar os valores destes parâmetros, tem-se numa mesma família, “tipos” de portas diferentes. Além disso, pode-se adotar regras para utilização de uma família. Por exemplo, ao se criar paredes, podemos atrelar a elas um pavimento, assim, ao mudar a altura do pé direito deste pavimento, as paredes em questão irão acompanhá-lo.

Algumas famílias básicas como, por exemplo, paredes, telhados e pisos, são pertencentes ao ambiente do modelo. Outras mais específicas precisam ser carregadas a partir de uma biblioteca externa. Além disso, o *Revit* permite também a criação de novas famílias e a alteração das existentes.

Uma das grandes dificuldades ao iniciar uma modelagem é a obtenção de uma biblioteca constituída por famílias que atendam às necessidades do usuário. Apesar de existirem sites que disponibilizem famílias para *download*, muitas destas não são parametrizadas corretamente. Optar pela criação delas é uma tarefa complexa e que demanda conhecimento aprofundado do *software*. Além disso, não se recomenda a criação de famílias em demasia visto que os modelos perdem sua padronização. Se cada projetista optar por criar a sua própria biblioteca, teremos diversas famílias criada com diferentes parâmetros e formas para representar um mesmo elemento, o ideal é que isto seja feito pelo próprio fabricante do objeto em questão. Pensando nisso, no decreto nº 9.377 referente a disseminação do BIM no Brasil, feito em 17 de maio de 2018, o atual presidente Michel Temer, menciona no art. 2, inciso VII, a criação de uma Biblioteca Nacional BIM. Vale ressaltar que alguns fabricantes como Tigre, Docol e Deca já disponibilizam alguns de seus produtos modelados.

2.3.4.3. Autodesk Navisworks

Enquanto o Revit é uma plataforma para modelagem dos projetos, que constrói o modelo com seus componentes e dados integrados, o *Navisworks* é uma plataforma de gerenciamento do modelo, que possui diversas ferramentas para análise e gerenciamento do projeto. Ambas possuem ferramentas que auxiliam na detecção de conflitos. Entretanto, no *Navisworks* elas são mais elaboradas e precisas.

2.3.5. Dimensões do BIM

Com a metodologia BIM, o conceito 3D de modelagem computacional pode ser transcendido, no âmbito da construção, à “nD” dimensões, na qual “n” representa o número de dimensões em questão, podendo ser adicionado um número quase infinito de dimensões ao modelo (Eastman *et al.*, 2014). De acordo com o autor, estes modelos nD são extensões do modelo de informação, onde o projetista incorpora múltiplos aspectos de informação ao projeto.

Estes subconjuntos de BIM podem ser resumidos em até sete dimensões, sendo elas: 3D - modelo de objeto, 4D - tempo, 5D - custo, 6D – operação e, até mesmo o 7D – sustentabilidade (Smith *apud* Bomfim *et al.*, 2016). A seguir, são conceituadas estas dimensões.

2.3.5.1. BIM – 3D

De acordo com Motter e Campelo *apud* Bomfim *et al.* (2016), a utilização de projetos apenas com dados 3D permite uma melhor visualização gráfica, mas não possuem suporte para integração de dados e análise de projeto e nem atributos de objetos. Portanto, se o projeto não for paramétrico, ele será apenas um projeto em 3D, não podendo ser chamado de modelo BIM.

Ainda segundo o autor, com os avanços na modelagem 3D é possível inserir objetos paramétricos com informações referenciadas aos modelos genéricos, permitindo maior compreensão durante o seu desenvolvimento. Além disso, os *softwares* com a função de detecção de conflitos (*clash detection*) auxiliam na compatibilização de projetos durante a concepção do mesmo, bem como a gestão das diversas disciplinas de projeto necessárias para construção deste. Essa antecipação de variáveis, permite maior identificação de problemas, os quais são resolvidos ainda na fase de projeto, minimizando custo e tempo no canteiro de obras.

2.3.5.2. BIM – 4D

Ao combinar o sequenciamento temporal a elementos visuais do modelo tridimensional, obtém-se um modelo 4D, que consiste na vinculação do cronograma da obra às três dimensões. Portanto, o

BIM 4D introduz atributos de tempo ao modelo, permitindo o uso da tecnologia para modelagem e planejamento, simulando as etapas de construção antes mesmo do início da obra, estabelecendo assim, melhores estratégias de planejamento (MOTTER; CAMPELO, 2014). Além disso, o aumento da previsibilidade e controle dos prazos dos empreendimentos com BIM 4D é feito utilizando ferramentas técnicas e tecnologias associadas a outros *softwares* da área como, por exemplo, PERT-CPM (*Program Evaluation and Review Technique/Critical Path Method*), MS-Project e Primavera. Estas associações através de processos de controle de atividades, prazos, recursos e informações relevantes, permitem o melhor acompanhamento dos avanços e desvios apresentados pelas equipes de execução dentro do canteiro de obra (SUZUKI; SANTOS, 2015).

2.3.5.3. BIM – 5D

De acordo com Smith (2014), se o BIM-4D agrega o fator tempo, para obter os modelos 5D deve-se agregar o fator custo. Em modelos 5D é possível gerar, de imediato, os orçamentos de custos financeiros e representações gráficas do modelo com os cronogramas associado ao tempo. Portanto, é possível reduzir o tempo necessário da quantificação de elementos e estimativas, passando de semanas para minutos, além de melhorar a precisão dessas estimativas e permitir que os consultores de custos invistam mais tempo no processo de redução destes valores.

2.3.5.4. BIM – 6D

Para obter modelos em 6D, faz-se necessário agregar dados referentes a operação e manutenção do empreendimento, permitindo estender o BIM para a gestão de instalações. O núcleo do modelo BIM é uma rica descrição dos elementos de construção e serviços de engenharia, fornecendo uma descrição integrada para um edifício (SMITH, 2014). Esse processo também é propício no gerenciamento e relacionamento entre contratante e fornecedor, facilitando a manutenção e atendendo as novas solicitações da Norma de Desempenho de Edificações - ABNT NBR 15575:2013.

2.3.5.5. BIM – 7D

Os modelos 7D são gerados devido a incorporações de componentes referentes a sustentabilidade, consistindo na etapa responsável pela análise de consumo da edificação, onde é possível fornecer estimativas de energia mais completas e precisas no início do processo de projeto e, com isso, permitir aos projetistas validar as diferentes opções de estimativas de energia e demais sistemas, obtendo um melhor desempenho dos sistemas e instalações (SMITH, 2014). Nesta dimensão de modelagem, é possível inserir sistemas alternativos e sustentáveis para obtenção de certificações,

tais como: *Green Building*, *Leed* e *NetZero*, passando a ser chamado por alguns autores de *GreenBIM*.

2.3.6. Benefícios do BIM

Num primeiro instante, migrar de um sistema CAD para uma metodologia em BIM, pode parecer uma tarefa árdua e de difícil consecução, pois a adoção do BIM traz consigo uma mudança na forma de trabalho e nos processos internos e externos de uma empresa. Entretanto, ao projetar um modelo virtual que simula fielmente o real, obtêm-se um grande número de benefícios para todos os envolvidos nos processos de projeto, execução e pós-obra. A seguir, são levantadas algumas vantagens e benefícios que o BIM pode oferecer.

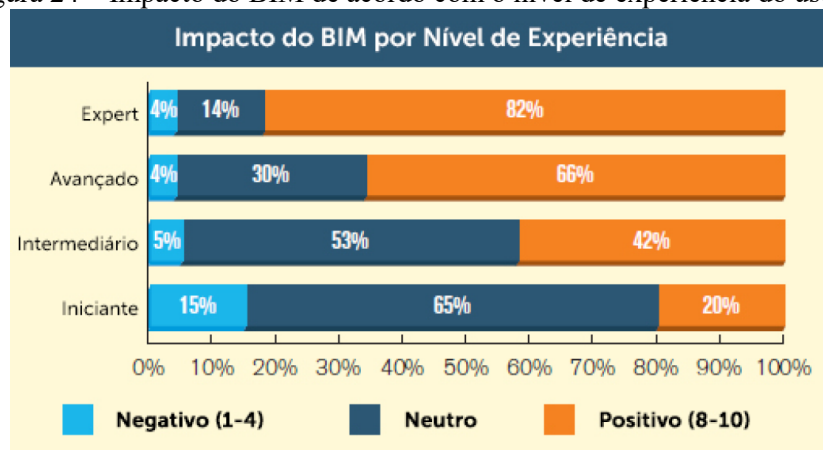
- ✓ *Análise tridimensional*: os modelos em 3D permitem a redução de erros através da melhor visualização do projeto como um todo, resultando numa correta compreensão de estruturas complexas e com muitas instalações. Além disso, permite ao proprietário da obra vislumbrar se o projeto está de acordo com o que ele almeja.
- ✓ *Identificação de interferências*: permite a detecção precoce de inconsistências de projeto de forma fácil e eficiente. Além de contar com as compatibilizações facilitadas dos modelos 3D, alguns *softwares* BIM localizam automaticamente as interferências entre os objetos que compõem o modelo.
- ✓ *Extração de quantitativos e controle do orçamento*: nos modelos BIM, tem-se a extração automática e precisa dos quantitativos, aumentando a confiabilidade das estimativas de custo para a realização do orçamento. Além da quantificação dos elementos, é possível realizar análises e simulações de custos em cada uma das fases de projeto, obtendo melhor controle dos fluxos de gastos da obra.
- ✓ *Visualização do planejamento e monitoramento da obra*: permite aos construtores uma completa visualização de todas as fases da obra, sendo possível simular e avaliar a sequência planejada da construção, além de compartilhar tais informações com outros membros da equipe.
- ✓ *Elaboração de documentação precisa*: outro benefício do BIM é a geração de documentos precisos e consistentes em qualquer estágio do projeto. Nestes documentos, podem ser vinculadas informações sobre materiais e manutenção dos sistemas prediais, ficando disponíveis ao proprietário a qualquer momento para futuras manutenções e reformas.

- ✓ *Melhoria da eficiência energética*: a realização de testes e análises de desempenho como, acústico, térmico, luminotécnico e energético, propõem uma melhoria da eficiência energética e da sustentabilidade do empreendimento.

Somando-se aos benefícios listados acima, é importante ressaltar que o uso do BIM possibilita, ainda, gerar redução de custos, aumento da produtividade, otimização da mão-de-obra e melhoria nos projetos e gerenciamento das construções (LIMA, 2014).

O grau de aproveitamento de todos estes benefícios mencionados, está relacionado diretamente com o nível de experiência que o usuário possui com o BIM. De acordo com a pesquisa presente no relatório *Smart Market Report*, realizada em 2008 pela empresa americana *McGraw-Hill Construction*, à medida que se aumenta o grau de experiência do usuário com o BIM, maior serão seus impactos positivos. Na Figura 24, pode-se observar que 82% dos usuários *experts* em BIM, consideram que o uso da tecnologia tem impacto positivo na produtividade da empresa, enquanto que este número cai para 20% quando se trata de usuários que ainda estão na fase inicial.

Figura 24 – Impacto do BIM de acordo com o nível de experiência do usuário



Fonte: McGraw-Hill Construction, 2008 – adaptado.

2.4. COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS

Compatibilização é a atividade de integrar projetos correlacionados, com o intuito de realizar os ajustes entre eles, visando a obtenção dos padrões de controle e qualidade de uma determinada obra (SEBRAE, 1995). Sendo assim, a compatibilização tem como principal objetivo, evitar que os projetos executivos contenham interferências entre as disciplinas que o compõe, além de evitar prejuízos ocasionados por erros que geram atrasos e desperdícios durante a execução da obra.

De acordo com Melhado *et al.* (2005), na compatibilização, os projetos de diferentes disciplinas são superpostos para detectar possíveis interferências entre eles. Com os problemas evidenciados, a coordenação de projetos busca solucioná-los antes da execução.

De acordo com Gehbauer e Ortega (2006), os diversos projetos são, em geral, elaborados em diferentes escritórios de especialidades distintas que, por sua vez, são responsáveis por parcelas cada vez menores dos projetos, dependendo cada vez mais de informações de terceiros. Essa fragmentação crescente no processo de projeto e o grande número de pessoas e disciplinas envolvidas, acabam comprometendo a coordenação e a troca de informações entre os projetos. Pensando nisso, faz-se necessário a criação de uma equipe para realizar uma coordenação contínua entre os projetos produzidos em cada escritório, evitando a realização desta apenas no final das contribuições individuais.

A compatibilização de projetos é uma atividade onerosa, tanto para os projetistas quanto para os construtores. Afim de obter projetos compatíveis entre si, grandes empresas possuem setores próprios com a função de verificar incompatibilidades entre seus projetos. Essas verificações são muitas vezes feitas por sobreposições de projeto em duas dimensões, sendo este um método ineficiente, pois muitas vezes são encontrados falsos erros por conta da falta de conhecimento técnico de quem os compatibiliza, ou então, passam despercebidos erros que seriam facilmente detectados em um projeto de três dimensões (FERREIRA; SANTOS, 2007).

No arranjo de trabalho que se tem, atualmente, é dada pouca ênfase ao papel principal do projeto, que consiste numa ferramenta de auxílio para a condução das atividades construtivas, gerando uma lacuna entre os que projetam e os que concebem a construção. Fato este que resulta em problemas como, incompatibilidades, erros diversos de projetos e falta de detalhe relativos à construção (MELHADO *et al.*, 2005). Ainda segundo o autor, uma das formas de melhorar a interface projeto-execução, é a utilização do conceito de projeto para produção, tendo como principal objetivo integrar o projeto a obra, detalhando o processo executivo e apresentando soluções adequadas.

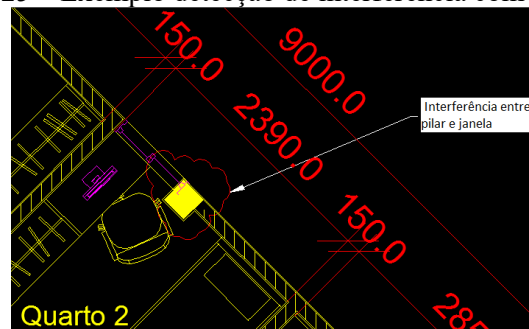
Nos dias atuais, o processo de compatibilização pode ser realizado através de *softwares* CAD ou BIM, onde o primeiro é baseado na sobreposição de projetos de diferentes *layers* e, o segundo, baseado no conceito de projeto integrado. A seguir, são descritas as duas formas de compatibilização.

2.4.1. Detecção de interferências com CAD 2D

Neste sistema, as detecções de interferências são feitas de forma trabalhosa, através da sobreposição de projetos bidimensionais distintos (Figura 25), tornando o processo falho, árduo e

confuso. Além disso, os projetistas precisam desenhar várias vistas de um mesmo objeto, o que toma tempo e pode ocasionar incoerências entre uma vista e outra.

Figura 25 – Exemplo detecção de interferência com CAD 2D



Fonte: site Tecnologia (2011) – adaptado.

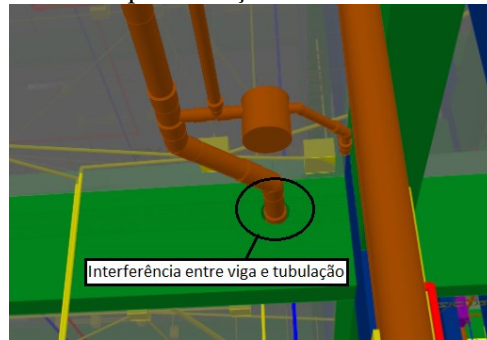
De acordo com Ferreira e Santos (2007), nos projetos bidimensionais, a equipe responsável pela compatibilização dos projetos deve recriar mentalmente o espaço, tornando o projeto intuitivo e, portanto, sujeito ao erro humano. O autor ainda cita algumas limitações ao se optar por este processo, dentre deles:

- ✓ *ambiguidade*: mesma representação pode ser interpretada mais de uma forma;
- ✓ *simbolismo*: objeto representado por um símbolo cujas dimensões e formas não tem relação com o objeto real que representa;
- ✓ *omissão*: para tornar o desenho mais sintético, são omitidas informações importantes;
- ✓ *simplificação*: o projetista simplifica uma determinada representação;
- ✓ *fragmentação*: separação da informação em várias vistas que nem sempre estão presentes numa mesma folha.

2.4.2. Detecção de interferências com BIM

De acordo com CBIC (2016), somente a visualização correta e inequívoca do que está sendo projetado, garante o entendimento e a eficácia no processo de comunicação, bem como o alinhamento entre todos os envolvidos na construção de um empreendimento. Em um modelo BIM, o ambiente tridimensional e paramétrico permite a identificação das interferências e erros com muito mais facilidade, rapidez e automação. Entretanto, essas verificações de interferências devem ocorrer não só após a junção dos projetos das diferentes disciplinas, mas também durante todo o processo de modelagem. Vale ressaltar que a modelagem em BIM permite não só a visualização em três dimensões de forma completa do que está sendo projetado, mas também a detecção de interferências de forma automática, conhecida por sua expressão em inglês, *clash detection* (Figura 26).

Figura 26 – Exemplo detecção de interferência com BIM



Fonte: Site AltoQi (2018) – adaptado.

Segundo Eastman *et al.* (2011), a detecção de forma automática das interferências podem ser combinadas com regras para identificar e qualificar conflitos, permitindo que construtores e projetistas verifiquem conflitos de forma seletiva. Alguns *softwares* classificam interferências como leves, moderadas e críticas. Além disso, permitem a criação de regras de verificação, possibilitando não só a detecção de interferências geométricas, mas também de requisitos de normas como, por exemplo, largura de corredores, inclinação de rampas, uso conjunto de materiais que não podem trabalhar associados, dentre outros (CBIC, 2016). Entretanto, é importante salientar que os resultados obtidos neste teste de verificação dependem do nível de detalhamento do modelo. Quanto mais preciso e rico em detalhes for o modelo, mais eficiente será o teste de conflitos. Portanto, o modelo deverá ter o nível de detalhes apropriado para tal uso.

3. ESTUDO DE CASO: EDIFÍCIO EM ALVENARIA ESTRUTURAL

3.1. DESCRIÇÃO DA OBRA

O empreendimento do estudo de caso é um residencial multifamiliar da empresa AZM Construtora, localizado na cidade de Uberlândia em Minas Gerais (Figura 27). O residencial é constituído por 02 blocos com 13 andares em cada torre, onde cada pavimento possui 8 apartamentos, totalizando 208 unidades de 44,7 m² cada. Os apartamentos são distribuídos em duas plantas diferentes, possuindo dois quartos, sala, cozinha, sala de jantar, área de serviço e um banheiro (Figura 28). O residencial encontra-se no início de sua construção (fase de fundação) e faz parte do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) do Governo Federal além de se enquadrar na faixa 1.5 dos financiamentos da Caixa Econômica Federal. A construtora é certificada no Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade Habitacional (PBQP-H) nível A e pela ABNT NBR ISO 9001:2008. Vale ressaltar que os projetos do empreendimento utilizados no estudo de caso não foram elaborados pela AZM Construtora, mas por diferentes escritórios de projetistas e arquitetos terceirizados que, por questões éticas, não terão seus nomes mencionados neste trabalho.

Figura 27 – Empreendimento do estudo de caso



Fonte: AZM Construtora (2018).

Figura 28 – Planta baixa humanizada dos apartamentos do pavimento tipo



Fonte: AZM Construtora (2018) – adaptado.

Os 13 andares do empreendimento são constituídos por: térreo, 11 pavimentos tipos e o último pavimento para portadores de necessidades especiais. Além das torres, o empreendimento ainda conta com quase 700 m² de área de lazer, composta por piscina, salão de festa, espaço *gourmet*, *playground* e espaço *fitness*. Neste trabalho, será modelado o pavimento tipo considerando as diferentes disciplinas: arquitetônico, estrutural, elétrico e hidrossanitário.

3.2. METODOLOGIA

Para a modelagem e o desenvolvimento do trabalho foi necessário a realização de cursos de *Revit* e *Navisworks* pela autora, que inicialmente dominava a modelagem 3D do projeto arquitetônico em *Revit* de sistemas estruturais reticulados. As cargas horárias dos cursos realizados para o desenvolvimento deste trabalho são descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Carga horária dos cursos realizados

| Curso | Carga Horária |
|--|---------------|
| <i>Revit Structural</i> (alvenaria estrutural) | 60 horas |
| <i>Revit Architecture</i> (arquitetura) | 30 horas |
| <i>Revit MEP</i> - Elétrico | 30 horas |
| <i>Revit MEP</i> - Hidráulico | 40 horas |
| <i>Navisworks</i> | 30 horas |

Fonte: Autora (2018).

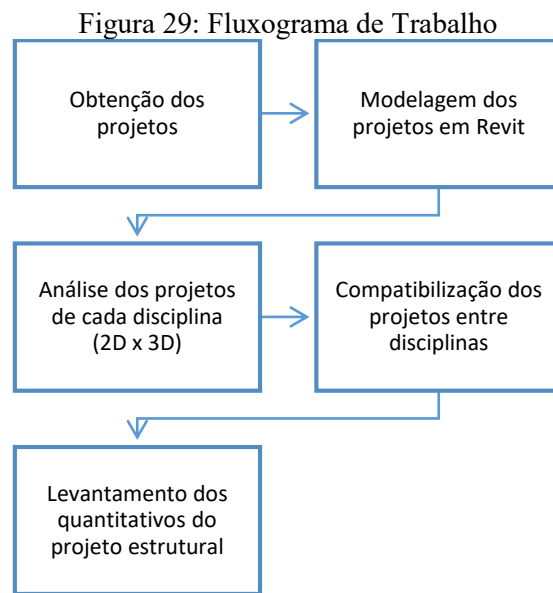
Devido ao sistema construtivo, deu-se início primeiramente ao curso de *Revit Structural* para modelagem de projetos estruturais focado em alvenaria estrutural e, simultaneamente ao curso, foi realizada a modelagem deste projeto, bem como a identificação das falhas e execução das correções referente a esta disciplina. Em seguida, fez-se o mesmo para os projetos arquitetônicos, elétricos e hidrossanitário.

Após a realização da modelagem dos projetos no *Revit* e a correção das falhas encontradas, deu-se início a compatibilização entre as disciplinas utilizando o próprio *Revit* e também o *software*

Naviworks. Primeiramente, foram compatibilizados entre si os projetos arquitetônico e estrutural, posteriormente juntou-se a eles o projeto elétrico e, por fim, o projeto hidráulico, gerando um modelo único compatibilizado.

Terminada a modelagem e a compatibilização, fez-se também o levantamento dos quantitativos referente ao projeto estrutural, realizado de forma automática pelo *Revit*.

As atividades desenvolvidas durante o estudo são demonstradas no fluxograma da Figura 29 e em seguida, na tabela 2, são resumidos os LODs e programas utilizados para modelar cada disciplina.



Fonte: Autora (2018)

Tabela 2 - Resumo dos LODs e programas utilizados na modelagem de cada disciplina

| Disciplina | LOD | Programa |
|-------------------|------------|------------------------------------|
| Arquitetura | 200 | <i>Revit Architecture</i> |
| Elétrica | 200 | <i>Revit MEP (elétrica)</i> |
| Hidrossanitária | 200 | <i>Revit MEP (hidrossanitário)</i> |
| Estrutural | 300 | <i>Revit Structure</i> |

Fonte: Autora (2018)

3.2.1. Modelagem Dos Projetos

Para o desenvolvimento do estudo de caso, foram utilizados os seguintes *softwares*:

- ✓ *Autodesk Autocad*: todos os projetos do empreendimento foram disponibilizados em formato “.dwg” ou em “.pdf”. Desta forma, utilizou-se tal *software* para a leitura dos projetos e também para exportar as plantas baixas para o *Revit*, com a finalidade de auxiliar o início das modelagens em BIM.
- ✓ *Autodesk Revit Architecture*: utilizado para a modelagem do pavimento tipo e para elaboração de todos os elementos constituintes do projeto arquitetônico.

- ✓ *Autodesk Revit Structure*: utilizado para modelar e detalhar todo o projeto estrutural do pavimento tipo.
- ✓ *Autodesk Revit MEP*: utilizado para modelar e detalhar os projetos de instalações prediais do pavimento tipo, sendo eles o elétrico e hidrossanitário.
- ✓ *Autodesk Navisworks*: utilizado para realizar a análise de incompatibilidades e detecção automática das interferências.

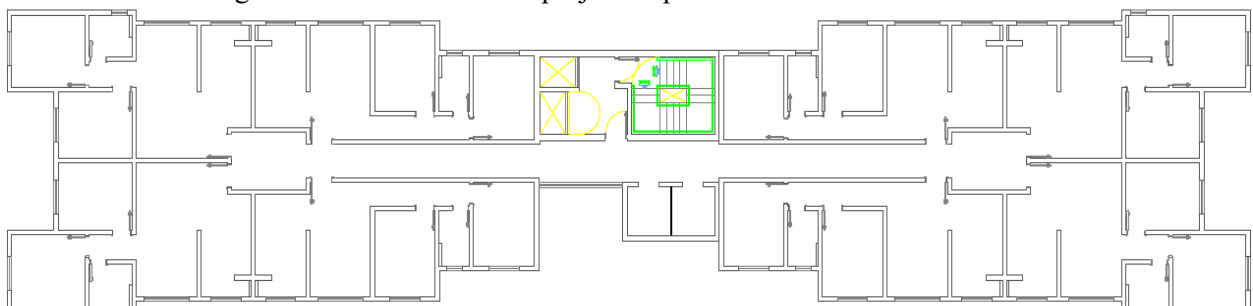
Vale ressaltar que optou-se pela escolha dos *softwares Revit e Navisworks*, devido à possibilidade de obtenção da versão completa de forma gratuita para estudantes e facilidade na aquisição de cursos. Além disso, a Autodesk fabrica todos os *softwares* utilizados e, por serem de um mesmo fabricante, possuem boa interação. Para o estudo de caso, foram utilizadas as versões 2019 de ambos os *softwares*.

3.2.1.1. Modelagem do Projeto Arquitetônico

O projeto arquitetônico foi modelado em LOD 200, tendo precisão apenas de suas dimensões, forma, orientação e quantidades.

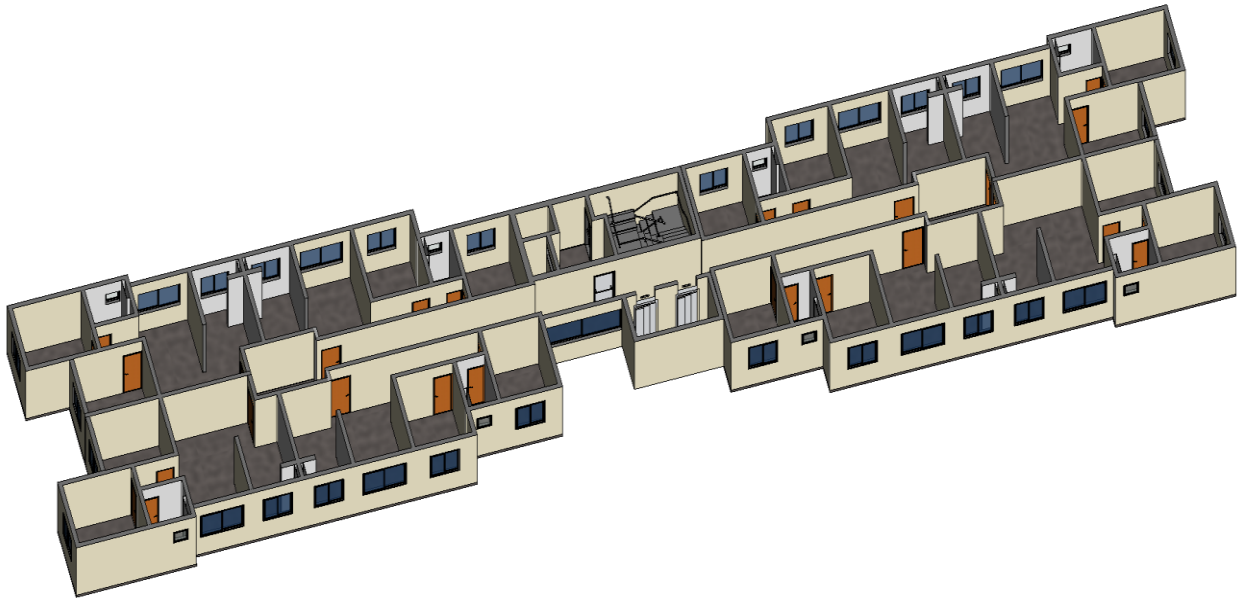
Primeiramente, a planta baixa obtida no Autocad foi importada para o Revit apenas para auxiliar no lançamento das paredes, formando uma espécie de linha guia para a modelagem. Em seguida, deu-se início a modelagem das paredes arquitetônicas levando em consideração apenas a espessura total, sem fazer o detalhamento da espessura de chapisco, reboco, emboço e pintura, pois para compatibilização de projetos não se faz necessário tal nível de detalhamento. Lançadas as paredes do pavimento tipo, foram inseridos os pisos levando em consideração os desníveis existentes nas áreas molhadas. Posteriormente, foram lançadas as esquadrias levando em conta apenas sua geometria, pois o nível de detalhamento do projeto não especificava o material e tipo de esquadria. Por fim, fez-se as modelagens da escada e *shafts*. Na Figura 30 consta a planta baixa do pavimento tipo que foi recebida em Autocad, enquanto a Figura 31 apresenta o resultado final da modelagem do projeto arquitetônico

Figura 30 – Planta baixa do projeto arquitetônico recebido em Autocad



Fonte: Construtora AZM (2018) – adaptado.

Figura 31 – Modelagem do projeto arquitetônico



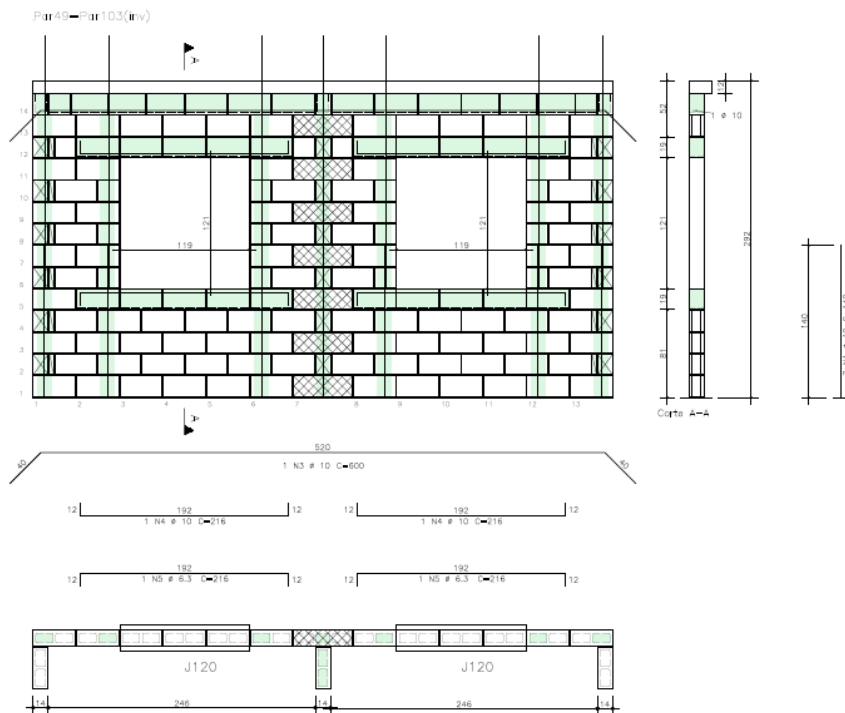
Fonte: Autora (2018).

3.2.1.2. Modelagem do Projeto Estrutural

Devido ao objetivo do trabalho de extrair o quantitativo desta disciplina, para a modelagem do projeto estrutural foi adotado um nível de desenvolvimento superior às demais disciplinas, configurando em um LOD 300.

Antes de iniciar a modelagem do projeto estrutural, foi necessário a criação das famílias de blocos estruturais que foram utilizadas pelo engenheiro projetista. Com a criação dos blocos, deu-se início a modelagem da primeira fiada e, em seguida, as de segunda fiada de todo o pavimento tipo. Para auxiliar a alocação correta dos blocos, fez-se a importação destas fiadas dos projetos em *Autocad* para o *Revit*. A paginação das paredes foi fornecida em arquivos *.pdf e, apenas, a primeira e segunda fiadas fornecida em arquivos *Autocad* (*.dwg). Na Figura 32 está demonstrada a paginação de uma, das diversas paredes que foram fornecidas no projeto estrutural.

Figura 32 – Exemplo de paginação de uma parede do projeto estrutural



Fonte: Construtora AZM (2018) – adaptado.

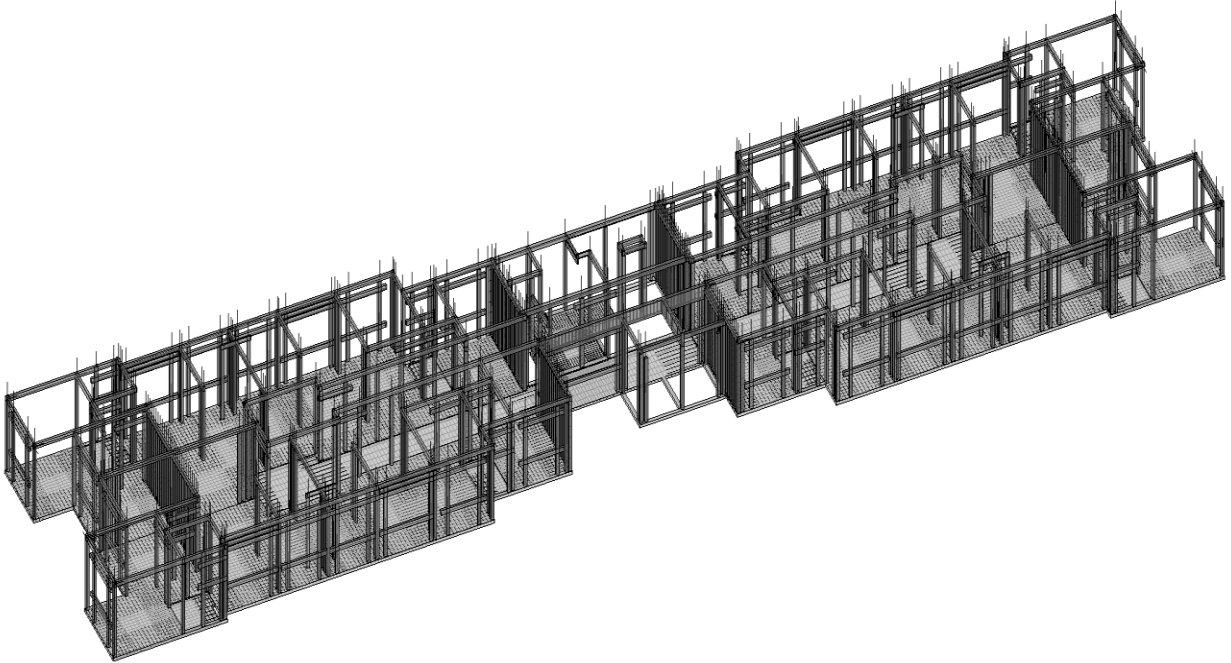
Com a primeira e segunda fiada finalizada, fez-se o levantamento das paredes utilizando o comando matriz do Revit, que possibilita de uma única vez fazer uma cópia destas fiadas para todas as 14 fiadas constituintes da parede. Vale ressaltar que o bloco não sofria variação de resistência entre seus pavimentos.

Após criar as elevações das paredes, criou-se as aberturas para as esquadrias. Tal processo foi feito de forma manual, excluindo os blocos que estavam no lugar das esquadrias e realizando ajustes conforme constavam nos projetos das paredes que foram fornecidos em *.pdf.

Na última fiada das paredes e nas fiadas, logo acima e abaixo das esquadrias, os blocos existentes foram substituídos por blocos canaletas, dando origem a cinta de amarração, vergas e contra vergas.

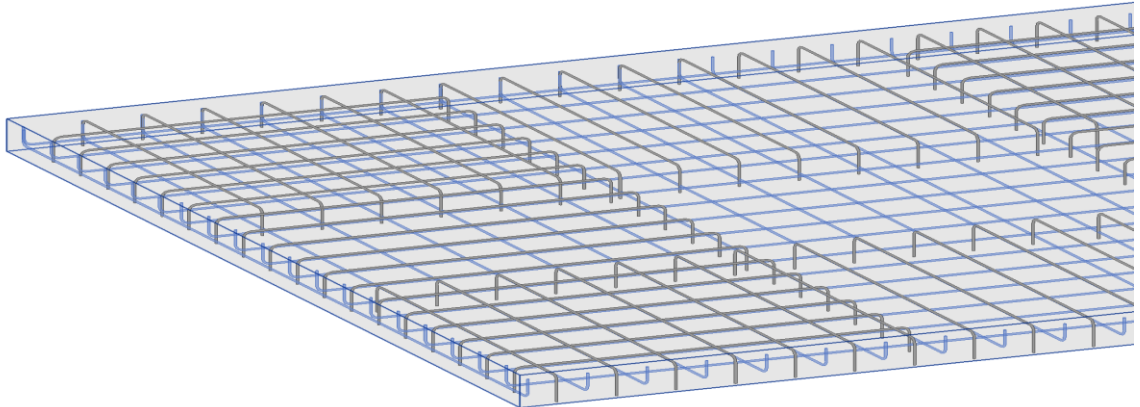
Posteriormente, fez-se o grauteamento e, em seguida, a colocação das armaduras nas paredes (Figura 33). Com as paredes finalizadas, deu-se início a modelagem da laje, por meio da modelagem das armaduras positivas e negativas conforme descrito no projeto estrutural fornecido em *.pdf, apresentado na Figura 34. Vale ressaltar que o *software* possui comandos para modelagem de armaduras o que otimiza a elaboração desta parte.

Figura 33 – Grauteamento e armaduras das paredes



Fonte: Autora (2018).

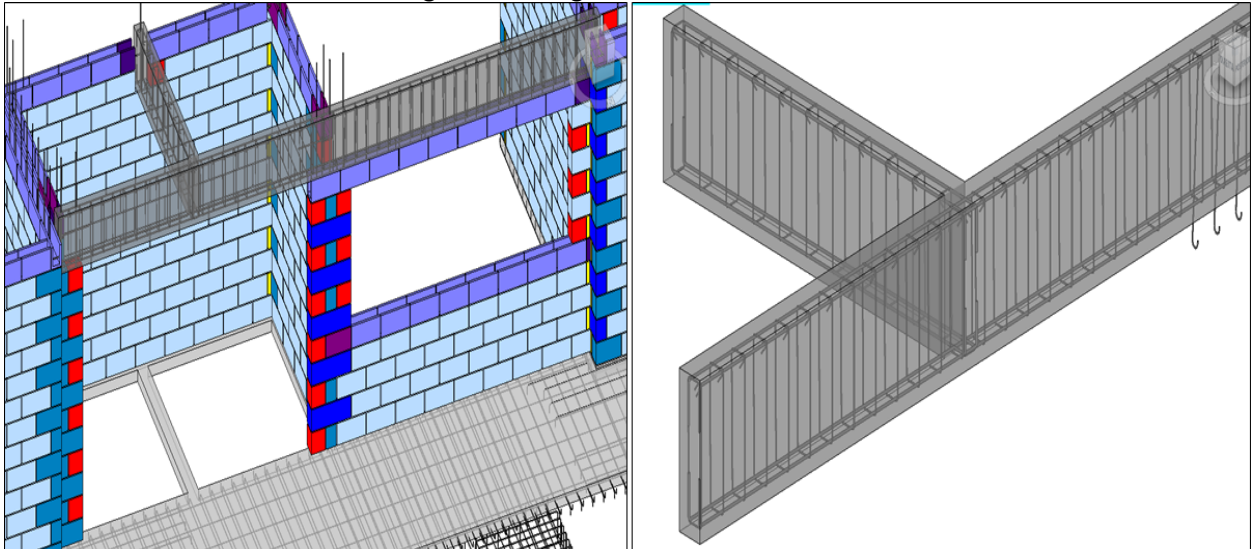
Figura 34 – Detalhe da modelagem das armaduras positivas (em azul) e negativas (em cinza) das lajes



Fonte: Autora (2018).

Após a finalização das lajes, foram modeladas as vigas presentes na caixa dos elevadores (Figura 35). Atenta-se para os detalhes dos estribos que foram introduzidos facilmente na modelagem.

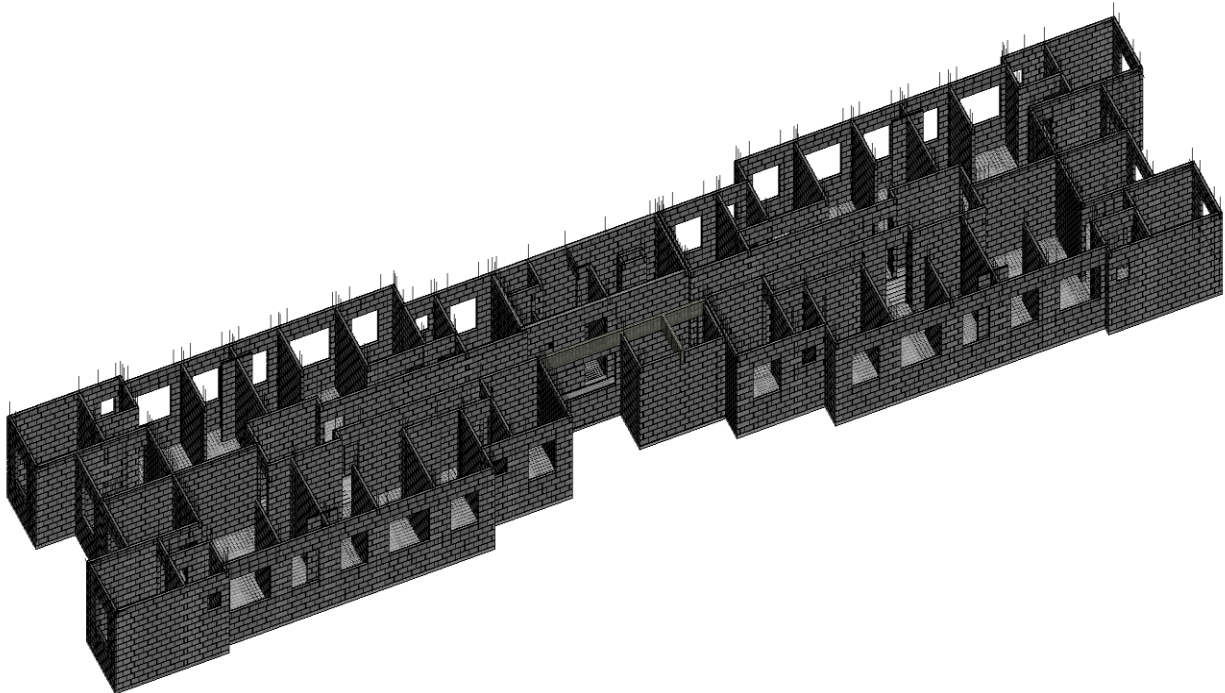
Figura 35 – Vigas da caixa do elevador



Fonte: Autora (2018).

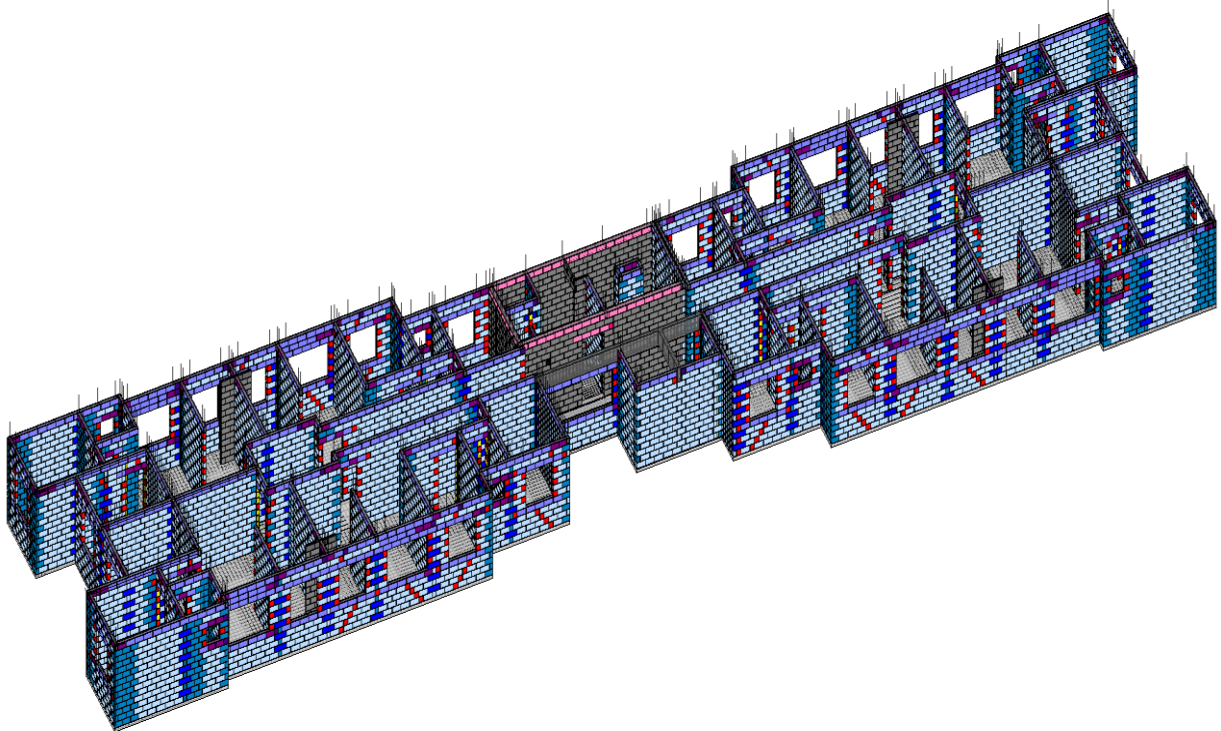
A figura 36 apresenta o resultado final da modelagem do projeto estrutural e que, por questões didáticas, teve-se filtros aplicados em seus blocos para que cada tamanho fosse representado por cores diferentes (Figura 37).

Figura 36 – Modelagem projeto estrutural



Fonte: Autora (2018)

Figura 37 – Aplicação de filtros nos blocos estruturais para facilitar a identificação dos tamanhos

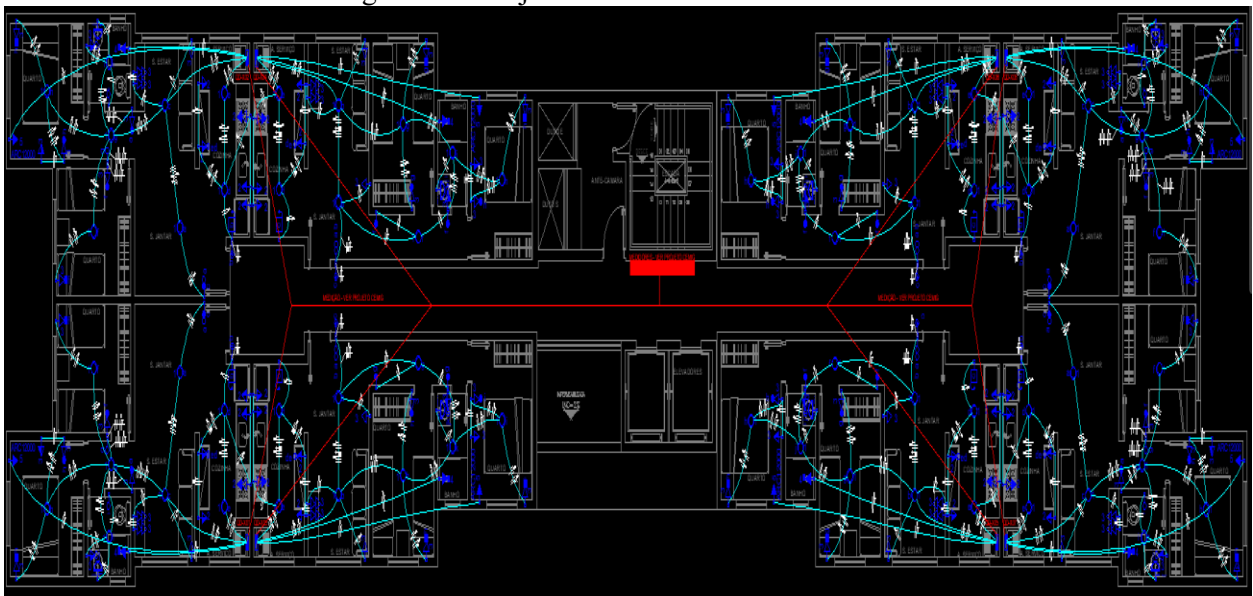


Fonte: Autora (2018)

3.2.1.3. Modelagem do Projeto Elétrico

O projeto elétrico foi modelado em LOD 300, tendo precisão apenas de suas dimensões, forma, orientação e quantidades. Na Figura 38 está apresentado o projeto elétrico fornecido em Autocad pela construtora.

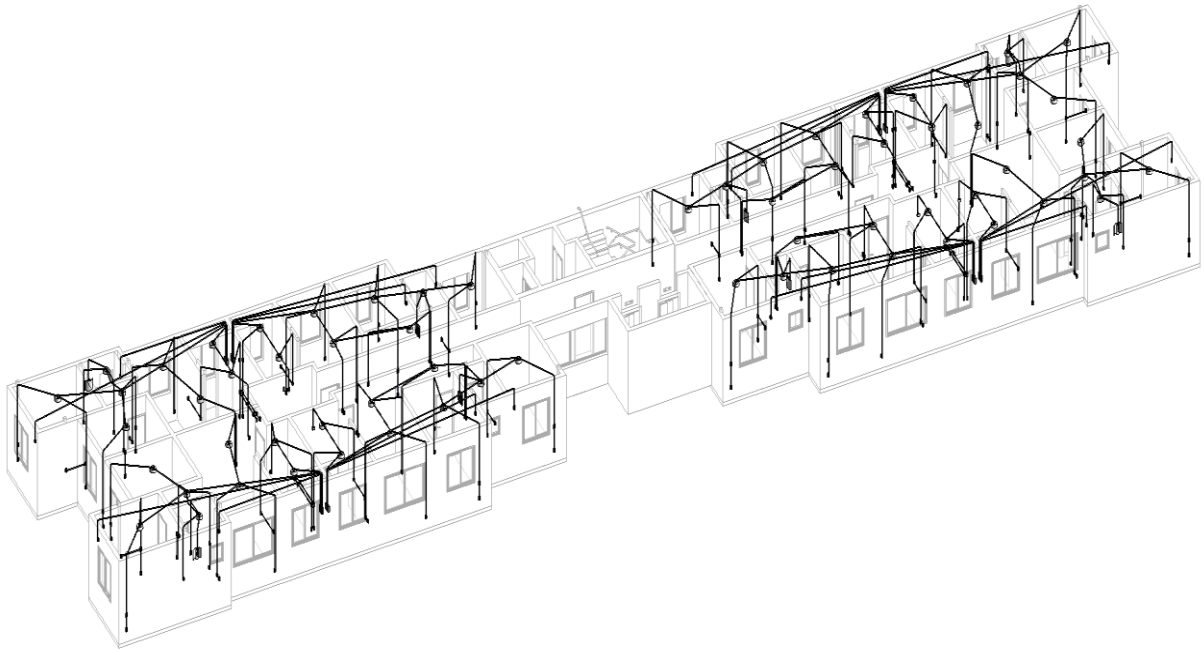
Figura 38 – Projeto elétrico recebido em Autocad



Fonte: Construtora AZM (2018) – adaptado.

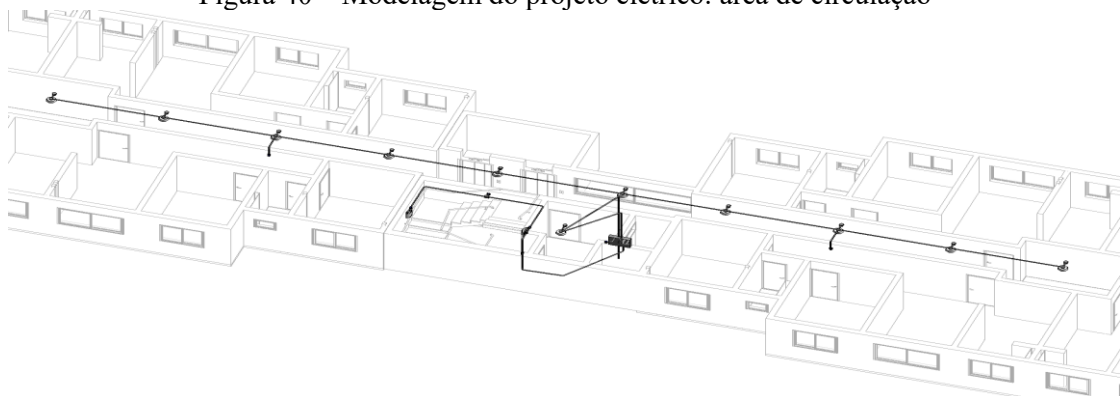
Antes de iniciar a modelagem desta disciplina, foi feito a importação do projeto elétrico em *Autocad* para o *Revit* e a criação de um *link* da modelagem feita do projeto arquitetônico no ambiente de trabalho do *Revit MEP*, tornando possível utilizar o projeto de arquitetura como referência para alocação dos elementos elétricos. Em seguida, fez-se a modelagem do projeto elétrico das áreas privativas (Figura 39), área de circulação (Figura 40) e, por fim, do projeto que constavam as partes de interfone e de TV/telefone/internet (Figura 41). Vale ressaltar que, o projeto bidimensional não trazia informações sobre a localização exata dos conduítes, com isso, optou-se por colocá-los de acordo com o traçado dos circuitos, sempre utilizando conduítes flexíveis. Como a modelagem desta disciplina levou em consideração apenas as dimensões, forma, orientação e quantidade de conduítes, luminárias, tomadas e interruptores, pode-se dizer que o projeto foi modelado em um nível de desenvolvimento de LOD 200.

Figura 39 – Modelagem do projeto elétrico: área privativa



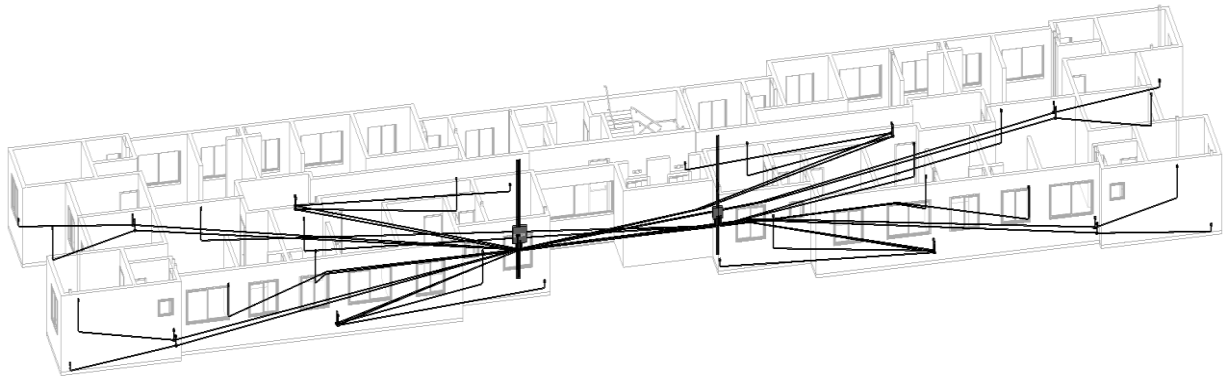
Fonte: Autora (2018).

Figura 40 – Modelagem do projeto elétrico: área de circulação



Fonte: Autora (2018).

Figura 41 – Modelagem projeto elétrico: interfone e TV/telefone/internet

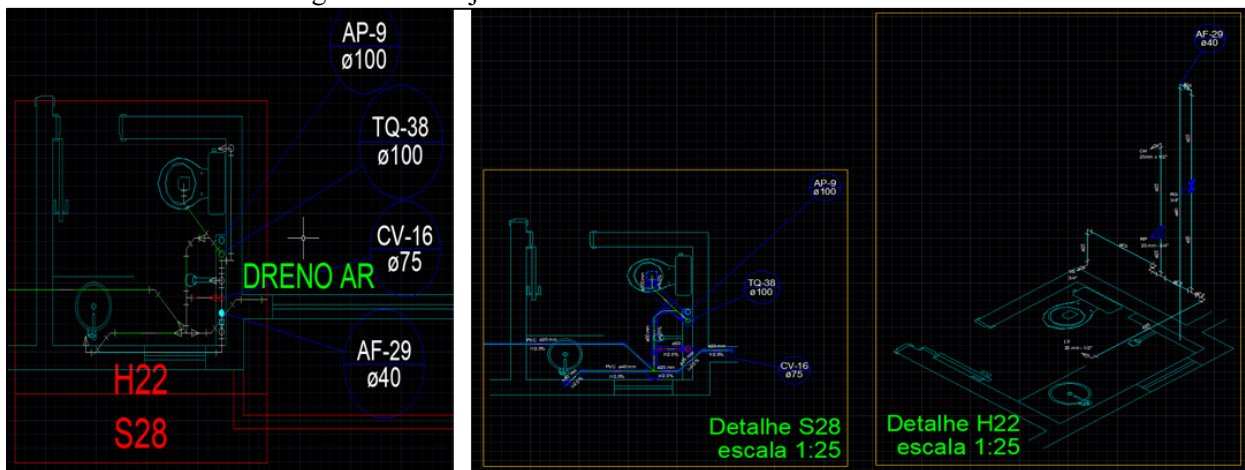


Fonte: Autora (2018).

3.2.1.4. Modelagem do Projeto Hidrossanitário

O projeto hidrossanitário foi modelado em LOD 200, tendo precisão apenas das dimensões, forma, orientação e quantidades. Na Figura 42 está apresentado o projeto hidrossanitário fornecido em *Autocad* pela construtora.

Figura 42 – Projeto hidrossanitário fornecido em *Autocad*



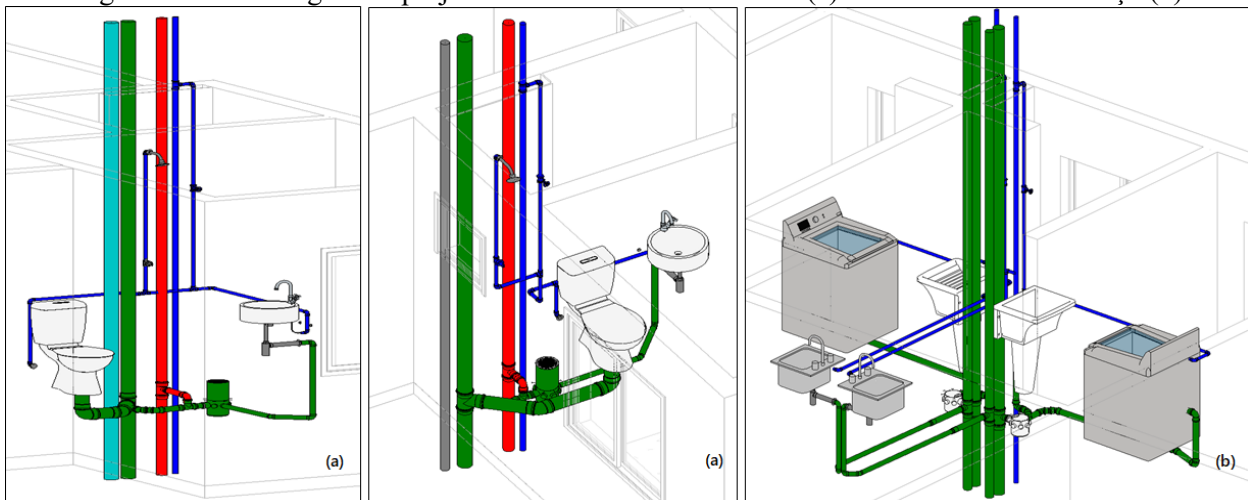
Fonte: Construtora AZM (2018) – adaptado.

Assim como na modelagem do projeto elétrico, para modelagem da hidráulica fez-se a importação do projeto hidrossanitário obtido em *Autocad* para o *Revit*, bem como a criação do *link* da modelagem feita do projeto arquitetônico no ambiente de trabalho do *Revit MEP*. Optou-se por iniciar a modelagem pelo sistema de água fria e, posteriormente, esgoto e ventilação. Esta modelagem foi uma das que mais tomou tempo por causa da dificuldade que a autora teve de interpretar ou deduzir as informações espaciais fornecidas no projeto bidimensional. Além disso, foram encontradas várias falhas no projeto fornecido, tais como conexões com ângulos diferentes de 30°, 45°, 60° e 90°. Com isso, várias alterações foram feitas no modelo 3D do projeto sanitário para torná-lo possível de ser modelado.

O projeto também prevê a captação de água pluvial, entretanto, como o estudo de caso se refere apenas ao pavimento tipo, foi feita a modelagem apenas da coluna de água pluvial presente nos shafts.

Afim de melhorar a visualização, também optou-se por utilizar filtros de cores diferenciando os sistemas de água pluvial, água fria, esgoto e ventilação. O modelo final das instalações hidrossanitárias está representado na Figura 43.

Figura 43 – Modelagem do projeto hidrossanitário – banheiro (a) e cozinha/área de serviço (b)



Fonte: Autora (2018).

O projeto hidrossanitário foi desenvolvido em um nível LOD 300, pois devido as limitações da biblioteca da autora, as conexões utilizadas entre as tubulações não representam com precisão as que foram utilizadas no projeto.

3.2.2. OBTENÇÃO DOS QUANTITATIVOS

Com a utilização de softwares BIM, o levantamento do quantitativo se dá de forma automática, rápida e precisa. Quanto maior o nível de detalhe inserido no processo de modelagem, mais detalhado será o quantitativo, ou seja, o nível LOD utilizado na modelagem influencia diretamente na obtenção destes dados.

A modelagem do projeto estrutural foi realizada utilizando LOD 300, com isso, foi possível obter o quantitativo dos materiais utilizados referentes ao pavimento tipo.

As tabelas de quantitativo devem ser criadas pelo usuário e configuradas de acordo com suas necessidades. Neste trabalho gerou-se uma tabela com os quantitativos de blocos estruturais de concreto e outra com o volume de graute das paredes, conforme mostrado nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 – Tabela de blocos estruturais obtida pelo *software Revit*

| <Blocos Estruturais de Concreto> | |
|--|----------|
| A | B |
| Familia e tipo | Contador |
| BE canaleta L9: BE canaleta 9x19x19 | 10 |
| BE canaleta L9: BE canaleta 9x19x39 | 13 |
| BE canaleta L14: BE canaleta 14x19x19 | 100 |
| BE canaleta L14: BE canaleta 14x19x34 | 284 |
| BE canaleta L14: BE canaleta 14x19x39 | 1137 |
| BE canaleta L19: BE canaleta 19x19x19 | 1 |
| BE canaleta L19: BE canaleta 19x19x39 | 47 |
| BE canto 14x19x34: BE canto (14x19x34) | 1566 |
| BE complemento 14x19x4: BE complemento (9x19x9) | 12 |
| BE complemento 14x19x4: BE complemento (14x19x4) | 563 |
| BE complemento 14x19x4: BE complemento (19x19x4) | 16 |
| BE cruzamento 14x19x54: BE cruzamento (14x19x54) | 326 |
| BE meio bloco 14x19x19: BE meio bloco (9x19x19) | 104 |
| BE meio bloco 14x19x19: BE meio bloco (14x19x14) | 2 |
| BE meio bloco 14x19x19: BE meio bloco (14x19x19) | 801 |
| BE meio bloco 14x19x19: BE meio bloco (19x19x19) | 16 |
| BE padrão H19 x C39: BE padrão (9x19x39) | 117 |
| BE padrão H19 x C39: BE padrão (14x19x39) | 6841 |
| BE padrão H19 x C39: BE padrão (19x19x39) | 524 |
| Total geral: 12480 | 12478 |

Fonte: Autora (2018)

Tabela 4 - Tabela de graute das paredes obtida pelo *software Revit*

| <Tabela de Graute> | | |
|--------------------|--------------------------------|----------------------|
| A | B | C |
| Contador | Tipo | Volume |
| 1 | Graute - Cinta de amarração | 6,60 m ³ |
| 1 | Graute - Paredes | 18,68 m ³ |
| 1 | Graute - Vergas e Contravergas | 3,77 m ³ |
| 3 | | 29,05 m ³ |

Fonte: Autora (2018)

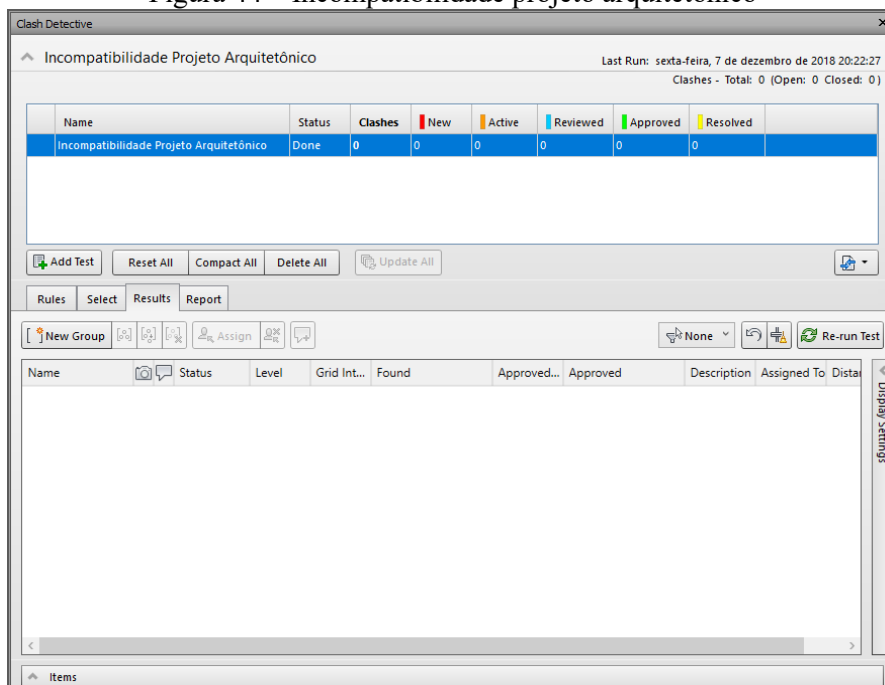
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com a modelagem dos projetos criadas, deu-se início a análises dos projetos de cada disciplina e, posteriormente, realizou-se a compatibilização entre elas utilizando os softwares *Navisworks* e o próprio *Revit*.

4.1. Análise do Projeto Arquitetônico

O projeto arquitetônico foi compatibilizado através do software *Navisworks*, no qual utilizou-se precisão de 1 cm para a detecção de interferências. Entretanto, não foi detectada nenhuma incompatibilidade, conforme demonstrado na Figura 44.

Figura 44 – Incompatibilidade projeto arquitetônico



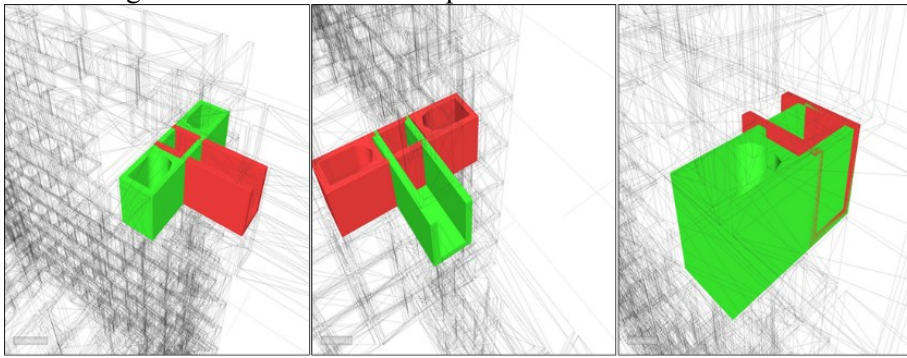
Fonte: Autora (2018).

4.2. Análise do Projeto Estrutural

Nesta análise, foram identificados três tipos de interferências com diversas ocorrências, essas são listadas a seguir:

- ✓ *conflito de canaletas com blocos estruturais*: no projeto estrutural, onde havia encontro de paredes, foram identificadas diversas interferências de canaletas interceptando outros blocos estruturais, como mostrado na Figura 45. Tais interferências, foram identificadas e corrigidas após reuniões com o projetista estrutural no decorrer da modelagem. As correções foram realizadas adotando novo arranjo das fiadas de modo a não ocasionar junta prumo, obtendo a amarração das paredes e, conseqüentemente, reduzindo a possibilidade do surgimento de trincas.

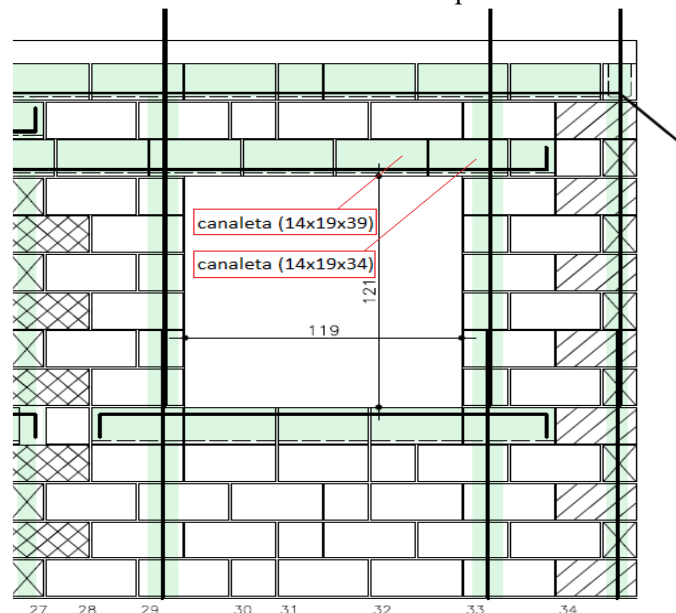
Figura 45 – Canaletas interceptando outros blocos estruturais



Fonte: Autora (2018).

- ✓ *blocos canaletas de comprimentos diferentes utilizando uma mesma denotação:* durante a modelagem do projeto, observou-se que algumas canaletas divergiam de comprimento, no entanto, estas mudanças não estavam especificadas na legenda dos blocos (Figura 46). Vale ressaltar que a paginação das paredes foi fornecida apenas em arquivos pdf, não sendo possível utilizar ferramentas que medissem o tamanho das canaletas. Para vencer tal obstáculo, foi utilizado um gabarito de papel para auxiliar na identificação dos comprimentos das canaletas de 34 e 39 cm. É importante salientar que por menor que seja a falha contida no projeto, ela pode ter grande impacto na hora da execução no canteiro de obras, ocasionando não só em erros de amarração das fiadas, mas também na diminuição da produtividade.

Figura 46 – Blocos canaletas de diferentes comprimentos e mesma denotação

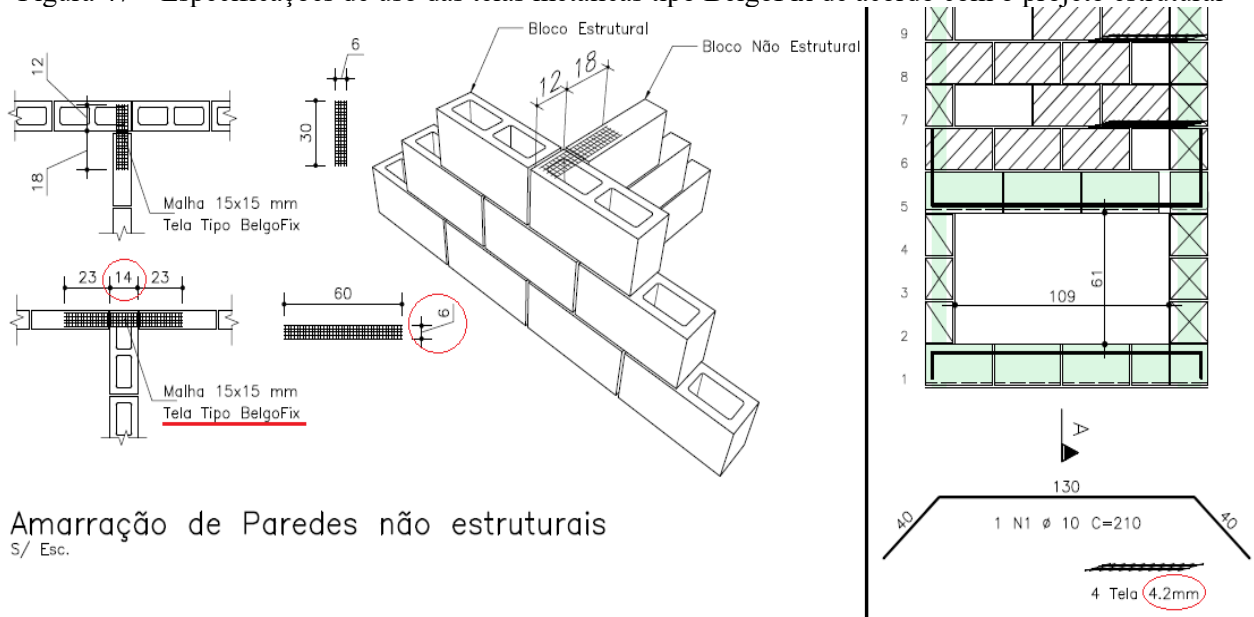


Fonte: Construtora AZM (2018) – adaptado.

- ✓ *telas metálicas para amarração indireta especificada incorretamente:* outra falha encontrada no projeto estrutural diz respeito às amarrações indiretas. Em alguns pontos foi utilizado telas metálicas para amarrar as paredes não estruturais, que possuíam 9 cm

de largura, com as paredes estruturais, que possuíam 14 cm de largura. Nas especificações, recomendava-se o uso de telas tipo *BelgoFix* com malha 15x15 mm, de 6 cm de largura e 4,2 mm de diâmetro (Figura 47). Entretanto, no catálogo encontrado pelo fornecedor *BelgoFix*, o maior diâmetro de fabricação é de 1,65 mm e, ainda segundo o fabricante, para paredes de 9 cm de largura deveria ser utilizada telas com 7,5 cm de largura (Figura 48). Após reunião com o engenheiro projetista, o mesmo fez as adequações necessárias em seu projeto, conforme Figura 49.

Figura 47 – Especificações de uso das telas metálicas tipo *BelgoFix* de acordo com o projeto estrutural



Amarração de Paredes não estruturais
S/ Esc.

Fonte: Construtora AZM (2018) – adaptado.

Figura 48: Especificações de uso das telas metálicas tipo *BelgoFix* conforme fabricante

| Espessura do bloco | Largura BelgoFix® | Quantidade de tiras BelgoFix® por caixa |
|--------------------|-------------------|---|
| Até 7 cm | 60 mm | 200 un/cx |
| De 9 a 11 cm | 75 mm | 150 un/cx |
| 12 cm | 105 mm | 100 un/cx |
| 14 cm | 120 mm | 100 un/cx |
| 19 cm | 170 mm | 50 un/cx |

Escolha do BelgoFix®

A escolha do tipo de *BelgoFix*® deve ser norteada por três aspectos: qualidade do produto, bitola do arame e largura da tira.

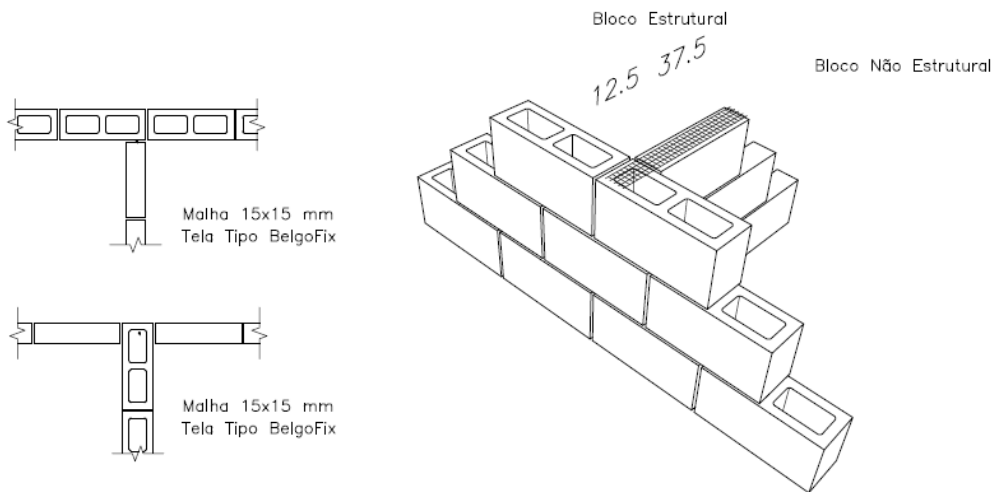
A qualidade do produto original *BelgoFix*® é garantida, o que implica que a bitola, a resistência mecânica do arame e dos pontos de solda e a gramatura mínima de Zinco (mín. 35 g/m² conforme NBR 6331:2010) na galvanização são parâmetros técnicos assegurados pelo *Belgo Bekaert* Arames.

O produto *BelgoFix*® é ofertado em duas bitolas de arames: 1,24 e 1,65 mm. A primeira com uma taxa de aço de 1,25 kg por m² de tela. Já a bitola de 1,65 mm possui uma taxa de aço mais elevada, de 2,25 kg por m², contribuindo para uma maior resistência ao arrancamento por tração, o que é importante para o desempenho da ancoragem da parede ao pilar.

O terceiro aspecto, largura da tira de *BelgoFix*®, depende da largura do bloco empregado na alvenaria, seja ele cerâmico, de concreto ou de concreto celular autoclavado.

Fonte: Catálogo *BelgoFix* (2015).

Figura 49 – Adequação do uso das telas metálicas BelgoFix no projeto estrutural



Amarração de Paredes não estruturais

S/ Esc.

| Largura do bloco (cm) | Tela Belgofix 1.65 mm Largura x Comprimento (cm) |
|-----------------------|---|
| 9 | 7.5 x 50 |
| 14 | 12.0 x 50 |
| 19 | 2 telas de 7.5 x 50 |

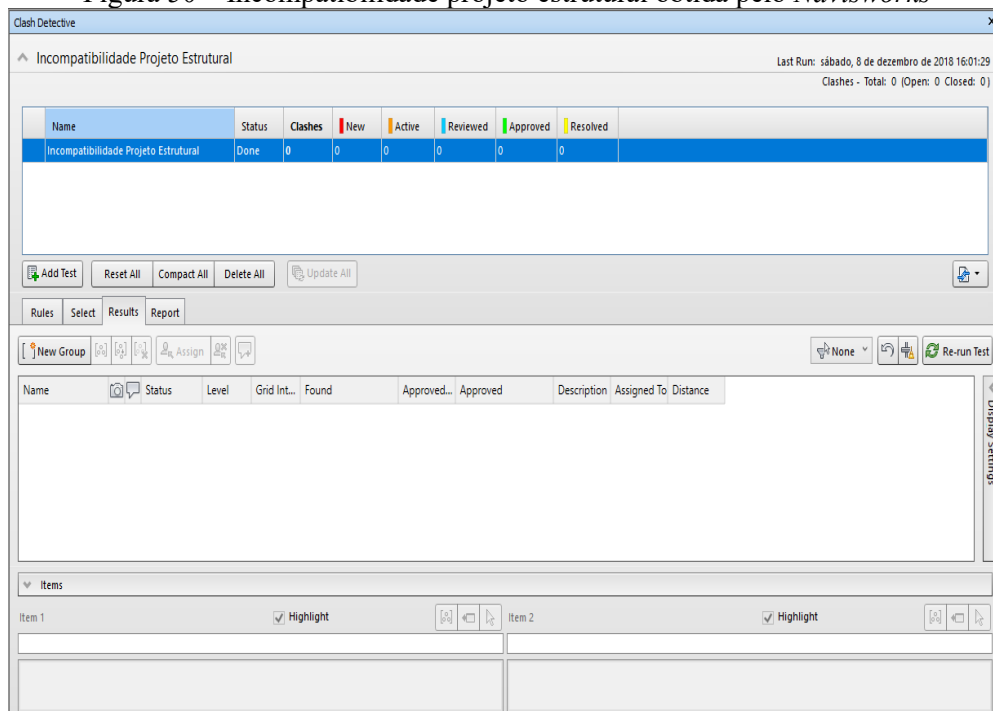
Largura do bloco x dimensões da tela

S/ Esc.

Fonte: Construtora AZM (2018) – adaptado.

Após adequação do projeto estrutural, a modelagem foi importada para o *Navisworks*, no qual não foram verificadas nenhum tipo de incompatibilidade, conforme mostrado na Figura 50.

Figura 50 – Incompatibilidade projeto estrutural obtida pelo *Navisworks*

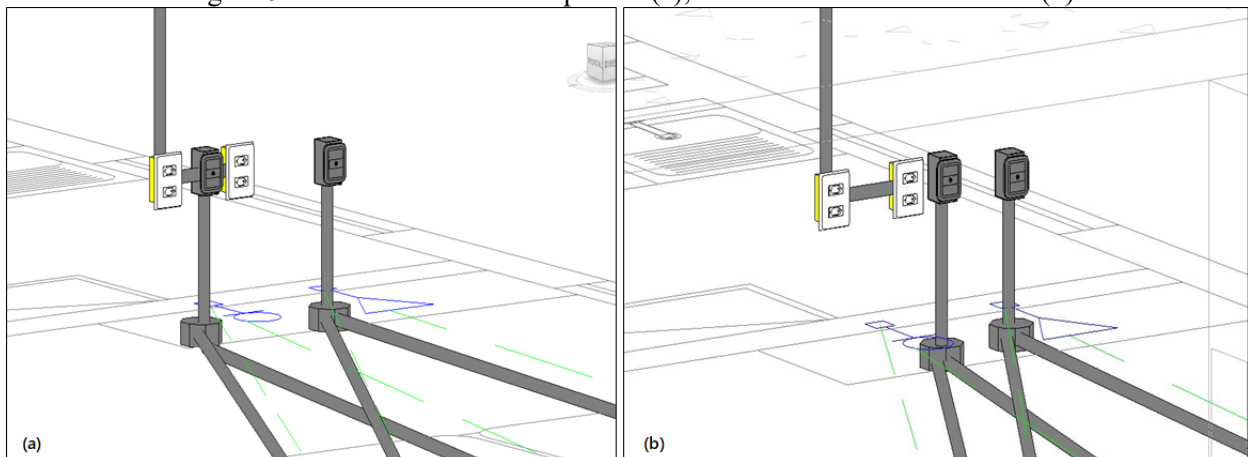


Fonte: Autora (2018).

4.3. Análise do Projeto Elétrico

No projeto elétrico, os conduítes referentes a tomadas e interruptores passavam pela laje do teto e desciam para as paredes, e os de TV/telefone/internet e interfone, passavam pela laje do piso e subiam para as paredes. Ambos os projetos foram feitos em pranchas separadas. A autora fez a modelagem das pranchas separadamente e, ao unificar as pranchas num modelo, percebeu-se que alguns conduítes e caixas de tomada se interceptavam, como mostrado na Figura 51a. A solução adotada foi de realinhar os conduítes de modo a não se cruzarem (Figura 51b).

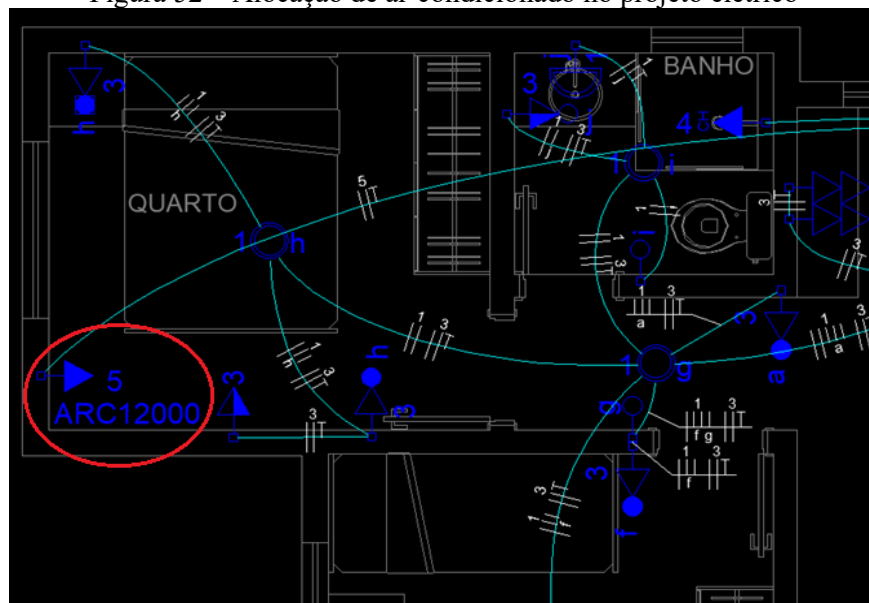
Figura 51 – Conduítes se interceptando (a), realinhamento dos conduítes (b)



Fonte: Autora (2018).

Outra incompatibilidade verificada no projeto elétrico foi a alocação de ar condicionado em um dos quartos do apartamento (Figura 52). Entretanto, por se tratar de imóveis faixa 1,5 da Caixa Econômica Federal, a construtora optou por não realizar as instalações deste eletrodoméstico em seu empreendimento.

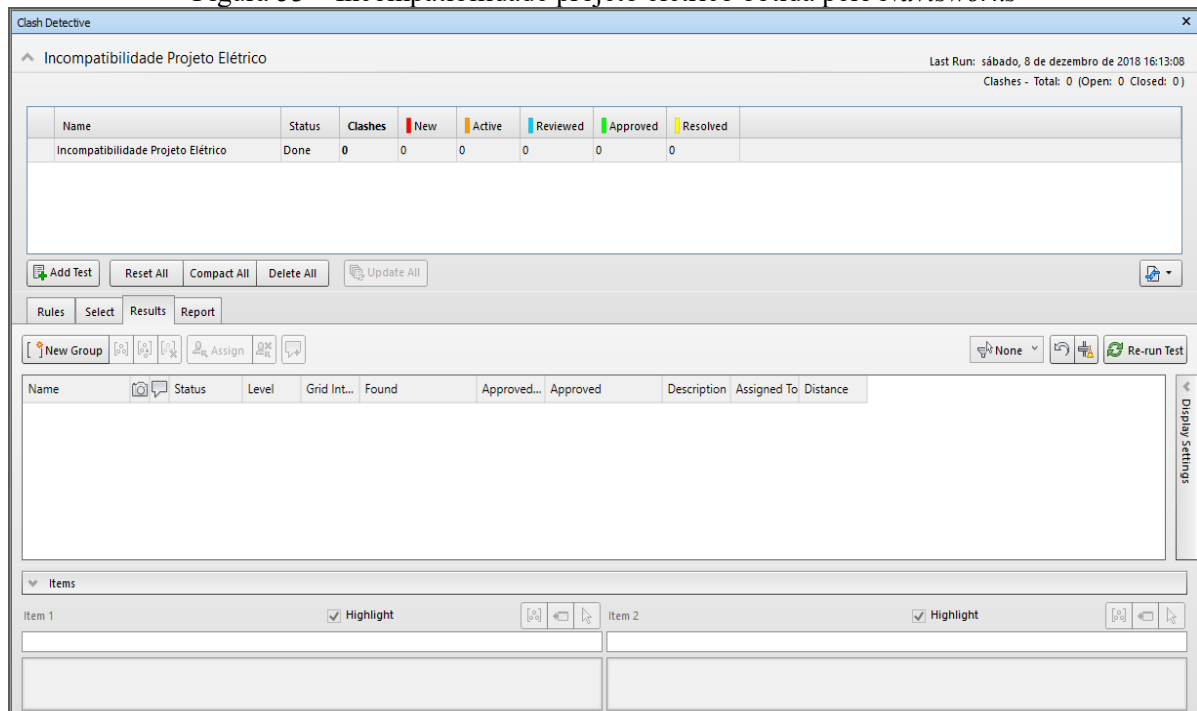
Figura 52 – Alocação de ar-condicionado no projeto elétrico



Fonte: Construtora AZM (2018) – adaptado.

Após adequação do projeto elétrico, a modelagem foi importada para o *Navisworks*. Não foram encontradas nenhuma incompatibilidade, conforme mostrado na Figura 53.

Figura 53 – Incompatibilidade projeto elétrico obtida pelo *Navisworks*

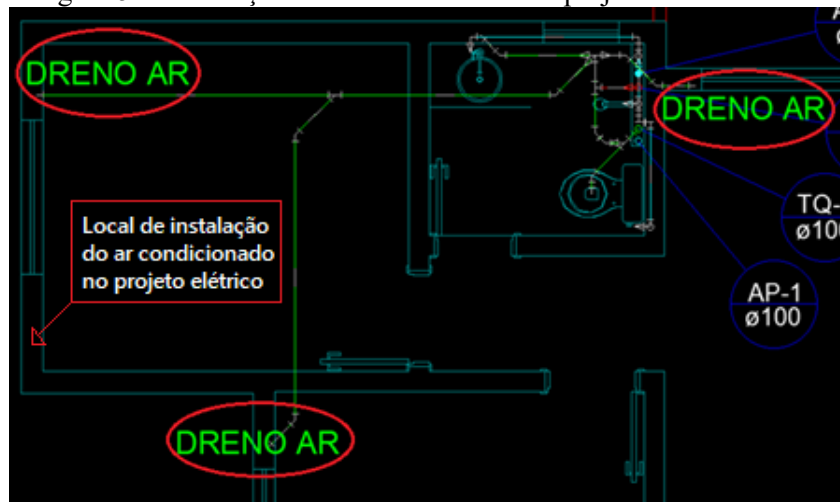


Fonte: Autora (2018).

4.4. Análise do Projeto Hidrossanitário

Assim como no projeto elétrico, no projeto hidrossanitário também foi prevista a existência de ar condicionado, não só nos quartos mas também na sala (Figura 54). Vale ressaltar que mesmo se houvesse ar-condicionado nos apartamentos, haveria incompatibilidade, pois os mesmos foram alocados no projeto elétrico e hidrossanitário em lugares diferentes, mostrando a falta de comunicação entre ambos os projetistas e a construtora.

Figura 54 – Alocação de ar-condicionado no projeto hidrossanitário



Fonte: Construtora AZM (2018) – adaptado.

Além disso, no projeto hidrossanitário constava duas tabelas com as alturas dos pontos de instalações dos equipamentos e, essas divergiam conforme mostrado na Figura 55. Após reunião com o engenheiro responsável, foi acordado que seria utilizado na modelagem apenas a tabela à esquerda da Figura 55.

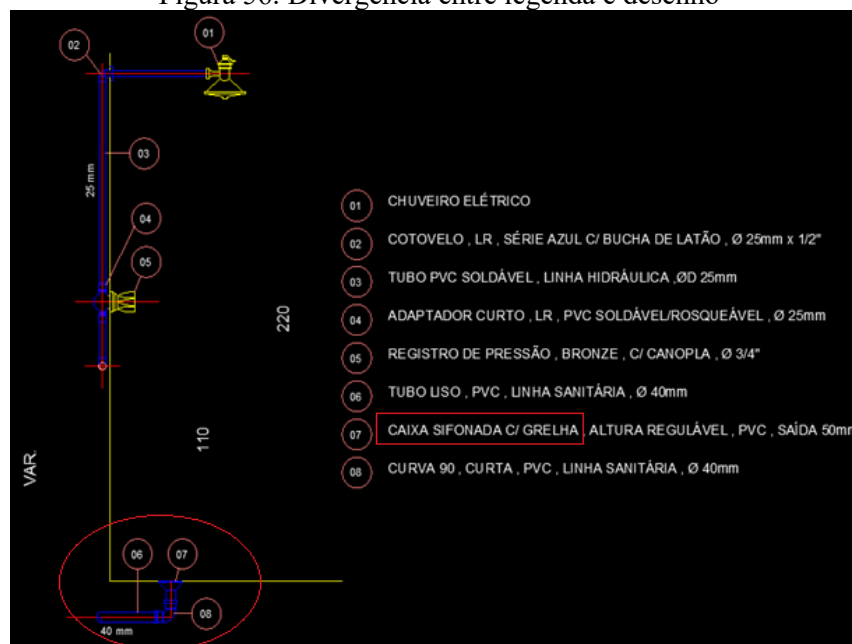
Figura 55 – Divergência entre tabelas com a altura dos pontos de utilização no projeto hidrossanitário

| ALTURA DE PONTOS (cm) | | | PONTOS DE UTILIZAÇÃO | | | | |
|-------------------------------------|------|--------|----------------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------|--|
| APARELHO | ÁGUA | ESGOTO | ALTURA DO PISO (m) | | | | |
| | | | CHEGADA DA ÁGUA | BANCADA - APARELHO | TORNEIRA/REGISTRO VALVULA AÇIONAMENTO | REGISTRO/CONTROLE | |
| BEBEDOURO | 90 | 85 | 0,60 | 0,80 | 0,80 | 1,80 | |
| CHUVEIRO | 210 | - | 0,35 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | |
| LAVATÓRIO | 60 | 50 | 0,8 | 0,85 | 1,10 | 1,80 | |
| MICTÓRIO | 100 | 37 | 1,10 | 0,85 | 1,10 | 1,80 | |
| PIA (BANCADA) | 60 | 55 | 0,33 | 0,38 | 1,10 | 1,80 | |
| RG BAIXO | 40 | - | 2,20 | 2,20 | 1,10 | 1,80 | |
| RG ALTO | 180 | - | 0,60 | 0,90 | 1,10 | 1,20 | |
| RP | 120 | - | 0,40 | 0,90 | 1,10 | HIDROMETRO | |
| TANQUE (PAREDE) | 110 | 45 | 0,30 | 0,39 | 0,65 | 1,80 | |
| TORNEIRA DE LIMPEZA | 50 | - | | | | | |
| VASO (CAIXA ACOPLADA) | 20 | - | | | | | |
| CHUVEIRO DE EMERGÊNCIA + LAVA OLHOS | 90 | 15 | | | | | |

Fonte: Construtora AZM (2018) – adaptado.

Outra divergência encontrada nesta disciplina foi em relação a coleta da água do chuveiro, no projeto estava desenhado um ralo seco e na legenda especificado que a coleta seria feita por meio de caixa sifonada (Figura 56). Após reunião com o projetista, ficou acordado que seria utilizado a opção especificada na legenda, ou seja, caixa sifonada.

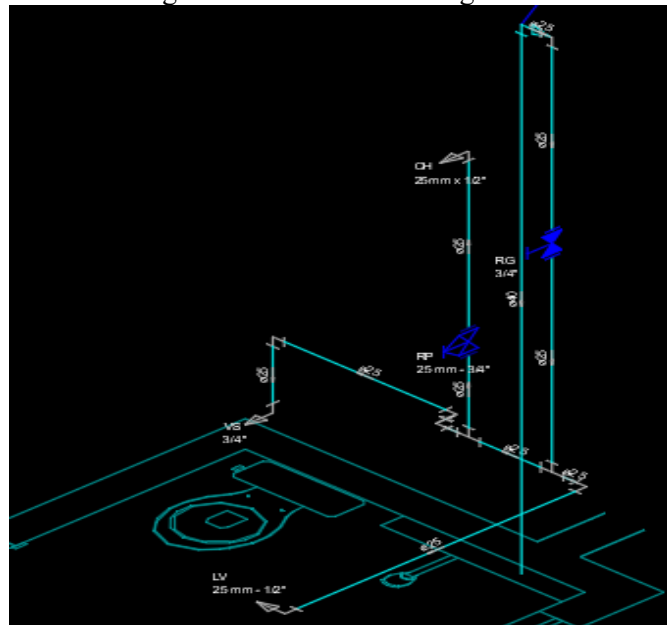
Figura 56: Divergência entre legenda e desenho



Fonte: Construtora AZM (2018) – adaptado.

É importante salientar que nas isométricas de água fria fornecidas no projeto constavam apenas os diâmetros que deveriam ter em cada trecho da tubulação, não indicando os comprimentos das tubulações e as alturas que deveriam ser colocadas as curvas (Figura 57).

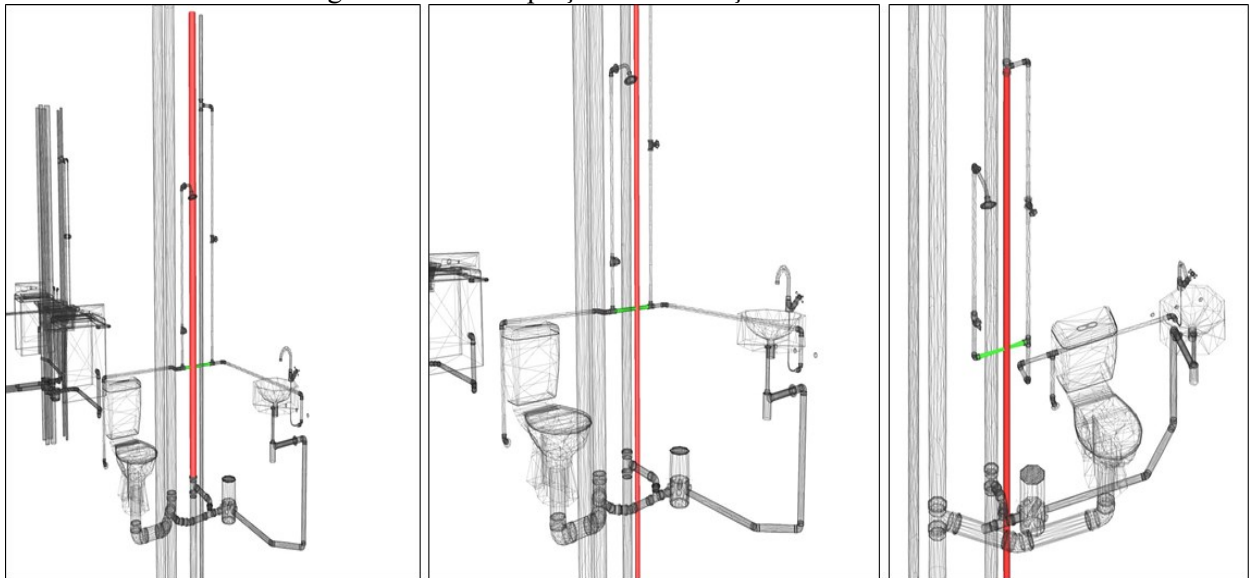
Figura 57 – Isométrica de água fria



Fonte: Construtora AZM (2018).

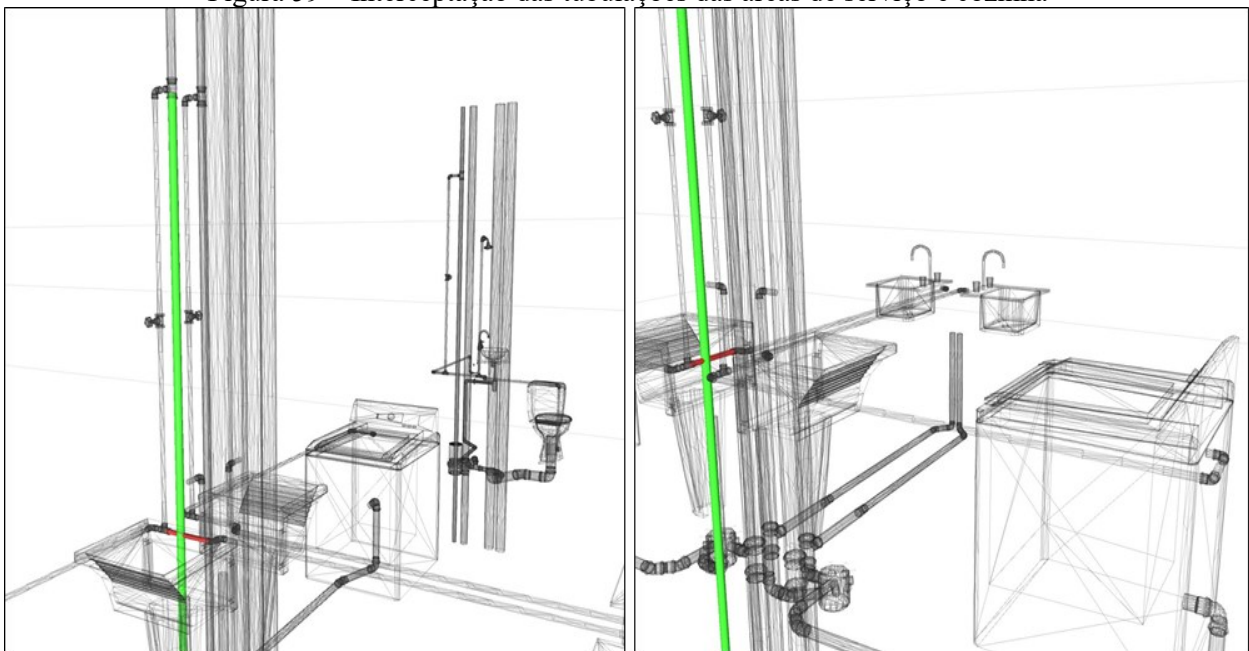
Ao finalizar as adequações referentes ao projeto hidrossanitário, foi feita a importação do mesmo para o *software Navisworks*. Utilizando o comando *clash detection* com precisão de 5 mm, foram encontradas vinte e cinco incompatibilidades, sendo vinte destas aprovadas pela autora por se tratar de interferências insignificantes acusadas pelo *software* como, por exemplo, extremidade das tubulações se interceptando com a sua conexão. As demais incompatibilidades foram: três no *shafts* do banheiro (Figura 58) e duas na área de serviço (Figura 59), sendo ambos referentes aos ramais de água fria que interceptavam a própria coluna de distribuição e o tubo de queda (esgoto). O relatório fornecido pelo *software* está presente no Apêndice B.

Figura 58 – Intercepção das tubulações dos banheiros



Fonte: Autora (2018).

Figura 59 – Intercepção das tubulações das áreas de serviço e cozinha



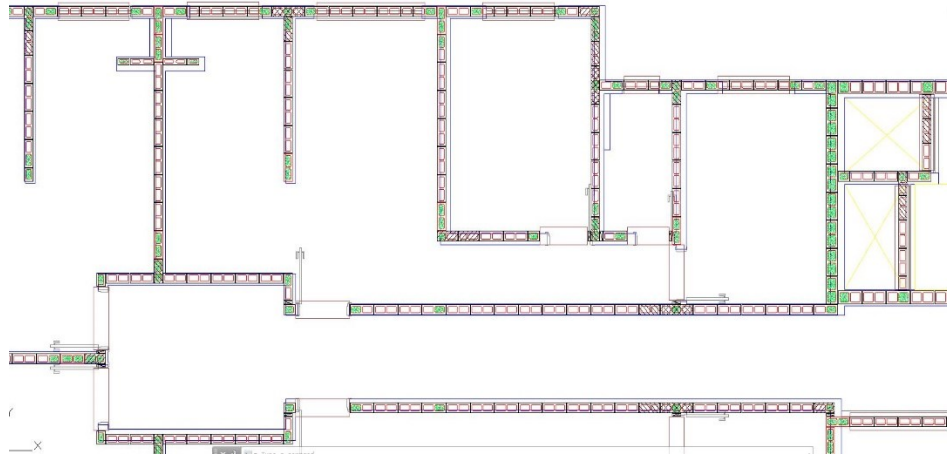
Fonte: Autora (2018).

4.5. Compatibilização entre Arquitetônico x Estrutural

A compatibilização entre arquitetura e estrutura foi realizada utilizando o *software Revit* por meio da importação do *link* da modelagem arquitetônica para o arquivo da modelagem do projeto estrutural. Com a importação realizada, notou-se que as paredes do projeto estrutural estavam desalinhadas com o projeto arquitetônico, conforme mostrado na Figura 60. Além disso, percebeu-se, também, que alguns quartos do projeto arquitetônico possuíam dimensões diferentes do projeto estrutural (Figura 61), o que ocasionou o desalinhamento das paredes. Como as paredes em

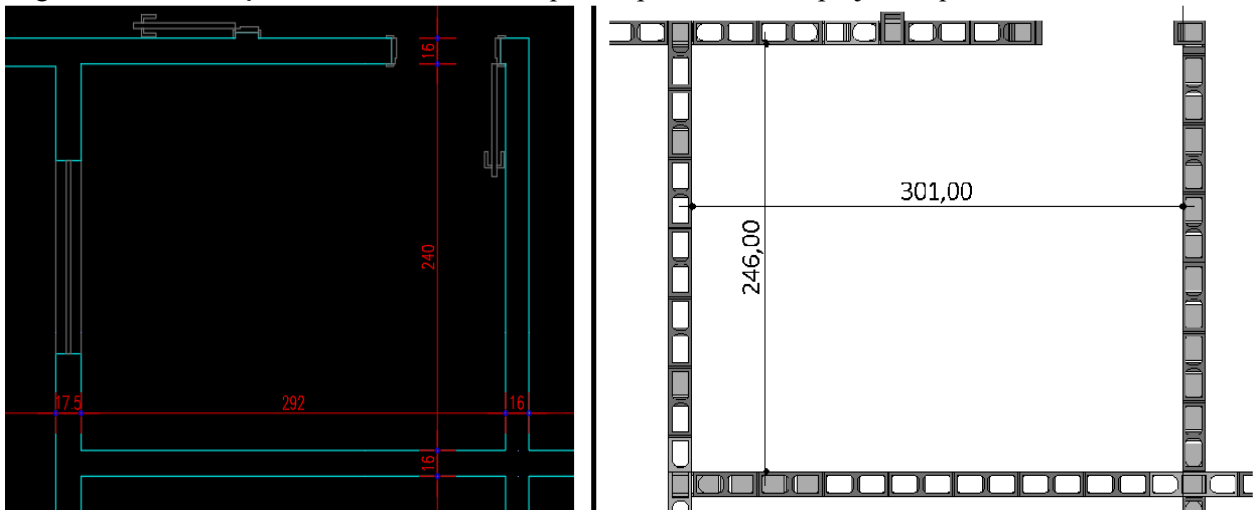
alvenaria estrutural são feitas através de modulação, a construtora optou por dar preferência ao projeto estrutural.

Figura 60 – Compatibilização entre projeto estrutural e arquitetônico evidenciando o desalinhamento das paredes em planta baixa



Fonte: Autora (2018).

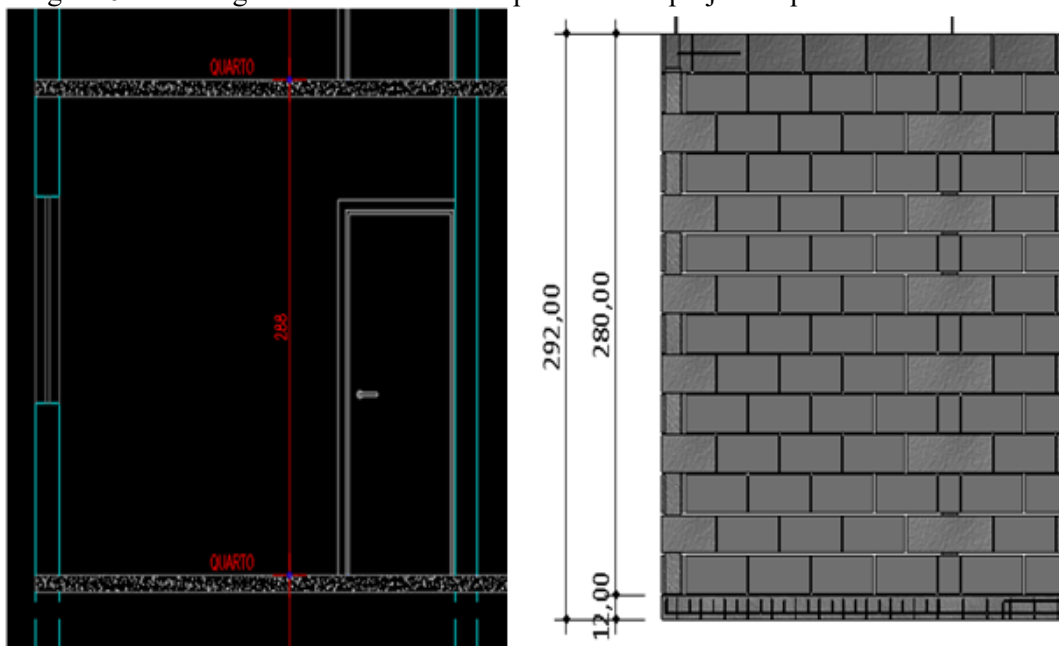
Figura 61 – Diferença entre as dimensões do quarto apresentadas no projeto arquitetônico e no estrutural



Fonte: Autora (2018).

Além do desalinhamento das paredes, notou-se também que no projeto arquitetônico constava um pé direito de 2,88 m enquanto que no projeto estrutural era de 2,92m (Figura 62). Novamente, optou-se pela indicação do projeto estrutural.

Figura 62 – Divergência entre a altura do pé direito no projeto arquitetônico e estrutural



Fonte: Autora (2018)

Tentou-se realizar as análises de incompatibilidade com o *software Navisworks*, no entanto, utilizando a precisão de 2 cm foram encontradas 11626 incompatibilidades (Figura 63). Isso ocorre porque o *software* conta como interferência cada um dos blocos que interceptam uma parede. Sendo assim, as análises foram realizadas apenas no Revit.

Figura 63 – Incompatibilidades entre o projeto arquitetônico e estrutural obtidos pelo *Navisworks*

| Name | Status | Clashes | New | Active | Reviewed | Approved | Resolved |
|--|--------|---------|-------|--------|----------|----------|----------|
| Incompatibilidade Estrural x Arquitetura | Done | 11626 | 11626 | 0 | 0 | 0 | 0 |

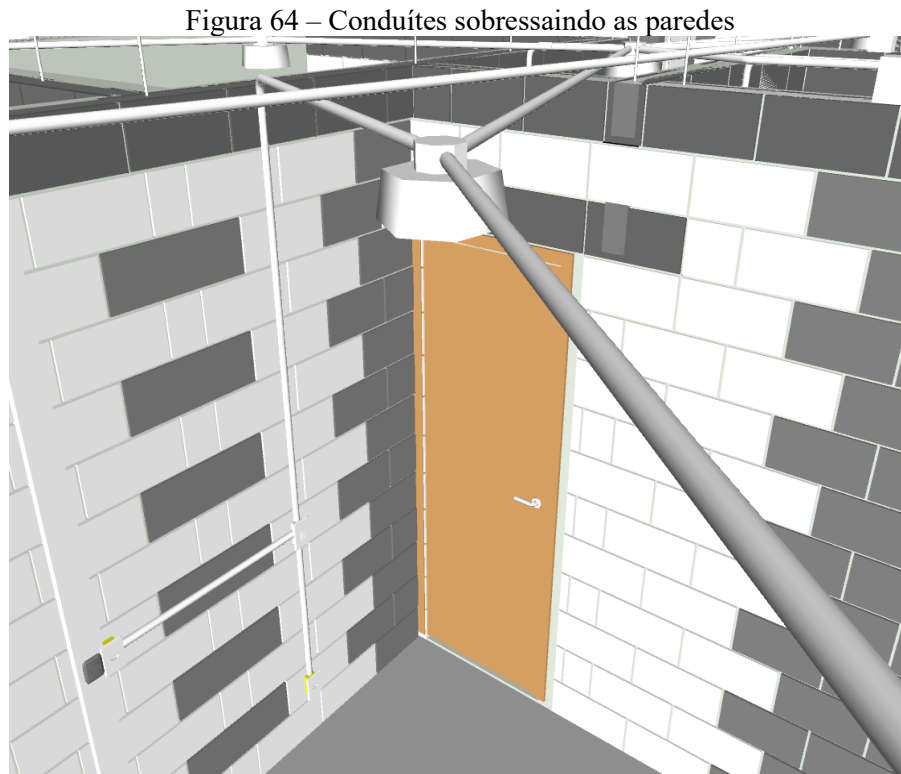
| Name | Status | Level | Grid Int... | Found | Approved... | Approved | Description | Assigned T |
|--------|--------|-------------|-------------|---------------------|-------------|----------|-------------|------------|
| Clash1 | New | 1º PAV-T... | B-24 | 19:08:29 08-12-2018 | | | Hard | |
| Clash2 | New | 1º PAV-T... | B-22 | 19:08:29 08-12-2018 | | | Hard | |
| Clash3 | New | 1º PAV-T... | B-22 | 19:08:29 08-12-2018 | | | Hard | |
| Clash4 | New | 1º PAV-T... | B-8 | 19:08:29 08-12-2018 | | | Hard | |
| Clash5 | New | 1º PAV-T... | B-6 | 19:08:29 08-12-2018 | | | Hard | |
| Clash6 | New | 1º PAV-T... | B-24 | 19:08:29 08-12-2018 | | | Hard | |
| Clash7 | New | 1º PAV-T... | B-22 | 19:08:29 08-12-2018 | | | Hard | |

| Item 1 | Item 2 |
|---|---|
| Item Name: Parede básica Item Type: Paredes: Parede básica: PARE.AECO ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO ESTRUTURAL (parede a. molhada/esp. 17.5) | Item Name: BE padrão (14x19x39) Item Type: Modelos genéricos |

Fonte: Autora (2018).

4.6. Compatibilização entre Arquitetônico x Estrutural x Elétrico

Ao analisar o projeto elétrico juntamente com o de arquitetura e o estrutural, notou-se que os conduítes se encontravam sobressaindo as paredes (Figura 64). Esta falha foi ocasionada devido ao desalinhamento das paredes conforme mencionado anteriormente.



Fonte: Autora (2018).

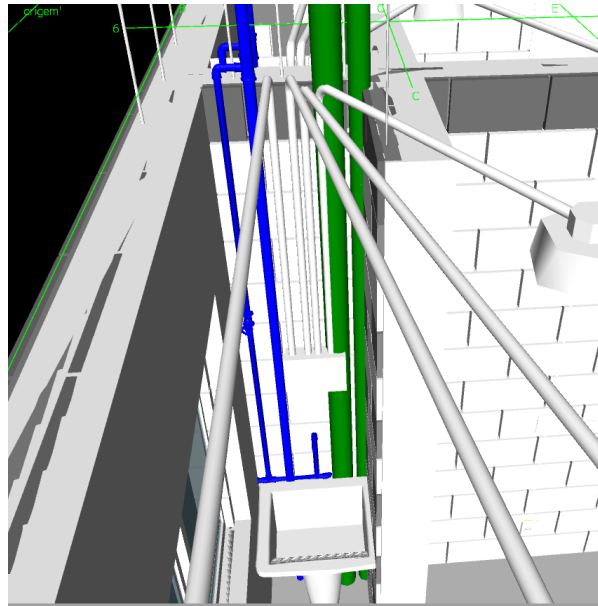
4.7. Compatibilização entre Arquitetônico x Estrutural x Elétrico x Hidrossanitário

Ao reunir num único modelo os projetos arquitetônico, estrutural, elétrico e hidrossanitário, notou-se uma divergência à respeito do *shaft* da área de serviço (Figura 65), no qual:

- ✓ *projeto arquitetônico*: não houve representação adequada do *shaft* (66a).
- ✓ *projeto estrutural*: com a não representação de forma correta do *shaft*, o engenheiro estrutural entendeu que não haveria o mesmo no local (66b).
- ✓ *projeto elétrico*: como não havia um *shaft* no local, o engenheiro eletricitista, usou o espaço para alocar o quadro de distribuição dos apartamentos (66c).
- ✓ *projeto hidrossanitário*: o engenheiro responsável entendeu que no local haveria um *shaft*, utilizando o mesmo para as passagens das tubulações (66d).

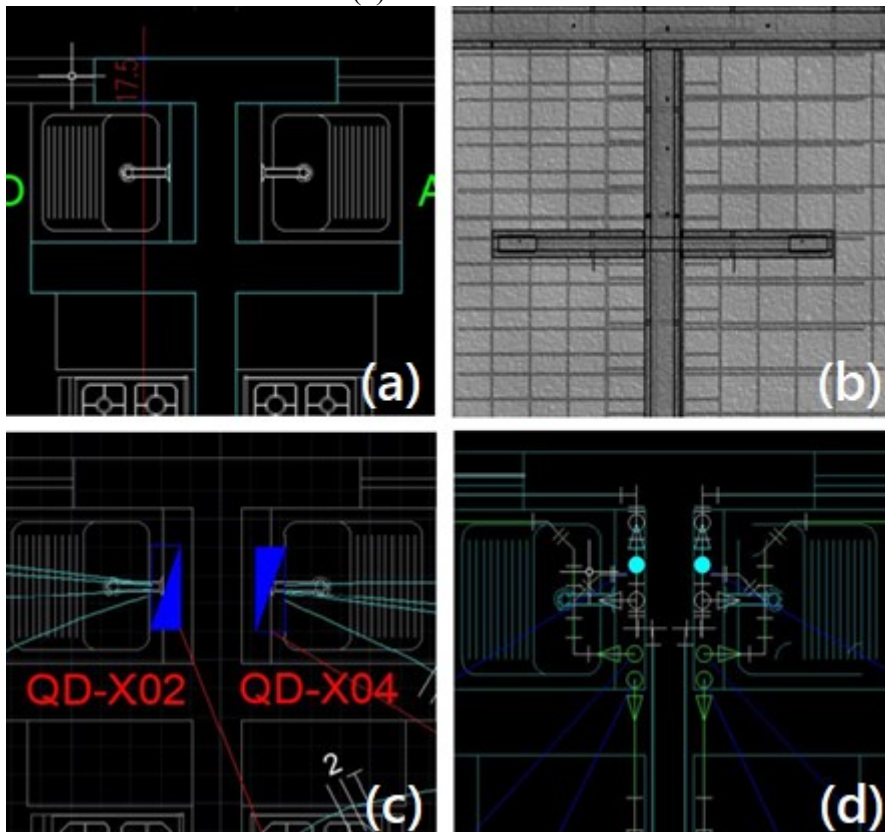
Em reunião com a construtora, optou-se por remanejar o quadro de distribuição proveniente do projeto elétrico para outra parede e também readequar os projetos arquitetônico e estrutural para prever um *shaft* no local.

Figura 65 – Interferências no *shaft* da área de serviço entre arquitetura, estrutura, elétrica e hidrossanitária – 3D



Fonte: Autora (2018).

Figura 66 – Interferências entre os projetos de arquitetura (a), estrutura (b), elétrica (c) e hidrossanitária (d) - Planta baixa



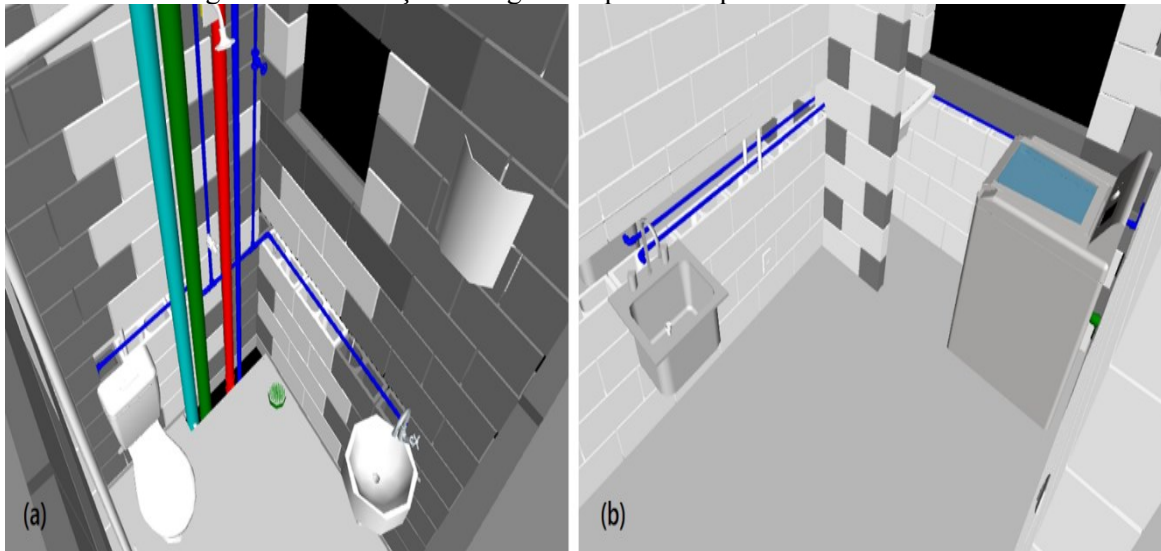
Fonte: Autora (2018).

Além disso, também verificou-se incompatibilidade entre o projeto estrutural e o hidrossanitário, pois as tubulações de água fria que não estavam na região dos *shafts* eram passadas por dentro das paredes (Figura 67), o que é inaceitável no sistema de alvenaria estrutural. Em reunião com o

engenheiro responsável pelo projeto hidrossanitário, o mesmo solicitou que aumentasse a espessura do reboco das paredes em que o problema ocorria, para que a tubulação fosse embutida. Entretanto, a solução adotada é antieconômica e não respaldada tecnicamente, pois pode ocasionar fissuras no revestimento devido ao acréscimo da espessura e aumento de custos de materiais e mão de obra. Para solucionar o problema, pode-se adotar diferentes soluções, sendo algumas delas:

- ✓ refazer o projeto hidrossanitário com as passagens horizontais das tubulações feitas entre a laje e o forro de gesso (conforme exemplificado na Figura 9).
- ✓ utilizar blocos de menor espessura para formar reentrâncias na parede, desde que previamente acordado pelo engenheiro estrutural.
- ✓ utilizar blocos hidráulicos, desde que previamente acordado pelo engenheiro estrutural (conforme mostrado na Figura 10).
- ✓ utilizar paredes hidráulicas, desde que previamente acordado pelo engenheiro estrutural.

Figura 67 –Tubulações de água fria passando por dentro da alvenaria



Fonte: Autora (2018).

4.8. Levantamento de Quantitativos do Projeto Estrutural

Através dos quantitativos fornecidos no projeto estrutural e os obtidos de forma automática pelo *software Revit*, pode-se elaborar um comparativo entre estes quantitativos referentes aos blocos estruturais de concreto e o graute inserido nas paredes, representados pelas tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 – Comparativo do quantitativo de blocos estruturais de concreto

| Material | Projeto CAD [unidade] | Modelo BIM [unidade] |
|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Bloco inteiro (9x19x39) | 116 | 117 |
| Bloco inteiro (14x19x39) | 6832 | 6841 |
| Bloco inteiro (19x19x39) | 524 | 524 |
| Bloco de canto “L” (14x19x34) | 1572 | 1566 |
| Bloco de cruzamento “T” (14x19x54) | 320 | 326 |
| ½ bloco (9x19x19) | 104 | 104 |
| ½ bloco (14x19x19) | 795 | 801 |
| ½ bloco (19x19x19) | 17 | 16 |
| Bloco compensador (9x19x4) | 12 | 12 |
| Bloco compensador (14x19x4) | 573 | 563 |
| Bloco compensador (19x19x4) | 16 | 16 |
| Bloco ½ canaleta (9x19x19) | 10 | 10 |
| Bloco ½ canaleta (14x19x19) | 95 | 100 |
| Bloco ½ canaleta (19x19x19) | 6 | 1 |
| Bloco canaleta (9x19x39) | 13 | 13 |
| Bloco canaleta (14x19x39) | 1155 | 1137 |
| Bloco canaleta (19x19x39) | 50 | 47 |
| Bloco canaleta de canto (14x19x34) | 294 | 284 |
| TOTAL | 12504 | 12478 |
| DIFERENÇA (%) | 0,2% | |

Fonte: Autora (2018)

Tabela 6 - Comparativo do quantitativo de graute das paredes

| Material | Projeto CAD [m³] | Modelo BIM [m³] |
|----------------------|-------------------------|------------------------|
| Graute das paredes | 29,08 | 29,05 |
| DIFERENÇA (%) | 0,1% | |

Fonte: Autora (2018)

Ao se comparar os quantitativos fornecidos nos projetos com os obtidos através da modelagem, observou-se que os valores estavam próximos entre si, com uma diferença inferior a 0,5% no total. Tal abordagem não é relevante, o ideal é análise item a item, pois num sistema construtivo racionalizado, que se prioriza a redução de desperdícios e a otimização da construção, tal como a alvenaria estrutura, o acréscimo de peças pode representar um aumento de custo e de tempo da obra e o excesso desperdício.

5. CONCLUSÃO

O uso da metodologia BIM possibilitou a visualização de forma didática e precisa do empreendimento, sendo sua utilização essencial para a identificação de interferências que são facilmente identificadas e solucionadas antes de chegarem ao canteiro de obras.

Uma das principais dificuldades encontradas foi executar a transferência dos projetos obtidos em CAD para a metodologia BIM. Durante o processo de modelagem, percebeu-se que os projetos das diversas disciplinas possuíam diversas falhas oriundas da falta de informações de projeto e deficiência de visualização em 3D, que tiveram de ser solucionadas antes mesmo de iniciar a compatibilização entre as disciplinas. A concepção e elaboração dos projetos na metodologia BIM tende a eliminar tais falhas e evitam custo e tempo de retrabalho para a transferência dos projetos.

A falta de comunicação entre os projetistas das diferentes disciplinas e a não observância das necessidades da construtora também foi um problema observado, como por exemplo, a existência de ar condicionado considerada pelos projetos elétrico e hidráulico, não previstos pelo projeto arquitetônico e pela construtora.

A metodologia BIM mostra-se eficiente na eliminação destes erros de projeto na fase de concepção, possibilitando a correção destas ainda em fase de planejamento o que é de extrema importância para evitar problemas durante a execução da obra. Além disso, o uso de objetos paramétricos facilita no acompanhamento dos projetistas durante a elaboração dos projetos, pois qualquer mudança nos elementos refletia automaticamente para outras vistas e para o restante do modelo. Além disso, a possibilidade de inserção de vínculos provenientes de outras disciplinas gerou mais assertividade da modelagem. Tal contribuição pode ser utilizada também pela construtora para acompanhamento da obra.

O desenvolvimento da metodologia BIM é extremamente necessário para o avanço do setor da construção civil, pois possibilita a elaboração de projetos mais precisos. Isso poderá refletir no aumento da produtividade, otimização de materiais e mão de obra e, principalmente na redução de custos durante a execução da obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15961-1 – Alvenaria estrutural: blocos de concreto – Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15961-2 – Alvenaria estrutural: blocos de concreto – Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro. 2011.

ADDOR, M.; et al. **Colocando o “i” no BIM**. Revista eletrônica de arquitetura e urbanismo da Universidade São Judas Tadeu, edição nº 4, 2010. Disponível em: <https://www.usjt.br/arq.urb/numero_04/arqurb4_06_miriam.pdf>. Acesso em: 20 out. 2018.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **E203-2013 Building Information Modeling and Digital Exhibit**. American Institute of Architects, 2013. Disponível em <<http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab099084.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2018.

AUTODESK. **Famílias – Habilidade essencial**. Disponível em: <<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/PTB/?guid=GUID-7AEC5D66-C2E0-40E2-9504-3CC13781B87A>>. Acesso em: 01 nov. 2018

BOMFIM, C. A. A.; et al. **Gestão de Obras com BIM – Uma nova era para o setor da Construção Civil**. p 556-560. In: XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital [=Blucher Design Proceedings, v.3 n.1]. São Paulo: Blucher, 2016. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/gesto-de-obras-com-bim-uma-nova-era-para-o-setor-da-construo-civil-24849>>. Acesso em: 25 out. 2018.

BRASIL. Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018. **Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling**. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mai. 2018. Seção 1, p 3.

CAMACHO, J. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Notas de aula – Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2006. Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/projeto-de-edificios-de-alvenaria-estrutural.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2018.

CARVALHO, M. A.; SCHEER, S. **O uso e eficiência do IFC entre produtos de proposta BIM no mercado atual**. In: TIC2011: 5º Encontro de Tecnologia da Informação e Comunicação na construção civil. Salvador, 2011.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Coletânea implementação do BIM para construtoras e incorporadoras**. Brasília, 2016.

EASTMAN, C *et al.* **Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2014. 1ª ed. 483 p.

FERREIRA, R. C.; SANTOS, E. T. **Características da representação 2D e suas limitações na etapa de compatibilização espacial do projeto**. Gestão e Tecnologia de Projetos, v.2, nº 2, nov. 2007. Disponível em: <www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/>. Acesso em: 01 nov. 2018.

GALLEGOS, H. **Curso de alvenaria estrutural**. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1988.

GEHBAUER, F.; ORTEGA, L. G. **Compatibilização de projetos na construção civil**. Projeto COMPETIR. Recife, 2006.

HERGUNSEL, M. F. **Benefits of Building Information Modeling for construction managers and BIM based scheduling**. Thesis for Degree of Master of Science in Civil Engineering. WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE, 2011.

KYMMELL, W. **Bulding Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulation**. 1ª ed. McGraw-Hill, 2008.

LIMA, C. C. N. A. **Autodesk Revit Architecture 2014: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Editora Érica, 2014. 1ª ed. 432 p.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. **SmartMarket Report on BIM: Transforming Design and Construction to Achieve Greater Industry Productivity**. Bedford, Massachusetts: McGraw Hill Construction, 2008. 45 p. Disponível em: <http://images.autodesk.com/latin_am_main/files/mcgraw-hill_construction_bim_smartmarket_report_december_2008.pdf>. Acesso em: 25 out. 2018.

MELHADO, S. B. et al. **Coordenação de projetos de edificações**. São Paulo: Editora O Nome da Rosa, 2005. 1ª ed. 115 p.

MOHAMAD, G. **Construções em alvenaria estrutural**. São Paulo: Editora Blucher, 2015. 1ª ed. 355p.

MOTTER, A.G.; CAMPELO H.Q. **Implantação da tecnologia BIM em escritórios de projetos na região de Curitiba - estudo de casos**. Trabalho de Conclusão de Curso para Graduação em

Engenharia Civil - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/71/Alexia_Gassenferth_Motter_e_Heloisa_Queiroz_Campelo_2014.pdf>. Acesso em: 25 out. 2018.

NCMA – National Concrete Masonry Association. **TEK 10-2C: Control joints for concrete masonry walls: empirical methods.** Ashbum, 2010.

OLIVEIRA, A. **BIM e os níveis de desenvolvimento.** 2015. Disponível em: <<https://bimexperts.com.br/bim-e-os-niveis-de-desenvolvimento/>>. Acesso em: 04 out. 2018

OLIVEIRA, M.; FREITAS, H. **Melhoria da qualidade da etapa de projeto de obras de edificação: um estudo de caso.** Revista READ, 7ª ed., vol. 3, nº 3. Porto Alegre, 1997. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/19408>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle.** São Paulo: Editora O Nome da Rosa, 2011. 1ª ed. 240p.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** São Paulo: Editora Pini, 2003. 1ª ed. 169p.

RODRÍGUEZ, M. A. A. **Coordenação Técnica de Projetos: caracterização e subsídios para sua aplicação na gestão do processo de projeto de edificações.** Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102898>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

RODRÍGUEZ, M. A. A.; HEINECK, L. F. M. **A construtibilidade no processo de projeto de edificações.** In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. São Carlos, 2003. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/8100>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos - formulação e aplicação de uma metodologia.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-30082017-091328/pt-br.php>>. Acesso em: 25 set. 2018.

SANTOS SILVA. **Princípios Para o Desenvolvimento de Projetos com Recurso a Ferramentas BIM.** Dissertação Mestrado – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Portugal, 2013.

SEBRAE/SINDUSCON – PR. **Diretrizes Gerais para Compatibilização de Projetos.** Curitiba, 1995, 120p.

SILVA, M. A. C.; SOUZA, R. **Gestão do processo de projeto de edificações**. São Paulo: Editora O Nome da Rosa, 2003. 1ª ed. 181 p.

SILVA, S. **Princípios para o desenvolvimento de projetos com recurso a ferramentas BIM**. Dissertação Mestrado – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Portugal, 2013.

SMITH, P. **BIM & the 5D project cost manager**. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2014, 119: 475-484.

SUZUKI, R. T.; SANTOS, E. T. **Planejamento 4D no brasil: levantamento orientado à percepção de resultados pelos diversos “stakeholders” da construção**. In: Encontro Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção. Recife, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301464308_PLANEJAMENTO_4D_NO_BRASIL_LEVANTAMENTO_ORIENTADO_A_PERCEPCAO_DE_RESULTADOS_PELoS_DIVERSOS_STAKEHOLDERS_DA_CONSTRUCAO>. Acesso em: 25 out. 2018.

TARRAFA, D.G.P. **Aplicabilidade prática do conceito BIM em projetos de estruturas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade de Coimbra. Portugal, 2012.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: Editora Pini, 2010. 1ª ed. 183p.

**APÊNDICE A – RELATÓRIO INCOMPATIBILIDADE DO PROJETO
HIDROSSANITÁRIO FORNECIDO PELO *NAVISWORKS***

Clash Report

Report Batch

| Interferências hidrossanotário Clash | |
|--------------------------------------|--------|
| Tolerance | 0.005m |
| Total | 25 |
| New | 0 |
| Active | 5 |
| Reviewed | 0 |
| Approved | 20 |
| Resolved | 0 |
| Type | Hard |
| Status | OK |

| | |
|---|--|
|  | <p>Name Clash9 Distance -0.007m Description Hard Status Active Clash Point -13.160m, -5.642m, 3.730m Grid Location Date Created 2018/11/24 23:24</p> |
| Item 1 | |
| Element ID 1504874 Layer 18 PAV-TIPO Item Name Sistema ventilação (tubos) Item Type Line | |
| Item 2 | |
| Element ID 1491151 Layer 18 PAV-TIPO Item Name Sistema água fria (tubo) Item Type Line | |

| | |
|---|---|
|  | <p>Name Clash12 Distance -0.007m Description Hard Status Active Clash Point -13.170m, -5.768m, 3.715m Grid Location Date Created 2018/11/24 23:24</p> |
| Item 1 | |
| Element ID 1482399 Layer 18 PAV-TIPO Item Name Sistema água fria (tubo) Item Type Line | |
| Item 2 | |
| Element ID 1491151 Layer 18 PAV-TIPO Item Name Sistema água fria (tubo) Item Type Line | |

| | |
|---|--|
|  | <p>Name Clash17 Distance -0.006m Description Hard Status Active Clash Point -8.219m, -5.491m, 3.715m Grid Location Date Created 2018/11/24 23:24</p> |
| Item 1 | |
| Element ID 1559998 Layer 18 PAV-TIPO Item Name Sistema água fria (tubo) Item Type Line | |
| Item 2 | |
| Element ID 1559974 Layer 18 PAV-TIPO Item Name Sistema água fria (tubo) Item Type Line | |

| | |
|---|--|
|  | <p>Name Clash18 Distance -0.006m Description Hard Status Active Clash Point -8.436m, -5.491m, 3.715m Grid Location Date Created 2018/11/24 23:24</p> |
| Item 1 | |
| Element ID 1508417 Layer 18 PAV-TIPO Item Name Sistema água fria (tubo) Item Type Line | |
| Item 2 | |
| Element ID 1508103 Layer 18 PAV-TIPO Item Name Sistema água fria (tubo) Item Type Line | |

| | |
|---|--|
|  | <p>Name Clash20 Distance -0.006m Description Hard Status Active Clash Point -0.858m, -3.956m, 3.708m Grid Location Date Created 2018/11/24 23:24</p> |
| Item 1 | |
| Element ID 1557854 Layer 18 PAV-TIPO Item Name Sistema água fria (tubo) Item Type Line | |
| Item 2 | |
| Element ID 1557899 Layer 18 PAV-TIPO Item Name Sistema água fria (tubo) Item Type Line | |