



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CAMPUS RUSSAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

VICTOR MANOEL FREIRE FIGUEIREDO

**IMPACTO DA TECNOLOGIA BIM EM OBRAS RESIDENCIAIS: ESTUDO
DE CASO EM RESIDÊNCIA DE ALTO PADRÃO EUSÉBIO/CE**

RUSSAS

2023

VICTOR MANOEL FREIRE FIGUEIREDO

**IMPACTO DA TECNOLOGIA BIM EM OBRAS RESIDENCIAIS: ESTUDO
DE CASO EM RESIDÊNCIA DE ALTO PADRÃO EUSÉBIO/CE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de graduação em engenharia civil do
campus de Russas da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção de
título de bacharel em Engenharia Civil

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Mylene

RUSSAS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F493i Figueiredo, Victor Manoel Freire.
Impacto da tecnologia BIM em obras residenciais : Estudo de caso em residência de alto padrão
Eusébio/CE / Victor Manoel Freire Figueiredo. – 2023.
125 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas,
Curso de Ciência da Computação, Russas, 2023.
Orientação: Profa. Dra. Mylene de melo vieira.
1. BIM. 2. compatibilização. 3. projetos. 4. residências. 5. Navisworks. I. Título.

CDD 005

VICTOR MANOEL FREIRE FIGUEIREDO

**IMPACTO DA TECNOLOGIA BIM EM OBRAS RESIDÊNCIAIS: ESTUDO
DE CASO EM RESIDÊNCIA DE ALTO PADRÃO EUSÉBIO/CE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de graduação em engenharia civil do
campus de Russas da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção de
título de bacharel em Engenharia Civil

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Mylene

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr^ª Mylene

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr^ª. Laís Cristina Barbosa Costa

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Luiz Carlos Magalhães Olimpio

Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que desempenharam um papel fundamental na minha jornada até aqui. Começando por Deus, cuja orientação e força me sustentaram em todos os momentos.

Também quero expressar minha profunda gratidão à minha mãe, que desempenhou um papel fundamental em minha jornada. Sua orientação e apoio foram os alicerces da minha vida. Mesmo nos momentos de puxões de orelha, você nunca me abandonou, e sempre acreditou no meu potencial. Seu sacrifício e dedicação moldaram quem sou hoje, e por isso, sou eternamente grato.

Agradeço ao meu tio, que foi um exemplo masculino notável e me guiou pelo caminho certo. Aos meus amigos do ensino médio no IF, em especial ao Marcos e Alef, que compartilharam risadas, desafios e triunfos comigo. E ao meu professor do ensino médio, Alexandre, cujos conselhos sábios continuam a me guiar.

Aos amigos que fiz em Morada Nova, Caio e Matheus, e aos amigos da faculdade que são como irmãos para mim, João Lucas e Josias minha gratidão por todas as memórias compartilhadas, que tornaram essa dura etapa mais leve. Gostaria de agradecer também a outro irmão, que por conta do destino se encontra mais afastado, porém é um amigo leal e sincero, grande avim, que sempre me apoiou nas minhas peripécias.

Não posso deixar de expressar minha profunda gratidão pelo apoio dos meus colegas de trabalho, Julio, Alan e ao brunim, que sempre estenderam a mão quando eu precisei. E ao meu chefe, Israel Jefferson (cabeça), cuja determinação e esforço constantes me inspiram. Ele também desempenhou um papel de professor e mentor ao longo deste ano.

Também quero dedicar um agradecimento especial à minha incrível namorada, Carol. Este último ano foi um desafio, mas você esteve ao meu lado, apoiando-me e incentivando-me a ser a melhor versão de mim mesmo.

Nada disso seria possível sem o apoio, a amizade e o incentivo de todos vocês. Obrigado por fazerem parte da minha jornada e por me ajudarem a crescer e evoluir. Vocês são uma parte inestimável da minha vida, e sou profundamente grato por cada um de vocês.

"O acaso só favorece a mente preparada" -Louis Pasteur

RESUMO

A utilização do BIM em projetos vem cada vez mais sendo difundida, principalmente em projetos de maior complexidade, trazendo consigo maior agilidade, integração e aperfeiçoamento dos projetos. Porém o uso da metodologia tradicional de confecção de projetos baseada em modelos CAD, ainda é muito utilizada por projetistas, engenheiros e arquitetos impactando negativamente tanto no processo da realização do projeto quanto na execução da obra. Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o impacto do uso da metodologia BIM (modelagem de informação da construção) na construção de residências. Para atingir esse objetivo, foi conduzido um estudo de caso envolvendo o desenvolvimento de um modelo 3D em BIM, o levantamento e análise de conflitos desse modelo juntamente com uma vistoria na edificação para avaliação das interferências na construção. Iniciando o estudo de caso, foi realizado a modelagem BIM dos projetos a partir de projetos CAD 2D. Com intuito de facilitar a identificação das interferências, foi realizado um levantamento acerca dos principais itens e conflitos encontrados na compatibilização interdisciplinares. Finalizando a etapa virtual do estudo, os 4 modelos BIM (arquitetônico, estrutural, elétrico e hidrossanitário) foram analisados no *software Navisworks*, o levantamento de interferências ocorreu com através de uma vistoria virtual e por meio da ferramenta de detecção de conflitos geométricos presente no *software*. Os resultados dos testes foram catalogados, analisados e comentados. Por fim, foi realizada uma vistoria *in loco*, onde foi analisado os impactos acarretados pela não compatibilização previa dos projetos. Como conclusão, foi possível constatar a migração dos projetos elaborados em ambiente 2D para modelos 3D paramétricos BIM, apresenta vários benefícios tanto para redução de conflitos quanto para maior eficiência no processo de construção. As interferências identificadas no processo de compatibilização realmente impactaram negativamente na execução da edificação, gerando alterações em projetos, atrasos na obra e execução de infraestruturas em desacordo normas técnicas, trazendo menos segurança a edificação.

Palavras-chave: Navisworks; interferências; compatibilização; BIM; CAD; projetos.

ABSTRACT

The use of BIM in projects is increasingly widespread, especially in more complex projects, bringing with it greater agility, integration and improvement of projects. However, the use of the traditional methodology for creating projects based on CAD models is still widely used by designers, engineers and architects, negatively impacting both the design process and the execution of the work. This work's main objective is to evaluate the impact of using the BIM methodology (building information modeling) in the construction of residences. To achieve this objective, a case study was conducted involving the development of a 3D model in BIM, the survey and analysis of conflicts in this model together with an inspection of the building to assess interference in construction. Starting the case study, BIM modeling of the projects was carried out using 2D CAD projects. In order to facilitate the identification of interferences, a survey was carried out on the main items and conflicts found in interdisciplinary compatibility. Completing the virtual stage of the study, the 4 BIM models (architectural, structural, electrical and sanitary) were analyzed in the Navisworks software, the interference survey occurred through a virtual inspection and through the geometric conflict detection tool present in the software. The test results were catalogued, analyzed and commented on. Finally, an on-site inspection was carried out, where the impacts caused by the lack of prior compatibility of the projects were analyzed. In conclusion, it was possible to verify the migration of projects created in a 2D environment to 3D parametric BIM models, presenting several benefits both for reducing conflicts and for greater efficiency in the construction process. The interferences identified in the compatibility process actually had a negative impact on the execution of the building, generating changes in projects, delays in the work and execution of infrastructures that did not comply with technical standards, bringing less security to the building.

Keywords: Navisworks; interferences; compatibility; BIM; CAD; projects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Custo x tempo para o projeto.....	20
Figura 2 - Fluxo de projetos em CAD.....	27
Figura 3 - Processo BIM x Processo Tradicional.....	29
Figura 4 - Níveis modelagem BIM.....	30
Figura 5 - Evolução arquivos IFC.....	33
Figura 6 - Tabelas de quantitativos Revit.....	35
Figura 7 - Navisworks planejamento 4D.....	36
Figura 8 - Estudo sobre benefícios do BIM.....	41
Figura 9 - Fluxo de trabalho CAD e BIM (Parte 1/2).....	44
Figura 10 - Conflitos no Autodesk Navisworks.....	49
Figura 11 - Metodologia do estudo de caso.....	53
Figura 12 - Foto da fachada realizada na vistoria.....	54
Figura 13 - Layout projeto CAD.....	55
Figura 14 - Largura das paredes Autodesk Revit.....	56
Figura 15 - Esqueleto da edificação modelada em BIM.....	56
Figura 16 - Especificação nível pisos.....	57
Figura 17 - Importação DWG elétrico Revit.....	59
Figura 18 - Altura pontos elétricos CAD.....	60
Figura 19 - Posicionamento caixa elétrica muro.....	61
Figura 20 - Altura das caixas octogonais elétricas.....	61
Figura 21 - Planta hidráulica CAD pavimento térreo.....	62
Figura 22 - Representação Isométrica CAD.....	63
Figura 23 - Planta de locação sapatas e pilares CAD.....	65
Figura 24 - Planta Vigas e pilares CAD.....	66
Figura 25 - Localização da ferramenta <i>Append</i> nos softwares Navisworks versão 2023.....	73
Figura 26 - Janela de importação dos modelos revit para o navisworks.....	73
Figura 27 - Perspectiva usuário ferramenta “Walk”.....	74
Figura 28 - Vista 3D compatibilização entre projeto arquitetônico e estrutural no software Navisworks.....	75
Figura 29 - Vista 3D compatibilização entre projeto arquitetônico e elétrico no software Navisworks.....	75

Figura 30 - Vista 3D compatibilização entre projeto arquitetônico e hidrossanitário no software Navisworks.....	75
Figura 31 - Vista 3D compatibilização entre projeto arquitetônico e elétrico no software Navisworks.....	76
Figura 32 - Vista 3D compatibilização entre projeto estrutural e elétrico no software Navisworks.....	76
Figura 33- Vista 3D compatibilização entre projeto hidrossanitário e elétrico no software Navisworks.....	77
Figura 34 – Aba de testes <i>clash detective</i> ensaios gerais	78
Figura 35 - Aba de testes <i>clash detective</i> ensaios específicos vigas e forro.....	79
Figura 36 - Metodologia compatibilização.....	80
Figura 37 - Vista perspectiva 3D dos modelos paramétricos BIM: (a) projeto arquitetônico (b) projeto elétrico (c) projeto hidrossanitário (d) projeto estrutural	81
Figura 38 - Conflitos significativos percentual	84
Figura 39 - Pilares desalinhados com parede	87
Figura 40 - Conflito entre forro e viga	88
Figura 41 - Conflito entre pilar e esquadria.....	89
Figura 42 - Pontos elétricos locados no vazio: (a) locação de pontos elétricos em vista 2D (b) locação de pontos elétricos em vista 3D.....	91
Figura 43 - Interferência entre esquadria e ponto elétrico: (a) locação de pontos elétricos em vista 2D (b) locação de pontos elétricos em vista 3D.....	91
Figura 44 - Interferência entre janelas e tubulações: (a) interferência entre janela do lavabo e tubulação pluvial garagem (b) interferência tubulação hidráulica e janela banheiro suíte <i>master</i>	93
Figura 45 - Prumada hidráulica locada em frente a porta da caixa de água	94
Figura 46 - Prumada de água locada fora da parede.....	95
Figura 47 - Tubalões atravessando viga	96
Figura 48 - Pontos elétrico locado dentro de pilar	98
Figura 49 – Conflito de tubulação hidráulica atravessando vão janela banheiro suíte <i>master</i> : (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra	101
Figura 50 – Conflito detectado entre janela e tubulação pluvial garagem: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra	102
Figura 51 –Espessura de paredes menor que espessura de pilar na cozinha: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra	103

Figura 52 –Espessura de paredes menor que espessura de pilar: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra	104
Figura 53 - Viga abaixo do nível do forro: (a,c) detecção no Navisworks (b,d) solução em obra	105
Figura 54 - Viga abaixo do nível do forro suite master: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra	106
Figura 55 - Tomada locada dentro de pilar: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra	108
Figura 56 - Parede de alvenaria ao lado do pilar para a locação de ponto elétrico: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra	109
Figura 57 - Pontos elétricos locados em vazio: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra	110
Figura 58 – Ponto elétrico locado em janela: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra	111
Figura 59 – Furos irregulares em viga para passagem de tubulação: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra	112
Figura 60 - Furos em vigas irregulares observados pelo Walk	112
Figura 61 – furo irregulares em vigas para passagem de tubulações e eletrodutos 1	113
Figura 62 – furo irregulares em vigas para passagem de tubulações e eletrodutos 1	114

LISTA DE QUADROS

Gráfico 1 – Causa das falhas na construção civil.....	20
Gráfico 2 - Conflitos significativos arquitetônico x estrutural.....	86
Gráfico 3 - Conflitos significativos arquitetônico x elétrico.....	90
Gráfico 4 - Conflitos significativos arquitetônico x hidrossanitário.....	92
Gráfico 5 - Conflitos significativos estrutural x hidrossanitário.....	96
Gráfico 6 - Conflitos significativos elétrico x estrutural.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Normas técnicas projetos	26
Tabela 2 - Esquadrias CAD	58
Tabela 3 - Altura pontos hidrossanitários.....	64
Tabela 4 - Altura adotada nos pontos sanitários.....	64
Tabela 5 - Interferências arquitetônico x estrutural.....	68
Tabela 6 - Interferências arquitetônico x hidrossanitário	68
Tabela 7 - Interferências Arquitetônico x elétrico.....	69
Tabela 8 - Interferências estrutural x elétrico.....	70
Tabela 9 - Interferências estrutural x hidrossanitário	70
Tabela 10 - Interferências elétrica x hidrossanitário	71
Tabela 11 - Condições furos em vigas e lajes	72
Tabela 12 - Conflitos detectados x significativos.....	83
Tabela 13 - Resumo de interferências	85
Tabela 14 - Resumo de interferências	99
Tabela 15 - Pé direito real x projetado	107
Tabela 16 - Interferências identificadas x impacto na edificação (Parte 1/2)	115
Tabela 17 - Interferências identificadas x impacto na edificação (Parte 1/2)	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIM – Building information modelling (Modelagem da Informação da Construção)

CAD – Computer-aided design (design auxiliado por computador)

ARQ – Arquitetura

EST - Estrutural

ELE – Elétrico

HID – Hidrossanitário

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo geral	15
1.2	Objetivos específicos	15
1.3	Justificativa	15
1.4	Estrutura do trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Elaboração de projetos	18
2.1.1	Definição e Contextualização.....	18
2.1.2	Impacto do projeto	19
2.1.3	Etapas de um projeto	21
2.2	Referências técnicas	22
2.2.1	Projeto arquitetônico	22
2.2.2	Projeto elétrico	23
2.2.3	Hidrossanitário	24
2.2.4	Projeto estrutural	25
2.3	Metodologia pré-BIM (CAD)	26
2.4	BIM.....	27
2.4.1	Significado, características e conceitos do BIM	27
2.4.2	Modelagem Paramétrica.....	31
2.4.3	Interoperabilidade.....	32
2.4.4	Casos de uso do BIM	34
2.4.5	Implantação do BIM.....	39
2.5	Compatibilização de Projetos.....	42
2.5.1	Conceitos e ponderações iniciais.....	42
2.5.2	Dimensões da compatibilização	45
2.5.3	Identificação de colisões e interferências em BIM	47

2.6 Casas de alto padrão	50
3 METODOLOGIA – ESTUDO DE CASO	52
3.1 Descrição do empreendimento	53
3.2 Modelagem paramétrica a partir de modelos CAD	54
3.2.1 Modelagem 3D projeto arquitetônico	55
3.2.2 Modelagem 3D projeto elétrico.....	58
3.2.3 Modelagem 3D projeto hidrossanitário.....	62
3.2.4 Modelo 3D projeto estrutural	64
3.3 Levantamento de interferências e revisão ABNT NBR 6118.....	66
3.3.1 Arquitetônico x estrutural.....	67
3.3.2 Arquitetônico x Hidrossanitário	68
3.3.3 Arquitetônico x Elétrico	69
3.3.4 Estrutural x Elétrico	69
3.3.5 Estrutural x Hidrossanitário	70
3.3.6 Elétrico x Hidrossanitário.....	71
3.3.7 Levantamento e considerações da ABNT NBR 6118	71
3.4 Compatibilização de projetos e detecção de interferências BIM.....	72
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
4.1 Modelagem paramétrica 3D.....	81
4.2 Compatibilização de projetos e detecção de conflitos	82
4.2.1 Conflitos significativos entre os projetos de arquitetura e estrutura	86
4.2.2 Conflitos significativos entre os projetos de arquitetura e instalações elétricas.....	89
4.2.3 Conflitos significativos entre os projetos de arquitetura e instalações hidrossanitárias.....	92
4.2.4 Conflitos significativos entre os projetos de estrutura e instalações hidrossanitárias.....	95

4.2.5 Conflitos significativos entre os projetos de estrutura e instalações elétricas.....	97
4.2.6 Conflitos significativos os projetos de instalações elétricas e hidrossanitárias ..	98
4.2.7 Resumo dos conflitos significativos.....	99
4.3 Interferências no navisworks x verificação in loco	100
4.3.1 Tubulação atravessando a janela	101
4.3.2 Paredes desalinhadas com pilares e vigas	102
4.3.3 Vigas localizadas abaixo do forro	105
4.3.4 Locações incorretas de tomadas e interruptores.....	108
4.3.5 Tubulações de esgoto, pluvial e hidráulica atravessando vigas	111
4.3.6 Resumo dos conflitos significativos e soluções definidas na obra.....	115
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	117

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo geral

Avaliar o impacto do uso da metodologia BIM em um projeto de residência familiar de alto padrão por meio da modelagem 3D das disciplinas, da compatibilização dos projetos, das análises de interferências na fase de projeto e vistoria das soluções das interferências *in loco* na fase de construção.

1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver a modelagem paramétrica 3D com o uso do software REVIT dos projetos de arquitetura, estrutura, instalações elétricas e instalações hidrossanitárias de uma residência unifamiliar de alto padrão;
- Compatibilizar os projetos por meio da detecção de interferências com uso do software Navisworks;
- Identificar as principais interferências de acordo com as várias disciplinas e níveis de conflitos;
- Realizar o registro de fotos das interferências detectadas na obra e as soluções definidas *in loco*.

1.3 Justificativa

Dentro do setor de construção civil, os problemas não se iniciam obrigatoriamente dentro do canteiro de obra, muitas vezes os conflitos são gerados ainda na elaboração de projetos. O método tradicional de elaboração de projetos realizados em softwares 2D, como o AutoCAD, o que pode gerar altos custos com desperdício de material e retrabalhos gerados pela

falta de precisão na compatibilização dos projetos. Dessa forma, faz-se necessário o estudo de tecnologias que venham a automatizar e facilitar as análises entre os projetos.

Incoerências na coordenação de projetos e os erros resultantes de interferências são comuns nas construções no Brasil, gerando atrasos e custos adicionais nas obras. Portanto, a compatibilização é uma etapa importantíssima na construção, porém a realização da mesma com projetos 2D tradicionais é bastante limitada, difícil e superficial, devido às limitações geradas pelos projetos e erros de interpretação por parte de quem for realizar a compatibilização. Dentro BIM, as representações são modelos mais fieis a realidade, onde os elementos presentes nos projetos são parametrizados. Com isso, esse trabalho apresenta o procedimento para a realização da análise e compatibilização de modelos BIM, trazendo também os impactos acarretados na obra pela ausência da realização da compatibilização.

O conteúdo abordado apresenta grande relevância e utilidade para o setor da construção civil, por simbolizar uma melhoria de como se executar e analisar as construções e uma busca pelo aprimoramento dos projetos e, conseqüentemente, das construções. Apesar da tecnologia BIM estar a mais de 10 anos no meu mercado a sua utilização no Brasil ainda é menos frequente que a tradicional, e a migração ainda enfrenta relutância por parte dos profissionais. Por isso, o trabalho busca apresentar os resultados provenientes da aplicação da tecnologia, expondo limitações e falhas presentes nos modelos 2D.

1.4 Estrutura do trabalho

No capítulo 1 é apresentado de forma breve e sucinta as justificativas e objetivos deste trabalho

No capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica, onde é apresentado uma contextualização sobre projetos e suas referências técnicas. É apresentado também o processo de projetos em CAD 2D e BIM, sendo destacado suas ferramentas e aplicações. Além disso também é introduzido o tema de compatibilização de projetos e apresentado características acerca das casas de alto padrão.

No capítulo 3 a metodologia empregada é será apresentada juntamente com o estudo de caso sendo informados os objetivos específicos, softwares e ferramentas utilizadas e os

resultados esperado em cada etapa do trabalho. Além disso é mostrado: uma visão geral empreendimento, o processo envolvendo a modelagem gráfica 3D BIM no *software* Revit, possíveis interferências e o processo de compatibilização no *software* Navisworks sendo explicado seu passo a passo e considerações tomadas na classificação das interferências.

No capítulo 4 são apresentados os resultados começando com os modelos obtidos a partir da modelagem gráfica. Os resultados da compatibilização são expostos e classificados em função das disciplinas, em posse dos resultados são apresentados os impactos acarretados por parte desses conflitos e, por fim é feita uma avaliação geral dos resultados sendo destacados pontos acerca da metodologia e dos resultados obtidos.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões decorrentes deste estudo, nas quais os resultados obtidos em relação aos objetivos estabelecidos são detalhados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Elaboração de projetos

2.1.1 Definição e Contextualização

Na construção civil, o projeto desempenha um papel fundamental, representando o planejamento prévio necessário antes do início de qualquer empreendimento. (ÁVILA, 2011) O termo “projeto” implica em desígnio ou plano, caracterizado por intenções e esboços, com propósito de planejar e desenvolver algo com um objetivo específico. Um projeto na construção é um conjunto de informações que tem como finalidade encontrar a melhor solução para a edificação garantindo que ela atenda às necessidades do usuário em termos de conforto, estética, espaços e custo(SOUZA; TRANIN, 2014).

Segundo Souza e Tranin (2014), projeto é essencial para avaliar decisões, restrições, custos e prazos, influenciando diretamente no sucesso do empreendimento. Nele deve conter aspectos sociais, técnicos, tecnológicos, econômicos e ambientais, desde a interação com a equipe de produção até adequação com o cliente. Adicionalmente, é necessário considerar também questões legais, o ambiente circundante, as expectativas do contratante, métodos construtivos, materiais e tecnologias a serem utilizadas durante a obra.

A utilização de desenhos como auxílio para a construção data desde época antes de Cristo. Os egípcios utilizavam cálculos matemáticos para realizar projeções gráficas mais precisas, sendo reproduzido pelos gregos e até a modernidade, com grandes estudiosos como Leonardo da Vinci. O uso de softwares para a realização de projetos se deu apenas na década de 60, antes disso os desenhos técnicos eram todos feitos manualmente, com o auxílio de pranchetas e ferramentas como réguas, gabaritos e compassos. Caso ocorre-se alguma falha no projeto, era necessário à sua correção ou retificação, gerando grande despendimento de tempo.

Na construção de edificações sejam elas residências ou comerciais, é de extrema importância a elaboração de projetos, com informações acerca de como deve ser realizada a edificação. Entre os projetos base para a maioria dos empreendimentos podemos citar projeto

arquitetônico, elétrico, hidrossanitário e estrutural; além disso outros projetos são de suma importância para um bom funcionamento e manutenção do mesmo, como projetos de internet e dados, impermeabilização, energia solar, forro, instalações de gás, luminotécnico entre outros.

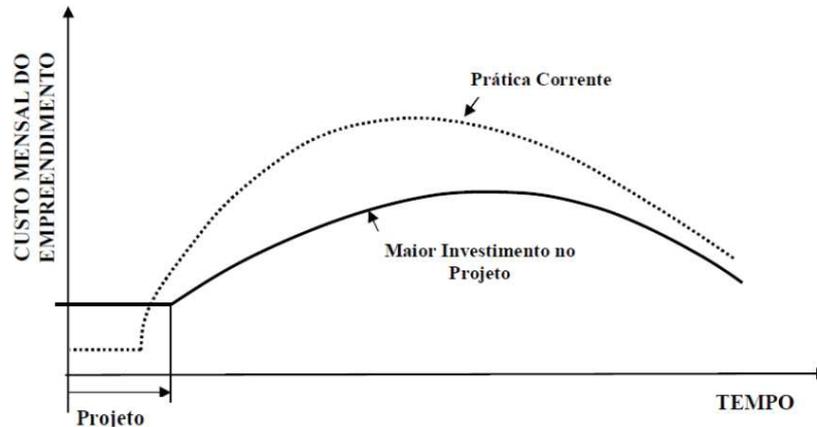
2.1.2 Impacto do projeto

Em todo projeto de construção civil, desde edificações residenciais até grandes empreendimentos comerciais, industriais, urbanos ou rurais, a ideia inicial surge a partir de uma necessidade identificada pelo incorporador ou empreendedor. O propósito principal é executar a obra de forma exemplar, buscando otimizar o uso de recursos como ferramentas, equipamentos, mão de obra e materiais, com objetivo de atender às demandas do mercado e maximizar os retornos financeiros. (ÁVILA, 2011) Nesse contexto a redução de custos e a diminuição de prazos são metas essenciais visando o sucesso do empreendimento.

O projeto vai além da concepção inicial, abrangendo não apenas aspectos de construção, mas também considera a ocupação, manutenção e até mesmo a eventual demolição. Ele desempenha um papel fundamental nos resultados econômicos do empreendimento e na qualidade dos processos envolvidos. (SOUZA; TRANIN, 2014) Para Okamoto (2006) um projeto é um processo com várias fases sequenciais que envolvem diversos agentes com responsabilidades técnicas e econômicas, além do cumprimento de prazos.

Na Figura 1 é apresentado uma relação entre o custo do mensal do empreendimento versus o tempo, é possível observar que mesmo sendo necessário um investimento inicial mais elevado, quando se desenvolve de forma mais ampla o projeto, é obtido um retorno financeiro em longo prazo, validando o desprendimento inicial maior de tempo e dinheiro.

Figura 1 - Custo x tempo para o projeto.

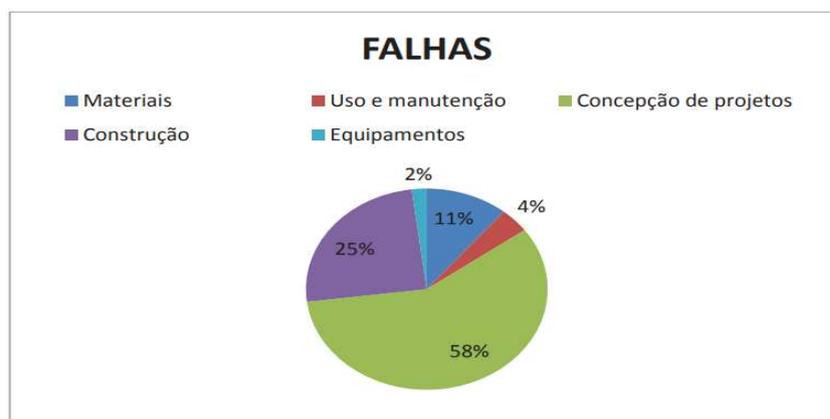


Fonte: Melhado et. al, 2005

O projeto é de extrema relevância, pois concentra todas as informações essenciais. Em qualquer fase de operação ele deve ser consultado, orientando a construção. Em caso de manutenções ou reformas, as decisões tomadas pelos profissionais qualificados serão baseadas nas informações contidas no mesmo. (MELHADO, 2005) A qualidade do projeto está intrinsecamente ligada ao projetista, sua competência, eficiência, especialização e eficácia, além da sua capacidade de compreender e atender às necessidades e expectativas das partes interessadas. (SOUZA; TRANIN, 2014)

Conforme apresentado por Teles e Rocha (2013), a fase conceitual dos projetos tem se destacando como principal ponto de falha na construção, acarretado por erros, falta de detalhamento, e problemas de compatibilização. Isso torna a principal fonte de patologias superando até mesmo a execução, conforme indicado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Causa das falhas na construção civil.



Fonte: Pesquisa da EPUSP em São Paulo Adaptado TELES E ROCHA, 2013

2.1.3 Etapas de um projeto

O processo de projeto abrange todas as etapas da concepção e realização de um empreendimento. Não incluso apenas projetos técnicos especializados, mas também a concepção inicial do empreendimento, a escolha do local, a elaboração do programa de necessidades e a definição dos métodos construtivos, tanto nos projetos quanto no planejamento da construção. (NASCIMENTO, 2015). De acordo com as tabelas de Honorários de Serviços de Arquitetura e Urbanismo do Brasil de 16 de agosto de 2013 (BRASIL, 2013) as fases para o desenvolvimento do projeto ocorrem através das seguintes etapas:

- Etapas preliminares: Engloba a coleta de informações, o estabelecimento do programa de necessidades com base nas expectativas do cliente e a análise de viabilidade para selecionar a melhor solução. Essas etapas fundamentais orientam o projeto;

Nesta etapa, a configuração inicial da solução arquitetônica é proposta, alinhando-se com as principais exigências do programa de necessidades. Após a aprovação preliminar desta fase seguimos para a próxima etapa do processo.

- Anteprojeto: É desenvolvido o projeto básico, o projeto para execução, a coordenação e a compatibilização de projetos, além da gestão de uma equipe multidisciplinar. Nessa fase, também se elaboram os documentos necessários para a aprovação pelas autoridades competentes, obtendo alvarás e licenças essenciais para a construção;

A configuração final do projeto à obra é estabelecida nessa etapa. Após a sua aprovação, são conduzidas análises para identificar e resolver quaisquer conflitos ou problemas de interferência antes de dar início à fase de execução no canteiro de obras.

- Etapas complementares: Englobam uma série de serviços e atividades essenciais para o sucesso do empreendimento. Isso inclui assessoria na

aprovação do projeto perante autoridades reguladoras, fiscalização durante a execução da obra para garantir que as especificações técnicas sejam seguidas rigorosamente e serviços de revisão e manutenção após a conclusão da obra. Essas etapas visam garantir a conformidade do projeto com os regulamentos governamentais, bem como sua atualização e manutenção ao longo do tempo, contribuindo para a longevidade e eficiência do empreendimento.

A última etapa, que complementa todo o processo de projeto, é dedicada a revisão e aprovação. Nessa fase, o principal objetivo é a regularização do projeto perante as autoridades públicas, garantindo que o que foi construído está em conformidade com as especificações e regulamentações. Isso ocorre ao término da construção, fabricação ou montagem da obra, assegurando que todos os requisitos legais e técnicos tenham sido atendidos com sucesso.

2.2 Referências técnicas

O desenvolvimento dos projetos é amplamente fundamentado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Cada disciplina de projetos é respaldada por um conjunto de normas que orientam sua elaboração essas normas fornecem diretrizes para dados de projeto, critérios de desempenho mínimo, metodologia de dimensionamento e outras especificações regulatórias.

2.2.1 Projeto arquitetônico

Projeto arquitetônico tem a função de detalhar como será realizado a divisão dos ambientes, detalhes construtivos, forma das fachadas, orientação do imóvel, diferença de nível entre os cômodos. Além de conter informações uteis como:

- Área construída;

- Taxa de permeabilidade;
- Ventilação;
- Especificação dos materiais empregados;
- Área de permeabilidade;
- Taxa de ocupação;
- Índice de aproveitamento;
- Recuos.

A ABNT NBR 6492:2021 define os requisitos para a documentação técnica de projetos de arquitetura e urbanismo. Ela determina quais documentos são necessários em cada etapa do projeto e o que deve ser incluído em cada um deles.

2.2.2 Projeto elétrico

O projeto elétrico tem como principal objetivo assegurar o fornecimento seguro de energia elétrica ao consumidor. Para isso, é essencial que o projeto contemple medidas de proteção contra diversos riscos, incluindo choque elétrico, efeitos térmicos, sobrecorrentes e outros potenciais perigos. No caso de edificações residências a principal norma brasileira utilizada para a elaboração de projetos elétricos é a ABNT NBR 5410:2004. Informações contidas no projeto elétrico:

- Representação dos sistemas elétricos;
- Localização de tomadas, interruptores e pontos de iluminação;
- Disposição de disjuntores e detalhamento das conexões elétricas no quadro de distribuição;
- Dimensionamento dos condutores;
- Esquema de aterramento;
- Planta baixa com símbolos elétricos;
- Detalhamento e informações acerca dos dispositivos de proteção;
- Cálculo de cargas.

2.2.3 Hidrossanitário

No desenvolvimento do projeto hidrossanitário, são utilizados dados de diversas normas técnicas. O projeto é segmentado em três sistemas: abastecimento de água fria e quente, esgoto sanitário e esgoto pluvial. Inicialmente é preciso estimar o consumo de água com base no número de moradores da edificação e, a partir disso, determinar os volumes necessários de armazenamento de água. Em seguida, o projeto de instalações de água fria e quente é desenvolvido, seguindo rigorosamente as regulamentações estabelecidas pelas normas técnicas. Estas regulamentações abrangem critérios como vazão mínima nos pontos de uso, velocidade adequada da água nas tubulações e faixas de pressão permitidas nas saídas de água.

As instalações esgoto sanitário deve ser projetado de forma a evitar qualquer contato entre a água contaminada e a água potável. Além disso, devem ser configuradas de maneira que a água escoar rapidamente, impedindo a emissão de gases indesejados que possam causar mau cheiro nas áreas de uso. É fundamental que essas instalações permitam inspeções e manutenções fáceis. Um ponto crucial é a completa separação do sistema de esgoto do sistema de coleta de águas pluviais, evitando qualquer interação entre eles. Isso garante o funcionamento eficaz e seguro do sistema de esgoto sanitário. Dentre os dados contidos no projeto hidrossanitário podemos citar:

- *Layout* das tubulações;
- Dimensionamento das tubulações;
- Pontos de consumo;
- Localização de conexões e válvulas;
- Detalhes de esgoto sanitário;
- Detalhes de drenagem pluvial
- Localização de caixas de inspeção e gordura;
- Plantas baixas com símbolos hidrossanitários;
- Especificações de materiais.

2.2.4 Projeto estrutural

O projeto estrutural desempenha um papel crucial, pois abrange o dimensionamento da estrutura que suportará as cargas da construção, assegurando que a edificação permaneça segura durante toda a sua vida útil, sem ameaçar a segurança dos ocupantes e mantendo um desempenho adequado. Este projeto envolve o cálculo e detalhamento de elementos estruturais, incluindo vigas, pilares, lajes e fundações. Entre as informações essenciais contidas nesse projeto, destacam-se:

- Plantas de fundação;
- Plantas dos pavimentos, com detalhamento de vigas, pilares e lajes;
- Cálculos estruturais;
- Detalhamento de vigas e pilares;
- Detalhamento de lajes;
- Detalhamento de escadas;
- Memorial descritivo.

A ABNT NBR 6118:2023, contém as informações sobre como considerar as ações presentes na estrutura, modelos de análise estrutural aplicáveis, dimensionamento e detalhamento de peças de concreto, além de estimativas pertinentes a esforços sofridos como deslocamentos, armaduras mínimas, verificações de fadiga, e informações acerca de segurança estrutural, desempenho de serviço e durabilidade da estrutura.

Para um melhor entendimento, o Tabela 1 apresenta um resumo entre as áreas dos projetos e as normas técnicas.

- Normas técnicas projetos

Tabela 1 - Normas técnicas projetos

ÁREA	NORMAS TÉCNICAS
Arquitetônico	ABNT NBR 6492:2021 - Documentação técnica para projetos arquitetônicos e urbanísticos;
Elétrico	ABNT NBR 5410:2004 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão;
	ABNT NBR 5419:2009 – Proteção contra descargas atmosféricas CEEE – RIC BT– Regulamento de Instalações Consumidoras em Baixa Tensão;
	ABNT NBR 14039:2021 - Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV
Hidrossanitário	ABNT NBR 10844:1989 – Instalações prediais de águas pluviais;
	ABNT NBR 8160:1999 – Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e Execução;
	ABNT NBR 5626:2020 – Instalações prediais de água fria;
Estrutural	ABNT NBR 6120:2019 – Cargas para o Cálculo de Edificações;
	ABNT NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto.

Fonte: Autor, 2023

2.3 Metodologia pré-BIM (CAD)

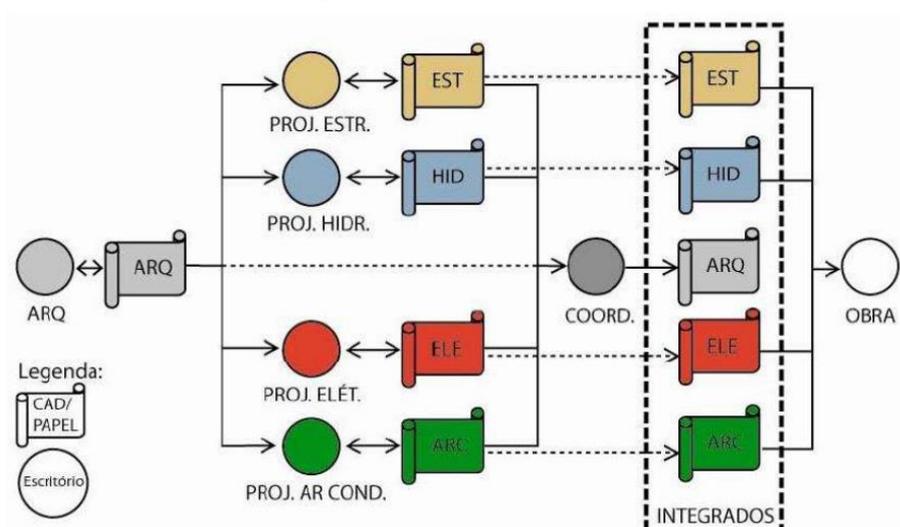
A sigla CAD significa Computer Aided Design, em português Desenho Assistido por Computador, termo criado pelo cientista da computação Douglas Taylor Ross no início da década de 50. Em 1975 foi criado o o primeiro sistema comercial de Comando Numérico Computadorizado (CNC) o “PRONTO” sendo desenvolvido Patrick Hanratty cientista da computação, ao qual revolucionou o cenário da engenharia através da capacidade de edição, versatilidade e precisão em projetos. O primeiro Software CAD do mundo foi o “SKETCHPAD” criado por Ivan Shuterland, trazia princípios básicos de desenho técnico para sua utilização no computador.

A metodologia tradicional de desenho atual trata-se do CAD, que é uma ferramenta ainda muito utilizada por projetistas para a realização dos mais diversos tipos de projeto, basicamente consiste na realização de desenhos em 2D(SILVA, 2021). Esse tipo de

metodologia possui diversas limitações, onde diferentemente do BIM não é possível inserir ou obter informações sobre o que está sendo projetado, a comunicação entre diversos softwares com o uso do CAD também é limitada sendo necessário muitas vezes retrabalhos e ajustes para que se consiga fazer a comunicação entre ambos (EASTMAN et al., 2021).

Para Silva (2021) a tecnologia CAD é uma ferramenta criada para agilizar a realização de desenhos, trazendo também maior precisão na realização dos projetos. A metodologia utilizada em plataformas CAD, a tradicional, normalmente envolve a produção de desenhos relacionados a cada disciplina de forma sequencial e vertical, onde cada disciplina cria seu desenho sem que ocorra um diálogo efetivo com as outras. Resultando em perda de informações e problemas na troca de dados(VIEIRA; FERREIRA, 2021).

Figura 2 - Fluxo de projetos em CAD



Fonte: Goes, 2011

2.4 BIM

2.4.1 Significado, características e conceitos do BIM

BIM é uma sigla do inglês que significa Building Information Modelling, se trata de uma metodologia que vem cada vez mais sendo utilizada na construção civil. Em português,

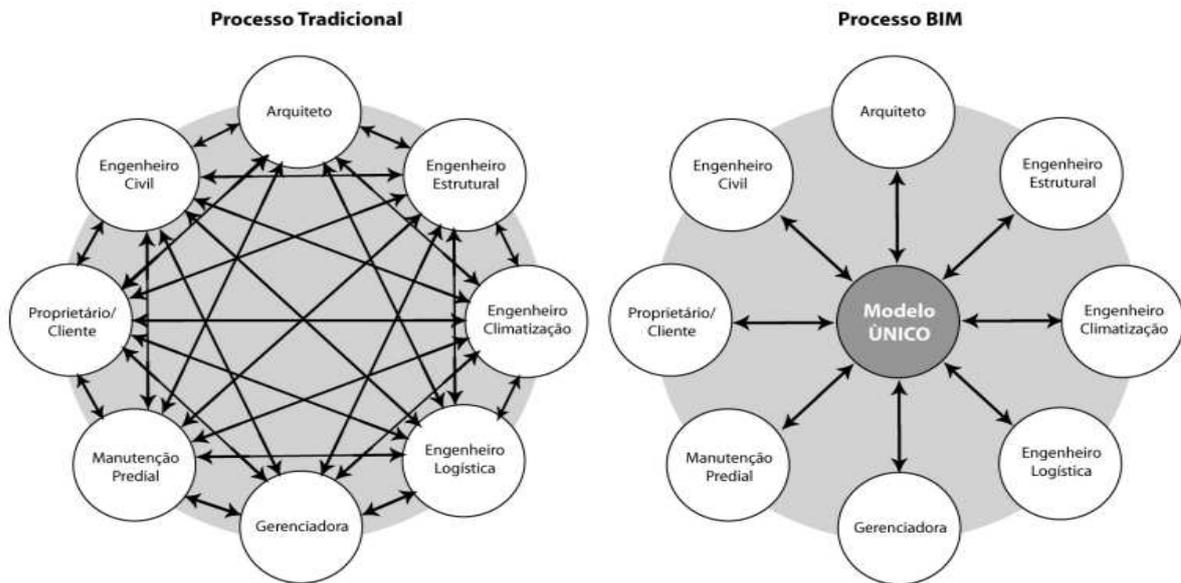
Modelagem da Informação da Construção é uma metodologia que tem como objetivo facilitar a realização de projeto, construções, manutenções e operações, através da representação digital compartilhada de objetos imobiliários, possibilitando tomadas de decisão confiáveis. A ABNT 19650-1(2022, p. 6) define BIM como “uso de uma representação digital compartilhada de um ativo imobiliário, para facilitar os processos de projeto, construção, operação e manutenção para formar uma base confiável para decisões”

Com as diversas limitações presentes na metodologia tradicional (CAD), a indústria da construção busca cada vez mais o auxílio tecnológico com a utilização de recursos computacionais que estão de forma gradativa aumentando sua acessibilidade nas últimas décadas. Dessa forma, surge o BIM aperfeiçoando processo de confecção de projetos, com uma melhor precisão nas informações, maior fluxo de informação e trazendo uma representação do espaço, otimizando ainda mais a aplicação de mecanismos computacionais na coordenação de projetos.(SENA, 2012)

Os softwares utilizados nesse estudo utilizam dessa metodologia, que tem como base a efetuação parametrizada de um modelo 3D, fornecendo a engenheiros, arquitetos e construtores as ferramentas e percepções para projetar, planejar, construir e gerenciar construções desde sua estrutura até acabamentos finais. Eastman et al. (2011) define BIM como: “BIM é uma filosofia de trabalho que integra arquitetos, engenheiros e construtores (AEC) na elaboração de um modelo virtual preciso, que gera uma base de dados que contém tanto informações topológicas como os subsídios necessários para orçamento, cálculo energético e previsão de insumos e ações em todas as fases da construção”.

Ao se analisar a metodologia BIM, uma diferença notável em relação ao modelo tradicional é a unificação das informações em um único arquivo simulando a construção real da edificação. O modelo possui todas as informações pertinentes, permitindo a extração de vistas, cortes e documentos relacionados ao projeto. Além disso, o diferencial do BIM é a colaboração simultânea de todos os participantes, ao contrário do que ocorre na sequência de trabalho CAD, onde os projetos são realizados de forma demorada e burocrática, passando de um projetista ao outro.(GOES, 2011)

Figura 3 - Processo BIM x Processo Tradicional

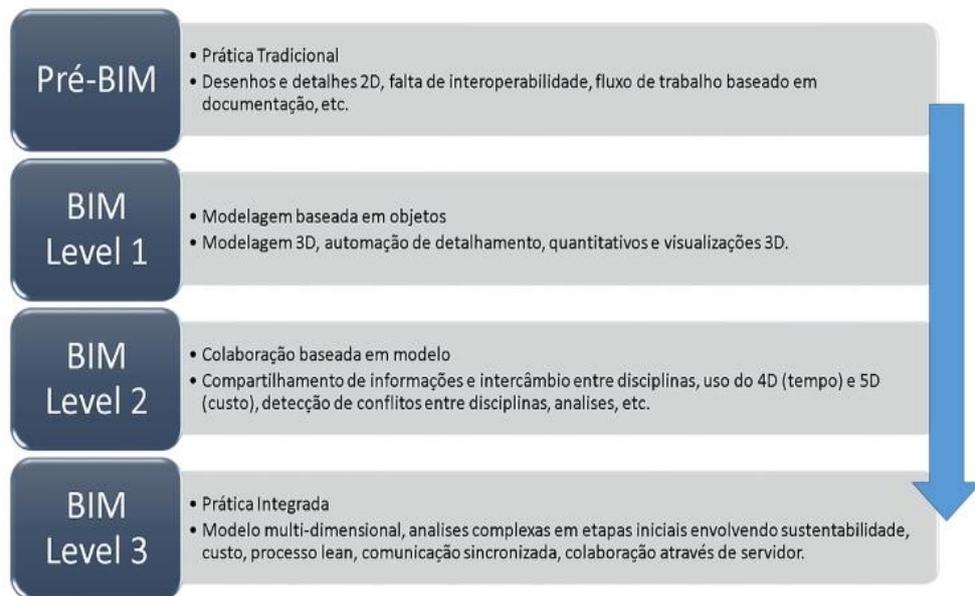


Fonte: Goes, 2011

A concepção de um modelo virtual que replica a realidade é extremamente poderosa, pois proporciona uma ampla gama de oportunidades para designers e construtores. Dentro desse conjunto de possibilidades, algumas se destacam:

- Criação de um planejamento 4D que oferece aos construtores uma visão abrangente de todas as fases da obra.
- A habilidade do modelo em produzir quantidades de forma ágil e precisa, aprimorando a confiabilidade das estimativas de custo.
- Análise e visualização prévia de modificações no projeto e suas consequências.
- Detecção simplificada de conflitos entre diferentes partes do projeto.
- Realização de testes e análises de desempenho acústico, energético e outros.

Figura 4 - Níveis modelagem BIM



Fonte: Feitosa, 2016

A modelagem por objetos paramétricos e a interoperabilidade são fundamentais no modelo BIM, sendo a base desta metodologia revolucionária. A modelagem paramétrica envolve a representação computacional por meio de parâmetros e atributos, proporcionando vantagens significativas para a construção civil, como atualizações automáticas, diferenciando-se do CAD 2D. Isso melhora a eficiência e a precisão do processo de projeto, resultando em benefícios significativos para a indústria da construção.

A interoperabilidade é essencial no contexto do BIM, centrada na comunicação de dados dentro do modelo. Quando várias equipes contribuem para um único modelo alimentado por diferentes softwares, é crucial garantir que nenhuma informação seja perdida. O processo de integração desses dados de softwares diversos deve ser coeso, garantindo a consistência e evitando perda de informações ao longo do caminho. Isso promove uma colaboração eficaz entre as equipes envolvidas no projeto, um dos principais pilares do BIM.

2.4.2 Modelagem Paramétrica

A modelagem paramétrica é baseada em elementos paramétricos, que são criados usando parâmetros e regras. Ao contrário de objetos com geometria fixa, eles são definidos por propriedades e parâmetros específicos. Esses parâmetros podem estabelecer conexões entre vários elementos, permitindo que o sistema atualize automaticamente todo o projeto quando um elemento é alterado (EASTMAN et al., 2021). Essa automação, possibilitada pela modelagem paramétrica, é uma das principais vantagens que oferece inúmeros benefícios aos modelos BIM.

A modelagem paramétrica é um pilar fundamental que sustenta a metodologia BIM e desempenha um papel crucial nos benefícios que o BIM traz para a indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) (MELHADO, 2005). Embora o conceito de modelagem por objetos paramétricos seja mais antigo e já tenha sido aplicado em outras indústrias antes de ser adotado na construção civil, ele se tornou um requisito essencial para o BIM e um dos elementos que define claramente o que é e o que não é tecnologia BIM.

A ideia por trás dos objetos paramétricos é que eles podem ser ajustados com base em parâmetros, que podem ser valores específicos ou simples características. (GOES, 2011) Esses parâmetros não apenas afetam a representação visual do objeto, mas também sua interação com outros objetos no modelo. Por exemplo, considere uma parede de alvenaria modelada como um objeto paramétrico. Em um modelo não paramétrico, essa parede teria dimensões fixas e não se ajustaria se o pé-direito fosse alterado. No entanto, ao modelar a parede como um objeto paramétrico, podemos definir regras que garantem que ela sempre esteja em contato com a laje superior, permitindo que as mudanças no pé-direito sejam refletidas automaticamente na altura da parede, sem intervenção manual. Esse é um dos benefícios da modelagem paramétrica no contexto do BIM.

A automação desempenha um papel crucial no BIM, e a modelagem paramétrica é a principal responsável por isso, pois confere aos modelos a capacidade de se atualizarem automaticamente. (SENA, 2012) Isso torna a coordenação do modelo e as alterações muito mais ágeis, já que dependem dos parâmetros de um objeto. Geralmente, os softwares de BIM incluem grupos de objetos chamados de famílias, que possuem parâmetros semelhantes para interagir

com outros objetos. Exemplos comuns de famílias em software de modelagem BIM são paredes e escadas.

Segundo Sena (2012), os objetos paramétricos não se limitam apenas à geometria e relações entre elementos, mas também devem conter uma ampla gama de propriedades e informações sobre os elementos que compõem o modelo. Essas informações podem ser interpretadas e utilizadas por outros aplicativos, criando assim um valioso banco de dados que abrange todos os elementos do modelo. Quanto mais variadas e precisas forem as informações associadas aos objetos, melhor será a qualidade do modelo, uma vez que sua representação simulada se aproximará do comportamento real da estrutura. Isso inclui informações sobre materiais, propriedades físicas, dimensões, fabricantes e muito mais.

Portanto, um modelo em BIM é composto por numerosos objetos paramétricos que incluem parâmetros e informações detalhadas sobre os elementos que representam. Isso resulta em um extenso banco de dados abrangendo toda a construção. Em um modelo paramétrico, as atualizações ocorrem automaticamente, de modo que a modificação de um elemento afeta diversos outros que se ajustam automaticamente.

2.4.3 Interoperabilidade

O setor da construção civil se depara constantemente com novos desafios, impulsionados pelo aumento das expectativas dos consumidores e pela crescente complexidade das regulamentações legais. Atualmente, espera-se que as construções atendam aos princípios do desenvolvimento sustentável, abrangendo desempenho social, econômico e ambiental. Para enfrentar esses desafios, o uso do BIM é fundamental. De acordo com Adamus (2013), o BIM é uma abordagem que pode capacitar a indústria da construção a atender a essas demandas. Uma de suas vantagens mais notáveis é a capacidade de automatizar a transferência e a reutilização de dados, algo crucial em um setor com prazos rigorosos, onde a entrega de projetos pontuais está diretamente ligada à lucratividade.

Interoperabilidade é a habilidade de trocar informações de maneira eficaz entre diferentes softwares utilizados em um mesmo projeto, sem perder dados. Cada projetista normalmente utiliza um software específico, e os formatos de arquivo podem variar conforme

o fabricante e o modelo dos softwares. A interoperabilidade elimina a necessidade de duplicação de dados já gerados e facilita o fluxo de trabalho entre diferentes aplicativos de forma automática e sem obstáculos durante o processo de projeto. (ANDRADE & RUSCHEL, 2009).

De acordo com Golabchi e Kamat (2013), a questão da interoperabilidade de software na indústria da arquitetura e construção civil está em discussão desde pelo menos 1995, principalmente pela Aliança Internacional para a Interoperabilidade (IAI). O formato Industry Foundation Classes (IFC) desenvolvido pela IAI é considerado o principal meio para alcançar essa interoperabilidade, pois representa um modelo de dados orientado a objetos para edifícios, facilitando o compartilhamento e a troca de informações entre aplicativos de software compatíveis com o IFC. Desde então, o IFC passou por várias melhorias, resultando em diversas versões lançadas. Atualmente, o IFC é o modelo de dados mais amplamente utilizado no setor.

Figura 5 - Evolução arquivos IFC



Fonte: BibluS, 2023

O formato IFC é capaz de modelar uma ampla gama de informações de projeto, desde elementos físicos como paredes, portas, vigas e placas até conceitos mais abstratos como espaço, geometria e material. Ele também engloba aspectos relacionados aos custos do projeto, cronogramas e organizações. Conforme apontado por Golabchi e Kamat (2013), a distinção fundamental entre os 'objetos inteligentes' no IFC e os blocos ou objetos em software CAD 2D é que os IFCs são intrinsecamente tridimensionais e fazem parte de um modelo integrado que compõe o edifício virtual. Em vez de lidar com entidades 2D, como linhas, arcos e texto, o usuário trabalha diretamente com esses objetos, utilizando termos familiares, como parede, laje, telhado e edifício.

A IAI considera o IFC como um formato aberto, neutro e com especificações padronizadas para o BIM. Além disso, o IFC é projetado para abranger o planejamento, projeto, construção e gerenciamento de edificações (ANDRADE & RUSCHEL, 2009). Ele serve como um formato de arquivo padrão, permitindo que os fabricantes de software convertam suas diferentes extensões de arquivo para o formato IFC. Essa conversão possibilita que modelos criados em várias ferramentas de software contenham informações mais abrangentes associadas aos objetos (KYMMELL, 2008).

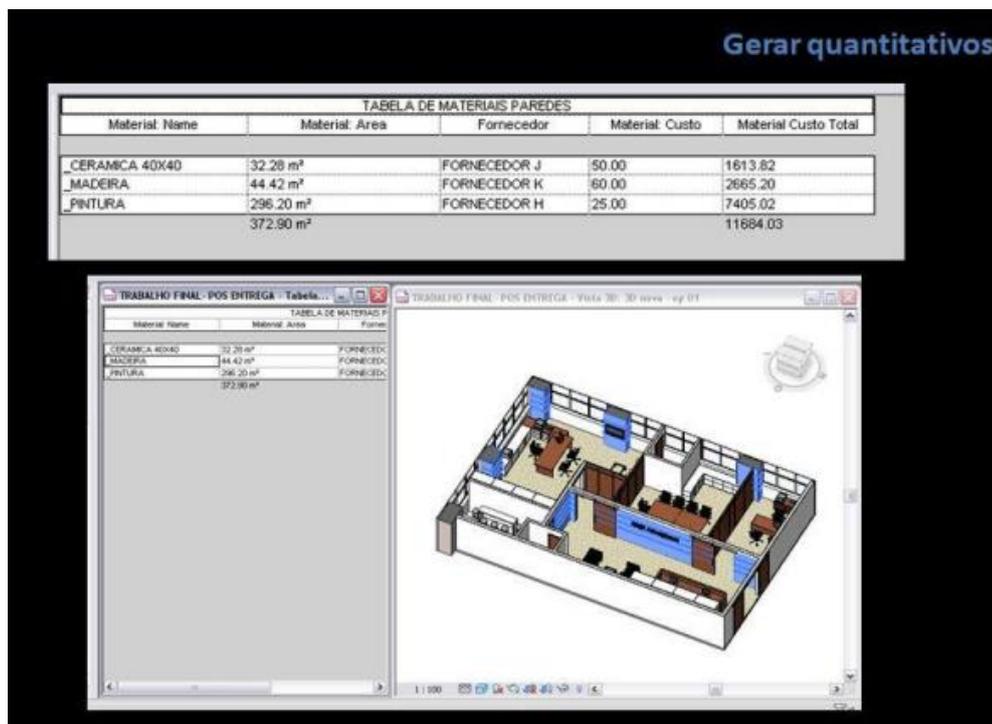
2.4.4 Casos de uso do BIM

2.4.4.1 Orçamentação (5D BIM)

Para Santos et al. (2009), a estimativa de custo deve ser empregada nas fases iniciais dos estudos de um empreendimento, especialmente quando as informações ainda não são suficientes para a elaboração de um orçamento mais detalhado. A estimativa de custo é fundamental para o sucesso financeiro de qualquer projeto de construção. Ela desempenha um papel crucial na tomada de decisões durante a concepção do projeto e deve ser precisa para garantir sua confiabilidade. No entanto, é comum que índices financeiros, como o CUB, sejam utilizados como referência nas estimativas de custo. (ALDER apud WITICOVSKI & SCHEER, 2006)

As estimativas de custos se baseiam principalmente em dois elementos essenciais: o levantamento de quantitativos e a composição de preços. (HERGUNSEL, 2011) Em um ambiente de modelagem com objetos paramétricos, as informações sobre os elementos são mais precisas, o que agiliza a extração de quantitativos com menor intervenção humana. Muitas ferramentas de modelagem BIM permitem a geração de tabelas de quantitativos com preços associados aos objetos do modelo. No entanto, para garantir informações precisas na saída de dados, a entrada de dados deve ser igualmente precisa. Portanto, é de extrema importância que construtores e projetistas colaborem desde as fases iniciais do projeto, especialmente na definição dos materiais e elementos a serem utilizados.

Figura 6 - Tabelas de quantitativos Revit



Fonte: BIM REVIT, 2010

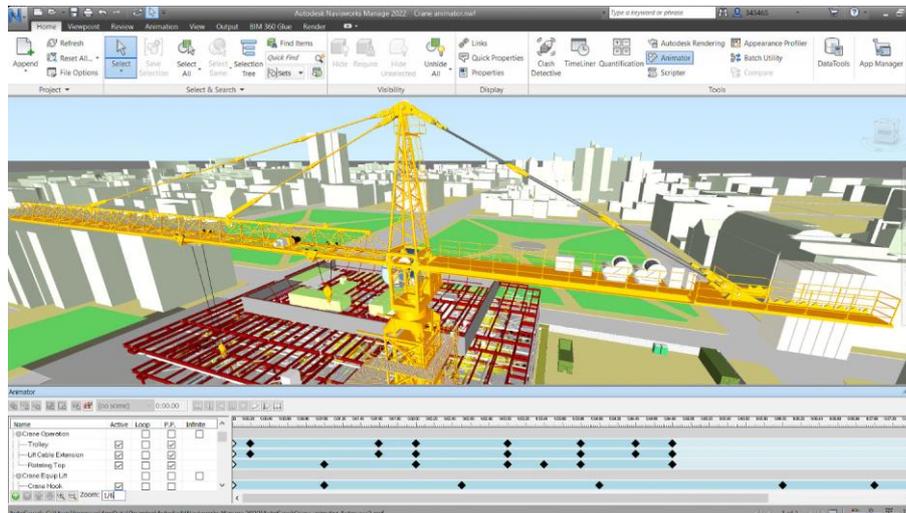
Na elaboração de estimativas e orçamentos, uma quantidade significativa de tempo é geralmente consumida na interpretação das informações e desenhos contidos nos projetos. A visualização incorreta dessas informações pode levar a erros no levantamento de quantitativos e também na composição de custos e índices de produtividade. Esse problema é drasticamente reduzido em modelos BIM, uma vez que a visualização do projeto ocorre de forma muito mais eficiente. Isso, por sua vez, confere maior credibilidade às interpretações e aos levantamentos realizados.

O BIM oferece a capacidade de realizar simulações que são extremamente relevantes quando se trata de estimar custos. Ele permite a exploração de vários cenários com diferentes implicações nos custos da obra. Isso facilita a análise e a alteração de materiais e elementos de forma mais eficiente, proporcionando uma compreensão aprimorada da produtividade e do impacto financeiro resultante.

2.4.4.2 Planejamento e controle construtivo

O planejamento e cronograma desempenham um papel crucial no sucesso de qualquer projeto, fornecendo uma visão clara dos processos de construção e ajudando no controle de custos e prazos. No entanto, nos métodos tradicionais, essas ferramentas muitas vezes não estão vinculadas diretamente aos projetos em 2D ou 3D, o que limita sua capacidade de visualização das atividades e problemas associados. Portanto, uma abordagem mais eficiente e integrada, como o uso do BIM, pode melhorar significativamente a eficácia do planejamento e proporcionar uma compreensão mais abrangente das operações de construção.

Figura 7 - Navisworks planejamento 4D



Fonte: AutoDesk, 2023

O planejamento 4D, uma técnica fundamental dentro da metodologia BIM, permite vincular diretamente o modelo 3D com o cronograma das atividades. (MALLASI, 2006) Isso possibilita visualizar o progresso da construção ao longo do tempo, identificar possíveis gargalos causados por atividades simultâneas e otimizar o gerenciamento dos estoques necessários. Em essência, essa abordagem combina a representação tridimensional com a dimensão temporal, criando uma simulação virtual baseada no tempo que melhora significativamente o planejamento e o controle da construção.

Hergunsel (2011) afirma que, integração do planejamento 4D também abre oportunidades para estudar a logística no canteiro de obras. Ao representar atividades ao longo do tempo, o modelo oferece informações sobre o gerenciamento de estoques de materiais e

equipamentos, incluindo quando, como e onde armazená-los. Além disso, elementos temporários, como guas e bate-estacas, podem ser incorporados ao modelo, permitindo a visualização de possíveis conflitos e a otimização do espaço no canteiro de obras. Essa abordagem facilita o estudo do fluxo de tráfego de caminhões e trabalhadores, bem como a disposição de instalações temporárias, resultando em um planejamento de canteiro de obras mais eficaz e livre de interferências.

Conforme EASTMAN et al. (2011), os benefícios do planejamento 4D incluem:

- Controle do planejamento: Permite que os gerentes comparem diferentes cronogramas e identifiquem facilmente qualquer atraso na construção;
- Comunicação: Facilita a comunicação ao permitir que os gestores de construção visualizem e demonstrem de maneira eficaz o progresso da construção e os processos relacionados. O modelo em 4D representa de forma mais precisa os aspectos temporais e espaciais do planejamento em comparação com o modelo tradicional baseado em gráficos de Gantt;
- Colaboração entre partes envolvidas: Os modelos 4D são frequentemente utilizados para mostrar de forma clara a leigos como um projeto pode afetar questões como tráfego e acesso a locais, como hospitais, e outras preocupações de mobilidade urbana;
- Logística do canteiro de obras: Facilita o planejamento do canteiro de obras, incluindo o estudo de acesso ao local da obra e a disposição de grandes equipamentos e instalações de forma mais eficiente.

Por último, a ferramenta 4D BIM possibilita aos engenheiros e gestores de construção um monitoramento mais eficiente da obra. Atividades críticas, que podem causar gargalos, podem receber atenção especial para garantir que ocorram conforme planejado. Além disso, o planejamento pode ser revisado com maior facilidade, ajustando-se de acordo com o progresso das atividades, tornando-o mais realista e funcional. Outro aspecto monitorado é a segurança no trabalho e as medidas necessárias para garantir a proteção dos trabalhadores. O planejamento 4D deve incluir as estruturas de segurança necessárias, como bandejas de proteção e guarda-corpos, especificando o período em que devem estar presentes na construção.

2.4.4.3 *Simulações e análises*

A análise de desempenho e comportamento de edifícios por meio da computação existe há muitas décadas, precedendo o surgimento do BIM (EASTMAN et al., 2011). Por exemplo, os engenheiros estruturais já empregam recursos computacionais para simular e analisar o comportamento de estruturas há muitos anos. A parametrização de objetos e a introdução do BIM ampliaram ainda mais esse conceito. Devido à natureza de construção virtual que simula o comportamento de um edifício, o modelo em BIM se tornou uma ferramenta extremamente poderosa para testes e análises.

As simulações proporcionam uma base sólida para tomar decisões sobre a seleção de elementos da edificação, oferecendo uma maior confiabilidade em relação aos custos e ao desempenho durante a operação. Por meio das análises, a equipe de projetistas e engenheiros pode avaliar o desempenho de diversos elementos e materiais no modelo, obtendo informações mais precisas sobre os custos, o desempenho e a facilidade de construção desses elementos analisados.(SOUZA; TRANIN, 2014)

A capacidade de análise de um modelo está intimamente relacionada à qualidade e à quantidade de dados de seus elementos. Quanto maiores e mais precisos forem os dados de entrada do modelo, maior será sua capacidade de análise. Existem ferramentas especializadas que utilizam o modelo para analisar seu comportamento em relação a vários aspectos, como análise estrutural, eficiência energética, desempenho acústico e outros. Tudo depende dos dados de entrada do modelo e da interoperabilidade entre as ferramentas de análise e os softwares de modelagem. Conforme observado por EASTMAN et al. (2011), cada tipo de análise requer dados específicos.

2.4.4.4 *Visualização e logística*

A capacidade de visualização em modelos BIM proporciona uma compreensão mais clara de como será o resultado final e como as alterações ao longo do projeto impactam a construção.(DE MELLO E LIMA et al., 2019) Isso facilita a comunicação entre os projetistas e os proprietários, permitindo que estes últimos visualizem se o ambiente construído atende às

suas necessidades e solicitem alterações nos projetos com antecedência. Além disso, a comunicação com os clientes finais também é aprimorada, pois representar visualmente o ambiente é muito mais simples em modelos 3D do que em plantas bidimensionais.

Ávila (2011) aponta que, uma das principais diferenças entre o BIM e os projetos feitos em CAD 2D é a sua capacidade avançada de visualização e coordenação proporcionada pelos modelos 3D. As informações contidas nesses modelos são exibidas de forma muito mais rápida e clara, reduzindo as interpretações humanas errôneas, que são mais comuns em projetos 2D. A combinação de elementos 3D cuidadosamente projetados e a modelagem paramétrica oferece uma capacidade de visualização incomparável do projeto, fornecendo dados precisos sobre a geometria e o posicionamento dos elementos no espaço construído. (SENA, 2012) Além disso, incorpora diversas informações detalhadas em cada objeto, graças à modelagem paramétrica.

Visualizar com precisão o espaço construído desempenha um papel fundamental na prevenção de erros durante o processo de construção. (KYMMELL, 2008) Erros causados pela interpretação inadequada das informações nos projetos são relativamente comuns. Isso acontece principalmente quando as informações estão fragmentadas e dispersas em diversos documentos e projetos, o que exige um esforço considerável para compreensão. A criação de um único modelo praticamente elimina essa fragmentação de documentos e projetos.

A logística é outro aspecto que se beneficia significativamente com o uso do BIM. A troca de informações durante as fases iniciais do projeto acontece de maneira mais eficiente e intensa. As equipes são, de certa forma, incentivadas a colaborar para construir um modelo único e consistente. A colaboração entre projetistas e gestores de construção nas fases iniciais, o que raramente ocorre no modelo tradicional, resulta em melhorias gerais no projeto final. Essa colaboração contribui para encontrar soluções que aprimoram o desempenho da edificação para os futuros usuários, especialmente durante a fase de operação.

2.4.5 Implantação do BIM

A implementação do BIM em uma empresa é um processo que demanda tempo, treinamento, revisão de processos existentes e investimentos em máquinas e licenças. Para DELATORRE (2011), essa implantação deve englobar aspectos relacionados a pessoas,

processos e ferramentas. Os profissionais que participarão dos projetos devem receber treinamento específico para se adaptarem aos novos processos e ferramentas. Os processos já estabelecidos precisam ser revistos e ajustados para incorporar a tecnologia BIM. Além disso, são necessários investimentos na aquisição de software e hardware apropriados, bem como no desenvolvimento de novas ferramentas para aprimorar a gestão do processo.

A transição de um modelo de projeto convencional para o BIM é um desafio significativo. (EASTMAN et al., 2021) Ao longo de décadas, a indústria da construção operou com base em representações bidimensionais e seguiu convenções de trabalho e processos estabelecidos durante a fase de concepção do projeto. Transformar essa abordagem em uma realidade tridimensional e adotar uma nova metodologia de trabalho requer, em primeiro lugar, uma mudança de mentalidade por parte de todos os envolvidos. (GUIMARÃES; CARDOSO, 2019) Um projeto desenvolvido em BIM exige uma integração mais profunda entre os projetistas e entre as diversas equipes de trabalho envolvidas no projeto (planejamento, custos, produção), pois modifica substancialmente os processos, especialmente durante a fase de concepção do projeto.

De acordo com DELATORRE (2011), a adoção da tecnologia BIM depende dos resultados desejados e dos objetivos de cada empresa. No entanto, de maneira geral, o processo de implementação deve abordar os seguintes aspectos:

- Definição dos requisitos da equipe e identificação dos usuários-chave;
- Agendamento de programas de treinamento;
- Avaliação dos processos e ferramentas existentes;
- Definição dos softwares e hardwares necessários;
- Planejamento do projeto em etapas claras;
- Medição dos resultados por meio de indicadores bem definidos;
- Estabelecimento de um processo de melhoria contínua e busca por otimização;
- Definição da estratégia de adoção alinhada com o perfil da empresa;
- Obtendo o apoio da alta diretoria;
- Realizando uma análise de como o BIM pode agregar valor à empresa;
- Estabelecendo metas claras e objetivas;
- Garantindo alinhamento com a visão organizacional;
- Definindo claramente o escopo do projeto;
- Identificando os requisitos específicos do projeto;

A pesquisa realizada por SOUZA et al. (2009) em escritórios de engenharia e arquitetura que adotavam a tecnologia BIM em seus projetos revelou importantes informações sobre as vantagens procuradas pelos usuários e os desafios enfrentados durante a implementação. As principais vantagens destacadas incluíram a facilidade de realizar modificações nos projetos, a redução de erros de desenho e a capacidade de visualização em 3D. Por outro lado, as dificuldades de implementação foram associadas aos altos custos dos softwares, ao tempo necessário para treinar a equipe e à considerável dimensão dos arquivos gerados pelos modelos BIM.

Figura 8 - Estudo sobre benefícios do BIM



Fonte: MCGRAW HILL, 2010

É fundamental designar responsáveis por cada etapa e definir os protocolos de troca de informações entre as diferentes equipes envolvidas em um projeto. O plano de execução não é estático; ele deve ser continuamente atualizado e revisado ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, visando aprimorar constantemente os processos (THE COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM, 2010). A implementação bem-sucedida do BIM requer a elaboração de um plano de execução abrangente. Este plano deve incluir detalhes sobre

o escopo das atividades necessárias para a correta implantação do BIM, estabelecer objetivos claros e mapear todo o processo de implementação.

2.5 Compatibilização de Projetos

2.5.1 *Conceitos e ponderações iniciais*

A compatibilização de projetos é o processo onde é analisado como todas as informações presentes nos diversos projetos da edificação irão se dispor ou funcionar quando aplicadas em conjunto, de forma mais concisa o processo consiste na realização da junção entre diversas disciplinas presentes em um projeto, sobrepondo os múltiplos projetos como arquitetônico, elétrico, hidrossanitário, estrutural, etc (FARINHA, 2012). Esse procedimento traz como objetivo a verificação de possíveis incompatibilidades presentes nos mesmos, possibilitando a realização de ajustes caso necessário para que a construção ocorra de forma mais fluida, com menos atrasos causados por interferência e ajustes inesperados nas instalações da casa.

O procedimento de compatibilização de projetos, de acordo com a visão de Salgado (2007), está vinculado à coordenação dos projetos, com o objetivo de harmonizar todos os elementos que interagem nas dimensões verticais e horizontais de uma edificação. Esse processo desempenha um papel crucial na melhoria da consuntibilidade e na otimização do processo de projeto, uma vez que promove a integração eficiente de diversos agentes e especialidades com a fase de execução, reduzindo custos, retrabalhos e atrasos de obra.

De acordo com Teixeira (2016), os custos associados à compatibilização de projetos representam aproximadamente entre 1% e 1,5% do custo total da obra. No entanto, os benefícios financeiros derivados desse processo podem ser substanciais, chegando a uma economia de despesas que varia entre 5% e 10% desse valor. Essa economia é resultado da redução do tempo de construção, da minimização de desperdícios, da eliminação de retrabalho e do aumento da eficiência geral, além do potencial lucro obtido em um período menor devido à aceleração na entrega do projeto.

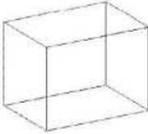
Para Teixeira (2016) cita como inconsistências:

- Escolher o piso cerâmico em áreas molhadas de modo que a disposição das peças cerâmicas seja adequada, permitindo que o ralo seja posicionado na quina das peças.
- A necessidade de realizar furos na estrutura de concreto armado, visto que é comum a passagem da tubulação de esgoto requerer perfurações nessas vigas.
- Considerar a carga exercida por um tirante fixado em uma viga para suportar a cobertura do terraço.

Paiva (2016) descreve o processo de compatibilização tradicional como um método inteiramente manual que requer uma atenção meticulosa, uma capacidade de visualização aguçada e uma considerável experiência por parte dos profissionais envolvidos. Mesmo com essas habilidades, é possível que não se alcance um nível mínimo de eficiência, o que pode resultar em incompatibilidades que só são identificadas quando a construção já está em andamento, criando uma série de problemas.

Portanto, Paiva (2016) destaca que em um cenário como esse, metodologias como o BIM se apresentam como uma alternativa altamente eficiente e segura para eliminar incompatibilidades entre pranchas de um mesmo projeto. Isso ocorre porque o BIM é elaborado desde o início em uma interface 3D, ao contrário dos desenhos técnicos isolados que são reunidos em um segundo momento do projeto, o que envolve muitos riscos. A Figura 9 apresenta uma comparação entre o fluxo de trabalho presente no CAD e BIM.

Figura 9 - Fluxo de trabalho CAD e BIM (Parte 1/2)

Termos correlatos	Maquete Eletrônica	Modelo da Edificação
Plataforma	CAD convencional	BIM
Característica Geral 01	Não orientada a objetos e sem objetos paramétricos	Orientada a objetos com os objetos paramétricos
Característica Geral 02	Desenhos técnicos desvinculados à maquete eletrônica	Desenhos técnicos vinculados ao modelo da edificação
Exemplo de Software	AutoCAD 2000, 2004,	Revit e ArchiCAD
Característica do software	O <i>software</i> não utiliza do BIM	O <i>software</i> utiliza do BIM
Os objetos são	Linhas e Volumes	Paredes, Portas e Janelas
Visualização em 3D de um cubo como exemplo	<p>A mesma nas duas abordagens</p> 	

Fonte: Falcone e Hashitani, 2013

Figura 9 - Fluxo de trabalho CAD e BIM (Parte 2/2)

Termos correlatos	Maquete Eletrônica	Modelo da Edificação
O software entende uma parede como sendo	Um sólido ou volume em 3D	A representação de uma parede como na edificação pronta
Informações que vão com o arquivo	Informações sobre: <ul style="list-style-type: none"> • Posição no Espaço • Componentes Linhas ou Volumes <ul style="list-style-type: none"> • Aparência • Textura 	Informações sobre: <ul style="list-style-type: none"> • Geometria 3D • Posição no Espaço • Parâmetros de controle • Custos, Cronogramas • Especificações • Fabricantes • Ordens de compra • Listas de Pessoal • Manuais de Operação • Registros de Manutenção

Fonte: Falcone e Hashitani, 2013

De acordo com Melo (2014), a prática de compatibilização pode ser aplicada em todas as etapas do ciclo de vida de um projeto, pois possui a característica de permitir uma integração mais eficaz e racional entre diversos fatores. Portanto, ela é considerada uma atividade dinâmica e orientada que abrange todas as etapas, desde os estágios iniciais até as fases finais de um

empreendimento, garantindo assim maior confiabilidade e previsibilidade. Além de reduzir a insatisfação por parte dos clientes ou construtores.

Em resumo, a proposta de compatibilização descrita por Melo (2014) consiste em reunir e incorporar as atividades de equipes multidisciplinares que participam de um mesmo projeto. Isso permite a entrega de um produto de alta qualidade, pois contribui para a verificação de interferências e inconsistências que podem surgir quando projetos diferentes são sobrepostos.

2.5.2 Dimensões da compatibilização

Para Solano (2005), é importante esclarecer que a compatibilização não envolve a revisão dos projetos ou a ação de co-projetar, já que o projeto é de responsabilidade do projetista para o qual foi concebido. O trabalho de compatibilização, conforme explicado pelo autor, tem a função de seguir o plano estratégico, aderindo à viabilidade técnico-econômica do empreendimento e garantindo a construtibilidade do projeto para a obra. Isso facilita o trabalho dos projetistas, e o autor detalha essas dimensões da seguinte maneira:

- Dimensão da pesquisa de mercado:

O papel do compatibilizador é centrar suas ações no cliente final, ou seja, o consumidor final da obra. Ele deve garantir que a representação gráfica dos projetos atenda aos requisitos estéticos e que o memorial descritivo cumpra os requisitos estabelecidos. A responsabilidade do compatibilizador é verificar minuciosamente todos os detalhes, desde o início da obra até a conclusão, assegurando que tudo transcorra conforme planejado desde o início, com o objetivo primordial de garantir a satisfação do cliente, que é o consumidor final.

- Dimensão do plano estratégico do projeto:

O compatibilizador tem a responsabilidade de aderir ao cronograma de desenvolvimento e aos custos estabelecidos para os projetos e a execução da obra. Seu objetivo principal é assegurar a satisfação do cliente até o consumidor final e garantir que eventuais interferências sejam identificadas e resolvidas dentro dos prazos estipulados, de modo a assegurar que a construção da habitação ocorra sem contratemplos.

- Dimensão da viabilidade técnico-econômica:

O compatibilizador deve manter-se alinhado com o estudo de viabilidade do empreendimento. Isso significa que o valor orçado no início do projeto, conforme estabelecido no cronograma, deve ser mantido ao longo do processo. Uma das vantagens da compatibilização é assegurar que o custo previsto no início seja aderido e que o empreendimento permaneça dentro desses parâmetros financeiros.

Na compatibilização, é essencial utilizar indicadores geométricos, de consumo, de custo e de produtividade que estejam alinhados com o estudo de viabilidade econômico-financeira do empreendimento. Uma ferramenta útil para o compatibilizador é a análise das Curvas de ABC, que podem ser geradas a partir desse estudo. Elas auxiliam na priorização de tarefas e no controle de recursos, garantindo que o projeto permaneça dentro dos parâmetros financeiros estabelecidos.

- Dimensão da construtibilidade:

Solano (2015) ressalta que, na dimensão da construtibilidade, empresas de pequeno porte muitas vezes optam por não utilizar a compatibilização. Em vez disso, preferem elaborar os projetos de forma separada na expectativa de reduzir custos. No entanto, essa abordagem pode resultar em interferências e problemas durante a construção, uma vez que os projetos não foram coordenados e compatibilizados previamente. Essa é uma observação importante, destacando como a compatibilização de projetos desempenha um papel crucial na prevenção de conflitos e problemas na obra.

Normalmente, a prática da dimensão de construtibilidade é realizada por profissionais especializados em compatibilização. Entretanto, é comum que empresas de menor porte optem por não efetuar a conciliação de seus projetos e assumam essa responsabilidade somente durante a execução da obra. Isso acontece frequentemente sem seguir um método específico, limitando-se à sobreposição de desenhos na tentativa de identificar discrepâncias. Essa abordagem pode comprometer o ritmo da construção e levar a desfechos desfavoráveis.

- Dimensão da facilitação de fluxo da produção de projetista

Conforme o autor, a maioria dos compatibilizadores não costuma empregar essa dimensão. Ela abrange a garantia de que os prazos estipulados nos cronogramas dos projetos e os prazos para a compatibilização sejam cumpridos integralmente. Além disso, envolve a ampla divulgação do processo de compatibilização por meio de compartilhamento de informações. Também é fundamental assegurar que os projetos só sejam liberados para a produção quando

não houver pendências, o que deve ocorrer somente após a conclusão da compatibilização e do processo de projeto como um todo.

2.5.3 Identificação de colisões e interferências em BIM

Conforme Akponeware e Adamu (2017), os métodos tradicionais de desenvolvimento de projetos no setor da construção têm enfrentado desafios, como a falta de integração entre as equipes multidisciplinares e problemas na gestão e troca de dados ao longo do ciclo de vida do projeto. No entanto, avanços recentes no campo da Comunicação e Tecnologia da Informação (TIC) têm possibilitado a colaboração por meio da adoção do conceito de Modelagem da Informação da Construção (BIM).

As simplificações adotadas e informações omitidas nos projetos 2D representam desafios na análise de interferências entre os projetos (FERREIRA, 2007). Essas simplificações e omissões são comuns nos projetos em 2D, sendo utilizadas para tornar os desenhos mais compreensíveis em plantas, cortes e elevações. Quando essas simplificações e omissões ocorrem, a equipe encarregada da compatibilização precisa mentalmente reconstruir o espaço que foi omitido ou simplificado, tornando o processo de compatibilização intuitivo e, portanto, suscetível a erros humanos.

A detecção de conflitos com base no BIM, que é a primeira etapa do processo de coordenação de projetos usando essa metodologia, oferece uma contribuição significativa ao superar as fraquezas do uso tradicional de desenhos 2D para coordenação de projetos. Isso inclui limitações cognitivas humanas na visualização de conflitos e processos demorados e iterativos (NGUYEN, LUU, NGO, 2020). Além disso, essa abordagem permite que o processo de detecção de conflitos comece mais cedo no ciclo de vida do projeto e promove uma colaboração mais eficaz entre as partes interessadas de diferentes disciplinas.

De acordo com as descobertas de Nguyen, Luu e Ngo (2020), outra vantagem notável dessa abordagem está relacionada à melhoria substancial na qualidade do trabalho. O uso do BIM possibilita a identificação de aproximadamente 75% a mais de conflitos e erros de projeto em comparação com o emprego de desenhos 2D-CAD. Juntamente com a visualização do processo de construção em 4D, a detecção de conflitos com base no BIM emerge como uma

das principais aplicações reconhecidas desta metodologia na indústria da construção em âmbito global.

Entretanto, é importante notar que os conflitos em projetos de construção, categorizados como choques duros, choques suaves, choques temporais (ou 4D/fluxo de trabalho) e choques animados, podem ser originados por diversas causas. Estas incluem inconsistências nos projetos, não conformidade com normas, complexidade inerente, dilemas entre a precisão do modelo e o cumprimento de prazos, bem como erros humanos de projeto. Ademais, algumas destas causas estão vinculadas à cultura corporativa, o que torna essencial que o processo de detecção de conflitos baseado no BIM seja contextualizado de acordo com as particularidades locais e as características da indústria em questão, conforme observado por Nguyen, Luu e Ngo (2020).

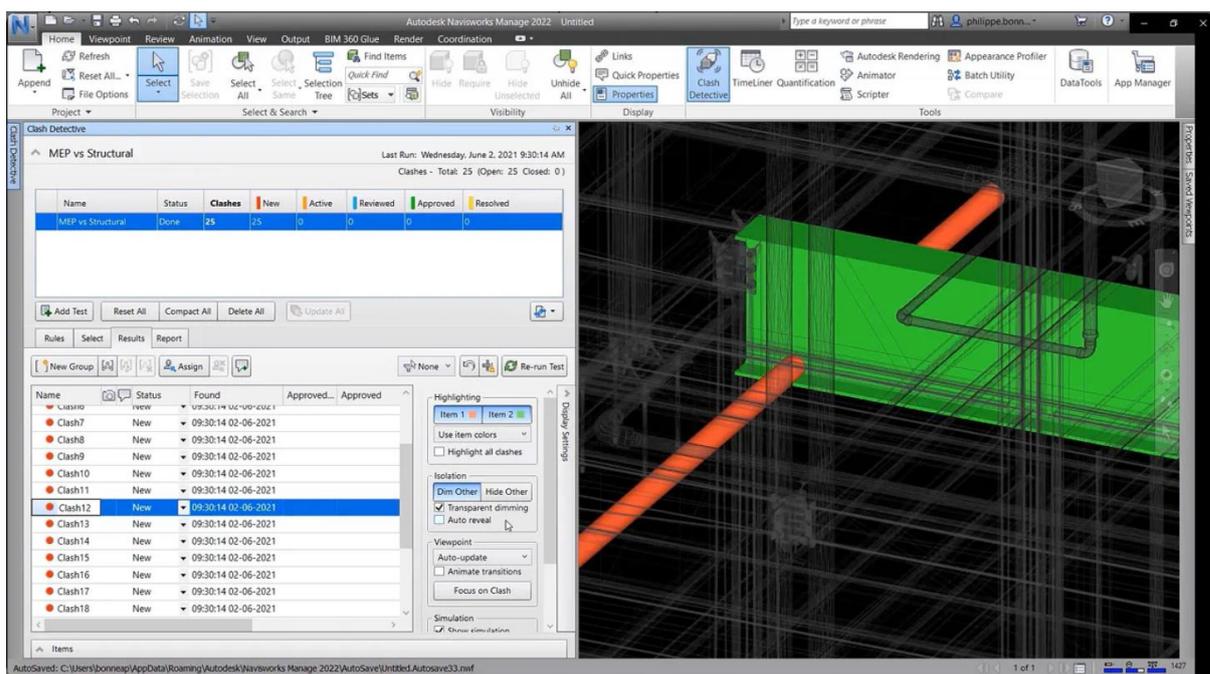
Além da melhoria na capacidade de visualização, é relevante destacar que os próprios softwares de modelagem geralmente incorporam ferramentas que facilitam a detecção de conflitos (SENA, 2012). Além disso, existem diversas aplicações de análise e gerenciamento de modelos que executam testes de conflitos mais abrangentes. Essas aplicações possibilitam aos usuários confrontar informações específicas de elementos de subsistemas, como por exemplo, a realização de um teste para verificar se as vigas estruturais de concreto interferem com as tubulações de água fria. Segundo EASTMAN et al. (2011), a eficácia dos testes de conflitos depende diretamente do nível de detalhamento do modelo. Quanto mais preciso e detalhado for o modelo, mais eficaz será a identificação de conflitos potenciais.

Em seu estudo Sena (2012) classifica os conflitos detectados em BIM em três tipos:

- **Hard Clash:** Este tipo de conflito ocorre quando dois objetos ocupam o mesmo espaço físico, resultando em um choque direto entre eles. Geralmente, é o tipo mais comum e prejudicial de interferência, uma vez que pode levar a problemas sérios durante a construção.
- **Soft Clash ou Clearance Clash:** São conflitos que ocorrem sem que haja um choque físico entre os objetos envolvidos. Eles ocorrem em elementos que requerem uma certa tolerância espacial livre dentro de um raio específico. Um exemplo disso é a instalação de um forro de gesso, que precisa de uma distância mínima para a passagem de tubulações entre ele e a laje. Nesse caso, não há choque físico, mas a falta de espaço adequado pode causar problemas.

- 4D Clash ou Workflow Clash: Esses conflitos são detectados durante o sequenciamento das atividades ao longo do tempo de construção. Eles não são visíveis no projeto final, mas surgem durante etapas específicas da construção. Esse tipo de conflito é particularmente útil para verificar problemas dentro do canteiro de obras, envolvendo elementos temporários como guias e máquinas que atuam em momentos específicos.

Figura 10 - Conflitos no Autodesk Navisworks.



Fonte: Autodesk, 2023

Em sua monografia, Sena (2012) destaca a automação no processo de identificação de interferência como uma das principais vantagens da compatibilização em modelos BIM. Existem softwares de análise que possibilitam a realização de testes em categorias específicas de objetos, bem como em todo o projeto de uma só vez. No entanto, essa automação pode identificar interferências que não são necessariamente críticas. Portanto, é crucial filtrar os resultados dos testes para se concentrar nas interferências que têm o potencial de causar atrasos e desperdícios na fase de construção.

2.6 Casas de alto padrão

Casas de alto padrão são edificações com acabamento diferenciado, a estética é um grande diferencial nesse tipo de edificação, porém outros fatores como segurança, funcionabilidade e qualidade são pontos marcantes em casas neste estilo, além disso podemos citar personalização, conforto, qualidade dos materiais, qualidade do acabamento, design, tecnologia, uso de marcas consolidadas como características cruciais. (SATO, 2011) O grau de dificuldade na realização de tais empreendimentos é bem maior do que quando se compara a residências tradicionais de médio ou baixo padrão devido a seu alto grau de personalização, por conta disso os custos envolvidos na construção são bem maiores, conseqüentemente erros construtivos levam a prejuízos financeiros mais elevados.

Para Ricco (2019), são destacadas as seguintes características a cerca desses tipos de imóveis:

- **Planta inteligente:** Imóveis de alto padrão oferecem plantas inteligentes que auxiliam os compradores a explorar detalhes e diferenciais. Essas plantas proporcionam uma visão interna do local, permitindo uma análise minuciosa das opções disponíveis. Além disso, elas facilitam a vida dos moradores ao identificar necessidades de manutenção, locais a serem limpos e monitorar o consumo de energia e água, tornando essas propriedades ainda mais atrativas para quem busca conforto e conveniência.
- **Localização:** A localização é um fator de extrema importância quando se trata de imóveis de luxo. É imperativo que o entorno mantenha os mesmos padrões elevados de qualidade e exclusividade que caracterizam o próprio imóvel. Em outras palavras, a valorização de um imóvel de luxo não se limita apenas ao seu interior, mas se estende ao bairro ou região onde está situado.
- **Acabamento de alta qualidade:** Em residências de alto padrão, a seleção meticulosa de materiais é uma prioridade. Pinturas, pisos e revestimentos são escolhidos com foco na durabilidade e sofisticação, garantindo que esses acabamentos permaneçam impecáveis ao longo do tempo, contribuindo para a beleza e a qualidade duradoura do ambiente.
- **Infraestrutura sofisticada:** Um imóvel de alto padrão vai além do básico e oferece uma infraestrutura sofisticada, repleta de recursos que visam tornar o dia a dia

dos moradores e visitantes extremamente confortável e conveniente. Esses imóveis são projetados para atender às necessidades e expectativas dos proprietários mais exigentes, proporcionando não apenas um lugar para morar, mas um estilo de vida exclusivo.

- **Tecnologia e Automação Residencial:** A automação residencial é uma característica distintiva nesses imóveis. Ela permite o controle conveniente de diversos aspectos da casa, como iluminação, janelas, portas, sistemas de som e conectividade à internet, entre muitos outros, por meio de dispositivos inteligentes. Essa tecnologia oferece não apenas conveniência, mas também eficiência energética e segurança avançada.
- **Lazer:** Imóveis de alto padrão são conhecidos por oferecerem uma área de lazer excepcional. Comumente, incluem piscinas, decks, instalações fitness e, quando o espaço permite, até quadras esportivas, como tênis ou futebol. Esses elementos proporcionam uma experiência residencial única, combinando luxo e conforto, tornando essas propriedades altamente desejadas por quem busca uma vida com qualidade e bem-estar.
- **Segurança:** Proprietários de imóveis de alto padrão priorizam a segurança. Essas residências geralmente contam com sistemas de segurança avançados, incluindo infraestrutura para câmeras e alarmes. Em condomínios fechados, a vigilância é reforçada, com monitoramento 24 horas. Essas medidas garantem a proteção e a tranquilidade dos moradores, tornando essas propriedades ainda mais desejáveis.

3 METODOLOGIA – ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado tendo como objetivo de identificar e avaliar conflitos de projeto através do uso de tecnologia BIM em uma residência unifamiliar de alto padrão que está em atualmente em construção no município de Eusébio Ceará. Portanto apresentando conflitos que poderiam ter sido resolvidos ainda em etapa de projeto. A descrição completa do empreendimento estudado e da modelagem em BIM é detalhada nos itens 3.1 e 3.2, respectivamente, fornecendo uma visão geral do contexto do estudo,

Os projetos foram cedidos pela empresa “S” em CAD para o estudo e a residência encontra-se atualmente sendo executada pela construtora “J”. A análise de interferências foi executada por meio da sobreposição e interação entre os projetos arquitetônico, elétrico, estrutural e hidrossanitário. A modelagem em BIM foi realizada pelo autor, ao qual possui treinamento em modelagem no software Autodesk Revit, além de possuir as famílias dos componentes presente nos diversos projetos. A compatibilização dos diversos projetos também foi realizada pelo autor no software Navisworks Manage 2023.

Foi disponibilizado também pela construtora “J” um acervo de fotos da obra em diferentes etapas construtivas, além de liberação para a realização de visitas com intuito de checar *in loco* os impactos dos conflitos detectados nesse estudo de caso, possibilitando a realização do mapeamento dos conflitos e análise do impacto da falta de compatibilização em projetos residenciais.

Durante a análise dos conflitos apresentados nas interações entre os projetos é necessário a filtragem dos resultados obtidos. Portanto, um conhecimento prévio dos principais conflitos presentes entre os elementos dos projetos bem como sua relevância e impacto na execução da residência é essencial para a realização do estudo.

Para dar prosseguimento ao estudo de caso foi realizado um levantamento sobre os principais conflitos e falhas encontradas em projetos de edificações apresentando suas implicações na execução.

Posteriormente a esse levantamento, foi possível dar continuidade as interações e quantificar as interferências significativas através da ferramenta “Clash detection” e “Walk” do Navisworks. Com isso, foi desenvolvido um comparativo entre os conflitos identificados pelo Navisworks e o seu impacto na construção, os impactos foram analisados e comentados

abordando os principais pontos de atenção e as implicações identificadas no processo. A Figura 11 apresenta um modelo esquemático da metodologia empregada.

Figura 11 - Metodologia do estudo de caso.



Fonte: Autor, 2023

3.1 Descrição do empreendimento

O empreendimento em questão é uma residência de dois pavimentos, com uma área total construída de 294,5 m², situada em um terreno de 509,49 m². O projeto engloba três quartos, todos suítes, incluindo três closets e seis banheiros. Além disso, a residência conta com uma sala de estar, sala de jantar, área gourmet, cozinha, escritório, lavabo, dependência de funcionário e uma garagem com capacidade para até três carros. Destaca-se também a presença de uma piscina com 20,10 m² e uma profundidade de 1,5 metros, além de um lounge para momentos de relaxamento.

A Figura 12 apresenta uma foto realizada no dia 31 de agosto 2023 durante a vistoria realizada no imóvel, onde é possível ter uma vista frontal da fachada da casa. Na imagem “y” temos uma vista isométrica da edificação após a modelagem em BIM, permitindo assim uma análise tridimensional da edificação.

Figura 12 - Foto da fachada realizada na vistoria



Fonte: Autor, 2023

Para a realização da modelagem tridimensional dos projetos arquitetônico e complementares, foi utilizado o software Autodesk Revit. Esse software possibilita uma visualização mais realista e detalhada da edificação, facilitando a identificação de possíveis interferências e conflitos entre os diferentes projetos. Já o software Navisworks foi empregado para a compatibilização dos projetos, permitindo uma análise integrada das informações e a detecção de incompatibilidades entre os elementos modelados.

3.2 Modelagem paramétrica a partir de modelos CAD

No âmbito do trabalho, o projeto selecionado como base para este estudo foi desenvolvido utilizando os softwares AutoCAD e SketchUp, sendo o projeto arquitetônico concebido por uma arquiteta. Já os projetos complementares, como hidrossanitário, estrutural e luminotécnico, foram elaborados em softwares específicos, como Hydros, CypeCAD e Lumine. Vale ressaltar que esses softwares não utilizam a tecnologia BIM (Modelagem da Informação da Construção), sendo voltados principalmente para o dimensionamento e ajuste às normas técnicas.

Ao trabalhar com esses diferentes programas, é comum ignorar a interdependência entre os projetos, o que pode resultar em conflitos e incompatibilidades. Portanto, para realizar a compatibilização dos projetos, foi necessário modelar todos eles em um único software, o Autodesk Revit. O Revit é um software baseado na tecnologia BIM, que permite a integração

e coordenação dos diferentes projetos em um ambiente tridimensional, proporcionando uma visão abrangente das interações entre os elementos projetuais.

3.2.1 Modelagem 3D projeto arquitetônico

No desenvolvimento da modelagem tridimensional, os projetos foram inicialmente importados em formato DWG para o software Revit, onde a escala foi ajustada para garantir a precisão dos elementos. Foram realizadas verificações minuciosas nos cortes e fachadas para assegurar a fidelidade do modelo em relação ao projeto original.

No ambiente do Revit, cada elemento adicionado é criado como uma família, representando um grupo comum de propriedades e características gráficas específicas. Neste estudo de caso, foram utilizadas famílias de paredes, pisos, portas e janelas, essenciais para a representação da edificação.

Para a construção das paredes, foram empregados tijolos cerâmicos de 12 e 18 cm de espessura para separar e vedar os ambientes, conforme apresentado na Figura 14. Durante a modelagem, ajustes foram necessários para adequar as alturas das paredes, uma vez que o projeto original em AutoCAD não continha informações parametrizadas, como ocorre no Revit. A partir desses ajustes, foi possível obter uma representação mais precisa das alturas das paredes, aprimorando a exatidão do modelo tridimensional da edificação.

Figura 13 - Layout projeto CAD

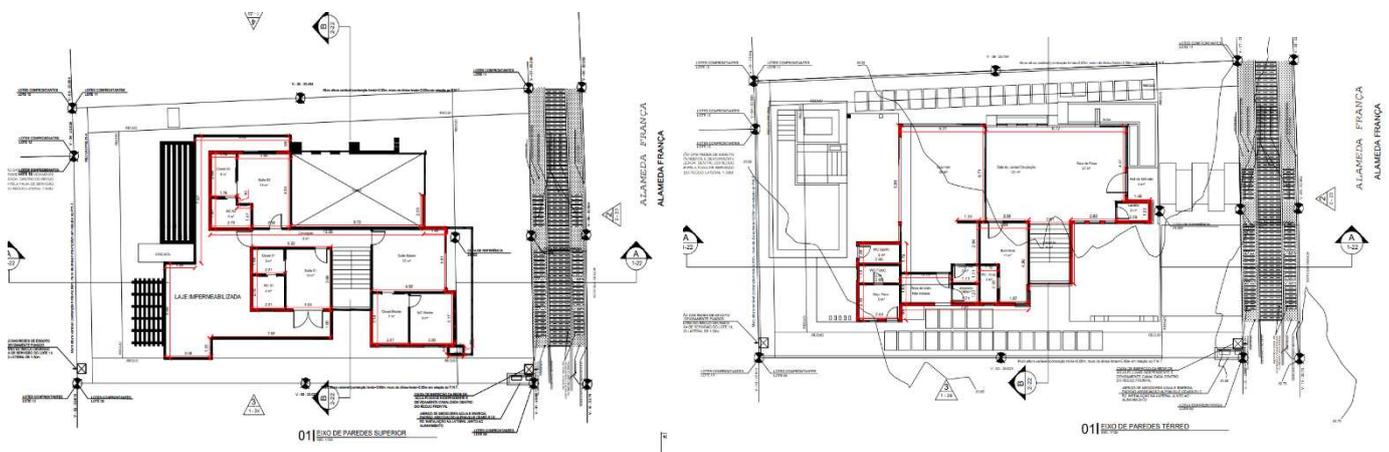
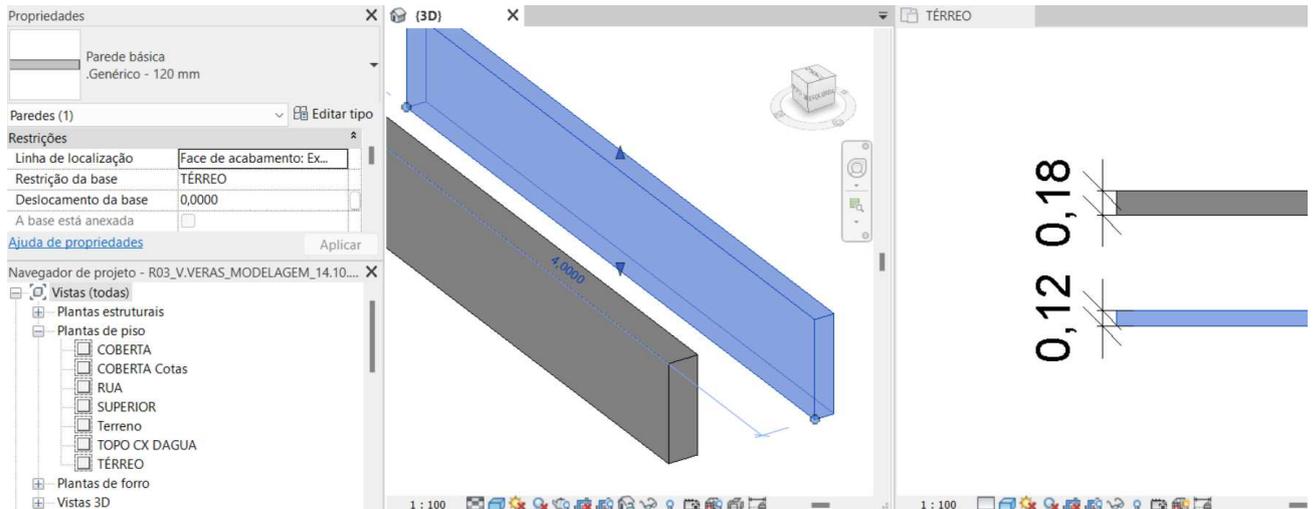


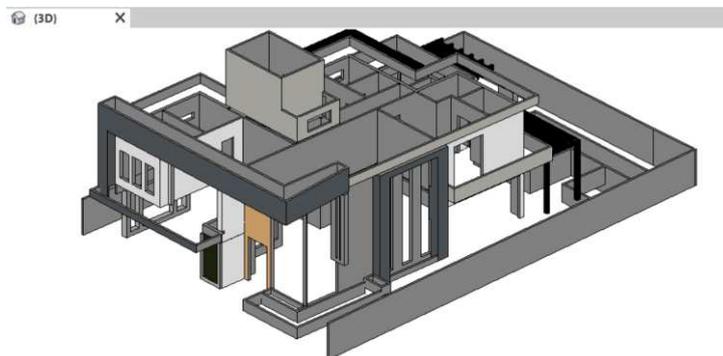
Figura 14 - Largura das paredes Autodesk Revit



Fonte: Autor, 2023

Após a conclusão da inserção das paredes, obteve-se um esqueleto preliminar da arquitetura da edificação como mostrado na Figura 15. Alguns detalhes construtivos foram representados utilizando famílias de paredes, mesmo que possam ser construídos com outros materiais, como drywall ou estrutura metálica.

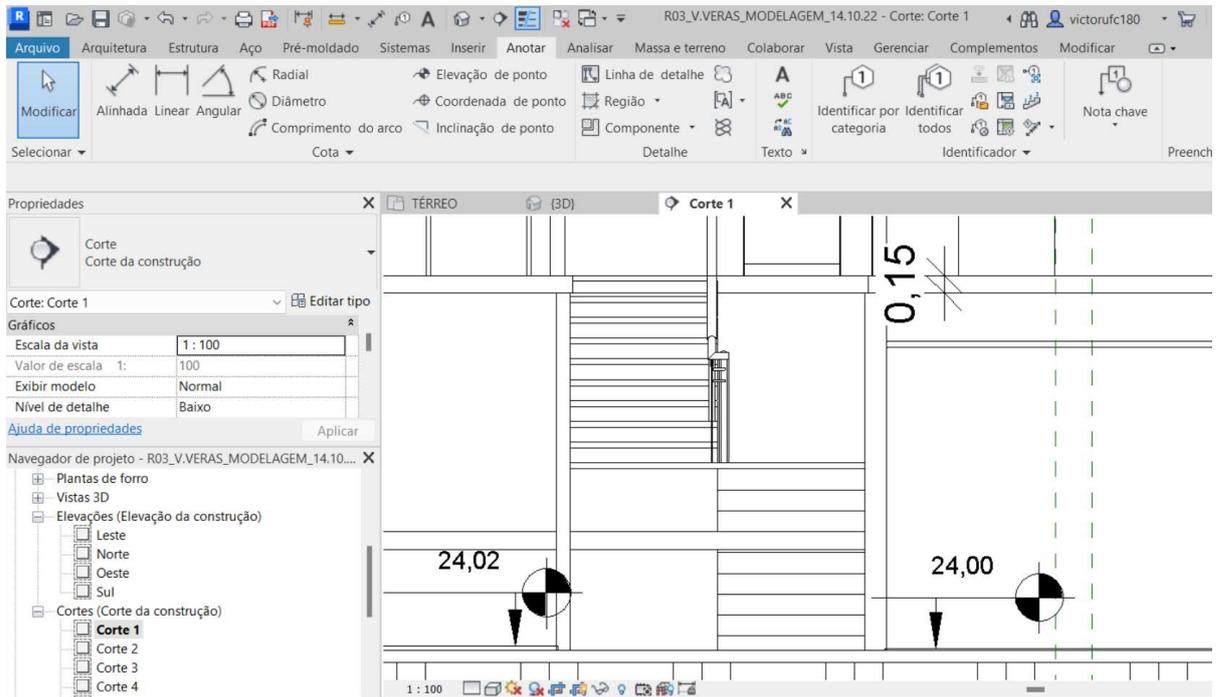
Figura 15 - Esqueleto da edificação modelada em BIM.



Fonte: Autor, 2023

Os pisos foram adicionados conforme as informações do projeto, sendo os ambientes nomeados, como depósito, garagem, hall de entrada, lavabo, bem como todos os banheiros e varandas, posicionados 2 centímetros abaixo dos demais ambientes. Vale ressaltar que o projeto arquitetônico não especificava a espessura total dos pisos, e, portanto, optou-se por utilizar uma espessura 15 cm. Após a finalização dos pisos, a modelagem da escada foi realizada para compor o modelo tridimensional da edificação.

Figura 16 - Especificação nível pisos



Fonte: Autor, 2023

Com a finalização da modelagem, procedeu-se à inclusão das portas, janelas e esquadrias, seguindo rigorosamente as especificações detalhadas no projeto. A Tabela 2 exibida é um recorte do projeto em CAD, apresentando uma tabela com informações detalhadas sobre as portas e janelas utilizadas na edificação.

Tabela 2 - Esquadrias CAD

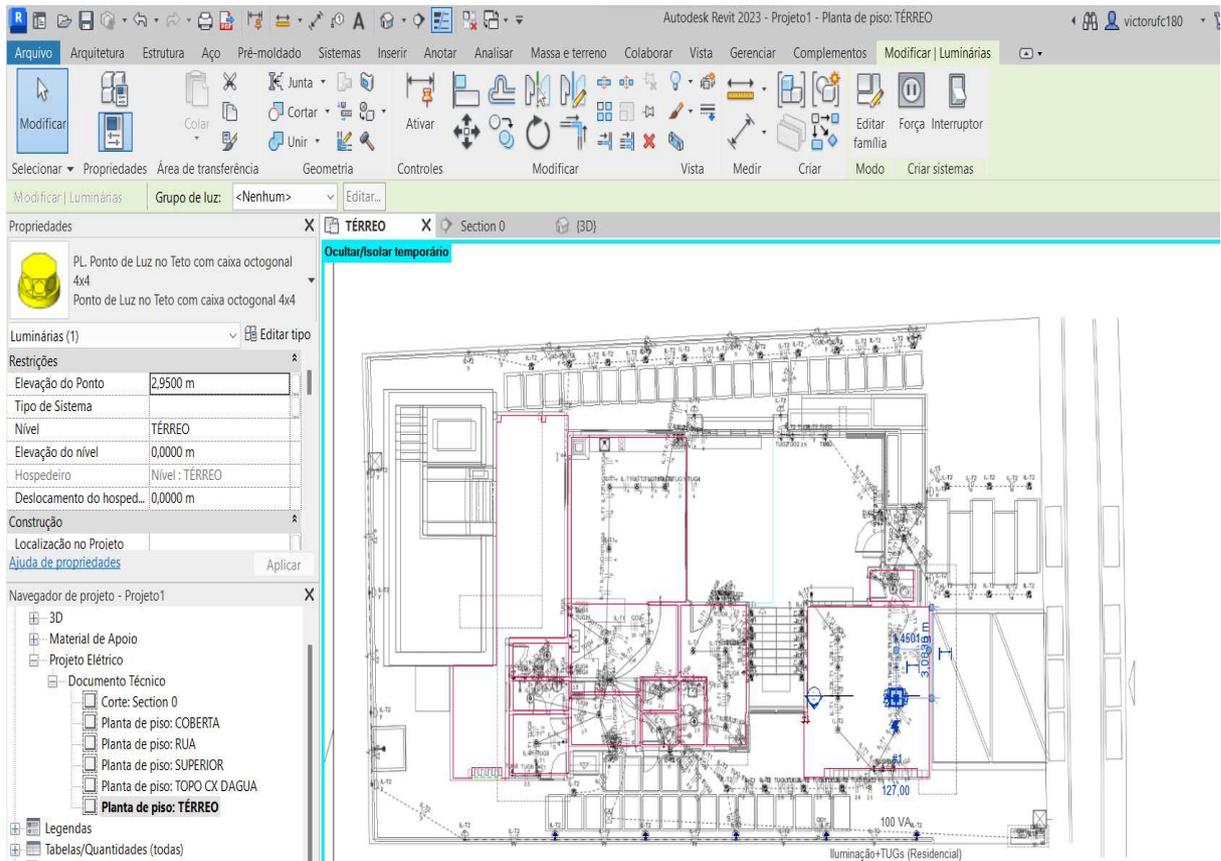
TABELA DE ESQUADRIAS							
COD	TIPO	LARGURA	ALTURA	PARAPEITO	MATERIAL	QTD	ÁREA (m ²)
J1	Janela fixa	243	582	30	Alumínio e Vidro	1	1.415
J2	Janela fixa	210	370	210	Alumínio e Vidro	1	7.77
J3	Janela máximo-ar	60	548	30	Alumínio e Vidro	3	3.28
J4	Janela de correr 4 folhas	407	130	110	Alumínio e Vidro	1	5.29
J5	Janela de correr 4 folhas	200	100	110	Alumínio e Vidro	1	2.00
J6	Janela máximo-ar	90	50	190	Alumínio e Vidro	1	0.45
J7	Janela de correr 2 folhas	100	115	125	Alumínio e Vidro	2	1.15
J8	Janela máximo-ar	65	50	190	Alumínio e Vidro	1	0.32
J9	Janela de correr de canto	210	130	110	Alumínio e Vidro	1	2.73
J10	Janela fixa	210	555	-	Alumínio e Vidro	1	1.165
J11	Janela de correr 4 folhas	320	190	50	Alumínio e Vidro	1	8.08
J12	Janela de correr 4 folhas	230	130	110	Alumínio e Vidro	1	2.99
J13	Janela máximo-ar	80	50	190	Alumínio e Vidro	1	0.4
J14	Janela de correr 2 folhas	150	190	50	Alumínio e Vidro	1	2.85
J15	Janela máximo-ar	120	30	210	Alumínio e Vidro	1	0.36
J16	Janela máximo-ar	100	50	190	Alumínio e Vidro	3	0.50
J17	Janela de correr 2 folhas	150	190	50	Alumínio e Vidro	1	2.85
J18	Janela de correr 2 folhas	210	190	80	Alumínio e Vidro	2	3.99
P1	Porta pivotante	140	368	-	Madeira Macica	1	5.15
P2	Porta de abrir	70	210	-	Madeira	5	1.47
P3	Porta de correr 4 folhas	540	240	-	Alumínio e Vidro	1	1.134
P4	Porta de abrir	90	210	-	Madeira	3	1.89
P5	Porta de correr 4 folhas	400	240	-	Alumínio e Vidro	1	8.40
P6	Porta de correr	90	210	-	Madeira	3	1.89
P7	Porta de abrir	so	210	-	Madeira	4	1.68
PS	Porta de correr	70	210	-	Madeira	2	1.47
P9	Porta de correr	so	210	-	Madeira	1	1.68
P10	Porta veneziana de abrir	90	90	-	Alumínio	2	0.81
P11	Porta veneziana de abrir	100	115	-	Alumínio	3	1.15

Fonte: Autor, 2023

3.2.2 Modelagem 3D projeto elétrico

O processo de modelagem do projeto elétrico se deu da mesma forma que o projeto arquitetônico, com a utilização do modelo do modelo DWG e posteriormente com o ajuste de sua respectiva escala. Durante a modelagem algumas informações tiveram que ser pressupostas para o ajuste do projeto a modelagem BIM, altura de pontos de luz, a forma como seria realizada a passagem dos eletrodutos, todos esses pontos já fariam diferença na hora da construção e auxiliariam o construtor na hora da execução.

Figura 17 - Importação DWG elétrico Revit



Fonte: Autor, 2023

Após a inserção do modelo DWG e seu ajuste de escala, foram inseridos os pontos elétricos, seguindo a tabela presente no projeto que indica as alturas dos pontos conforme apresentado na Figura 18. A inserção dos pontos foi mantida fiel ao observado no projeto 2D fornecido pela empresa “S”, mesmo que ao se analisar pelo modelo tridimensional feito pelo Revit a inserção não apresentasse possibilidade de execução prática.

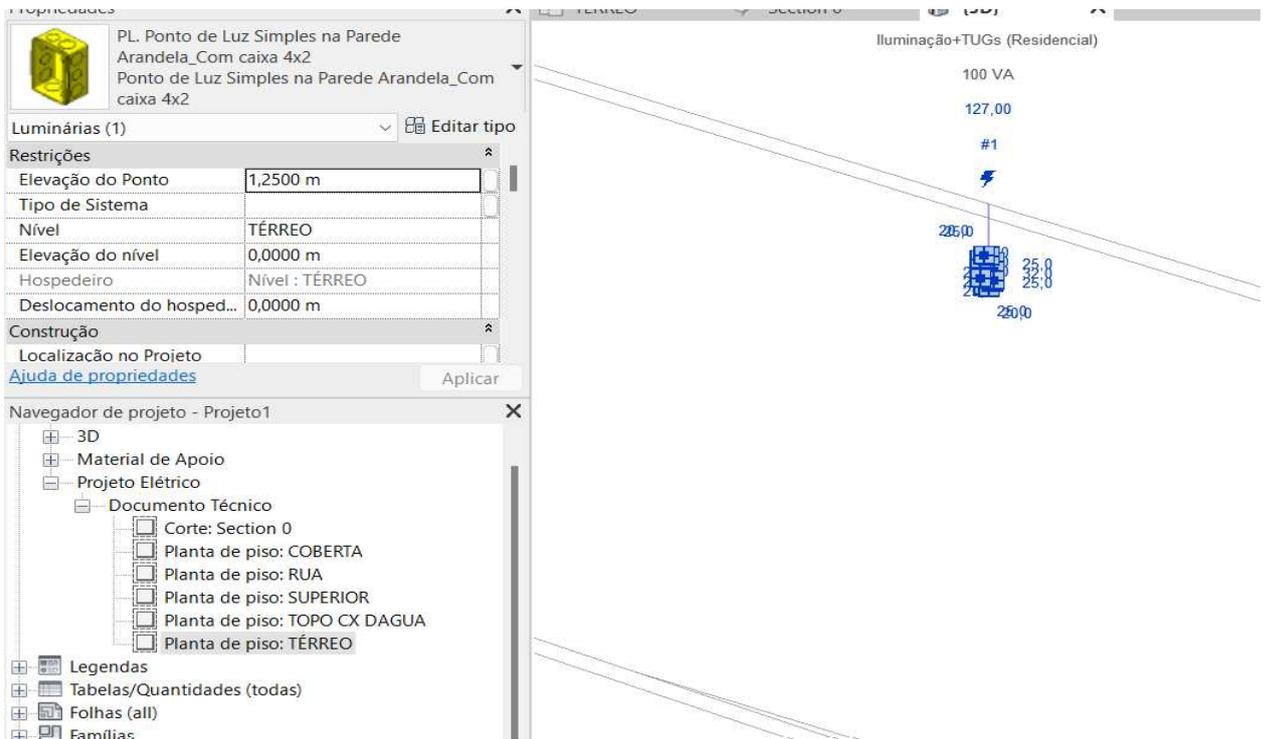
Figura 18 - Altura pontos elétricos CAD

Legenda	
	2 Pontos de Luz 9,5W
	2 Tomadas médias a 1,10m do piso
	Caixa de passagem
	Entrada de serviço
	Interruptor 1 simples e 1 paralelo - 1,10m do piso
	Interruptor paralelo 1 tecla - 1,10m do piso
	Interruptor simples 1 tecla - 1,10m do piso
	Interruptor simples 2 teclas - 1,10m do piso
	Interruptor simples 3 teclas - 1,10m do piso
	Interruptor simples e Tomada hexagonal a 1,10m do piso
	Interruptor simples e paralelo 2 teclas e Tomada hexagonal a 1,10m do piso
	Interruptores simples 2 teclas e Tomada hexagonal a 1,10m do piso
	Ponto de Luz 9,5W
	Quadro de distribuição
	Quadro de medição
	Tomada baixa a 0,30m do piso
	Tomada média a 1,10m do piso

Fonte: Autor, 2023

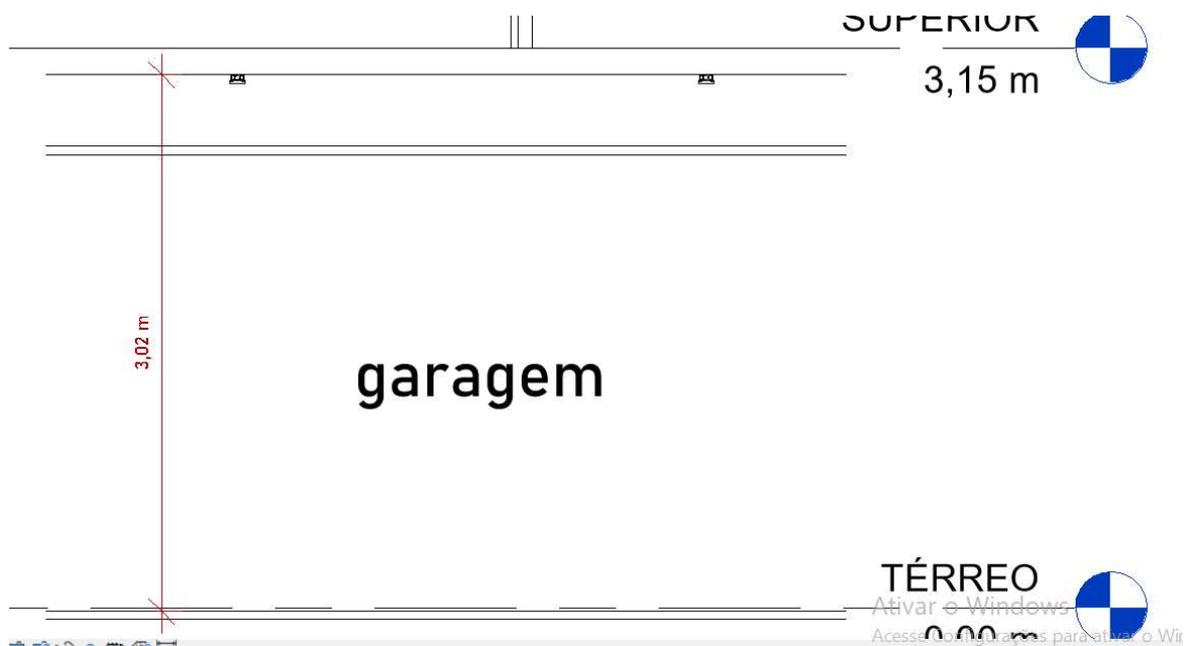
As arandelas do muro foram posicionadas a 1,25 m do chão conforme apresentado na Figura 19. A Figura 20 mostra as caixas de luz octogonais que foram inseridas distorcendo com o fundo da laje do pavimento superior ao que estava sendo realizado a modelagem no momento, ou seja, no posicionamento do térreo as caixas foram posicionadas no fundo laje do pavimento superior e no pavimento superior as caixas foram posicionadas no fundo da laje da cobertura.

Figura 19 - Posicionamento caixa elétrica muro



Fonte: Autor, 2023

Figura 20 - Altura das caixas octogonais elétricas



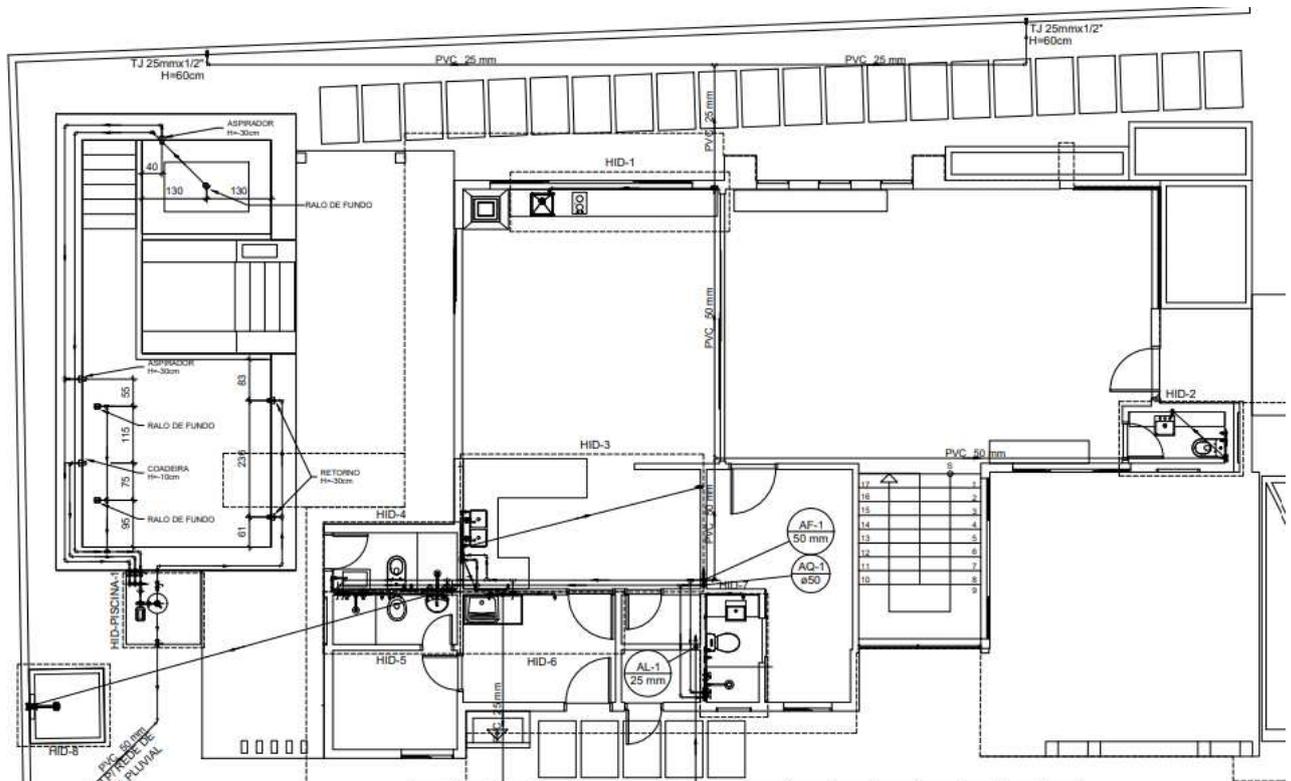
Fonte: Autor, 2023

Posteriormente ao posicionamento dos pontos elétricos e de luminárias foi realizada a modelagem dos eletrodutos, onde a modelagem foi realizada da forma mais fiel possível ao apresentado no modelo 2D do projeto em CAD.

3.2.3 Modelagem 3D projeto hidrossanitário

A modelagem dos projetos hidrossanitários se diferenciou dos demais projetos devido ao seu detalhamento em vista isométrica ao qual foi avaliado na hora da modelagem. Foi inicialmente modelada as instalações de água fria e posteriormente as instalações sanitárias e pluviais. A Figura 21 representa o modelo CAD do projeto hidráulico, para a modelagem o mesmo foi importado para o Revit e realizado o ajuste de sua escala, em conjunto com a análise das vistas isométricas.

Figura 21 - Planta hidráulica CAD pavimento térreo

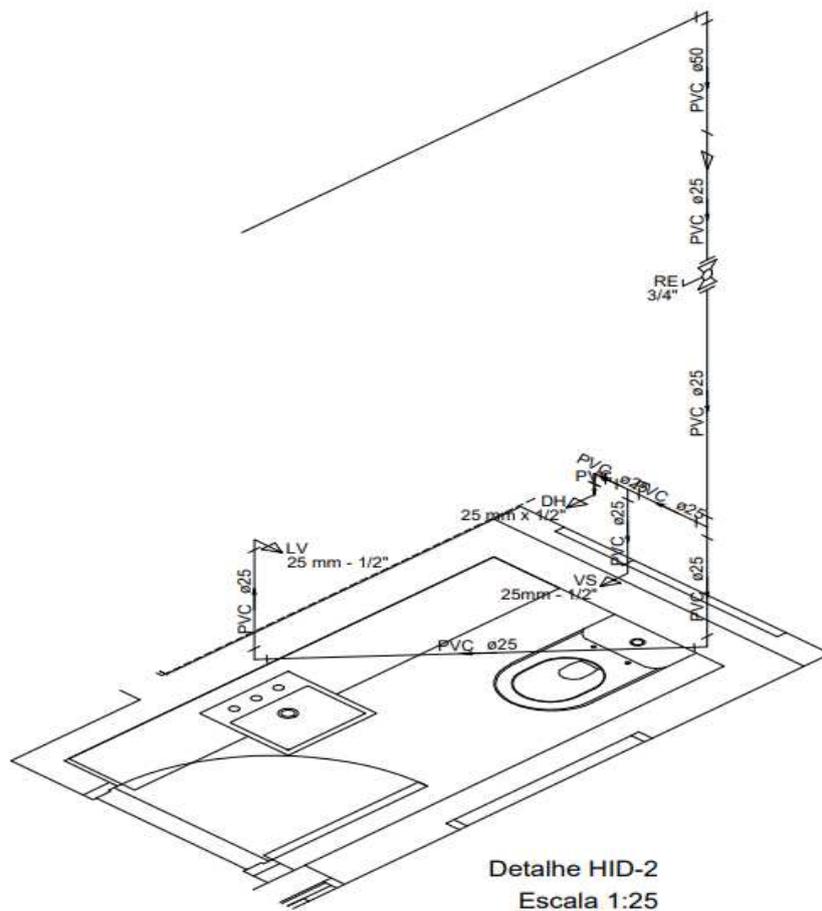


Fonte: Autor, 2023

Os projetos de instalações de água fria são compostos por três partes essenciais: abastecimento, reserva e distribuição. Para este projeto, a abordagem escolhida é o

abastecimento indireto, onde a residência possui um reservatório de água que fornece água aos pontos de distribuição. O abastecimento do reservatório é garantido pela conexão à rede condominial, que passa na rua em frente ao terreno. Essa rede de abastecimento já fornece água com uma pressão considerável. Devido a essa pressão adequada, não é necessário utilizar um sistema de bombeamento ou um reservatório inferior na residência.

Figura 22 - Representação Isométrica CAD



Fonte: Autor, 2023

Os pontos de água fria foram inseridos respeitando as alturas informadas na tabela presente no projeto, conforme as imagens apresentadas na Tabela 3. A altura dos pontos de saída de água não foi especificada no projeto sanitário, dessa os pontos foram inseridos conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 3 - Altura pontos hidrossanitários

Altura dos Pontos	
LV - Lavatório	60 cm
CH - Chuveiro	210 cm
VS - Vaso sanitário	20 cm
OH - Ducha higiênica	60 cm
TLR - Tanque de lavar	115 cm
MLR - Máquina de lavar	90 cm
PIA - Pia de cozinha	60 cm
TJ - Torneira de jardim	60 cm
RG - Registro de gaveta para água fria	180 cm
RP - Registro de pressão	110 cm

Fonte: Autor, 2023

Tabela 4 - Altura adotada nos pontos sanitários

Ponto	Altura em relação ao piso
Pia de Banheiro e cozinha	0,5 m do piso
Tanque de área de serviço	0,5 m do piso
Máquina de lavar roupa	0,7 m do piso

Fonte: Autor, 2023

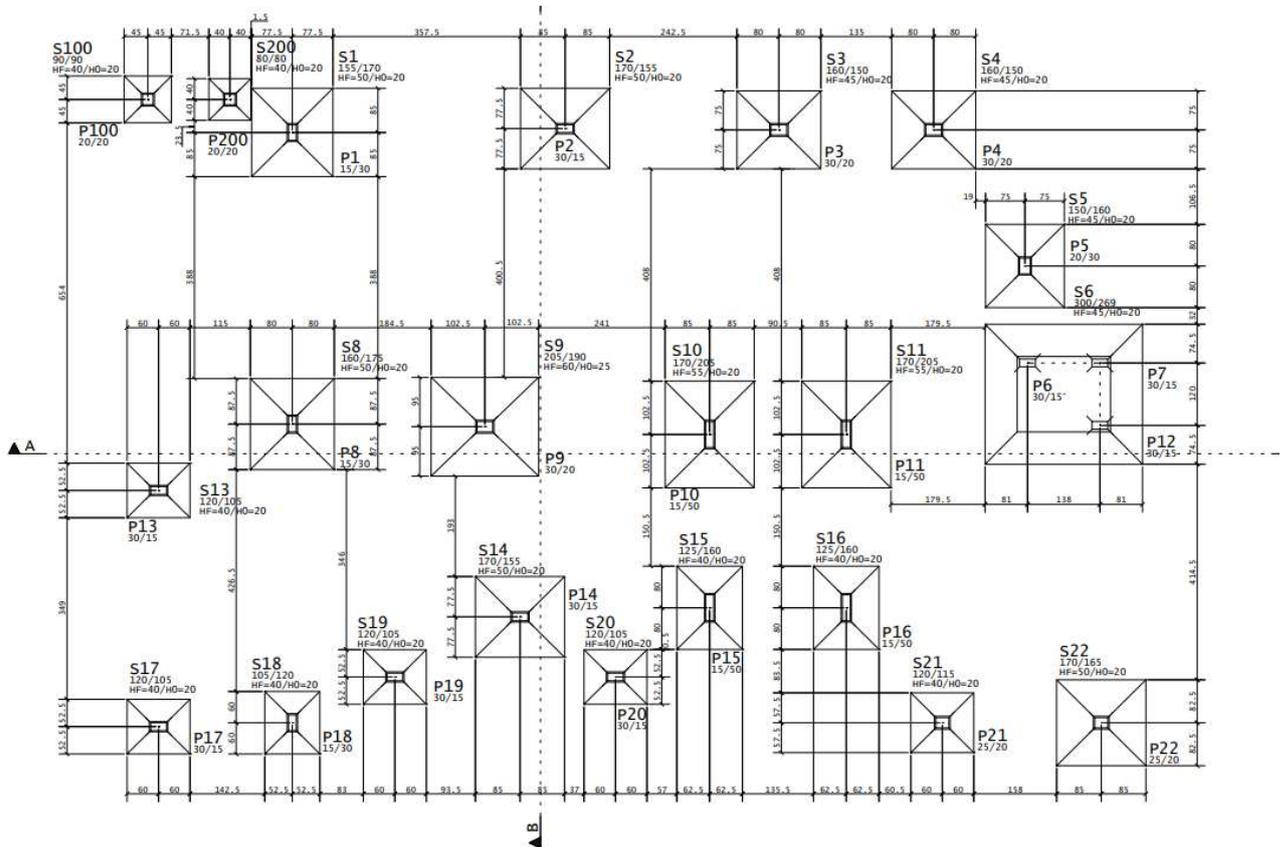
Ralos, caixas sifonadas, caixas de inspeção e tubos foram inseridos conforme sua posição em projeto. Sendo respeitado também seu diâmetro e inclinação. Foram utilizadas famílias de tubulações e conexões da marca Tigre, que foram as mesmas utilizadas na edificação do estudo, o que torna a modelagem ainda mais precisa e condizente com a realidade.

3.2.4 Modelo 3D projeto estrutural

O projeto estrutural foi modelado da mesma forma que os demais projetos complementares, com a inserção de um arquivo DWG no revit e posteriormente foi ajustada a sua escala. Foram inseridas vigas, pilares, lajes e sapatas seguindo dimensões e

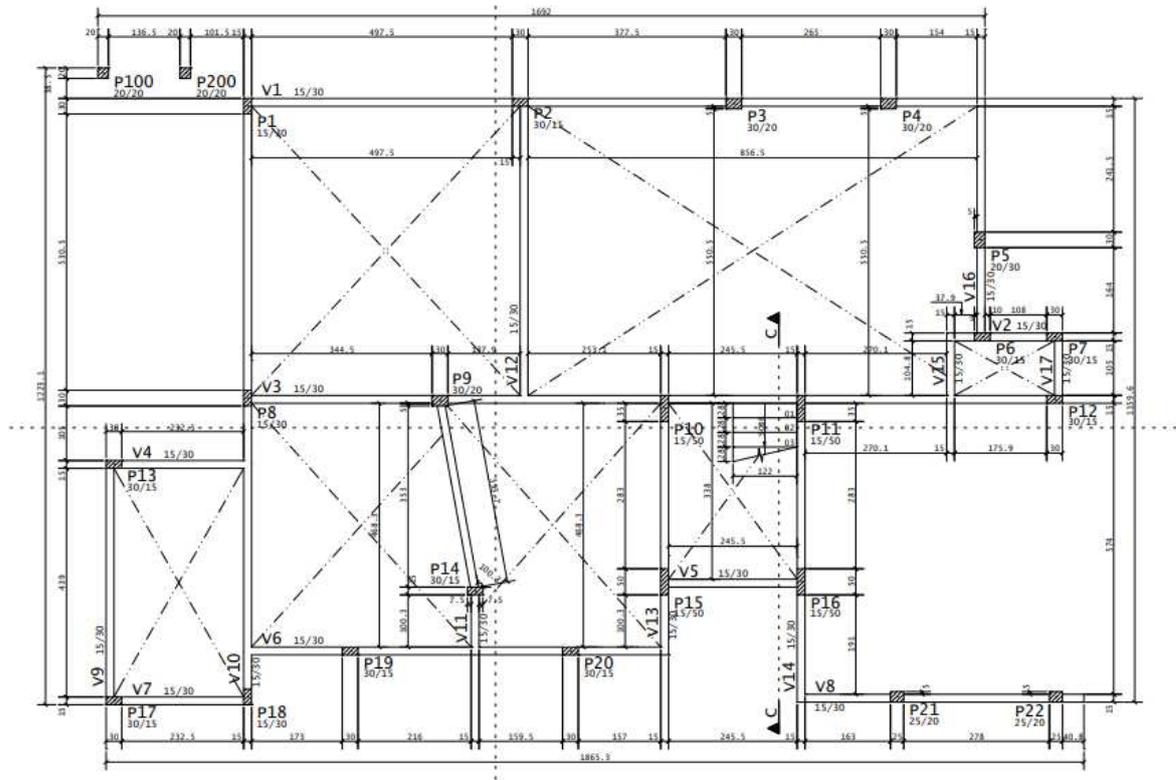
posicionamentos do projeto. O projeto contém um total de 22 sapatas de concreto, contendo 24 pilares, 41 vigas e 27 lajes sendo elas 22 lajes treliçadas com utilização de blocos de EPS e 5 lajes maciças com 10 cm de espessura.

Figura 23 - Planta de localização sapatas e pilares CAD



Fonte: Autor, 2023

Figura 24 - Planta Vigas e pilares CAD



Fonte: Autor, 2023

3.3 Levantamento de interferências e revisão ABNT NBR 6118

Com o intuito de aprimorar a identificação de interferências e falhas nos projetos, é fundamental possuir um conhecimento prévio sobre os principais problemas frequentemente encontrados durante a etapa de compatibilização. Essa familiaridade com as questões recorrentes proporciona maior eficiência e agilidade ao processo de identificação, permitindo que elementos específicos, conhecidos por apresentar interferências, sejam confrontados de forma mais direcionada. Essa revisão atua como um parâmetro guia inicial para a busca por potenciais problemas no modelo, tornando o processo mais sistemático e preciso.

Para esse estudo de caso serão analisados os projetos das disciplinas de arquitetura, hidráulica, saneamento, elétrica e estrutura. Com isso foi listados os principais conflitos gerados entre essas disciplinas. Para Callegari e Barth (2007) esses são os itens a serem avaliados durante a compatibilização:

- Arquitetura x Instalações Elétricas e Hidrossanitárias: interseções de tubulações/eletrodutos com esquadrias; prumadas e tubulações; eletrodutos; altura pontos elétricos; pontos de tomadas, iluminação e interruptores; shafts; interferências com forros;
- Arquitetura x Estrutura: pilares e vigas, conferindo seus alinhamentos com paredes; interseções de vigas com forros; sentido dos pilares; esquadrias;
- Estrutura x Instalações Elétricas e Hidrossanitárias: furos horizontais e verticais em vigas; interseção entre prumadas e lajes; localização de pontos elétricos; eletrodutos;

Com o conhecimento acerca dos itens a serem avaliados, os elementos presentes nas diversas disciplinas foram ser estudados e avaliados individualmente. A realização dessa pesquisa foi relevante pois possibilita a filtragem das informações significativas para o estudo. Além do levantamento das principais interferências foi necessária uma revisão da ABNT NBR 6118:2023 sobre a previsão de furos em vigas e lajes para que possa ser realizado uma filtragem ainda maior dos resultados obtidos, visto que a mesma cita condições para que sejam realizados furos sem a necessidade de um redimensionamento.

A avaliação foi desenvolvida com o software Autodesk Navisworks. Nela foram realizados os testes com a utilização de testes de interferência *hard* e com a visualização de elementos tridimensionais sobrepostos. As tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9 apresentam os principais interferências e problemas com base nos estudos de Goes (2011); Souza e Tranin (2014); Callegari (2007); Sena (2012).

3.3.1 *Arquitetônico x estrutural*

Os principais conflitos presentes entre o arquitetônico e o estrutural geralmente são: Utilização de paredes menores que o necessário para o reboco das paredes, pouco distanciamento entre portas e pilares, vigas passando abaixo do forro, pilares atravessando janelas. Esses conflitos além de insatisfação por parte dos clientes, onde muitas vezes ficam com ambientes com um pé direito muito baixo também levam ao aumento dos gastos previstos, pois faz-se necessário a alteração do tijolo a ser utilizado, aumento do reboco e alteração na posição ou no tipo das esquadrias.

Tabela 5 - Interferências arquitetônico x estrutural

Disciplinas	Interferências	Itens avaliados
Arq. X Est.	Esquadrias com pouco afastamento de pilar	Portas, Janelas, Pilares.
	Pilares, paredes e vigas desalinhadas	Paredes, Vigas, Pilares.
	Viga passando abaixo do forro	Forros, Vigas.
	Pilar atravessando esquadria	Esquadrias, Pilares.

Fonte: Autor, 2023

3.3.2 *Arquitetônico x Hidrossanitário*

A maioria dos problemas de falta de compatibilização entre projeto arquitetônico e hidrossanitário geralmente está relacionado ou a uma falta de observação do projetista, na hora de lançar os pontos hidráulicos e também a realização de um projeto arquitetônico sem que seja pensado na acomodação de tubulações hidrossanitárias. Acarretando muitas vezes em problemas como posicionamento errado de pontos de água, tubulações atravessando forros, tubulações passando por dentro de esquadrias, o que leva a insatisfação e posicionamento de tubulações em áreas impróprias e sem que seja seguido os critérios estabelecidos pelas normas.

Tabela 6 - Interferências arquitetônico x hidrossanitário

Disciplinas	Interferências	Itens avaliados
Arq. X Hid.	Tubulação de água quente e fria atravessando esquadrias	Esquadrias, tubulações
	Tubulação impossibilitando mobilidade	Tubulações
	Ausência de shaft	Prumadas
	Tubulação de esgoto impossibilitando locação do forro em altura correta	Tubulação, esgoto
	Ponto hidráulico posicionado em local inapropriado	Pontos hidráulicos

Fonte: Autor, 2023

3.3.3 *Arquitetônico x Elétrico*

As interferências entre essas disciplinas geralmente estão relacionadas com a locação de pontos e com a passagem dos eletrodutos. Devido a utilização dos eletrodutos maleáveis muitos desses conflitos podem ser contornados, porém muitas vezes acarretam na necessidade de realocação dos pontos, gerando complicações e atrasos.

Tabela 7 - Interferências Arquitetônico x elétrico

Disciplinas	Interferências	Itens avaliados
Arq. X Elé.	Eletroduto atravessando esquadrias	Eletrodutos, esquadrias.
	Interferência ponto elétrico com esquadria	Tomadas, interruptores, esquadrias.
	Ponto elétrico mal posicionado	Tomadas, interruptores
	Interruptores localizados atrás de folhas de abertura de porta	Portas, interruptores

Fonte: Autor, 2023

3.3.4 *Estrutural x Elétrico*

Os conflitos causados pela interferência entre estrutural e elétrico geralmente apresentam um menor grau de relevância pois os eletrodutos empregados na construção são maleáveis e geralmente podem ser contornados pelas vigas e pilares.

Porém caso a execução seja realizada por profissionais inexperiente e mal qualificados podem acarretar em problemas, pois com a quebra ou inserção de algum elemento dentro pilar a área de concreto é reduzida levando a uma redução na capacidade de carga suportada pelo pilar, devido a isso inserção de elementos ou quebra de pilares é proibida pela ABNT NBR 6118:2023, sendo necessário o seu redimensionamento considerando essa perda de concreto devido à quebra ou passagem no mesmo.

Tabela 8 - Interferências estrutural x elétrico

Disciplinas	Interferências	Itens avaliados
Est. X Elé.	Pontos elétricos locados em pilares	Pontos elétricos, pilares.
	Passagem de eletrodutos interceptando pilares	Eletrodutos, pilares.
	Furos em lajes para passagem de prumada com pouco detalhamento	Lajes, Eletrodutos
	Furos em vigas não previstos	Vigas, Eletrodutos.

Fonte: Autor, 2023

3.3.5 *Estrutural x Hidrossanitário*

Entre os conflitos comuns envolvendo as disciplinas de estruturas e hidrossanitário, a ocorrência de furos não previstos é uma das situações mais frequentes. Caso esses furos sejam executados sem levar em consideração as normas e diretrizes adequadas, podem gerar riscos significativos para os moradores da edificação. A falta de detalhamento adequado das passagens em lajes e vigas também é uma causa comum de problemas construtivos, podendo resultar até mesmo a não realização do projeto hidrossanitário. Como consequência, a instalação das tubulações acaba ficando a cargo do bombeiro hidráulico durante a obra, muitas vezes levando ao desrespeito das normas e padrões de qualidade estabelecidos. É fundamental que esses conflitos sejam identificados e solucionados na etapa de projeto para garantir a segurança, qualidade e eficiência da edificação.

Tabela 9 - Interferências estrutural x hidrossanitário

Disciplinas	Interferências	Itens avaliados
Est. X Hidro.	Furos não previstos em Vigas	Tubulações, prumadas, vigas.
	Furos não previstos em Lajes	Tubulações, prumadas, lajes.
	Tubulações interceptando pilares	Tubulações, prumadas, pilares.

Fonte: Autor, 2023

3.3.6 *Elétrico x Hidrossanitário*

Conflitos envolvendo posicionamento de pontos elétricos, tubulações, pontos de saída de água, geralmente são os encontrados nos conflitos destas disciplinas, a falta de planejamento na disposição dos elementos elétricos e hidrossanitário pode dificultar o acesso para manutenção e reparos tornando essa atividade mais complexa. Além disso uma localização inadequada dos pontos de saída de água e pontos elétricos acaba resultando em interferências e alterações no momento da execução. A utilização de eletrodutos maleáveis reduz impacto na obra entre conflitos de tubulações e eletrodutos portanto não serão levados em consideração.

Tabela 10 - Interferências elétrica x hidrossanitário

Disciplinas	Interferências	Itens Avaliados
Elé. X Hidro.	Posicionamento conflitante entre pontos de saída e pontos elétricos;	Pontos de saída de água, tomadas, interruptores;
	Quadros elétricos conflitando com prumada de tubulações;	Prumadas de tubulações, quadros elétricos;
	Tubulação passando por ponto elétrico	Tubulações, tomadas, interruptores.

Fonte: Autor, 2023

3.3.7 *Levantamento e considerações da ABNT NBR 6118*

A ABNT NBR 6118:2023 é a norma brasileira que trata do projeto de estruturas de concreto. Em relação aos furos e aberturas em vigas e lajes, a norma estabelece critérios específicos para garantir a integridade estrutural e a segurança das edificações. De acordo com a norma, os furos em vigas devem ser projetados de forma cuidadosa e criteriosa, considerando os esforços a que a estrutura estará sujeita.

Com intuito de aprimorar ainda mais a filtragem dos conflitos identificados, foi realizado um levantamento das condições impostas pela norma, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Condições furos em vigas e lajes

Tipos	Condições
Furos em vigas que atravessam na direção da largura	Furos em zona de tração e a uma distância da face do apoio de no mínimo $2h$, onde h é a altura da viga.
	Dimensão do furo de no máximo 12 cm e $h/3$
	Distância entre as faces de furos, num mesmo tramo de no mínimo 2 h
	Cobrimento suficientes e não seccionamento das armaduras
Furos em lajes na direção de sua espessura	As dimensões da abertura devem corresponder no máximo a $1/10$ do vão menor
	A distância entre a face de uma abertura e uma borda livre da laje deve ser igual ou maior que $1/4$ do vão, na direção considerada
	A distância entre faces de aberturas adjacentes deve ser maior que a metade do menor vão.

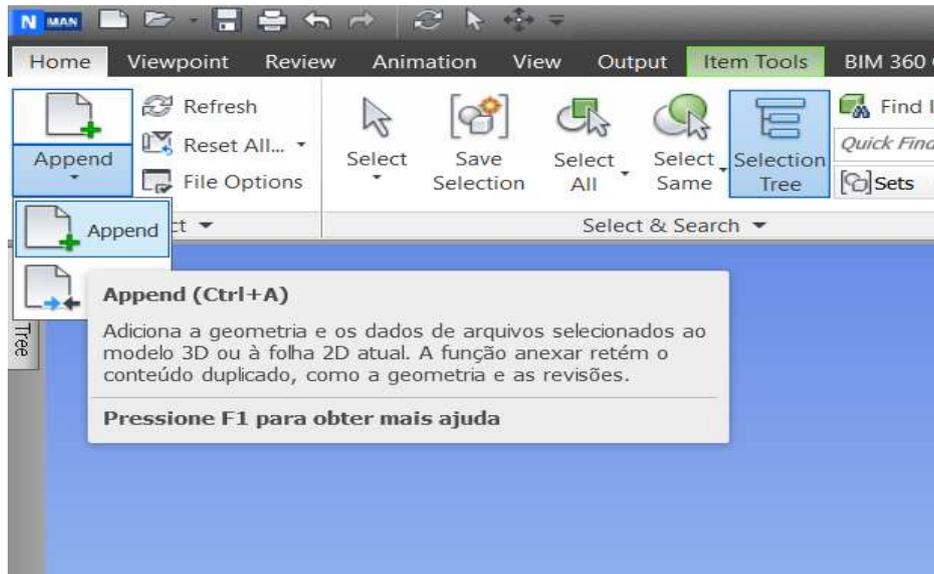
Fonte: Tabela realizada pelo autor com base na ABNT NBR 6118:2023

3.4 Compatibilização de projetos e detecção de interferências BIM

No processo de compatibilização os projetos modelados no software Autodesk Revit foram importados para dentro do software Autodesk Navisworks, ambos os softwares na versão 2023. Os dois programas utilizam tecnologia BIM e pertencem a mesma empresa, Autodesk.

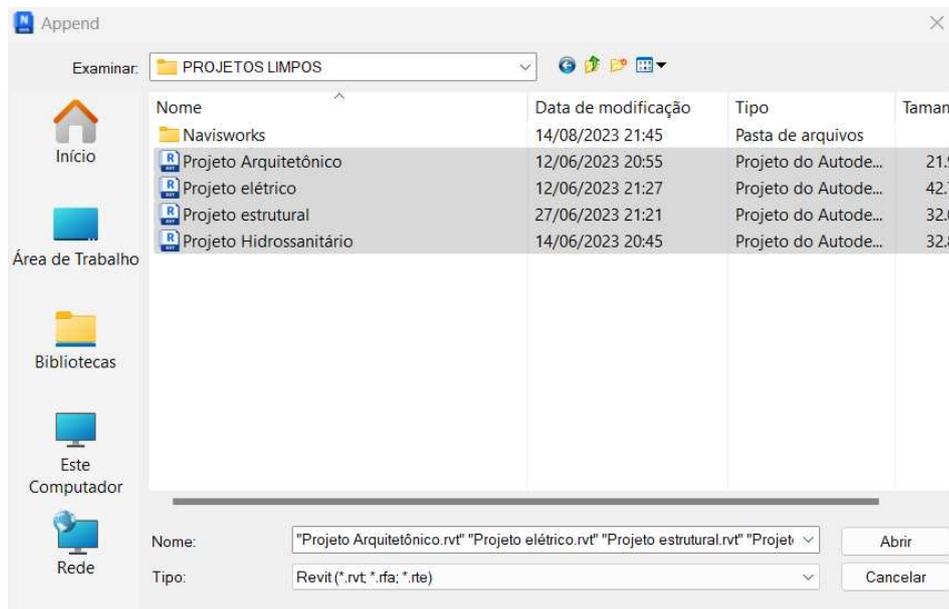
Devido a interoperabilidade entre os softwares utilizados, dentro do Navisworks foi possível importar e converter os arquivos rvt (formato de arquivo dos projetos no Revit) para dentro do mesmo de forma precisa e rápida. De forma prática, para a importação dos modelos dentro do Naviswork, foi utilizada a função *Append*, localizada na barra de ferramentas do software. Dentro da janela aberta em tipo de arquivo foi selecionada a opção “Revit”. Logo após, os modelos foram selecionados e importados.

Figura 25 - Localização da ferramenta *Append* nos softwares Navisworks versão 2023



Fonte: Autor, 2023

Figura 26 - Janela de importação dos modelos revit para o navisworks.



Fonte: Autor, 2023

No processo de detecção de conflitos, foram utilizadas duas ferramentas essenciais. A primeira delas é a ferramenta "Walk", que permite ao usuário explorar virtualmente a edificação e ter uma experiência imersiva de deslocamento dentro do ambiente projetado. Essa abordagem oferece uma perspectiva mais realista e facilita a identificação de possíveis conflitos espaciais. A Figura 27 ilustra a visão do usuário dentro do software.

Figura 27 - Perspectiva usuário ferramenta “Walk”



Fonte: Autor, 2023

A segunda ferramenta foi o Clash Detective, que desempenha um papel fundamental na detecção de conflitos entre os diferentes projetos ou modelos inseridos no ambiente do software. Por meio dessa ferramenta, foi possível realizar uma análise minuciosa e identificar de forma precisa os conflitos existentes. É importante ressaltar que nem todos os conflitos identificados pelo software são necessariamente problemas reais a serem corrigidos. Alguns conflitos dizem respeito apenas à modelagem, como a inserção de uma viga dentro de uma parede. Na prática, as vigas costumam ficar embutidas nas alvenarias. Portanto, foi necessário avaliar se o conflito identificado pelo software representa um problema significativo que impactará a obra ou se pode ser ignorado sem prejuízos.

Essa análise crítica e cuidadosa foi de extrema importância, pois permitiu distinguir conflitos relevantes que requerem ações corretivas das discrepâncias que podem ser consideradas aceitáveis no contexto do projeto. Dessa forma, as disciplinas foram estudadas em pares, onde preliminarmente foi utilizada a ferramenta *walk* para a realização de uma vistoria virtual preliminar entre as duas, nela foram anotados alguns conflitos identificados pelo autor. Objetivando uma melhoria na visualização, as disciplinas que não estavam sendo testadas foram ocultadas conforme ilustrado nas Figuras 28, 29, 30, 31, 32, 33.

Figura 28 - Vista 3D compatibilização entre projeto arquitetônico e estrutural no software Navisworks.



Fonte: Autor, 2023

Figura 29 - Vista 3D compatibilização entre projeto arquitetônico e elétrico no software Navisworks.



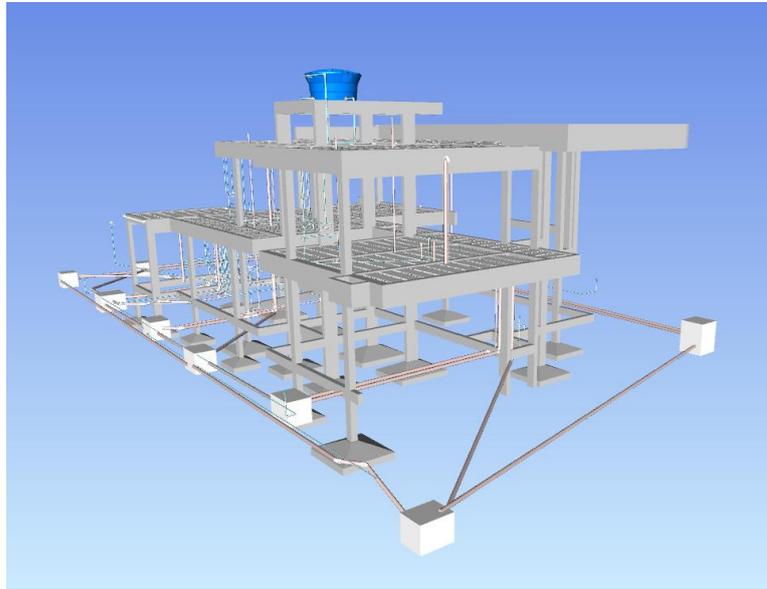
Fonte: Autor, 2023

Figura 30 - Vista 3D compatibilização entre projeto arquitetônico e hidrossanitário no software Navisworks.



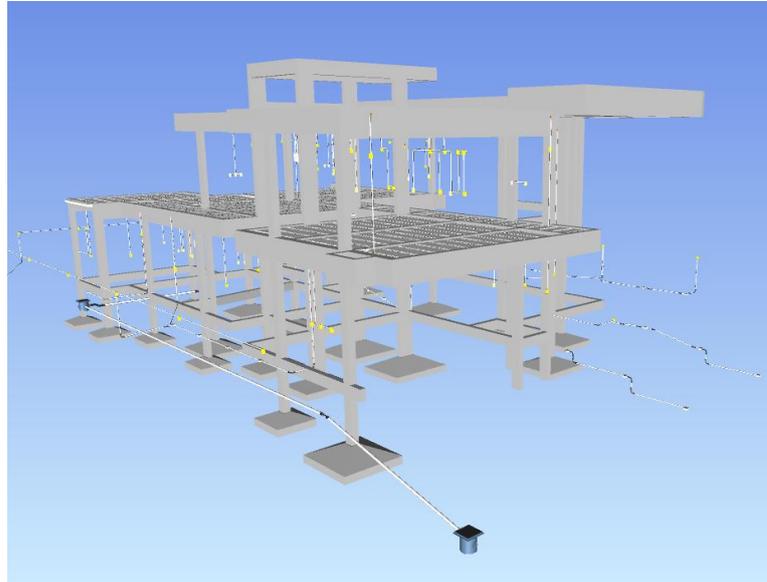
Fonte: Autor, 2023

Figura 31 - Vista 3D compatibilização entre projeto arquitetônico e elétrico no software Navisworks.



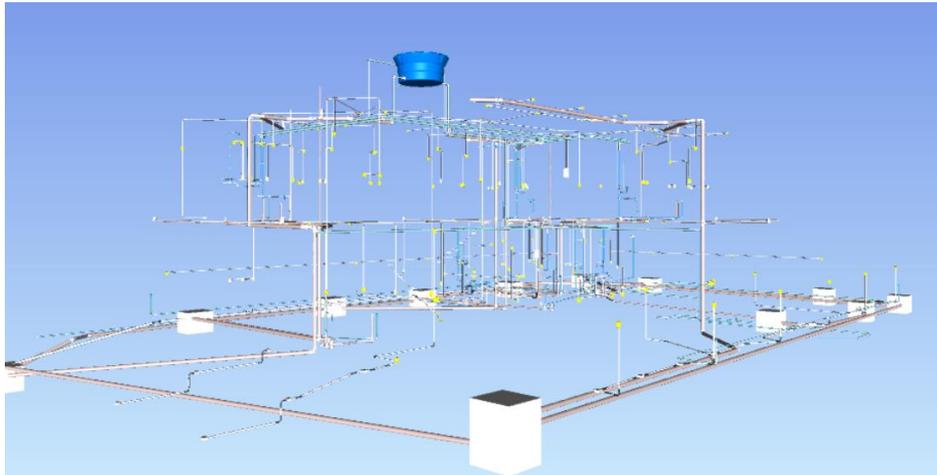
Fonte: Autor, 2023

Figura 32 - Vista 3D compatibilização entre projeto estrutural e elétrico no software Navisworks.



Fonte: Autor, 2023

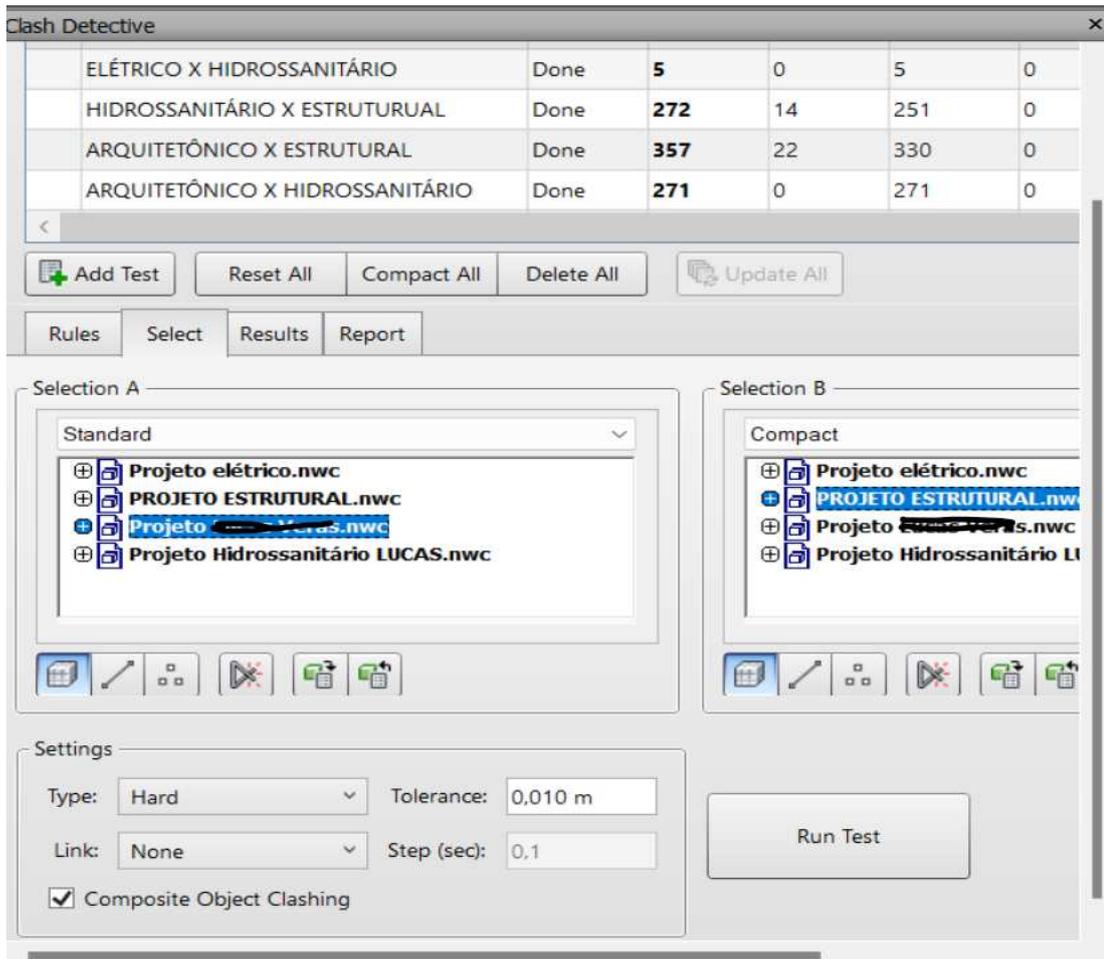
Figura 33- Vista 3D compatibilização entre projeto hidrossanitário e elétrico no software Navisworks.



Fonte: Autor, 2023

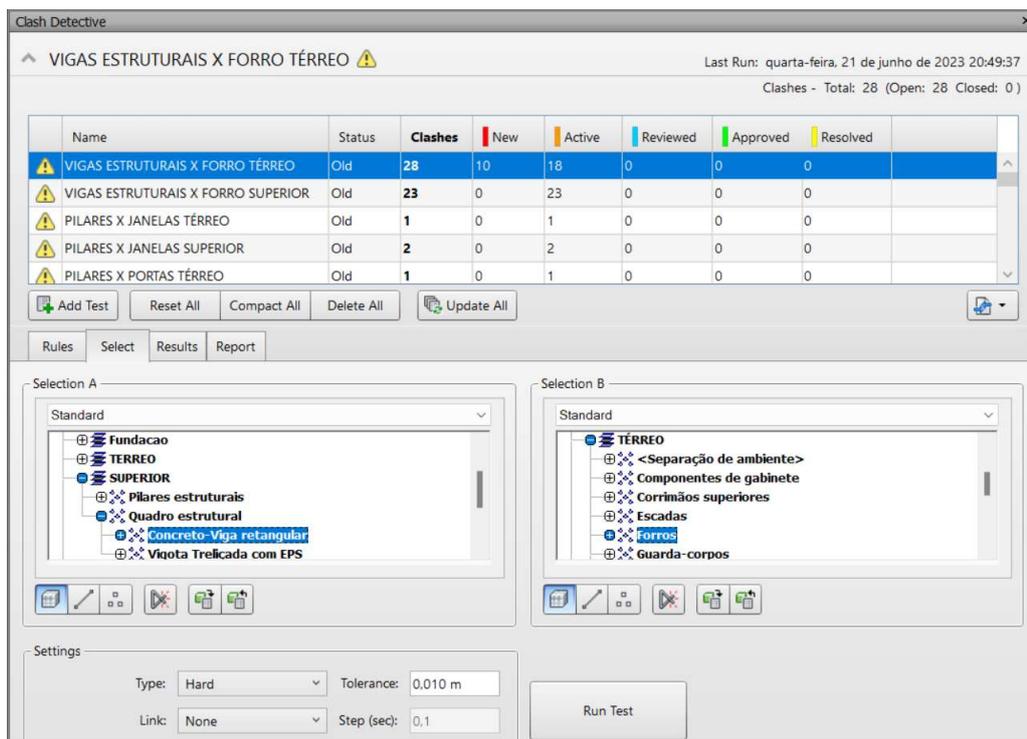
Posteriormente a vistoria virtual preliminar, com ferramenta Clash Detective foram rodados testes específicos e um teste geral entre as disciplinas analisadas. Os testes gerais conflitavam todos os elementos presentes numa disciplina com os elementos presentes em outra, já nos específicos os elementos apontados no 3.3 foram confrontados e avaliados.

No teste geral optou-se por utilizar a configuração de teste de interferência denominada "*Hard*". Essa configuração apresenta uma abordagem mais rigorosa, buscando identificar as interseções reais entre as geometrias dos elementos projetados. Na configuração do teste geral, estabeleceu-se uma tolerância de 0,01 metros (1 centímetro). Essa definição permite detectar colisões e conflitos que excedam essa distância mínima. A Figura 34 apresenta a aba de testes, nela é possível visualizar os testes gerais realizados em pares pelas disciplinas.

Figura 34 – Aba de testes *clash detective* ensaios gerais

Fonte: Autor, 2023

Para a realização dos ensaios específicos foi adotada a mesma configuração de teste do geral, *hard* e a tolerância de 1centímetro, a diferença é que se fez necessário a seleção de uma família em específica em cada disciplina no teste, conforme apresentado na Figura 35, onde é apresentado o ensaio envolvendo as vigas do pavimento superior e o forro do térreo. Os conflitos significativos foram listados para verificação de seu impacto in loco. Não foram analisadas pendências no projeto, o estudo se ateve a conflitos gerados dentro dos projetos cedidos.

Figura 35 - Aba de testes *clash detective* ensaios específicos vigas e forro

Fonte: Autor, 2023

A cerca da classificação dos conflitos apontados, os elementos avaliados passaram por um processo de classificação, onde sua importância foi criteriosamente considerada. Conflitos que potencialmente resultariam em interferências significativas, tais como aqueles que afetariam a integridade de elementos essenciais, por exemplo, forros e vigas, foram identificados como conflitos significativos.

Por outro lado, conflitos que, devido à sua natureza e localização, pudessem ser facilmente resolvidos sem demandar grandes intervenções na obra, como o caso de eletrodutos cruzando canos, foram designados como menos críticos e, portanto, considerados irrelevantes para os propósitos desta análise. Essa classificação minuciosa permite priorizar a resolução das questões mais impactantes, garantindo eficiência na gestão de interferências no projeto.

No ensaio entre as disciplinas de estruturas e instalações hidrossanitárias, devido as diversas condições especificadas pelo item 3.3.7 e a seu possível impacto na segurança da edificação fez-se necessária uma análise minuciosa de cada interferência, avaliando sua localização e se a mesma se encontrava dentro do aceito. Os conflitos considerados aceitos pela norma não foram contabilizados como significativos, porém sua previsão em projeto é

importante pois auxilia a equipe de execução da estrutura a realização da mesma com segurança.

Não foram avaliados conflitos gerados entre os projetos hidráulicos e sanitários, sendo estes desconsiderados na análise. A Figura 32 apresenta um mapa esquemático ilustrando a metodologia utilizada na compatibilização.

Figura 36 - Metodologia compatibilização



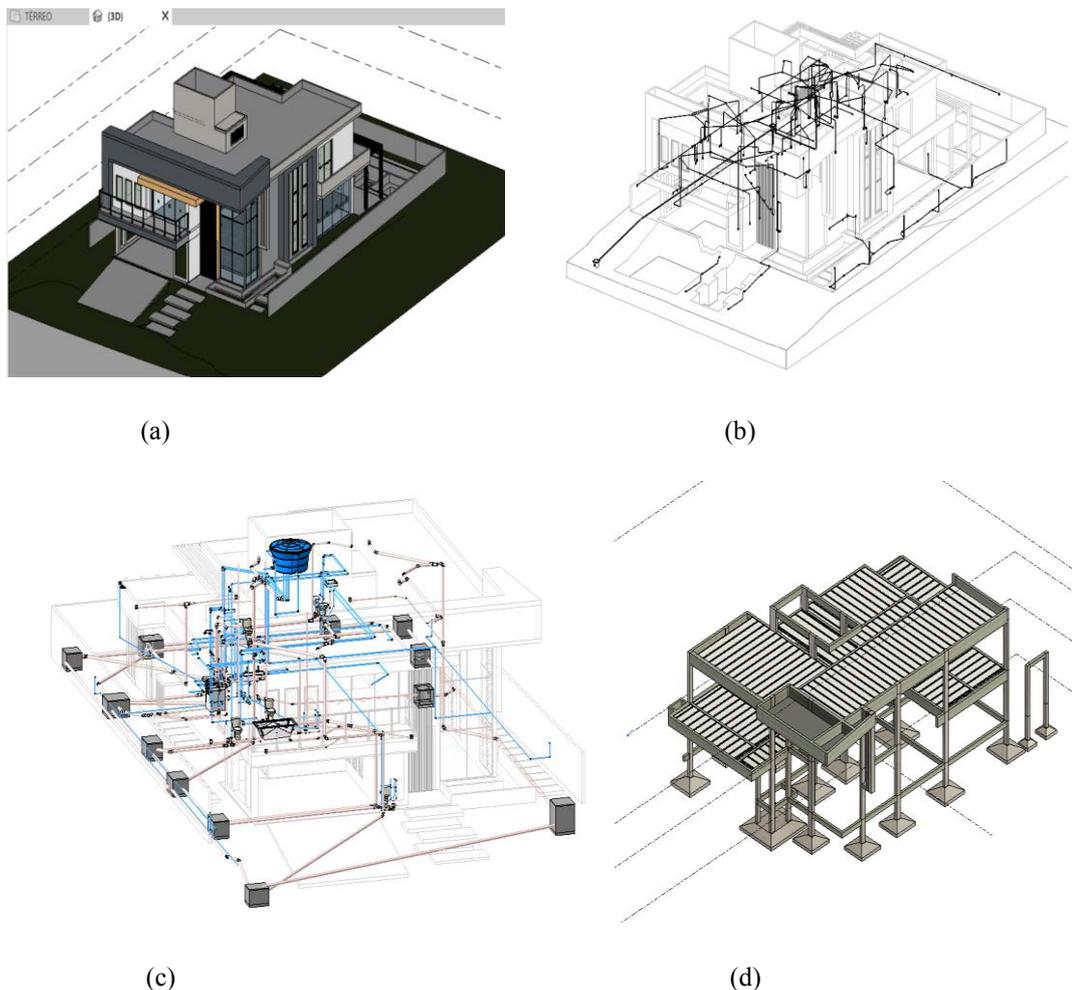
Fonte: Autor, 2023

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Modelagem paramétrica 3D

A partir dos projetos realizados no item 3.2, foram obtidos modelos paramétricos para as quatro disciplinas, cada uma contendo informações específicas sobre os elementos na edificação. Conforme mencionado nos itens 3.2.2 e 3.2.3, algumas informações sobre as disciplinas elétricas e hidráulicas tiveram que ser supostas devido à falta de detalhamento nos projetos em CAD. A Figura 39 apresenta os resultados por meio de uma vista em perspectiva 3D dos projetos arquitetônicos, elétricos, hidrossanitários e estruturais.

Figura 37 - Vista perspectiva 3D dos modelos paramétricos BIM: (a) projeto arquitetônico (b) projeto elétrico (c) projeto hidrossanitário (d) projeto estrutural



A modelagem a partir de um modelo CAD 2D é um processo dispendioso, requerendo um profundo domínio do software pelo projetista. Da mesma forma, a modelagem BIM demanda um entendimento dos sistemas das disciplinas envolvidas, uma vez que alguns projetos podem carecer de detalhamento sobre a instalação dos elementos. Portanto, um amplo conhecimento técnico por parte do projetista resultará em modelos mais realistas, aprimorando a precisão na compatibilização e na detecção de conflitos.

Apesar oneroso, a realização de transcrição dos projetos 2D para dentro da metodologia 3D BIM apresentou seus benefícios ainda na modelagem, onde foi possível identificar conflitos e erros de locação e detalhamento. Ficando assim, evidente o impacto da realização de um projeto com a visualização da edificação finalizada. Caso a modelagem dos 4 projetos tivesse ocorrido de forma totalmente integrada dentro da tecnologia BIM, ocorrendo uma comunicação entre a equipe de projetistas, provavelmente os resultados obtidos no item 4.3 seriam bem menores.

Além da redução de erros envolvendo os projetos, a execução dos projetos em BIM também possibilitaria um grande auxílio durante a construção da edificação através de sua utilização para elaboração de cronogramas paramétricos, planejamento de canteiro, levantamento de materiais e orçamentos. Os modelos tridimensionais também seriam bastante úteis em futuras ampliações ou reformas pois facilitariam a visualização dos elementos presentes na edificação, reduzindo assim acidentes como furos de tubulações e eletrodutos.

4.2 Compatibilização de projetos e detecção de conflitos

As avaliações das interferências indicam que durante as análises os elementos levantados no item 3.3, realmente impactaram em conflitos, onde diversos elementos destacados conflitaram entre si. Além dos itens levantados foram levantadas outras ingerências que puderam ser observadas principalmente através da vistoria virtual. O teste geral, realizado entre disciplinas também apontou alguns problemas não previstos pelos ensaios específicos e despercebidos pela inspeção 3D.

Os conflitos de entre as disciplinas de estruturas e hidrossanitário apresentaram o maior percentual dos conflitos significativos. Onde em sua maioria, conflitos relacionados ao

descumprimento da ABNT NBR 6118:2023. Alguns conflitos foram desconsiderados em análise devido a sua não realização na prática, porém foram executados de forma inadequada em obra, como por exemplo a travessia desnecessária de eletrodutos por vigas, conforme apresentado na Figura 62, não sendo necessariamente por falha no projeto, onde a má execução do profissional gerou necessariamente esse conflito. A Tabela 12 - Conflitos detectados x significativos apresenta um resumo dos conflitos identificados de forma geral e os conflitos significativos, onde fica evidente a grande quantidade de falsos apontamentos.

Tabela 12 - Conflitos detectados x significativos

Disciplinas confrontadas	Conflitos detectados	Conflitos significativos	%
Arquitetônico x estrutural	335	25	7,46%
Arquitetônico x elétrico	75	7	9,33%
Arquitetônico x hidrossanitário	271	4	1,48%
Elétrico x estrutural	85	10	11,76%
Elétrico x hidrossanitário	5	0	0,00%
Estrutural x hidrossanitário	269	77	28,62%
Total	1040	123	11,83%

Fonte: Autor, 2023

A grande quantidade de falsos apontamentos destaca a importância de um conhecimento prévio acerca dos elementos possivelmente conflitantes e da realização da vistoria virtual para uma detecção dos *clash* significativos, onde de um total de 1040 apontamentos levantados nos ensaios gerais apenas 123 foram apontados como significativos e representariam um futuro conflito durante a execução da obra, representando um total de 11,83%.

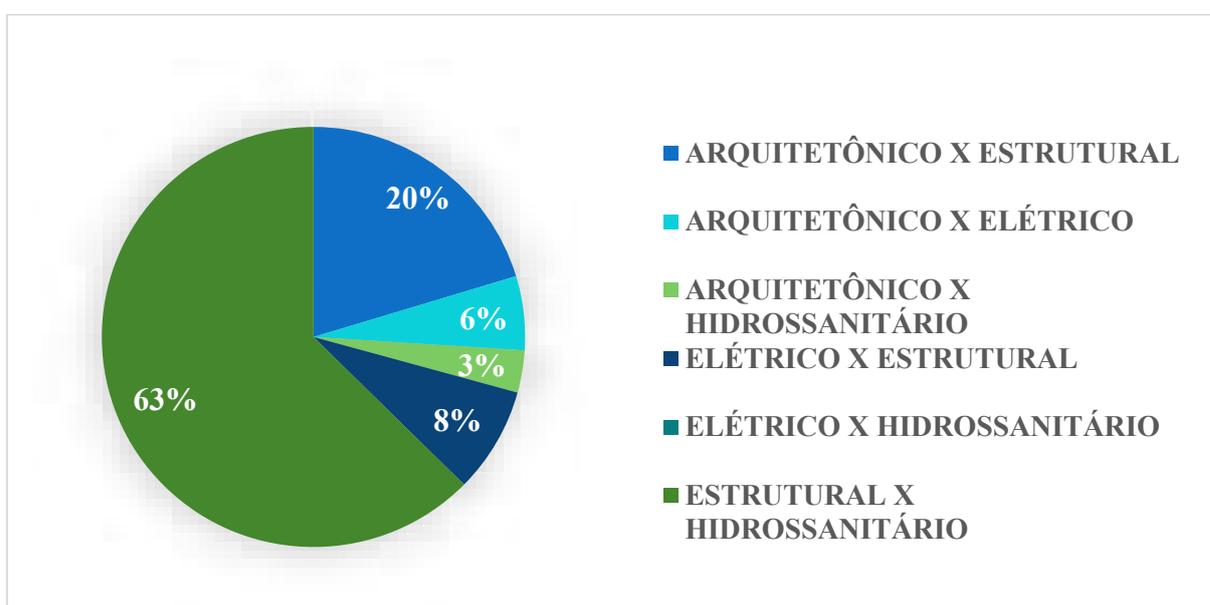
Nas disciplinas de estrutura e hidráulica foi observado a maior quantidade de choques significativos, onde por sua vez, representaram 28,62% em relação a quantidade total identificada que foi 269. Os testes entre as demais disciplinas apesar de alguns apresentarem uma maior quantidade de detectados foi possível observar que as interferências significativas representaram um menor percentual, como por exemplo, o teste entre arquitetura e estrutura que apontou 335 conflitos, sendo que somente 25 tiveram relevância.

O projeto elétrico e hidrossanitário contiveram poucos conflitos detectados, porém vale ressaltar que o local exato da passagem dos eletrodutos e tubulações, bem como em alguns casos a altura de pontos, não foram devidamente especificadas nos projetos. Entre os projetos não foi possível identificar conflitos significativos. Com isso fica evidente a importância de um

bom detalhamento dos projetos com a distância e altura de passagem de tubulações, para que seja possível a previsão de futuros conflitos em obra de forma consistente e precisa.

Conforme evidenciado na Tabela 12, observa-se que os conflitos significativos não se distribuem uniformemente entre as combinações de disciplinas. A Figura 38 complementa essa análise, oferecendo um gráfico que detalha a distribuição dos conflitos significativos em cada conjunto de disciplinas. Essa abordagem permite uma compreensão mais clara das áreas onde esses conflitos críticos são mais predominantes.

Figura 38 - Conflitos significativos percentual



Fonte: Autor, 2023

Um ponto importante a se destacar é o baixo percentual de conflitos significativos entre as disciplinas de arquitetura e hidráulica, é possível que caso seja realizado ajustes nas alturas e passagens das tubulações provenientes das alterações e ajustes devido aos conflitos entre estrutural e hidrossanitário, venha impactar num aumento entre os conflitos significativos dos testes entre essas disciplinas. Conseqüentemente, para um bom planejamento de obra e garantindo a qualidade no projeto, a realização desse processo de compatibilização é interessante ser refeita quantas vezes forem necessárias.

Percebe-se claramente que os conflitos relacionados à disciplina de estrutura constituem a grande maioria das interferências, totalizando 91% dos casos, conforme evidenciado na Figura 38. A presença predominante de conflitos nesta área exige um enfoque especial, visto que essas

questões não afetam somente a execução eficiente da obra, mas também a segurança dos futuros moradores, tornando imperativo um tratamento cuidadoso e eficaz.

A disciplina de elétrica mostrou a menor quantidade de conflitos significativos, em parte devido à maior maleabilidade de seus elementos, o que permite a resolução simples de conflitos físicos no local da obra. No entanto, é fundamental realizar ajustes nesta disciplina para prevenir conflitos gerados pela falta de experiência profissional, como o rompimento de pilares e vigas para a passagem de eletrodutos. Esta otimização assegura uma execução eficiente do projeto e reduz ocorrências inesperadas.

A tabela 12 disponibiliza um resumo abrangente das interferências identificadas. Nela, é realizada a compilação detalhada e catalogação dos conflitos que emergiram entre as disciplinas envolvidas. O foco principal desta tabela é destacar os conflitos de maior significância, que possuem potencial para impactar substancialmente o na execução da edificação.

Tabela 13 - Resumo de interferências

Disciplinas	Interferências identificadas	Quant.
Elé. X Est.	Pontos elétricos posicionados dentro de pilares	10
Est. X Arq.	Porta muito próxima a pilar	2
	Viga passando abaixo do forro	9
	Pilar desalinhado com parede	12
	Pilar atravessando janela	2
Elé. X Arq.	Eletroduto atravessando janela	1
	Ponto elétrico locado sobre janela	1
	Ponto elétrico locado no vazio	2
	Ponto elétrico sobre porta	3
Hid. X Arq.	Tubulação atravessando janela	2
	Tubulação em frente a porta caixa d'água	1
	Ausência de shaft	1
Hid. X Est.	Furo em viga em desacordo com ANBT NBR 6118	41
	Cano passando por pilar	9
	Conexões dentro de viga	25
	Conexões dentro de pilares	2

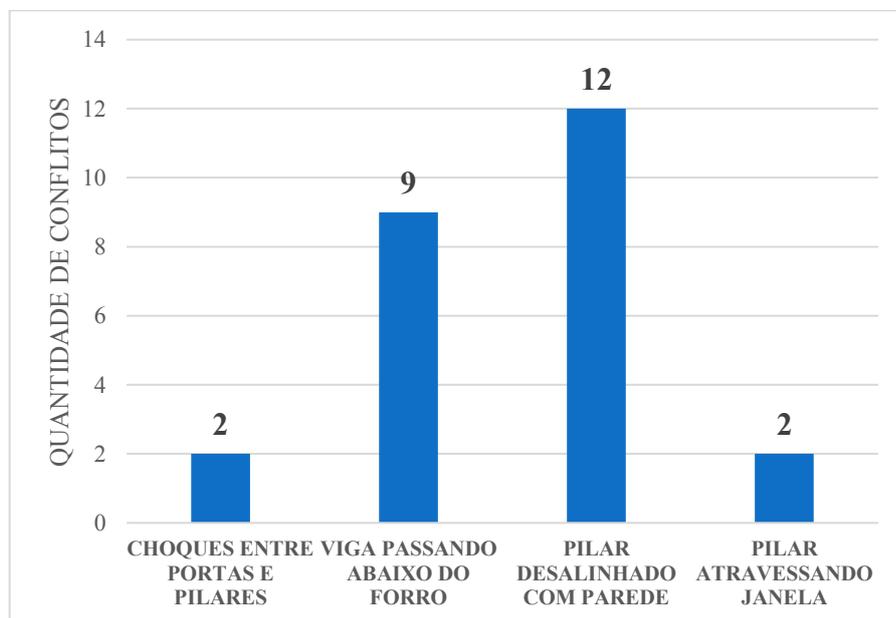
Fonte: Autor, 2023

Principalmente, projeto estrutural e hidrossanitário apresentaram a maior quantidade de interferências físicas, sendo o descumprimento da ABNT NBR 6118:2023 na maioria dos casos. Uma boa revisão e detalhamento tanto do projeto hidrossanitário quanto do estrutural acarretaria em uma obra bem mais segura e um projeto de maior qualidade.

4.2.1 Conflitos significativos entre os projetos de arquitetura e estrutura

Muitos falsos tipos conflitos foram apontados, porém apenas 4 apresentaram relevância, sendo em sua maioria os observados na análise preliminar, porém também foram identificados mais 2 tipos de conflitos, interseção de pilares com janelas e pouco espaçamento entre pilares e portas. O Gráfico 2 apresenta um resumo dos conflitos significativos entre as disciplinas de arquitetura e estrutura.

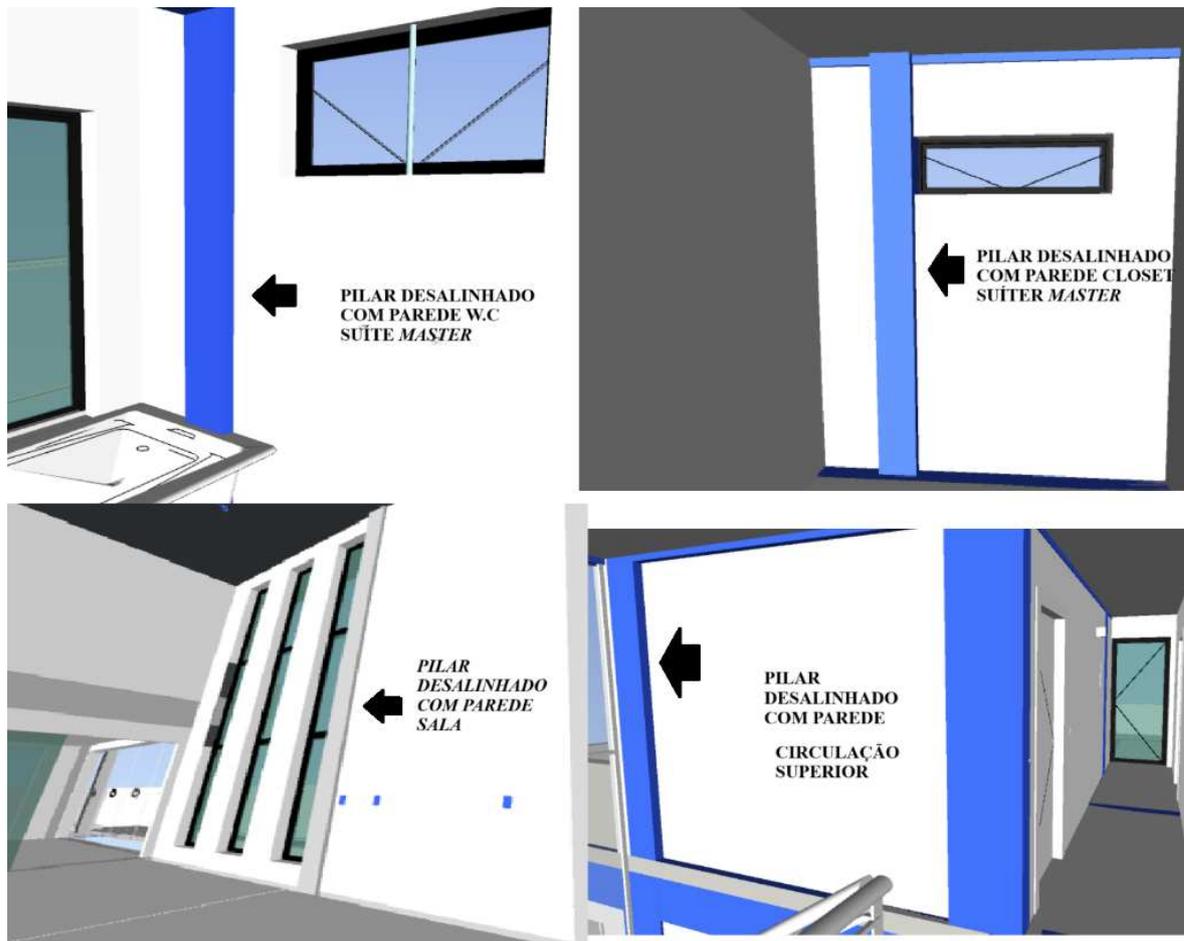
Gráfico 2 - Conflitos significativos arquitetônico x estrutural



Fonte: Autor, 2023

O conflito que apresentou maior quantidade de apontamentos foram os pilares desalinhados com as paredes, sendo observados em praticamente todos os ambientes, como na sala, quartos, banheiros, garagem e closets. A Figura 39 apresenta alguns ambientes onde foi observado esse tipo de incompatibilidade.

Figura 39 - Pilares desalinhados com parede

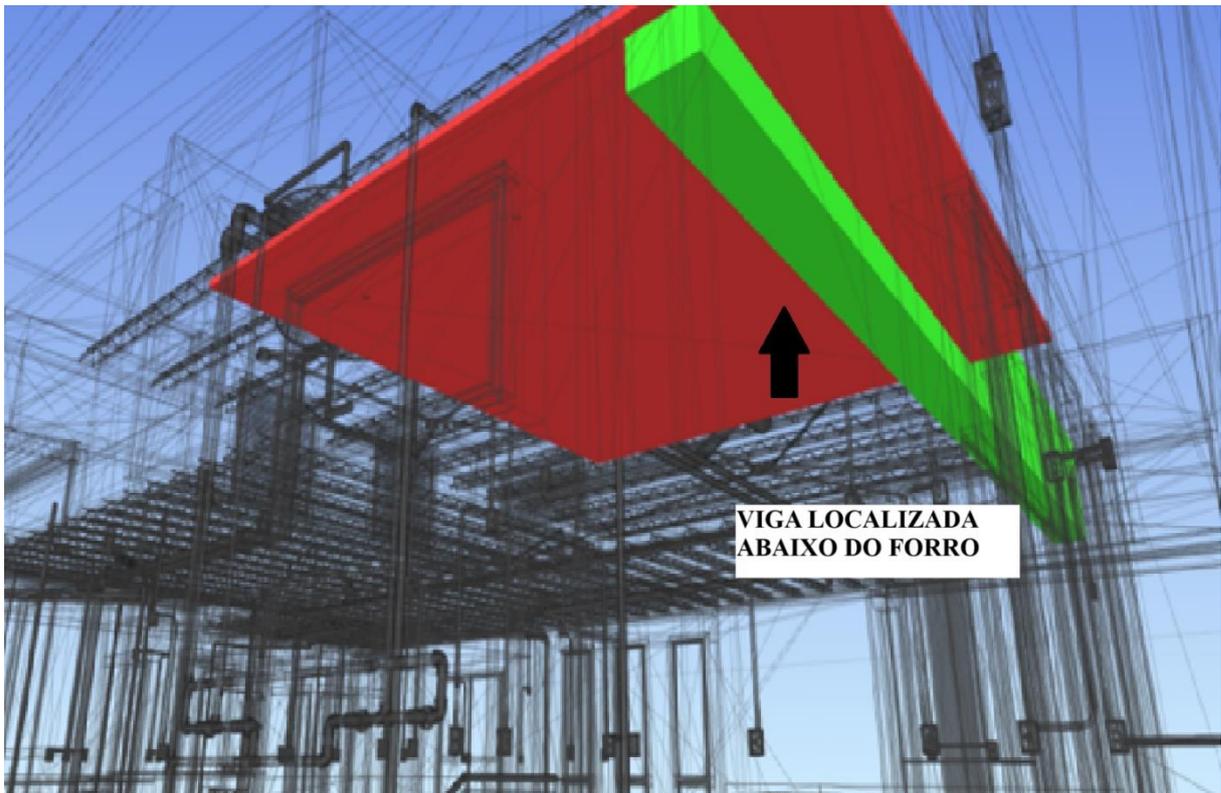


Fonte: Autor, 2023

A identificação dessa incompatibilidade ocorreu logo na vistoria virtual, sendo geralmente acarretada pelo não ajuste da espessura das paredes no projeto arquitetônico após o dimensionamento da estrutura ou pelo lançamento de forma incorreta de um pilar, não sendo levado em consideração seu embutimento na alvenaria. A ausência desse ajuste pode gerar transtornos durante a construção, podendo levar a problemas como: compra de um tijolo com dimensão inadequada, aumento na espessura do reboco interno, impacto na estética e funcionalidade do ambiente.

Em segundo lugar entre os conflitos significativos identificados entre a disciplina de arquitetura e estrutura, foi constatado que em diversos ambientes as vigas se localizavam abaixo do forro, que na maioria dos ambientes foi solicitado a altura de 2,6 metros. A Figura 40 apresenta um conflito identificado pelo *Clash detective* onde a viga da dependência de empresa passa abaixo do nível previsto de forro.

Figura 40 - Conflito entre forro e viga

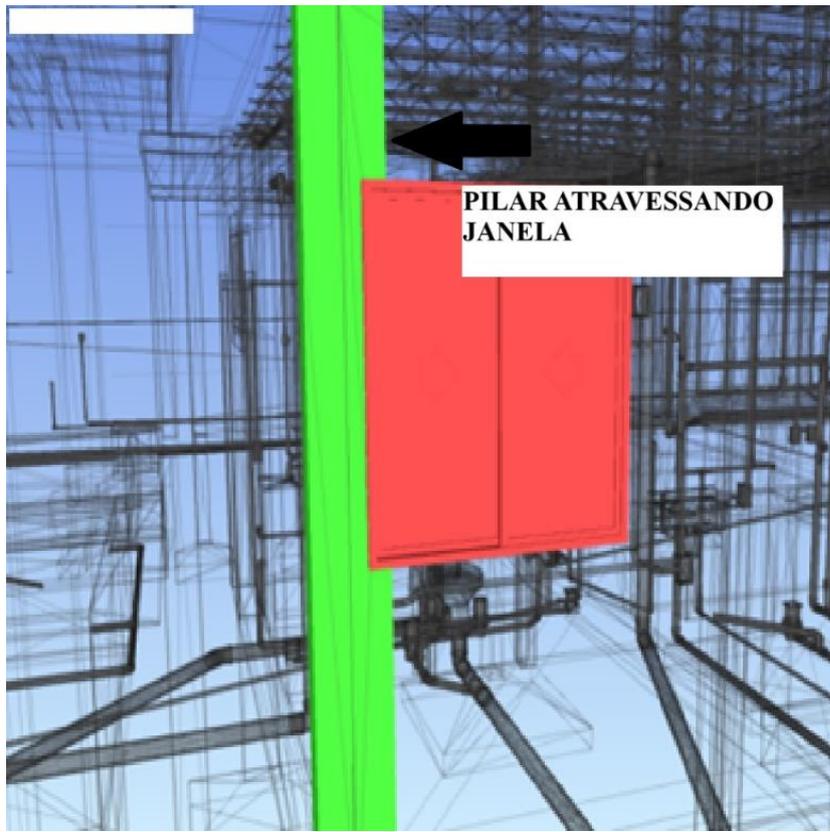


Fonte: Autor, 2023

A edificação apresenta grandes vãos, comum em residências de alto padrão, conseqüentemente foram dimensionadas vigas com grandes alturas para suportar as cargas submetidas pelo vão, acarretando em diversos conflitos entre forros e fundo das vigas, onde 9 vigas atravessavam o forro, uma solução para este conflito seria um aumento do pé direito entre o piso e o fundo da laje ou, caso possível utilização de vigas invertidas. Esse tipo de interferência geralmente quando não prevista em fase de projeto acarreta na redução dos pés direitos da residência provocando desconforto e redução da sensação de amplitude para os residentes.

Em menor quantidade, foram observados choques entre esquadrias e pilares, um empecilho onde um pilar é locado muito próximo ou sobre uma janela ou porta. A Figura 41 apresenta um conflito entre um pilar e uma janela no localizada na dependência de emprega.

Figura 41 - Conflito entre pilar e esquadria



Fonte: Autor, 2023

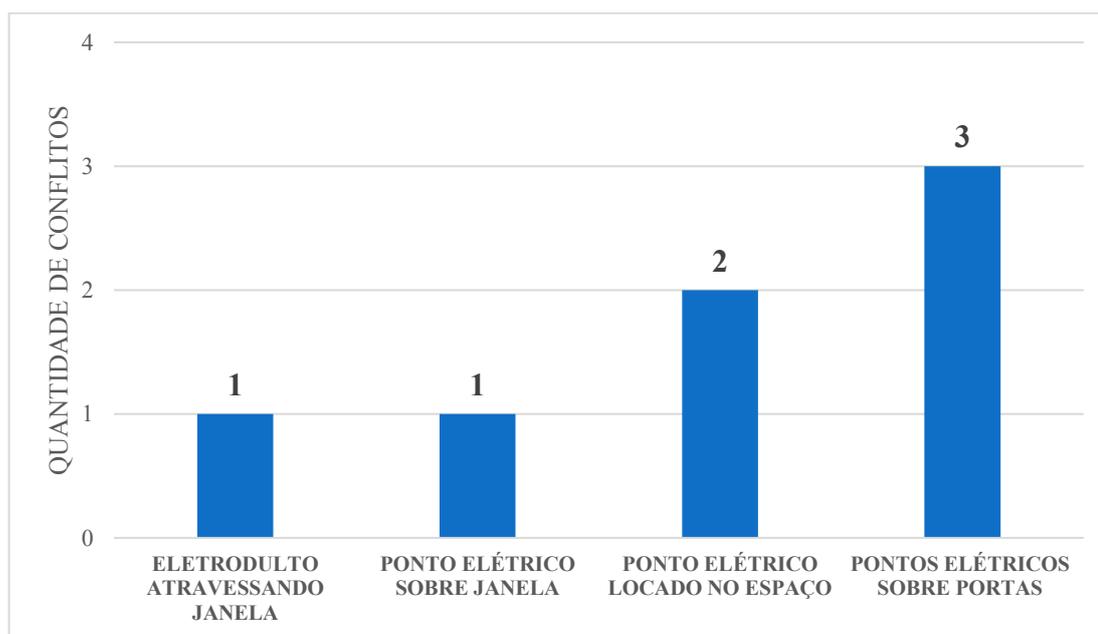
Embora possa parecer um conflito de menor importância à primeira vista, é crucial considerar que esse problema pode resultar em descontentamento e imprevistos significativos durante a construção. Tomemos como exemplo a instalação de portas de madeira, que requer uma folga em seu vão, de pelo menos, 3 centímetros de cada lado. Portanto, para uma porta de 70 centímetros, a abertura necessária seria de, no mínimo, 76 centímetros. Se isso não for possível devido à presença de um pilar, a única alternativa será reduzir o tamanho da porta, o que provavelmente insatisfará o cliente. Além disso, a falta de espaço para afastamento dessa esquadria pode levar à impossibilidade de sua instalação, gerando um problema ainda maior.

4.2.2 Conflitos significativos entre os projetos de arquitetura e instalações elétricas

Houve uma quantidade significativamente menor de conflitos detectados entre as disciplinas de arquitetura e instalações elétricas, totalizando 75 choques. No entanto, em relação

aos conflitos significativos, a diferença não foi tão marcante, com até mesmo um percentual maior quando comparado ao teste da disciplina de arquitetura e estrutura, conforme mostrado na Tabela 12. Os conflitos significativos estão principalmente relacionados à locação dos pontos e eletrodutos que atravessam esquadrias, conforme ilustrado no Gráfico 3, evidenciando a importância de abordar essas questões durante o processo de projeto.

Gráfico 3 - Conflitos significativos arquitetônico x elétrico

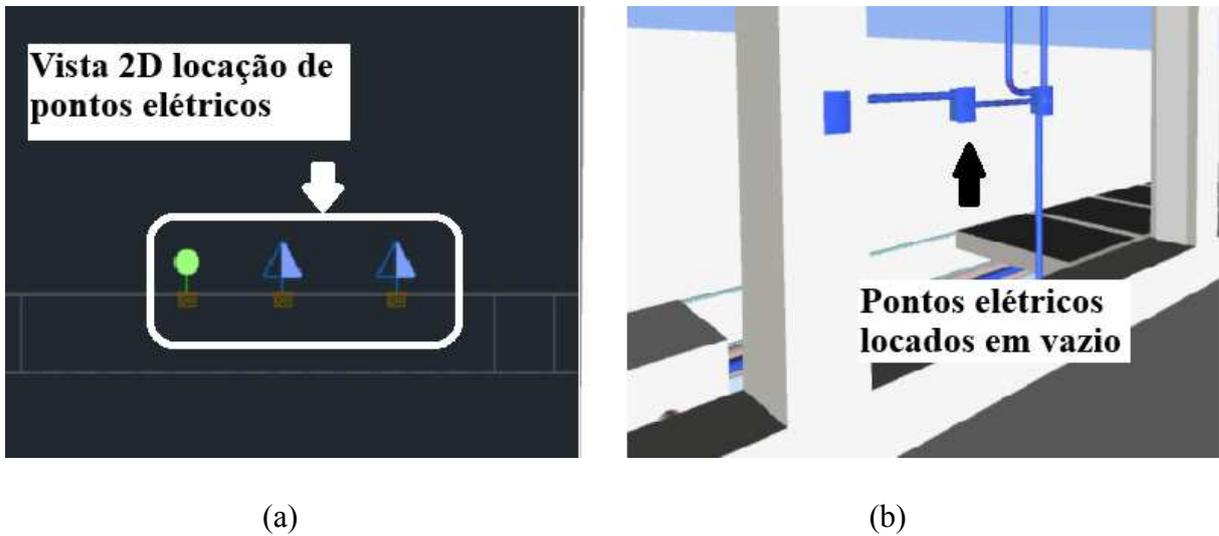


Fonte: Autor, 2023

Durante a modelagem utilizando a metodologia tradicional 2D, com projetos em CAD, é comum que devido a equívocos por parte dos projetistas, ao interpretarem a planta arquitetônica, ocorram erros na locação dos pontos. Isso pode acontecer quando o projetista interpreta uma linha como uma parede fechada, quando, na verdade, se trata de um espaço vazio.

A maioria dos conflitos significativos identificados entre essas disciplinas surgiu na etapa de vistoria virtual, ao analisar o ambiente em três dimensões. As Figura 42 e 51 apresentam conflitos gerados pela locação incorreta de pontos elétricos, um na garagem e outro no escritório, onde o projetista não considerou a altura final do peitoril e locou uma tomada em uma posição inadequada.

Figura 42 - Pontos elétricos locados no vazio: (a) locação de pontos elétricos em vista 2D (b) locação de pontos elétricos em vista 3D



Fonte: Autor, 2023

Figura 43 - Interferência entre esquadria e ponto elétrico: (a) locação de pontos elétricos em vista 2D (b) locação de pontos elétricos em vista 3D



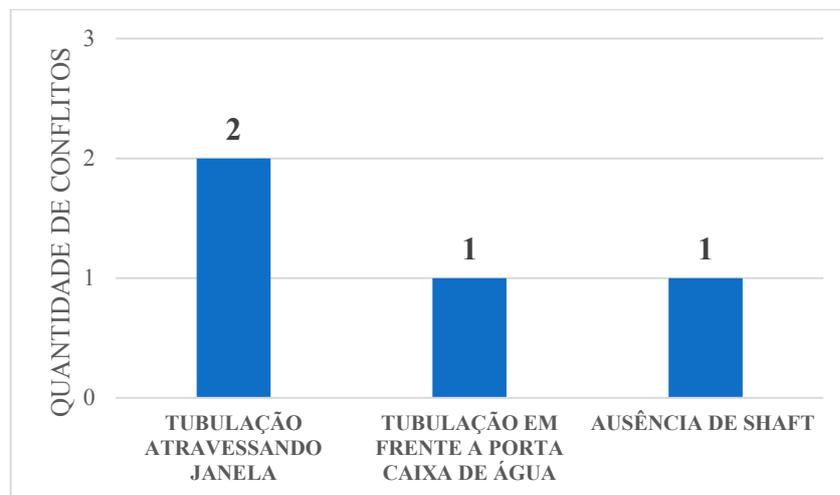
Fonte: Autor, 2023

Os erros de locação de tomadas e interruptores podem causar sérios problemas. Eles resultam em inconveniências para os usuários, como a falta de tomadas onde são necessárias e a presença de interruptores em locais impróprios. Além disso, esses erros podem levar a custosos retrabalhos para corrigir as instalações após a conclusão da obra. No do conflito apresentado Figura 43 o erro de locação provavelmente se deu devido a não conferência por parte do projetista elétrico acerca da altura do peitoril da janela do escritório.

4.2.3 Conflitos significativos entre os projetos de arquitetura e instalações hidrossanitárias

O projeto hidrossanitário contém diversos elementos, conseqüentemente na análise geral das disciplinas foi constatado um grande número de interferências, porém poucas dela se caracterizaram como significativas, foi observado uma porcentagem considerável falsas interferências, o Gráfico 4 apresenta os resultados obtidos após a filtragem dos resultados.

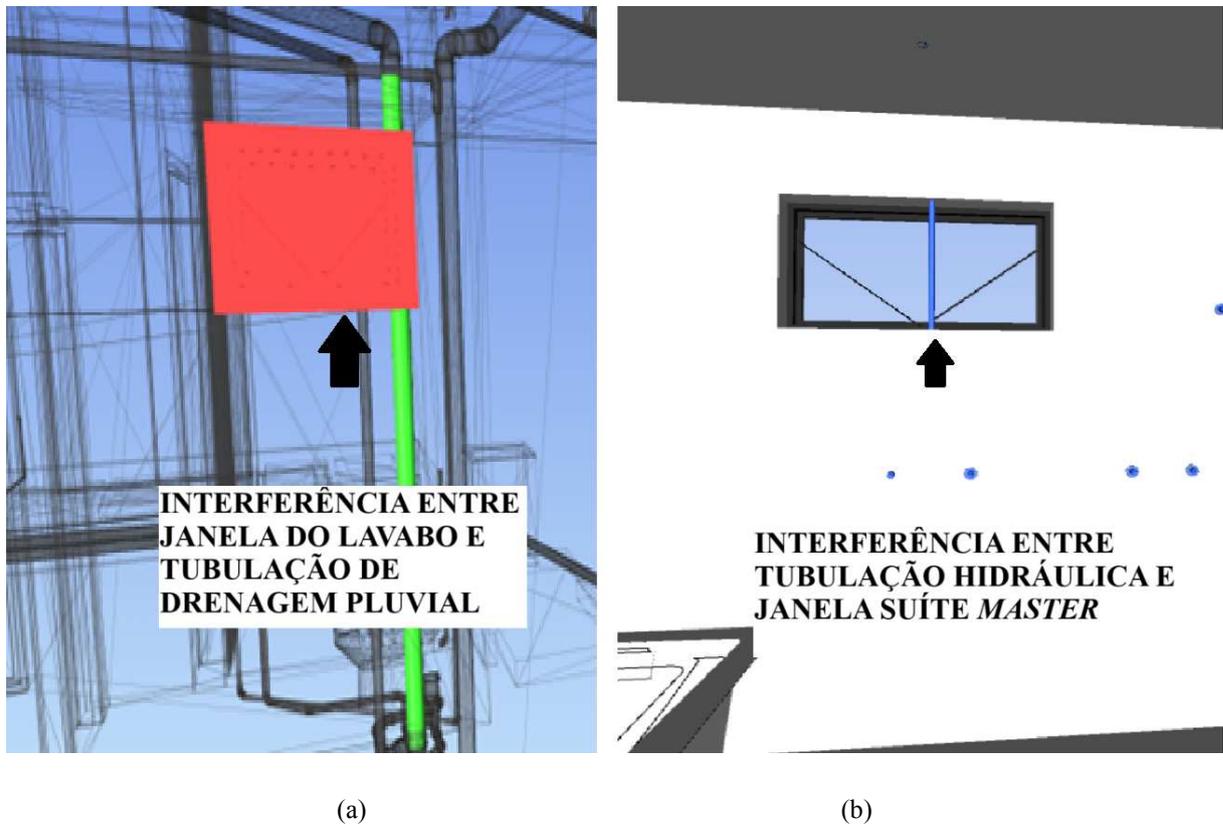
Gráfico 4 - Conflitos significativos arquitetônico x hidrossanitário



Fonte: Autor, 2023

Foi possível identificar 2 conflitos resultantes entre janelas e tubulações, um sendo encontrado no banheiro da suíte master, onde uma tubulação que alimentaria o chuveiro de teto atravessa a janela presente no banheiro, e outro na garagem onde uma tubulação de drenagem pluvial atravessa a janela de ventilação do lavabo.

Figura 44 - Interferência entre janelas e tubulações: (a) interferência entre janela do lavabo e tubulação pluvial garagem (b) interferência tubulação hidráulica e janela banheiro suíte *master*

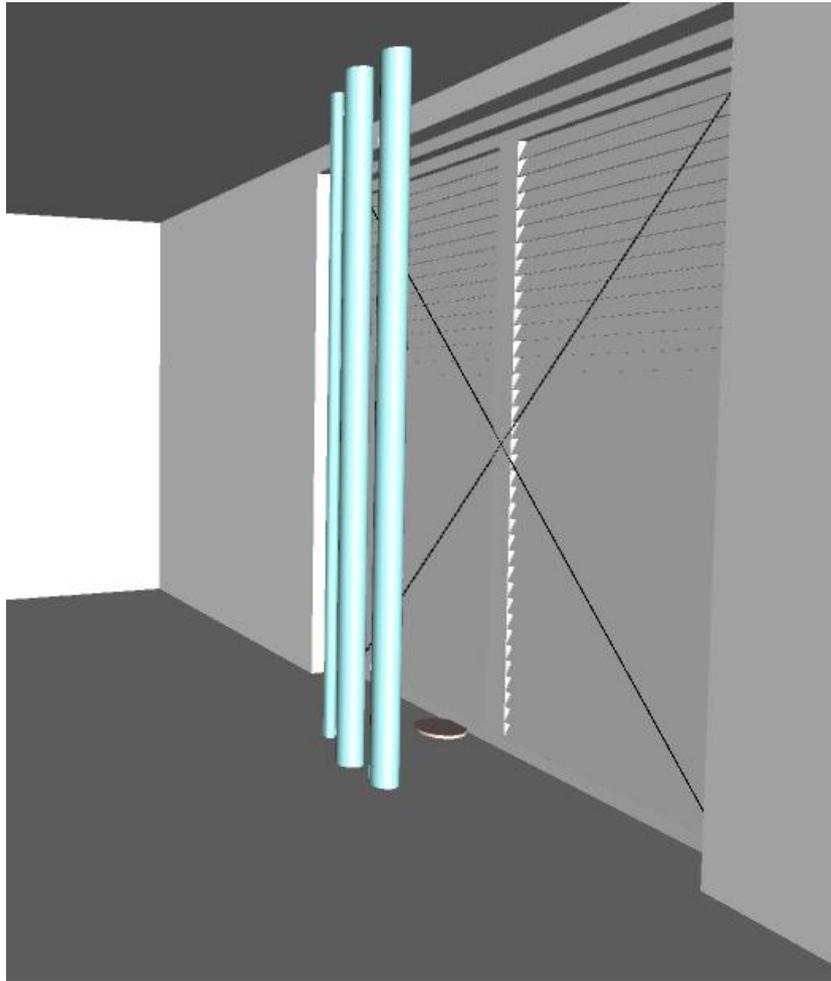


Fonte: Autor, 2023

A ausência de uma boa de uma boa análise das prumadas geralmente é causadora desse tipo de conflito, onde não é avaliado o impacto da descida da tubulação seja de pluvial ou de esgoto do pavimento superior, impactando diretamente no posicionamento da esquadria, ou até impossibilitando a instalação da mesma. A realização de projetos em softwares 2D facilitam a ocorrência de tais conflitos, uma vez que o projetista não tem uma visualização 3D da edificação.

De forma semelhante, foi possível identificar no pavimento da cobertura passagem inadequada de uma prumada hidráulica, onde os tubos foram posicionados em frente a porta de entrada da caixa d'água impossibilitando o acesso, conforme apresentado na Figura 45.

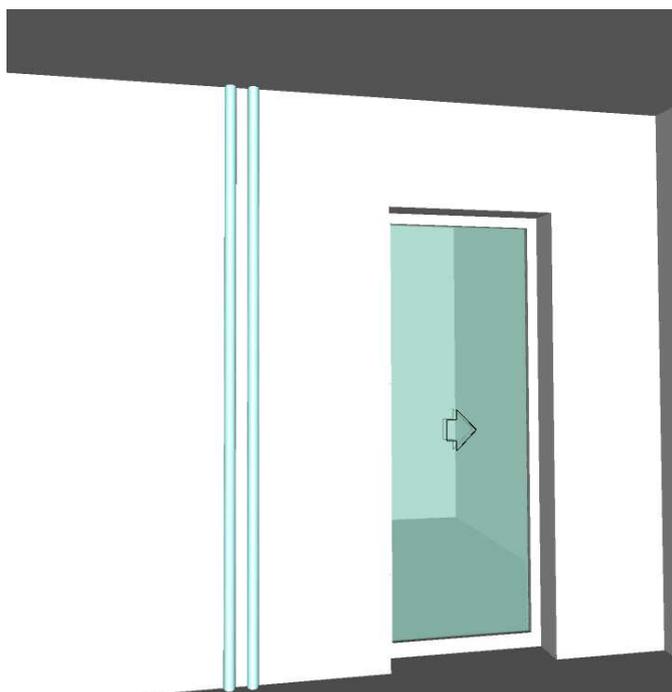
Figura 45 - Prumada hidráulica locada em frente a porta da caixa de água



Fonte: Autor, 2023

Essa alocação inadequada poderia dificultar o acesso à caixa de água para manutenção ou inspeção, além de ser uma localização potencialmente inconveniente e antiestética para a porta de entrada do ambiente. Para solucionar essa questão, uma alternativa seria redesenhar a distribuição das tubulações ou então realizar o deslocamento da porta de acesso. No entanto essas mudanças podem vir a criar outras incompatibilidades gerando estresse e importunação durante a execução. Por fim, foi observado na vistoria virtual que a prumada hidráulica no quarto 1 se encontrava fora da alvenaria, conforme apresentado na Figura 46.

Figura 46 - Prumada de água locada fora da parede



Fonte: Autor, 2023

A prumada hidráulica foi instalada de forma inadequada, projetando-se para fora da parede. Essa configuração compromete a estética do ambiente e pode criar dificuldades na futura manutenção. Nesse caso a solução seria simples, podendo ser realizado o reposicionamento da prumada ou a realização de um shaft, mas faz-se necessário uma análise dos impactos dessas alterações.

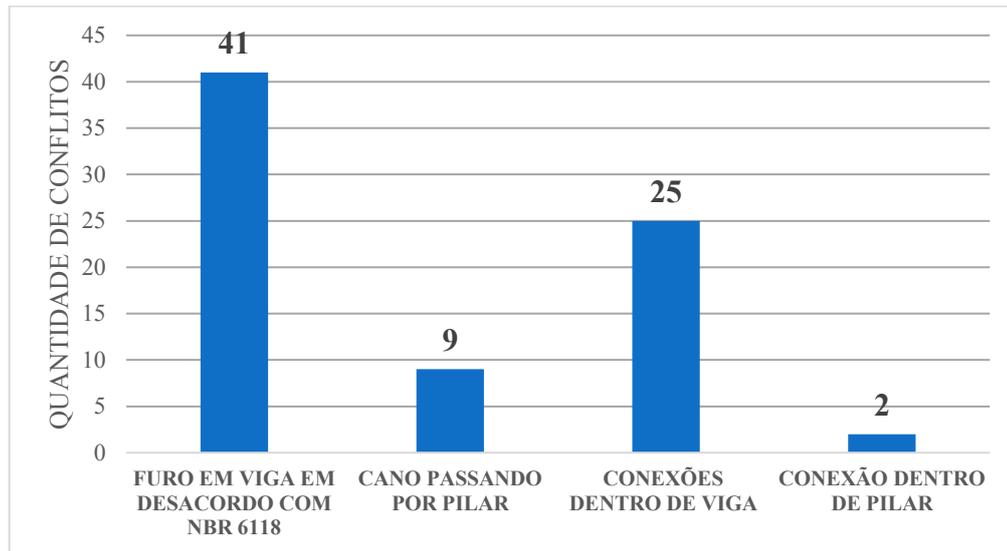
Para finalizar, os conflitos entre as disciplinas de hidráulica e arquitetura, embora tenham apresentado um número menor de conflitos significativos, merecem atenção. Pois essas discordâncias levam à insatisfação do cliente e a despesas adicionais. Além disso, os ajustes em obra tornam futuras manutenções mais complicadas, pois ao modificar o posicionamento inicial projetado, a documentação existente e as diretrizes originais perdem precisão.

4.2.4 Conflitos significativos entre os projetos de estrutura e instalações hidrossanitárias

Não foram identificados conflitos significativos entre lajes e as tubulações/conexões, os conflitos relevantes identificados pelo Clash Detect representam o maior percentual em relação

aos conflitos totais identificados nas diversas disciplinas, onde 28,62% das interferências podem vir a causar problemas na construção ou precisam ser revisadas em projeto. Foram identificadas diversas conexões hidráulicas inseridas dentro de vigas e pilares.

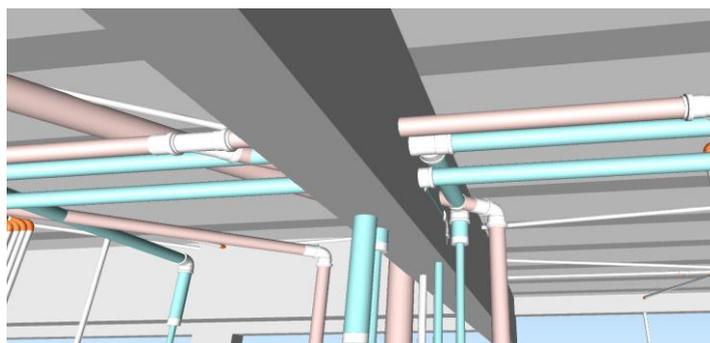
Gráfico 5 - Conflitos significativos estrutural x hidrossanitário



Fonte: Autor, 2023

Entre os conflitos significativos, 41 estão relacionados a passagem de tubulações pelas vigas, onde seria necessário a realização de uma revisão e detalhamento em projeto para sua compatibilização, entre as irregularidades foram observados: tubulação desrespeitando o cobrimento mínimo de armadura no furo da viga, passagem pela zona de compressão da viga, passagem muito próxima ao pilar não sendo respeitado a distância de 2 vezes a altura da viga, excesso de canos passando muito próximos não sendo respeitado o valor de 2 vezes a altura da viga, cano maior que o aceitável pela ABNT NBR 6118:2023 atravessando viga verticalmente. A Figura 47 apresenta uma viga presente entre a cozinha e a área de serviço, onde é possível observar a passagem de diversas tubulações na mesma.

Figura 47 - Tubalões atravessando viga



Fonte: Autor, 2023

Furos não previstos em projetos são um desafio enfrentado com frequência na construção civil. Em muitos casos, os profissionais são obrigados a realizar adaptações não planejadas para a passagem de tubulações. Esse tipo de intervenção pode resultar em sérios problemas, como a diminuição da capacidade de carga das estruturas e complicações na manutenção. Visando a execução fluída da obra e a segurança dos futuros moradores seria de suma importância uma revisão completa na passagem das tubulações antes mesmo do início da obra, porém isso não foi realizado, o item 4.3.5 apresenta alterações realizadas pelo bombeiro hidráulico durante a execução.

4.2.5 Conflitos significativos entre os projetos de estrutura e instalações elétricas

De forma semelhante ao projeto hidrossanitário, foram encontrados diversos conflitos envolvendo os eletrodutos e as vigas, que caso executados conforme o projeto resultariam em furos em locais inadequados. Porém, é de praxe a utilização de eletrodutos flexíveis possibilitando o contorno de vigas e pilares. Dessa forma, apenas conflitos envolvendo a locação de pontos elétricos foram identificados como significativos conforme apresentado no Gráfico 1Gráfico 6.

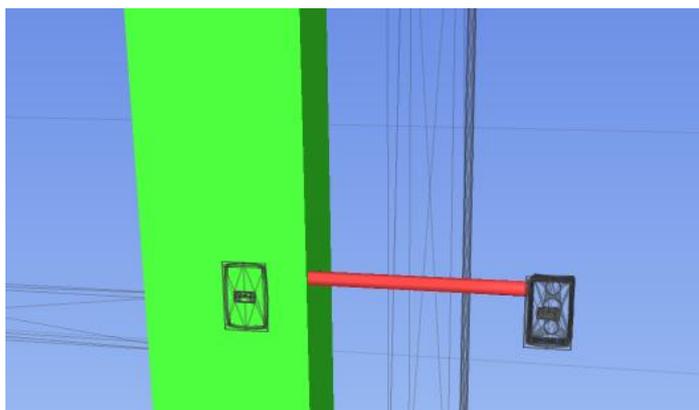
Gráfico 6 - Conflitos significativos elétrico x estrutural



Fonte: Autor, 2023

O projeto elétrico baseou-se em um projeto original em ambiente 2D, buscando manter a fidelidade ao apresentado. No entanto, devido à natureza 2D, algumas informações foram presumidas, como trajetórias horizontais de eletrodutos e passagens para fiação de iluminação, conforme detalhado na seção 3.2. Conseqüentemente, muitos conflitos de modelagem só se manifestaram na prática. A Figura 48 exemplifica um desses conflitos, envolvendo a locação de uma tomada e um pilar estrutural na suíte *master*.

Figura 48 - Pontos elétrico locado dentro de pilar



Fonte: Autor, 2023

Conflitos envolvendo a locação de pontos elétricos dentro de pilares em um projeto, apesar de parecer um problema de rápida resolução pode resultar em sérios problemas. Primeiramente, a necessidade de correção durante a obra acarreta custos adicionais e atrasos. Além disso, a relocação desses pontos elétricos pode ser complicada, tornando futuras manutenções uma tarefa desafiadora, já que não se pode prever com clareza a passagem dos eletrodutos.

4.2.6 Conflitos significativos os projetos de instalações elétricas e hidrossanitárias

Os conflitos observados entre os projetos hidrossanitários x elétrico foram de irrelevantes a caráter construtivo, vistos que não geram malefícios estruturais, nem impossibilitam a execução um do outro.

4.2.7 *Resumo dos conflitos significativos*

A tabela 12 disponibiliza um resumo abrangente das interferências identificadas. Nela, é realizada a compilação detalhada e catalogação dos conflitos que emergiram entre as disciplinas envolvidas. O foco principal desta tabela é destacar os conflitos de maior significância, que possuem potencial para impactar substancialmente o na execução da edificação.

Tabela 14 - Resumo de interferências

Disciplinas	Interferências identificadas	Quant.
Elé. X Est.	Pontos elétricos posicionados dentro de pilares	10
Est. X Arq.	Choque entre portas e pilares	2
	Viga passando abaixo do forro	9
	Pilar desalinhado com parede	12
	Pilar atravessando janela	2
Elé. X Arq.	Eletroduto atravessando janela	1
	Ponto elétrico locado sobre janela	1
	Ponto elétrico locado no vazio	2
	Ponto elétrico sobre porta	3
Hid. X Arq.	Tubulação atravessando janela	2
	Tubulação em frente a porta caixa d'água	1
	Ausência de shaft	1
Hid. X Est.	Furo em viga em desacordo com ABNT NBR 6118	41
	Cano passando por pilar	9
	Conexões dentro de viga	25
	Conexões dentro de pilares	2

Fonte: Autor, 2023

Principalmente, projeto estrutural e hidrossanitário apresentaram a maior quantidade de interferências físicas, sendo o descumprimento da ABNT NBR 6118:2023 na maioria dos casos. Uma boa revisão e detalhamento tanto do projeto hidrossanitário quanto do estrutural acarretaria em uma obra bem mais segura e um projeto de maior qualidade.

Uma parcela significativa dos conflitos identificados teve origem em problemas de locação e na falta de uma adequada compatibilização. Apesar dos esforços para manter a modelagem paramétrica 3D fiel aos desenhos 2D dos projetistas, sendo seguido seus traços e legendas, algumas informações foram supostas na hora da modelagem. Desse modo, uma modelagem bem especificada, contendo informações únicas e precisas acerca das instalações

dos elementos presentes nos objetos é de suma importância para uma boa compatibilização e, consequentemente, redução ocorrência de conflitos durante a obra.

Os resultados apresentados são frutos da primeira compatibilização realizada entre os projetos disponibilizados, é esperado que ao se realizar os ajustes e detalhamentos a quantidade de conflitos significativos reduza. Porém os ajustes trarão consigo também o surgimento de novas interferências, acarretadas pelas alterações, cabe ao projetista com uso da sua expertise ponderar acerca das modificações necessárias para realização da compatibilização de forma mais prática possível, a utilização do BIM, facilita muito durante a análise do projeto, validando a sua utilização e compensando o desprendimento de tempo para a realização.

A partir da Tabela 13, é possível concluir que os conflitos impactam na construção e na edificação das mais diferentes formas, impactando em atrasos na obra, custos adicionais, redução de qualidade, descontentamento e desconforto para os moradores. Outro ponto preocupante observado está relacionado a segurança da edificação, onde foram apontados diversos elementos em conflito com as exigências normativas. Visto isso, a metodologia apresentada na compatibilização obteve resultados importantes que deveriam ter sido avaliados antes da execução da edificação.

4.3 Interferências no navisworks x verificação in loco

Em posse dos conflitos identificados com a compatibilização dos projetos foi realizada a vistoria *in loco*, para avaliar os impactos. A vistoria foi realizada no dia 31 de agosto de agosto, onde o proprietário e a construtora “J” deram permissão para sua realização. A casa já se encontrava em fase de acabamentos finais, dessa forma, não foi possível realizar a averiguação de que forma ocorreu a passagens de tubulações, eletrodutos e furos em vigas. Para isso, foram utilizadas imagens disponibilizadas pela construtora, porém muitos conflitos identificados em fase de compatibilização não puderam ser averiguados.

Durante a vistoria em posse da lista de conflitos significativos foram avaliados os impactos dos conflitos na obra, devido a atual etapa da obra os conflitos relacionados a furos em vigas não foram possíveis de serem observados, devido a passagem da tubulação, seria interessante uma vistoria previamente a instalação do forro de gesso. Contudo, através de fotos

foi possível constatar que foram realizados furos irregulares nas vigas, indo contra a norma de segurança e prejudicando a segurança da edificação como um todo.

4.3.1 Tubulação atravessando a janela

Na análise realizada entre o projeto arquitetônico e estrutural foi constatado que na suíte *master* a tubulação de água do chuveiro estava posicionada atravessando a janela presente na parede direita do banheiro, devido a essa tubulação a esquadria foi retirada na execução como apresentado na Figura 49.

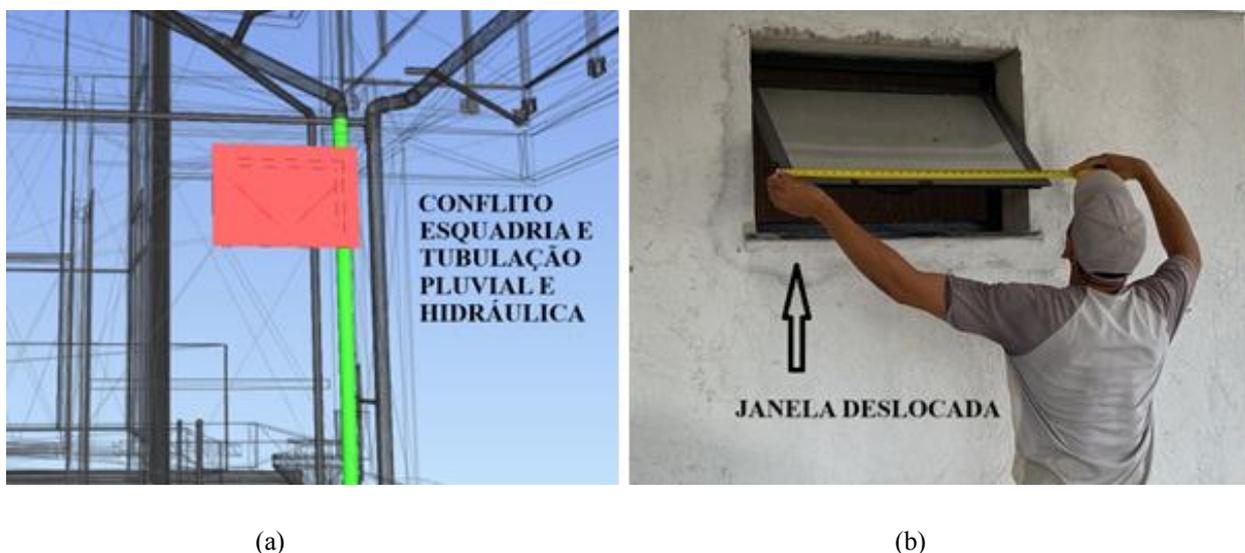
Figura 49 – Conflito de tubulação hidráulica atravessando vão janela banheiro suíte *master*: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra



Fonte: Autor, 2023

Além da inconveniência gerada para o cliente e a construtora esse conflito pode desencadear uma série de desvantagens significativas. A ausência da janela afeta a qualidade do ambiente, reduzindo a ventilação e a entrada de luz natural. Isso pode resultar em uma atmosfera menos agradável e menos saudável no banheiro. Além disso, a remoção da janela prejudica a estética do espaço, tornando-o menos atraente. A Figura 50 aponta outro conflito análogo foi observado na garagem onde a tubulação de rede pluvial atravessa a janela do lavabo.

Figura 50 – Conflito detectado entre janela e tubulação pluvial garagem: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra



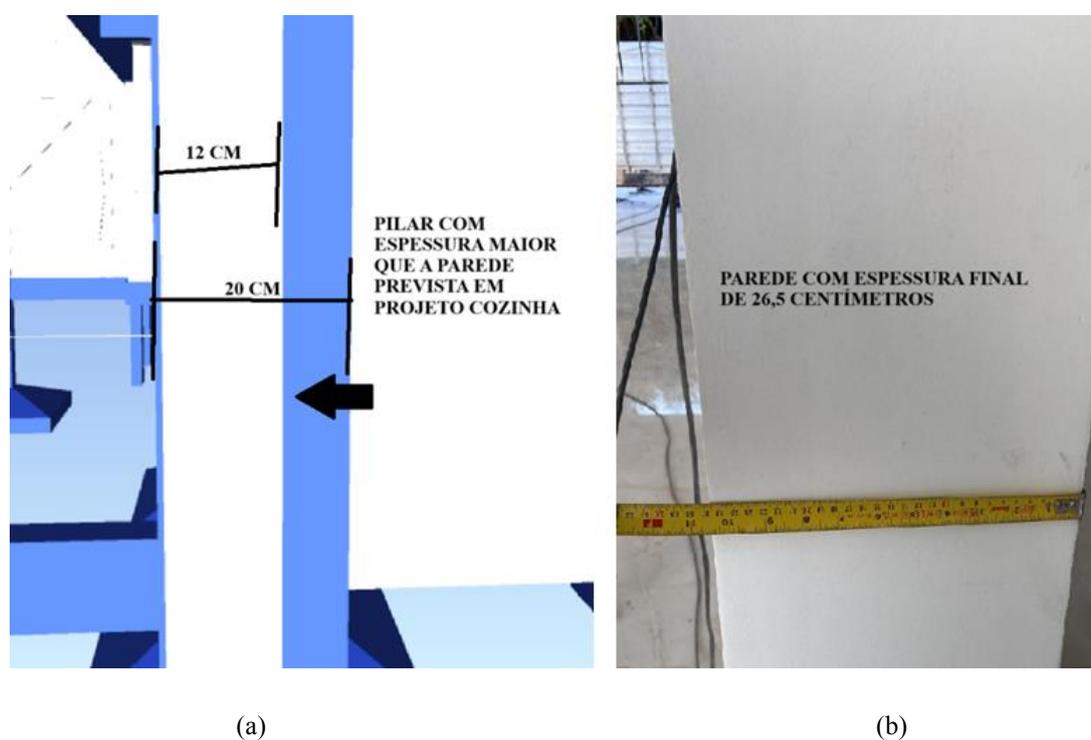
Fonte: Autor, 2023

Apesar de causar menor impacto em comparação com o conflito anteriormente apresentado, esse conflito foi solucionado com o deslocamento da janela, porém esses conflitos poderiam ter gerado ainda mais insatisfação e prejuízo por parte dos clientes, onde os mesmos poderiam ter realizado a compra da esquadria previamente a passagem da tubulação ou a análise do conflito. Em vista disso, conforme citado no item 3.3.2, é de suma importância a avaliação acerca das prumadas hidrossanitárias sendo avaliado seu impacto diante dos demais componentes da casa.

4.3.2 *Paredes desalinhadas com pilares e vigas*

A maior quantidade de interferências constatadas entre os projetos de estruturas e arquitetura foram referentes ao desalinhamento entre pilares e paredes. As paredes foram projetadas no projeto arquitetônico para serem de 12 e 18 cm, porém devido a espessura das vigas e pilares suas espessuras ficaram com medidas diversas, foi possível observar in loco que a espessura do reboco interno foi de mais de 5 cm em determinados locais da casa, para que fosse possível esconder os pilares na parede. A Figura 53 apresenta um comparativo entre a espessura prevista em projeto e a espessura final observada *in loco* parede da cozinha.

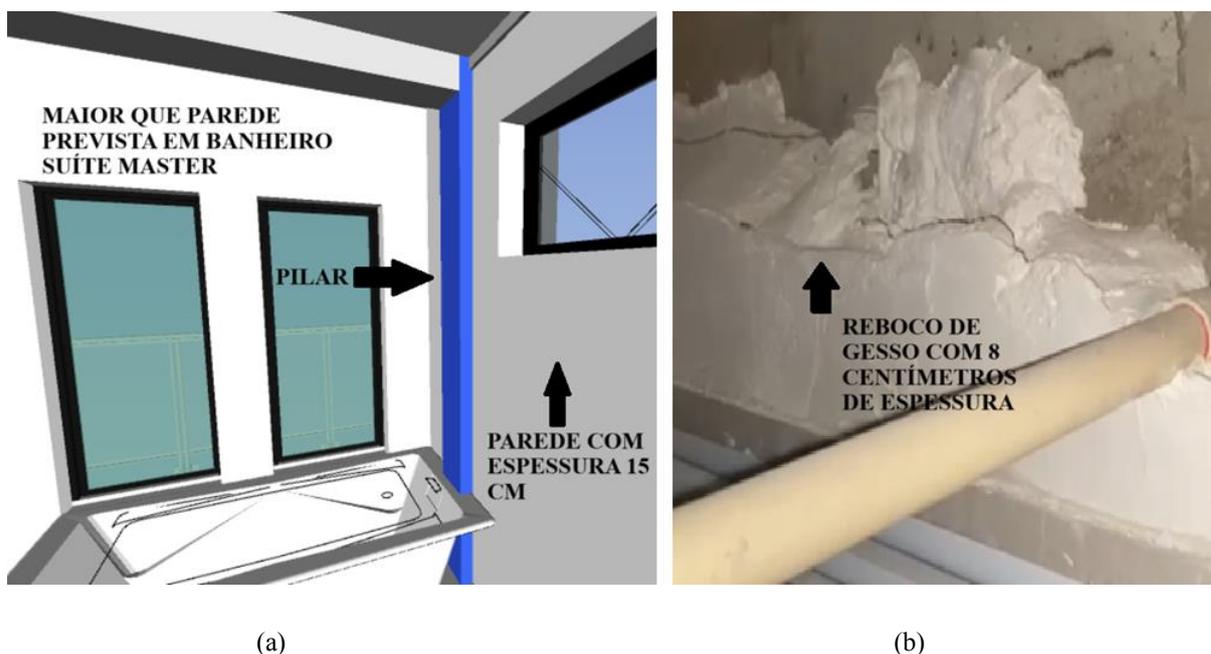
Figura 51 –Espessura de paredes menor que espessura de pilar na cozinha: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra



Fonte: Autor, 2023

Um aumento na espessura final das paredes em vários locais foi observado. O encarregado da obra indicou que devido a largura dos pilares foram de tijolos mais espessos, e foi realizado um aumento da espessura do reboco interno em determinados espaços. Como consequência, houve um aumento na quantidade de material utilizado, acarretando custos adicionais. Além disso, houve uma extensão do cronograma de construção devido ao tempo extra necessário para a aplicação do reboco mais espesso. A Figura 54 ilustra esse problema no banheiro da suíte master, onde o reboco possui espessura superior a 5 cm.

Figura 52 –Espessura de paredes menor que espessura de pilar: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra



Fonte: Autor, 2023

A pilar foi locado em sentido transversal a direção da parede, sendo necessário um grande incremento de reboco para ocultar a seção do pilar. De acordo com a tabela da SINAPI 2023 do estado do Ceará sem desoneração, é possível observar que a diferença entre os preços da aplicação de gesso manualmente com espessura de 1,0 cm e a aplicação de 1,5cm de espessura é maior de R\$ 7/m². Com isso, fica evidente que houve um grande aumento nos gastos vistos que certos ambientes ficam com uma espessura de reboco de gesso de 8 cm. Não foi possível a mensuração real do gasto visto que na vistoria a casa já se encontrava toda rebocada e com seu forro realizado.

A utilização de um reboco com grande espessura acarretou não apenas uma oneração financeira, mas também uma redução na qualidade final da parede pois um reboco grosso dificulta a regularização da parede além de causar fissuras geradas pela secagem irregular do mesmo. Para mais, o peso adicional de um reboco espesso pode causar desprendimentos. Portanto, a observação e possível ajuste na espessura das paredes, bem como uma reanálise na locação dos pilares, seria extrema importância para garantir uma obra mais eficiente e de maior qualidade.

4.3.3 Vigas localizadas abaixo do forro

O segundo maior conflito detectado entre as disciplinas de arquitetura e estruturas foi que 9 vigas passavam abaixo do nível previsto em projeto para o forro, sendo observado em diversos ambientes conforme apresentado no item 4.2.1. Durante a visita *in loco* constatou-se uma redução considerável no pé direito dos cômodos, a Figura 53 apresenta a detecção das vigas no navisworks e seu impacto nos ambientes da suíte master e cozinha.

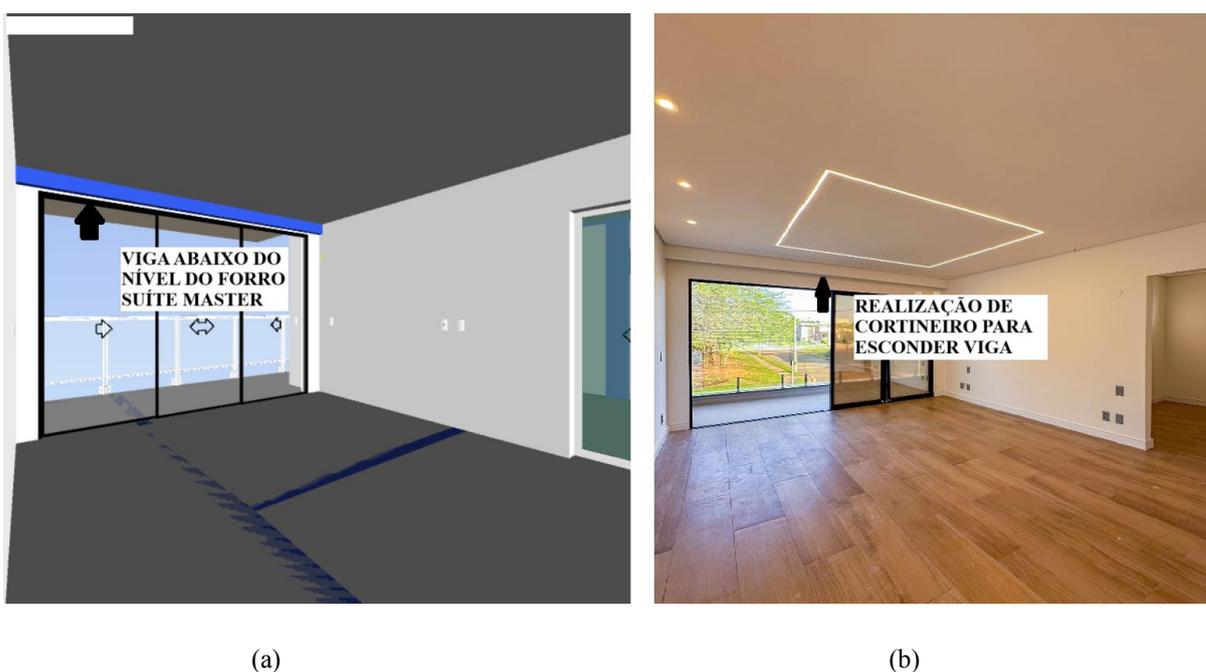
Figura 53 - Viga abaixo do nível do forro: (a,c) detecção no Navisworks (b,d) solução em obra



Fonte: Autor, 2023

Conforme apresentado no projeto, a altura prevista no projeto executivo era de 2,6 m do piso pronto até a altura do forro gesso acartonado, porém alguns ambientes ficaram com alturas abaixo de 2,45 m, a redução do pé direito causa impacto negativo pois reduz a sensação de amplitude e conforto dos espaços, tornando o ambiente claustrofóbico e limitando a circulação de ar no mesmo. Além da redução dos pés direitos, a passagem de uma viga na suíte *master* tornou necessária a realização de um cortineiro para escondê-la.

Figura 54 - Viga abaixo do nível do forro suíte master: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra



Fonte: Autor, 2023

A Tabela 15 apresenta os valores de pé direito finais dos cômodos, no qual em todos cômodos foi possível observar uma redução no mesmo. Os ambientes que apresentaram maior desnível entre o projetado e executado foi o banheiro do deck, dependência de empregada, escritório e o *gourmet*, esses possuindo uma diferença de mais de 10 cm entre o projetado e o executado. A média entre a diferença pé direito planejado e executado dos cômodos ficou em 10 cm. Evidenciando que ocorreu uma redução, significativa do pé direito em diversos ambientes.

Tabela 15 - Pé direito real x projetado

Ambiente	Pé direito (cm)	Pé direito projetado (cm)	Desnível (cm)
Lavabo	253	260	-7
Garagem	250	260	-10
Gourmet	247	260	-13
Cozinha	247	260	-13
Escritório	242	260	-18
W.C Escritório	248	260	-12
Depósito	246	260	-14
Área de Serviço	245	260	-15
Dep. Func	243	260	-17
W.C Fun	247	260	-13
W.C Deck	240	260	-20
Suíte Master	256	260	-4
Closet Master	256	260	-4
W.C Master	250	260	-10
Suíte 01	253	260	-7
W.C 1	247	260	-13
Closet 01	253	260	-7
Suíte 02	252	260	-8
W.C 02	250	260	-10
Closet 02	253	260	-7
Circulação	257	260	-3

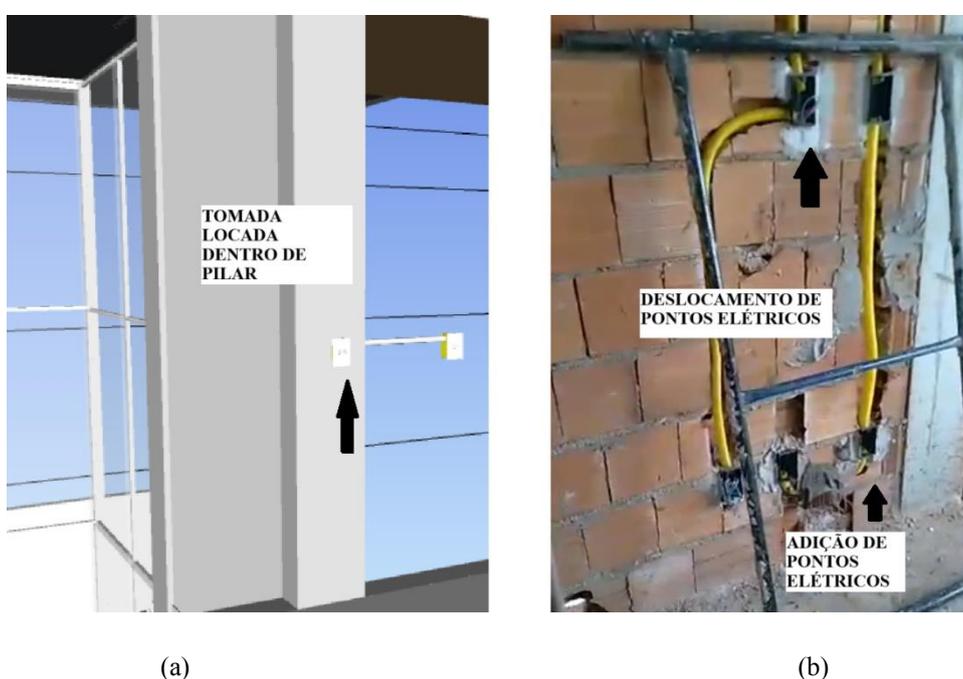
Fonte: Autor, 2023

Além de resultar em pés direitos menores que o solicitado em projeto, é possível aferir que as alturas ficaram totalmente despadronizadas, sendo incompatível com a qualidade esperada de obras de alto padrão. A detecção desse tipo de conflito ainda na fase de projeto seria de suma importância não só para o proprietário como para o construtor, não sendo necessário a realização de ajustes durante a obra. A redução da altura dos pés direitos também pode ter sido acarretada por alterações nas instalações hidrossanitárias, provenientes de ajustes gerados por travessias de tubulações em vigas, conforme será apresentado no item 4.3.5.

4.3.4 *Locações incorretas de tomadas e interruptores*

A locação de pontos elétricos gerou interferências tanto com a disciplina de arquitetura quanto com a de estrutura. Durante a compatibilização entre o projeto de instalações elétricas e o projeto estrutural foram observados diversos eletrodutos e caixas dentro de pilares, na maioria dos casos o conflito foi resolvido apenas com o deslocamento da caixa e do eletroduto conforme apresentado na Figura 55.

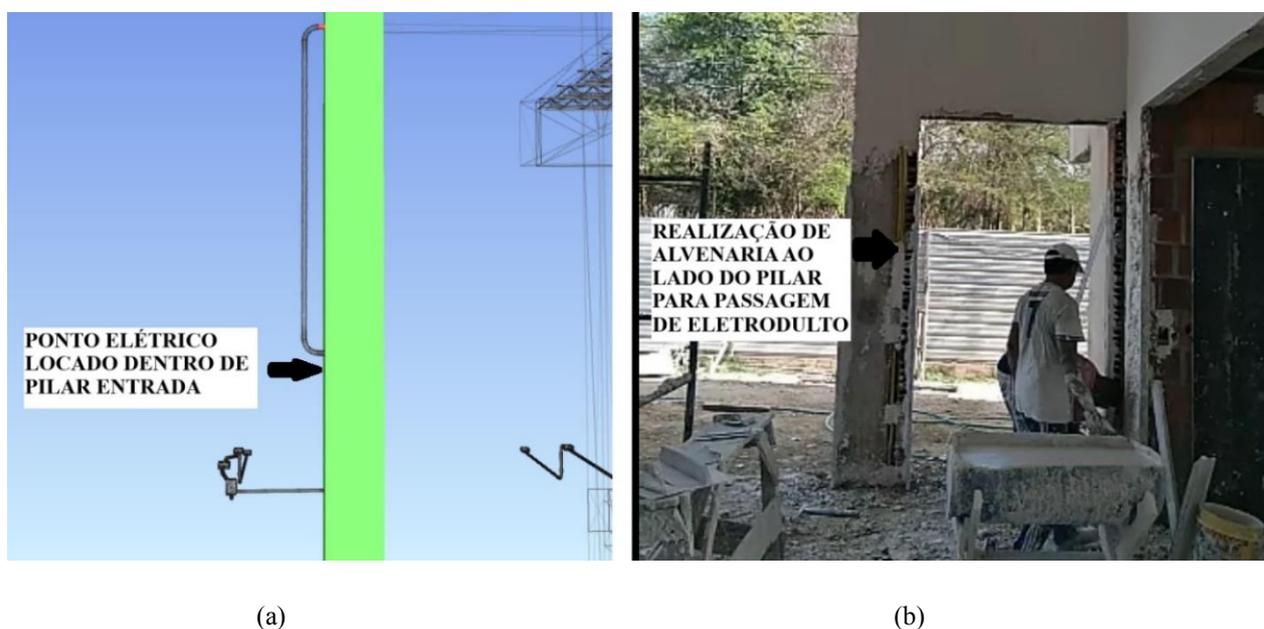
Figura 55 - Tomada locada dentro de pilar: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra



Fonte: Autor, 2023

Na porta principal da casa foi locado um interruptor triplo dentro do pilar, observado durante os testes. Para solução deste conflito em obra foi necessário a realização de uma parede ao lado do pilar acarretando no deslocamento da porta para mais próximo ao lavabo e consequentemente um aumento da parede próxima a esquadria de vidro.

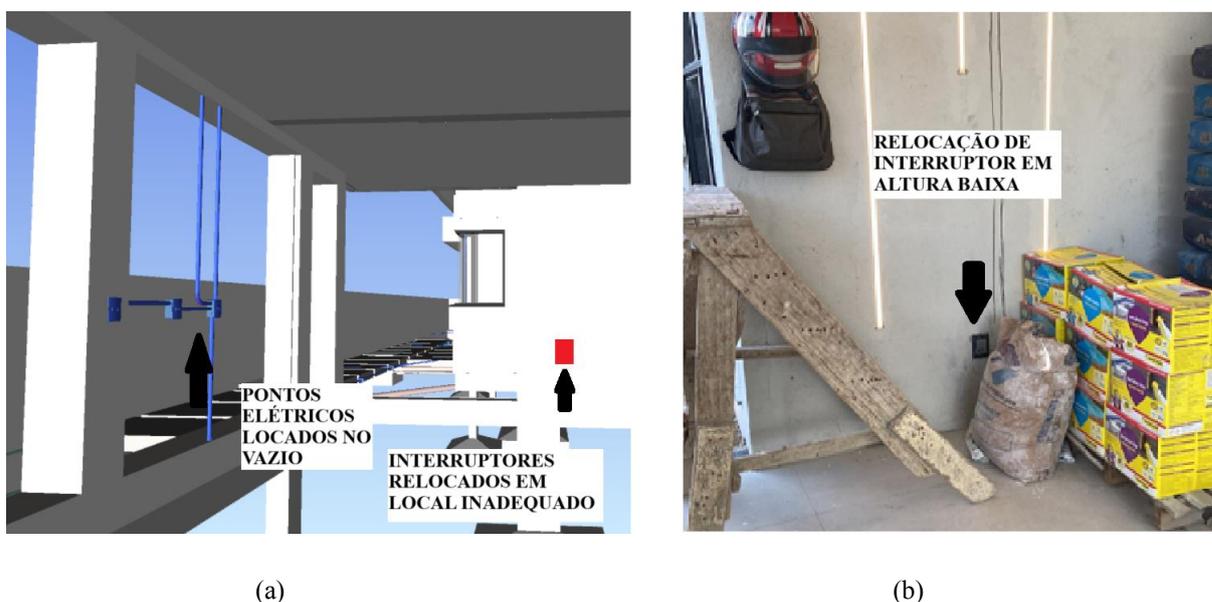
Figura 56 - Parede de alvenaria ao lado do pilar para a locação de ponto elétrico: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra



Fonte: Autor, 2023

Além disso, muitos pontos de iluminação foram locados em locais inadequados ou com seus eletrodutos atravessando janelas e portas, este tipo de conflito pode ser resolvido de forma rápida e prática, porém acaba acarretando em posicionamentos inadequados causando desconforto ao morador. No caso apresentado na Figura 57 foi observado que devido ao conflito ao erro de locação, o acendimento da LED presente na garagem o interruptor foi posicionado em uma caixa elétrica baixa, esse erro se deve não só a um mal posicionamento em projeto visto que foi realizado em um software 2D, mas também ao descumprimento/desconhecimento do profissional as normas técnicas.

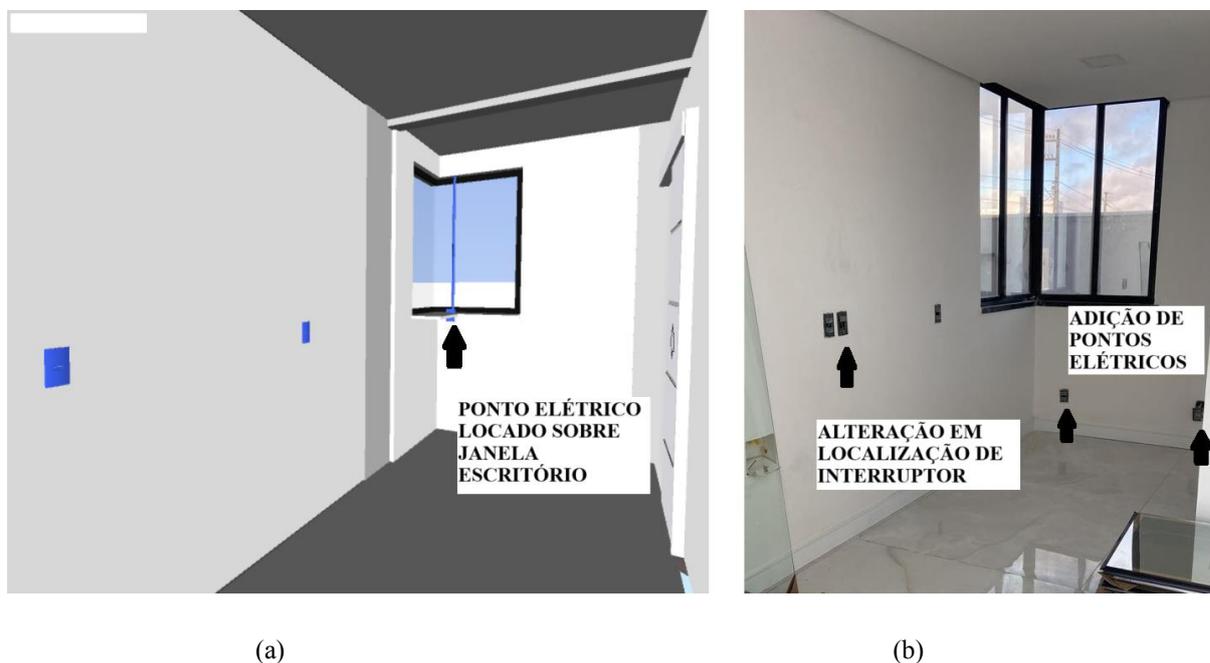
Figura 57 - Pontos elétricos locados em vazio: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra



Fonte: Autor, 2023

O comparativo apresentado na Figura 63 ilustra a inserção de um ponto elétrico localizado dentro da janela, com o eletroduto atravessando-a. Durante a execução, uma solução foi aplicada ao realocar o ponto elétrico. No entanto, também foi observada a adição de pontos elétricos não previstos no projeto, atendendo a solicitações do cliente. Isso destaca uma falta de planejamento prévio na execução do projeto elétrico, o que pode levar a modificações não planejadas e possíveis impactos na estética e no custo da obra.

Figura 58 – Ponto elétrico locado em janela: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra



Fonte: Autor, 2023

Durante a vistoria foram mapeados os pontos elétricos, onde foi constatado a realização de diversas alterações elétricas na casa, entre elas, inclusão de pontos de tomada e interruptores, inclusão de iluminações não previstas em projeto, alteração de alturas de pontos elétricos, deslocamento de pontos elétricos. Essas alterações ocasionadas pela falta de planejamento e compatibilização dos projetos, podem ter acarretado em diversos problemas e atrasos na obra, além de diminuir a segurança da edificação visto que as fiações das tomadas foram dimensionadas visando um aumento na segurança dos residentes.

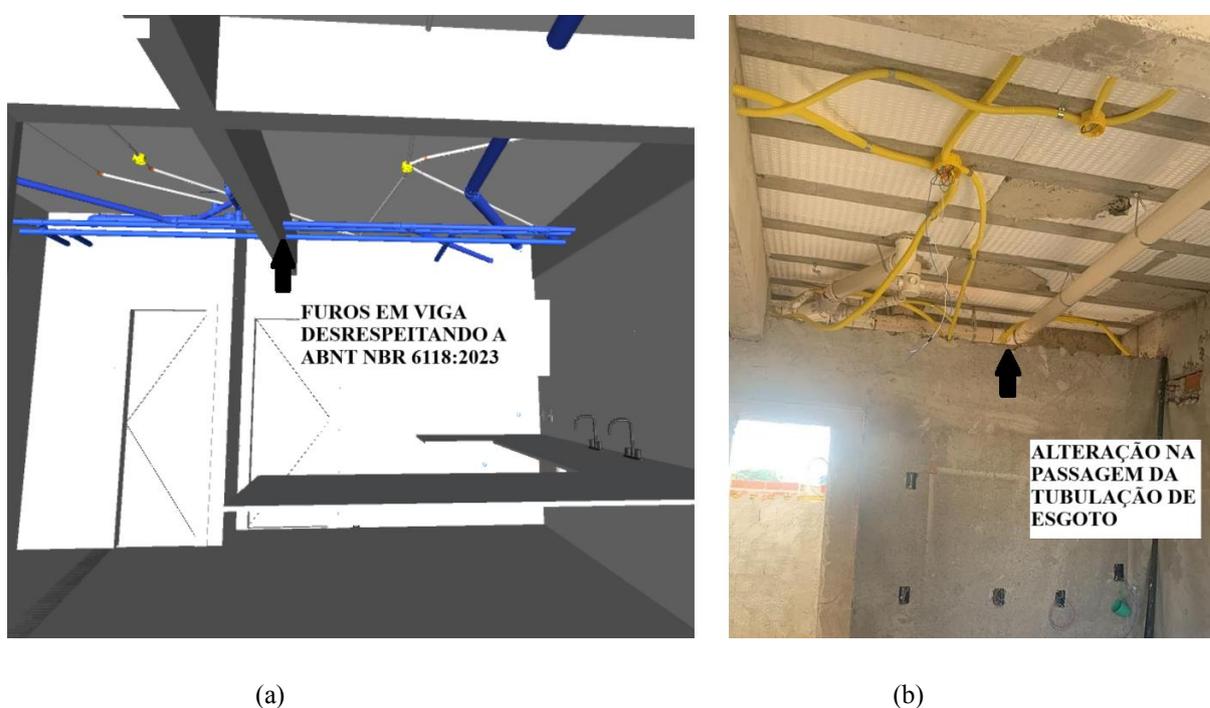
4.3.5 Tubulações de esgoto, pluvial e hidráulica atravessando vigas

O furo em vigas é algo previsto pela ABNT NBR 6118, porém é necessário que seja especificado e ajustado em projeto sua posição em relação à altura e local do furo, entre os conflitos identificados nesse estudo de caso esse tipo de conflito foi o que apresentou maior caso de conflitos significativos representando 28,62% dos conflitos totais, em sua grande parte

devido a que, caso seja executado de forma errada pode acarretar em um perigo a estrutural e a vida dos moradores/ocupantes da edificação.

Devido ao atual estado em que a obra se encontrava não foi possível visualizar os conflitos individualmente, porém através das fotos cedidas de alguns ambientes em fase anterior a vistoria foi a realização de um comparativo entre o projetado e executado de acordo com as Figura 59, 61 e 62. Dessa forma, é possível aferir que como solução para os conflitos gerados entre os projetos, foram realizadas alterações na infraestrutura hidrossanitária.

Figura 59 – Furos irregulares em viga para passagem de tubulação: (a) detecção no Navisworks (b) solução em obra



Fonte: Autor, 2023

Figura 60 - Furos em vigas irregulares observados pelo Walk



Fonte: Autor, 2023

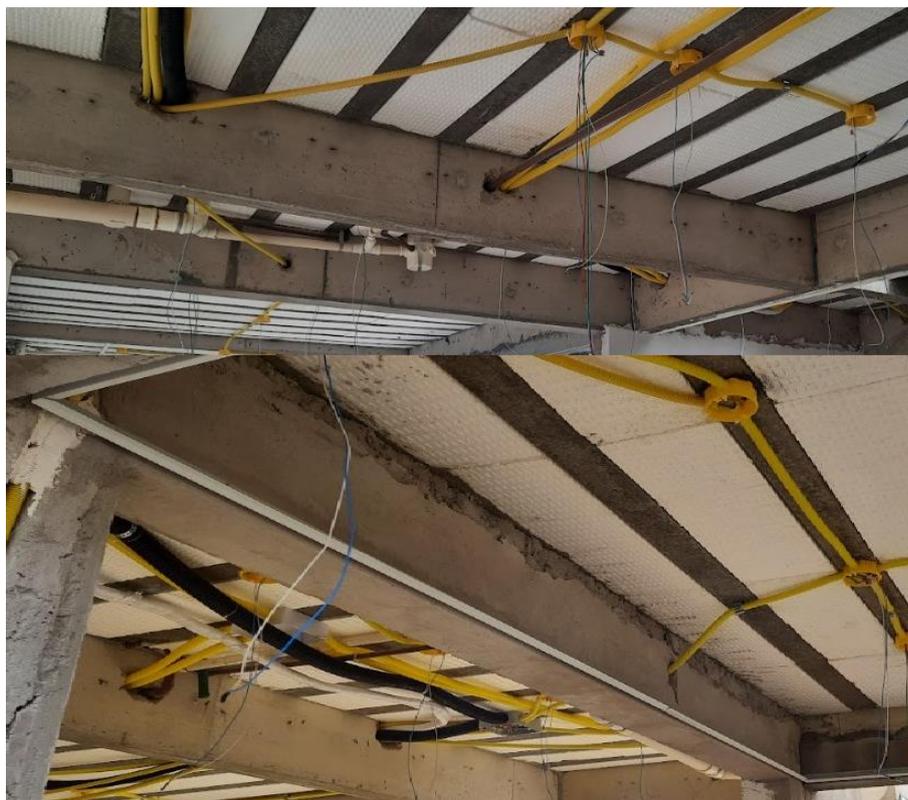
Figura 61 – furo irregulares em vigas para passagem de tubulações e eletrodutos 1



Fonte: Autor, 2023

Além disso, *in loco* e através das fotos cedidas pela construtora foi possível averiguar que muitas tubulações e eletrodutos foram passadas próximas a pilares, dentro da zona de compressão, e sem respeitar o cobrimento mínimo da viga, desrespeitando assim as condições previstas pela ABNT NBR 6118. A Figura 62 apresenta furos irregulares realizados para a passagem de eletrodutos e tubulações hidráulicas, furos esses que poderiam ter sido realizados de acordo com a norma, provavelmente o profissional que realizou as instalações não tinha conhecimento acerca das normas técnicas ou negligenciou seu cumprimento, a especificação em projeto poderia ter impedido a execução de maneira irregular.

Figura 62 – furo irregulares em vigas para passagem de tubulações e eletrodutos 1



Fonte: Autor, 2023

A realização de furos irregulares em vigas pode acarretar uma série de problemas na estrutura da edificação. Além de comprometer a capacidade de carga das vigas, pode resultar em pontos de fragilidade que afetam a integridade da construção. As alterações no projeto hidrossanitário também são prejudiciais e podem levar a problemas, podendo causar vazamentos, bloqueios e interferências com outros sistemas, essas alterações além de impactarem no andamento da obra, tornam a edificação de menor qualidade visto que a mesma foi realizada de forma divergente ao que foi o projetada.

A vistoria antecipada na fase de finalização de infraestrutura teria proporcionado resultados mais eficazes. Contudo, mesmo com informações limitadas sobre a passagem das tubulações, ficou evidente que a falta de compatibilização entre os projetos gerou diversos conflitos. Portanto, a revisão e coordenação adequadas entre disciplinas em fases anteriores do projeto são essenciais para evitar esses problemas.

4.3.6 *Resumo dos conflitos significativos e soluções definidas na obra*

A Tabela 16 mostra uma relação dos conflitos identificados versus os impactos acarretados em obra. Nela é apresentado as soluções realizadas na hora da execução diante dos conflitos apontados durante a compatibilização, sendo catalogados os conflitos e soluções de acordo com as disciplinas estudadas.

Tabela 16 - Interferências identificadas x impacto na edificação (Parte 1/2)

Interferências x impacto em obra		
Disciplinas	Interferências identificadas	Impactos na edificação
Elé. X Est.	Pontos elétricos posicionados dentro de pilares	Reposicionamento do ponto, realização de alvenaria para locação do ponto.
Est. X Arq.	Porta muito próxima a pilar	Deslocamento da porta.
	Viga passando abaixo do forro	Redução dos pés direitos da casa.
	Pilar desalinhado com parede	Aumento da espessura reboco interno da casa, aumento da largura da parede.
	Pilar atravessando janela	Relocação da janela.
Elé. X Arq.	Eletroduto atravessando janela	Alteração da passagem eletroduto.
	Ponto elétrico locado sobre janela	Relocação do ponto.
	Ponto elétrico locado no vazio	Relocação do ponto, não execução.
	Ponto elétrico sobre porta	Relocação do ponto, não execução.
Hid. X Arq.	Tubulação atravessando janela	Relocação da janela, remoção da esquadria.
	Tubulação em frente a porta caixa d'água	Mudança posicionamento do barrilete
	Ausência de shaft	Mudança posicionamento do barrilete, aumento da espessura do reboco.

Fonte: Autor, 2023

Tabela 17 - Interferências identificadas x impacto na edificação (Parte 1/2)

Hid. X Est.	Furo em viga em desacordo com ABNT NBR 6118:2023	Furos inadequados, alteração na passagem das tubulações.
	Cano passando por pilar	Ajuste na passagem tubulação
	Conexões dentro de viga	Ajuste na passagem tubulação
	Conexão dentro de pilar	Ajuste na passagem tubulação

Fonte: Autor, 2023

Como previsto durante o levantamento de interferências, na compatibilização os conflitos que foram detectados impactaram negativamente na edificação provocando redução dos pés direitos duplos, remoção de esquadrias e relocação de janelas e um maior gasto de gesso para a realização dos rebocos internos. Esses conflitos além da insatisfação por parte do cliente gerou um aumento no gasto financeiro e impactou na redução a efetividade de orçamentos realizados pela construtora.

Os impactos gerados envolvendo a disciplina de estrutura não foram possíveis observar em sua totalidade, visto que a residência já se encontrava rebocada e com seu forro passado, porém foi notado em imagens que ocorreram antes da vistoria da obra que havia diversos furos em vigas de forma desnecessária, para passagem de eletrodutos e canos, assim sendo desrespeitado cobrimentos mínimos, distanciamento entre furos, local determinado para o mesmo e proximidade de pilares. Desse modo, ocorrerá na estrutura uma redução da sua capacidade portante. A execução de tais furos mostrou não só uma ausência de detalhamento por parte dos projetistas, como também a falta de conhecimento das normas por parte da equipe que executou a infraestrutura elétrica e hidráulica.

Durante a vistoria ficou evidente a grande quantidade de alterações na residência em relação ao que se observou previamente em projeto, onde foram adicionados diversos pontos de iluminação, tomadas e saídas de água. Além disso, a forma como ocorreu a locação de caixas de inspeção de esgoto e pluvial também foi alterada. As diversas mudanças e adições de pontos poderiam ter sido evitadas com um bom planejamento e uma visão realista da edificação pronta, possibilitada pelo Revit em conjunto com a compatibilização, facilitando a locação e análise sobre as necessidades da edificação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma sucinta, os objetivos específicos foram em sua totalidade realizados. Os conceitos e funcionalidades da metodologia BIM na construção civil foram apresentados, demonstrando suas vantagens na implantação, vantagens que não se restringem apenas a compatibilização. A modelagem foi realizada e foi detalhado seu procedimento, onde foram destacados alguns pressupostos tomados pelo Autor, evidenciando a importância desses pressupostos no detalhamento dos projetos. O processo apresentado neste trabalho é passível de melhorias, ao qual através de aprimoramentos contínuos, podemos chegar a melhores resultados e rapidez no processo.

Com base nos resultados apresentados, ficou evidente que a adoção de tecnologias avançadas como o BIM, é fundamental para uma melhor precisão e eficiência nos projetos e nas construções. A tecnologia CAD foi notoriamente revolucionária em seu lançamento, possibilitando aos usuários a criação de desenhos virtuais de maneira rápida e prática. O BIM ofertou um aprimoramento trazendo ainda mais resultados para o mercado da construção civil, facilitando processos e incrementando diversas possibilidades de estudo e planejamento. Desse modo, o conhecimento e domínio dessa tecnologia torna-se cada vez mais indispensável por parte dos profissionais da área.

Ao confrontar com os projetos realizados em CAD, a modelagem com a utilização do BIM, apesar de dispendiosa, possibilitou uma melhor visualização do empreendimento projetado, de suas áreas internas, além de um detalhamento das informações presentes nos projetos. Possibilitando a união de todas as disciplinas em um espaço tridimensional, tal qual a realidade a utilização dessa metodologia ameniza a fragmentação da informação presente em projetos executivos. A visão virtual possibilita a detecção de conflitos que não foram avaliados através dos testes, amenizando também equívocos acarretados por símbolos e simplificações realizadas em modelos 2D.

Através análise realizada, foi possível induzir também que o nível de detalhamento presente nos projetos impacta diretamente nos resultados que serão obtidos e no processo de compatibilização. A riqueza de detalhes presente nos projetos irá resultar na obtenção de resultados mais precisos e confiáveis, facilitando também a sua compatibilização. Devido a

ausência de detalhamentos e informações acerca da execução das instalações, alguns elementos foram modelados de através de suposições.

A utilização de uma filtragem na realização dos testes, possibilitado pelo uso de objetos paramétricos, apresentou ótimos resultados visto, que a diferença entre os conflitos apontados e os significativos foi menor que 15%, sendo em sua maioria realizados a possíveis furos em vigas causados pelo projeto hidrossanitário, onde caso removido seria ainda menor. De tal modo, o levantamento das principais possíveis interferências e um conhecimento acerca de métodos construtivos possibilita ao projetista e a quem vai fazer a compatibilização uma maior velocidade e praticidade na detecção de interferências.

Com intuito de aprimorar o processo, caberia ainda a incrementação mais filtros, sendo esses avaliados de forma progressiva e contínua, visto que em residências de alto padrão e até mesmo em residências convencionais, muitos outros projetos são incrementados, como luminotécnico, redes e comunicações, sistemas de refrigeração, energia solar, detalhamento de moveis, etc. A realização da compatibilização com a metodologia BIM, se apresenta bem mais vantajosa visto que a grande quantidade de elementos presentes nos projetos tornaria a sua realização em projetos bidimensionais bem mais difícil e demorada, sem a realização de automações possibilitadas pelo uso do BIM.

Conforme o esperado, os conflitos detectados através da compatibilização impactaram negativamente na obra. As incompatibilidades geraram alterações decididas no momento da execução, destoando a edificação final do que tinha sido inicialmente elaborado em projeto, entre as alterações e ajustes podemos citar: Adições e remoções de pontos elétricos e hidrossanitários, mudanças na locação dos mesmos, redução dos pés direitos da casa, furos em vigas não previstos, remoção e deslocamento em esquadrias de esquadrias, aumento de espessura de rebocos. Essas intervenções geraram não apenas custos e insatisfações por parte da construtora e do cliente, mas também destacaram a importância da compatibilização eficaz no processo de construção.

A vistoria da obra foi um passo de muita importância para validação dos resultados obtidos, sendo uma etapa de suma importância neste estudo. Entretanto, a eficácia da vistoria poderia ter sido potencializada caso tivesse ocorrido em uma etapa anterior a execução do forro e reboco interno. Teria dessa forma permitido uma avaliação mais precisa das interferências, uma vez que as estruturas e instalações estariam expostas e acessíveis, possibilitando avaliar

como ocorreu a realização furos nas vigas e a passagem das tubulações foram realizadas, visto que esses representam 63% dos conflitos significativos.

Para perspectivas futuras, pode ser realizados os ajustes nas incompatibilidades identificadas, seguida de uma nova rodada de testes para avaliar o impacto das correções das disciplinas relacionadas. Além disso, seria interessante conduzir um estudo que incorpore a gestão do canteiro de obras com informações de datas, uma funcionalidade que o Navisworks pode oferecer. A análise do impacto de elementos temporários no andamento da obra, elementos esses que não são considerados durante a realização do projeto, porém acabam impactando no andamento da obra. Tal estudo necessitaria de um nível elevado de detalhamento. Essas ações aprimorariam significativamente o processo de compatibilização e contribuiriam para uma construção mais eficiente e livre de conflitos.

REFERÊNCIAS

- ADAMUS, L.W. **BIM: Interoperability for Sustainability Analysis in Construction, in: Central Europe towards Sustainable Building 2013: Integrated Building Design BIM**, 2013: pp. 1–4
- AKPONEWARE, A. O.; ADAMU, Z. A. **Clash Detection or Clash Avoidance? An Investigation into Coordination Problems in 3D BIM. Buildings**, 2017, 7, 75.
- ANDRADE, M. L. V. X; RUSCHEL, R. C. **BIM: conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências**. In: IX Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. São Carlos – SP, 2009.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 10844:1989 – **Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 14039:2021 - **Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 5410:2004 – **Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 5419:2009 – **Proteção contra descargas atmosféricas CEEE – RIC BT– Regulamento de Instalações Consumidoras em Baixa Tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 5626:2020 – **Instalações prediais de água fria**. – Rio de Janeiro: ABNT,2020.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 6118:2023 – **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, ABNT 2023.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 6120:2019 – **Cargas para o Cálculo de Edificações**. – Rio de Janeiro, ABNT 2019.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 6492:2021 - **Documentação técnica para projetos arquitetônicos e urbanísticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 8160:1999 – **Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e Execução**. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR ISSO 19650-1:2022 - **Organização da informação acerca de trabalhos da construção — Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção Parte 1: Conceitos e princípios**. Rio de Janeiro, 2022.
- Autodesk 2023 - Site da Autodesk. Disponível em:<www.autodesk.com>. Acesso em: 02 maio 2012.
- ÁVILA, V. M. **Compatibilização de projetos na construção civil: estudo de caso em um edifício residencial multifamiliar**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, jul. 2011.

BIDISE. **Construção de Casas: o que define uma residência de Alto Padrão**. 13 set. 2019. Disponível em: <<https://www.bidese.com.br/blog/post/construcao-de-casas-o-que-define-uma-residencia-de-alto-padrao>>. Acesso em: 30 set. 2023. 11:20

BRASIL, C. **Tabelas de honorários de serviços de arquitetura e urbanismo do brasil**. Disponível em: <<https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/2013.08.16-CEAUeCBA-Tab-Remun-Proj-Arq-Edif.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2023.

CALLEGARI, Simara. **Análise da compatibilização de projetos em três edifícios residenciais multifamiliares**. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFSC. Florianópolis, 2007.

DE MELLO E LIMA, G. et al. **Implantação da metodologia bim em uma construtora de casas de alto padrão em fortaleza**: estudo de caso. Encontro de Extensão, Docência e Iniciação Científica (EEDIC), v. 6, n. 0, 27 nov. 2019.

DELATORRE, Joyce. **BIM na prática: como uma empresa construtora pode fazer uso da tecnologia BIM**. Autodesk University, 2011. Disponível em: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/>. Acesso em: 06 dez. 2012.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. 3. ed. Porto Alegre: Simone de fraga, 2021.

FALCONE, G.C.J.; HASHITANI, R. **Eficiência do BIM na Compatibilização de Projetos e Planejamento de Obras**. Orientador: Társis Rafael Travassos Oliveira. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do título de Graduação do Curso de Engenharia Civil pela Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2013.

FARINHA, M. C. R. **Exemplo de compatibilização de projetos utilizando a plataforma BIM (Building Information Modeling)**. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação)— Campo Mourão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

FEITOSA, Artur. **Entraves técnicos e dificuldades de uma implantação BIM**. BIMExperts, jul. 2016.

FERREIRA, S.L. **Da engenharia simultânea ao modelo de informações de construção (BIM): contribuição das ferramentas ao processo de projeto e produção e vice-versa**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2007

GOES, R. H. T. B. **Compatibilização de Projetos Com a Utilização de Ferramentas BIM**. Dissertação (Mestrado em Habitação) —São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2011.

GOLABCHI, A.; KAMAT, V.R. **Evaluation of Industry Foundation Classes for Practical Building Information Modeling Interoperability**, ISARC, 2013.

GUIMARÃES, PEDRO HENRIQUE ALMEIDA; CARDOSO, RAPHAEL DA MATA. **Tecnologia de projeto - estudo de caso**. TCC—Anápolis, GO: UniEvangélica, 2019.

GUIMARÃES, Pedro Henrique Almeida; CARDOSO, Raphael da Mata. **Tecnologia de projeto – estudo de caso**. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 57p. 2019.

HERGUNSEL, Mehmet 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.

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

MALLASI, Zaki. **Dynamic quantification and analysis of the construction workspace congestion utilizing 4D visualization**. Automation in Construction, nº15, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/automation-in-construction>. Acesso em: 05 out. 2023

MELHADO, S. B. **Coordenação de projetos de edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.

NASCIMENTO, R. L. **Compatibilização de projetos de edificações**. Graduação, Curso de engenharia Civil—Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, ago. 2015.

NGUYEN, Q. T; LUU, Phuong Q ; NGO, Yen V. **Application of BIM in design conflict detection: a case study of Vietnam**, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 869, 2020.

PAIVA, D. C. S. **Uso do BIM para compatibilização de projetos: Barreiras e oportunidades em uma empresa construtora. 2016**. 16 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

SALGADO, Mônica Santos. **Gestão do Processo de Projeto na Construção do Edifício – revisão 1**. Apostila. GEPARQ – Grupo de Pesquisa Gestão em Projetos de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

SANTOS, A.; WITICOVSKI, L.; GARCIA, L.; SCHEER, S. **A utilização do BIM em projetos de construção civil**. IJIE – Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial, vol.1, nº 2, p. 24 – 42. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://ufsc.br/>. Acesso em: 01 out. 2023

SATO, L. **A evolução das técnicas construtivas em São Paulo: residências unifamiliares de alto padrão**. 8 jun. 2011.

SENA, T. S. **A aplicação da metodologia bim para a compatibilização de projetos**. Engenharia Civil—Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2012.

SILVA, R. P. T. **Desenho técnico Aplicado à engenharia**. E-book ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2021. v. 1

SOLANO, R. S. **Compatibilização de projetos na construção civil de edificações: método das dimensões possíveis e fundamentais**. Florianópolis, V Workshop de gestão de processo de projeto na construção de edifícios, 2005.

SOUZA, F.; TRANIN, S. **Compatibilização de projetos**. Monografia apresentado á banca examinadora do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Tecnológico de Caratinga (ITC), da DOCTUM Caratinga, como requisito parcial de obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil. —Caratinga: Instituto Tecnológico de Caratinga, 2014.

SOUZA, Livia L.; AMORIM, Sérgio R.; LYRIO, Arnaldo de M. **Impactos do uso do BIM em escritórios de arquitetura**: oportunidades no mercado imobiliário. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, vol. 4, nº 2, 2009. Disponível em: <https://www.iau.usp.br/> . Acesso em: 21 ago. 2023.

TEIXEIRA, J. D. **Compatibilização de projetos através da modelagem 3D com uso de software em plataforma BIM**. 2016. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - UFSC, Florianópolis, 2016.

TELES E ROCHA, **Utilização do BIM no desenvolvimento e integração de projetos: estudo de caso de um residencial multifamiliar**. Caratinga, Monografia (Bacharelado no curso de Engenharia Civil), Instituto Tecnológico de Caratinga, 2013.

THE COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. **Building Information Modeling execution planning guide**. 2010. Disponível em: <https://bim.psu.edu/> . Acesso em: 25 jun. 2023.

VIEIRA, JOÃO PAULO; FERREIRA, M.B. **Compatibilização de projetos de arquitetura e estrutura por meio da plataforma BIM**: estudo de caso no município de oliveira-mg. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Graduação engenharia civil) - Universidade Federal de São João del-Rei, [S. l.], 2021.