



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**THIAGO SILVA DE SENA**

**A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM PARA A  
COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS**

**Salvador**

**2012**

**THIAGO SILVA DE SENA**

**A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM PARA A  
COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como um dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Dr. Emerson de Andrade Marques Ferreira.

**Salvador**

**2012**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. Emerson Ferreira, por aceitar a realização deste trabalho e pelas valiosas orientações, estando sempre disponível para me auxiliar.

Aos meus pais e minha irmã, pelo apoio e amor incondicional durante os momentos mais difíceis, não apenas na realização deste trabalho, mas ao longo de todo o curso. Foram sempre os maiores incentivadores e me fizeram acreditar em mim mesmo.

A Carolina Guimarães, pelo auxílio na realização deste trabalho e pelo companheirismo durante os últimos anos deste curso, com quem sempre partilhei as vitórias alcançadas e percalços enfrentados.

Ao arquiteto Bernardo Bastos, pelo importante auxílio na realização do estudo de caso, estando sempre disposto a tirar dúvidas que surgiram ao longo deste trabalho.

SENA, Thiago Silva de. **A aplicação da metodologia BIM para a compatibilização de projetos**. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

## RESUMO

Esta monografia tem como objetivo principal a aplicação e avaliação do uso da metodologia BIM (modelagem de informação da construção) para a compatibilização de projetos. Para tanto, foi realizado estudo de caso com a identificação e análise de interferências em um modelo BIM. Inicialmente, foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre os conceitos da modelagem de informação da construção, as questões relativas à sua implementação e os benefícios de sua utilização para a construção civil. A seguir, foi realizada uma revisão sobre a compatibilização de projetos, seus conceitos, limitações com o uso do CAD 2D e a detecção de interferências com BIM. Na etapa seguinte, foram identificadas e levantadas as principais interferências de projetos encontradas na construção civil brasileira. Com base nas interferências levantadas, foi elaborado um roteiro para a realização de testes de detecção de conflito (*clash detection*) no modelo do estudo de caso, com a utilização de ferramentas BIM. As interferências encontradas foram agrupadas por disciplinas confrontadas e devidamente caracterizadas através de imagens e dados adicionais. Após a caracterização, foram feitas as análises dos problemas identificados, com exposição de dados, totais de interferências encontradas para cada grupo de disciplinas e exposição dos problemas e possíveis soluções. O estudo identificou uma grande quantidade e diversidade de interferências e problemas no modelo analisado. Mais de 90% das interferências foram verificadas com utilização de recursos de identificação automática, permitidos pelas ferramentas BIM, comprovando assim sua grande capacidade de automação. Ao final, ocorreu uma análise geral do processo de identificação, com discussão dos resultados, pontos positivos e dificuldades encontradas.

**Palavras-chave:** modelagem de informação da construção; BIM; compatibilização de projetos; *clash detection*; interferências

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 01 – Processo BIM como contraponto ao processo tradicional de projeto.....         | 17 |
| FIGURA 02 – Evolução IFC .....                                                            | 21 |
| FIGURA 03 - Ciclo do BIM.....                                                             | 23 |
| FIGURA 04 - Planejamento 4D no Navisworks .....                                           | 24 |
| FIGURA 05 - Geração de tabelas de quantitativos no Revit.....                             | 26 |
| FIGURA 06 – Pesquisa sobre benefícios do BIM.....                                         | 30 |
| FIGURA 07 – Potencial de influência no custo final do empreendimento e suas fases .....   | 32 |
| FIGURA 08 – Interfaces do processo de desenvolvimento de produto na construção civil .... | 41 |
| FIGURA 09 – Teste de conflitos no Autodesk Navisworks .....                               | 45 |
| FIGURA 10 – Metodologia do estudo de caso.....                                            | 47 |
| FIGURA 11 – Relatório de teste de <i>soft clash</i> entre portas e interruptores .....    | 48 |
| FIGURA 12 – Pavimento tipo do modelo estudado.....                                        | 54 |
| FIGURA 13 – Planta baixa do modelo arquitetônico.....                                     | 54 |
| FIGURA 14 – Modelo estrutural.....                                                        | 55 |
| FIGURA 15 – Instalações sobre o corredor de circulação .....                              | 56 |
| FIGURA 16 – Total de interferências entre Arquitetura e Estrutura .....                   | 57 |
| FIGURA 17 – Arquitetura x Estrutura .....                                                 | 58 |
| FIGURA 18 – Interferência entre porta e pilar.....                                        | 58 |
| FIGURA 19 – Desalinhamento de pilares e paredes.....                                      | 59 |
| FIGURA 20 – Total de interferências entre Arquitetura e Instalações .....                 | 60 |
| FIGURA 21 – Arquitetura x Instalações .....                                               | 60 |
| FIGURA 22 – Interferência entre prumadas de esgoto e <i>shaft</i> em <i>drywall</i> ..... | 61 |
| FIGURA 23 – Tubulação de esgoto mal posicionada .....                                     | 61 |
| FIGURA 24 – Interferência entre interruptor e alizar de porta .....                       | 62 |
| FIGURA 25 – Ausência de shaft.....                                                        | 62 |
| FIGURA 26 – Total de interferências entre estrutura e instalações .....                   | 63 |
| FIGURA 27 – Estrutura x Instalações .....                                                 | 64 |
| FIGURA 28 – Elemento elétrico locado em pilar .....                                       | 64 |
| FIGURA 29 – Componente de tubulação de hidráulica interceptando pilar.....                | 65 |
| FIGURA 30 – Total de interferências no projeto arquitetônico.....                         | 66 |
| FIGURA 31 – Incompatibilidade entre armário de shaft e vão disponível .....               | 66 |
| FIGURA 32 – Abertura incorreta devido à proximidade da porta com a parede.....            | 67 |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 33 – Interferências realçadas nos testes de Instalações x Instalações..... | 68 |
| FIGURA 34 – Total de interferências entre Instalações.....                        | 69 |
| FIGURA 35 – Instalações x Instalações.....                                        | 69 |
| FIGURA 36 - Tubulação de incêndio e eletrocalha em mesmo alinhamento .....        | 70 |
| FIGURA 37 – Interferência entre tubulação de incêndio e luminária.....            | 70 |
| FIGURA 38 – Interferência entre tubulação de esgoto e água fria .....             | 71 |
| FIGURA 39 – Total de interferências identificadas.....                            | 73 |
| FIGURA 40 – Interferências por disciplinas confrontadas .....                     | 73 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| QUADRO 01 – Metodologia do trabalho .....                            | 14 |
| QUADRO 02 – Etapas de projeto .....                                  | 33 |
| QUADRO 03 - Diagnóstico dos problemas encontrados nos projetos ..... | 37 |
| QUADRO 04 – Limitações das representações 2D.....                    | 43 |
| QUADRO 05 – Interferências Arquitetura x Estrutura .....             | 49 |
| QUADRO 06 – Interferências Arquitetura x Instalações .....           | 50 |
| QUADRO 07 – Interferências Estrutura x Instalações.....              | 51 |
| QUADRO 08 – Interferências Arquitetura x Arquitetura .....           | 52 |
| QUADRO 09 – Interferências Instalações x Instalações.....            | 53 |
| QUADRO 10 – Resumo das interferências encontradas.....               | 72 |

## SUMÁRIO

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                               | <b>09</b> |
| 1.1 OBJETIVO GERAL.....                                                 | 10        |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                         | 10        |
| 1.3 JUSTIFICATIVA .....                                                 | 10        |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....                                         | 11        |
| <b>2 METODOLOGIA.....</b>                                               | <b>13</b> |
| <b>3 BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) .....</b>                      | <b>15</b> |
| 3.1 CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS DO BIM .....                            | 16        |
| 3.1.1 Modelagem paramétrica .....                                       | 18        |
| 3.1.2 Interoperabilidade .....                                          | 20        |
| 3.2 BENEFÍCIOS E APLICAÇÕES DO BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....            | 22        |
| 3.2.1 Planejamento e monitoramento da construção .....                  | 23        |
| 3.2.2 Estimativas de custo .....                                        | 25        |
| 3.2.3 Visualização e coordenação .....                                  | 27        |
| 3.2.4 Análises diversas e simulações.....                               | 28        |
| 3.3 IMPLEMENTAÇÃO DO BIM .....                                          | 28        |
| <b>4 COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS .....</b>                             | <b>31</b> |
| 4.1 PROJETOS DE EDIFICAÇÕES.....                                        | 31        |
| 4.2 CONCEITOS DE COMPATIBILIZAÇÃO .....                                 | 34        |
| 4.3 DIMENSÕES DA COMPATIBILIZAÇÃO .....                                 | 37        |
| 4.3.1 Dimensão do plano estratégico do projeto .....                    | 38        |
| 4.3.2 Dimensão da pesquisa de mercado.....                              | 38        |
| 4.3.3 Dimensão da viabilidade técnico-econômica.....                    | 38        |
| 4.3.4 Dimensão da construtibilidade .....                               | 39        |
| 4.3.5 Dimensão da facilitação de fluxo da produção dos projetistas..... | 39        |
| 4.4 CONSTRUTIBILIDADE .....                                             | 39        |
| 4.5 ENGENHARIA SIMULTÂNEA E BIM .....                                   | 41        |
| 4.6 DETECÇÃO DE INTERFERÊNCIAS COM BIM E CAD 2D.....                    | 42        |
| 4.6.1 Limitações do CAD 2D para a compatibilização .....                | 42        |
| 4.6.2 Detectando interferências com BIM .....                           | 44        |

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5 ESTUDO DE CASO: COMPATIBILIZAÇÃO EM UM MODELO BIM .....</b> | <b>46</b> |
| 5.1 LEVANTAMENTO DE INTERFERÊNCIAS DE PROJETOS .....             | 48        |
| 5.1.1 Arquitetura x Estrutura.....                               | 49        |
| 5.1.2 Arquitetura x Instalações.....                             | 50        |
| 5.1.3 Estrutura x Instalações .....                              | 50        |
| 5.1.4 Arquitetura x Arquitetura .....                            | 51        |
| 5.1.5 Estrutura x Estrutura .....                                | 52        |
| 5.1.6 Instalações x Instalações .....                            | 52        |
| 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DO MODELO .....           | 53        |
| 5.3 IDENTIFICAÇÃO E ESTUDO DAS INTERFERÊNCIAS NO MODELO.....     | 56        |
| 5.3.1 Arquitetura x Estrutura.....                               | 57        |
| 5.3.2 Arquitetura x Instalações.....                             | 59        |
| 5.3.3 Estrutura x Instalações .....                              | 63        |
| 5.3.4 Arquitetura x Arquitetura.....                             | 65        |
| 5.3.5 Estrutura x Estrutura .....                                | 67        |
| 5.3.6 Instalações x Instalações .....                            | 67        |
| 5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....                                 | 71        |
| <b>6 CONCLUSÕES.....</b>                                         | <b>75</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                         | <b>77</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o mercado da construção civil no Brasil passou por um período de forte expansão, com grandes obras de infraestrutura e uma maior busca por imóveis, consequência do bom momento econômico vivido pelo país. Essa tendência de crescimento deve se manter pelos próximos anos, já que grandes obras do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) e a continuidade de programas como o “Minha Casa, Minha Vida” devem manter o setor aquecido, juntamente com o grande déficit de imóveis que existe no Brasil.

No entanto, a construção civil ainda carece de uma maior industrialização se comparada com outros setores. Os avanços tecnológicos no setor não acompanharam o ritmo de crescimento dos últimos anos, especialmente no uso de tecnologia da informação na gestão de obras. Muitos dos problemas ligados à construção civil ocorrem devido à ineficiência na comunicação e transmissão de informações entre equipes participantes de um empreendimento. Isso acaba gerando projetos ineficientes e por consequência, atrasos e problemas durante a construção.

Nesse sentido, a modelagem de informação da construção (BIM – *Building Information Modeling*) surge como um dos maiores avanços na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). O BIM representa uma nova metodologia e tecnologia capaz de melhorar os processos de concepção e gestão da construção, trazendo benefícios a todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento.

A metodologia BIM consiste basicamente na construção de um modelo virtual da obra, onde informações e propriedades de todos os elementos constituintes estão associadas aos objetos que fazem parte do modelo tridimensional, formando assim uma representação fiel da edificação. Ou seja, as representações geométricas dos elementos estão associadas a um banco de dados com informações diversas sobre aquele elemento, que vão desde as propriedades do material utilizado até quantidades e detalhes sobre sua execução.

Um dos motivos que torna o conceito de BIM tão revolucionário e importante é o fato de se ter em mãos um modelo virtual que permite testes, análises e alterações desde as primeiras etapas de concepção do projeto. Isso permite um melhor planejamento da construção, já que problemas podem ser detectados previamente e soluções testadas antes da fase de execução, gerando assim economia e maior qualidade ao produto final e em especial à compatibilização de projetos, que é o enfoque deste trabalho.

O BIM representa uma oportunidade de melhoria para todo o setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Sua utilização resulta em aumento da qualidade em diversos

aspectos ligados a todas as fases de um projeto. Seu uso, em especial para a compatibilização de projetos, tem demonstrado ser mais eficiente do que o método tradicional. Maiores detalhes acerca dos benefícios e características da modelagem de informação da construção serão descritos posteriormente.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

- O objetivo geral deste trabalho é conhecer, aplicar e avaliar a utilização da metodologia BIM para a compatibilização de projetos.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conhecer os conceitos, aplicações e benefícios do BIM para a construção civil.
- Identificar as principais interferências encontradas em projetos de edificações.
- Aplicar ferramentas BIM para a compatibilização de projetos através de estudo de caso.
- Avaliar os resultados obtidos na aplicação da metodologia BIM na compatibilização de projetos.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A realização desse trabalho se justifica por diversos motivos. O tema abordado é de grande importância e utilidade para o setor da construção civil, pois representa uma evolução do modo como se pensa e executa construções e uma oportunidade de melhoria na qualidade dos projetos e das construções. Em diversos países o BIM já é uma realidade e é utilizado não somente para se aumentar a eficiência dos projetos, mas em diversas aplicações no setor AEC. Ele se faz presente nas obras e no ensino de graduação de arquitetura e engenharia civil, enquanto que no Brasil isso ainda não ocorre. Por aqui o tema ainda é desconhecido de grande parte do setor, bem como sua aplicação prática para a compatibilização de projetos. Além disso, o tema é relativamente recente, tendo uma bibliografia escassa disponível em português e ainda não faz parte do currículo da grande maioria das universidades brasileiras.

A inconsistência na coordenação de projetos e os erros e atrasos decorrentes de interferências são problemas recorrentes nas construções brasileiras. Quando não detectada

com antecedência, uma interferência pode causar atrasos e desperdícios de recursos, diminuindo assim a qualidade do produto final. Ter projetos consistentes e bem coordenados é fundamental para o sucesso da construção. Por isso, esse trabalho visa demonstrar a aplicação da metodologia BIM na compatibilização de projetos e espera assim, evidenciar sua eficiência nessa área.

A mudança de um modelo fragmentado baseado em projetos 2D para um projeto BIM representa um grande esforço por parte de todos os envolvidos. Para tal mudança é fundamental a avaliação das potencialidades do novo modelo e a certeza de que esse é um esforço necessário e que se justifica pelos resultados esperados. Por isso, esse trabalho visa fornecer tais informações, evidenciando o potencial da modelagem de informação da construção não somente para estudantes de engenharia civil e arquitetura, mas também para envolvidos diretamente no setor da construção civil. Ele visa também demonstrar tanto a teoria como a prática da análise de um modelo BIM real em relação à compatibilização de projetos, conforme o estudo de caso proposto, proporcionando, portanto, a oportunidade de comparação entre o modo tradicional e o BIM.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1 uma breve introdução é feita com exposição de justificativas e objetivos deste trabalho.

No capítulo 2 a metodologia utilizada é apresentada através de descrição textual e de um quadro resumo, com os objetivos específicos, ferramentas utilizadas e resultados esperados em cada etapa do trabalho.

No capítulo 3 é feita uma revisão sobre os conceitos da modelagem de informação da construção (BIM), seus benefícios e aplicações para a construção civil e os processos relativos à sua implementação.

No capítulo 4 é feita uma revisão sobre os conceitos de compatibilização de projetos. São abordados temas relativos à qualidade da etapa de projeto, engenharia simultânea e construtibilidade. São expostos também questões relativas à detecção de interferências com o CAD 2D e o BIM.

No capítulo 5 é apresentado o estudo de caso proposto neste trabalho. São aplicadas ferramentas BIM para a compatibilização de projetos em um modelo composto por projetos de arquitetura, estrutura e instalações. As interferências identificadas são expostas e

analisadas. Ao final, uma análise geral dos resultados demonstra os pontos positivos e dificuldades encontradas durante o processo.

No capítulo 6 as conclusões relativas ao trabalho são apresentadas, com exposição dos resultados obtidos em relação aos objetivos traçados.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia empregada na realização deste trabalho consiste, inicialmente, em uma revisão bibliográfica sobre os conceitos gerais da modelagem de informação da construção e de suas aplicações práticas para a construção civil, visando assim atingir o primeiro objetivo específico relatado anteriormente. Na revisão bibliográfica a respeito da modelagem de informações de construção foram utilizados livros, artigos científicos, monografias de graduação e dissertações de mestrado. Boa parte da bibliografia disponível e utilizada na realização deste trabalho está escrita em língua inglesa.

A seguir foi feita uma revisão sobre os conceitos da compatibilização de projetos, abordando os conceitos de projeto, a importância da compatibilização para a qualidade dos projetos e das construções, os métodos existentes e a compatibilização utilizando ferramentas BIM. Foram utilizados livros, artigos científicos, monografias de graduação e dissertações de mestrado.

Após as revisões descritas, um estudo de caso foi feito com o intuito de aplicar ferramentas BIM para a compatibilização de um modelo real. Primeiramente, foram identificados os tipos mais comuns de interferências que ocorrem em projetos de edificações. A partir do levantamento feito nesta etapa, foram elaborados quadros para cada conjunto de disciplinas, com os respectivos objetos em conflito e o modo de análise a ser seguido no modelo BIM. Essa etapa foi o ponto de partida para a identificação de interferências e problemas existentes no modelo do estudo de caso.

A seguir, o projeto do estudo de caso foi devidamente caracterizado, expondo as particularidades de cada disciplina, do projeto como um todo e da modelagem em BIM por parte dos agentes envolvidos.

A etapa seguinte consiste da identificação das interferências do modelo. Visando otimizar o processo de identificação e baseado na etapa de levantamento de interferências, foram criadas seleções de objetos a serem confrontados no modelo. As interferências foram identificadas através de testes de conflito (*clash detection*) utilizando recursos dos *softwares* Autodesk Navisworks e Autodesk Revit e através de análise visual do modelo tridimensional. Os testes foram feitos checando elementos dos projetos arquitetônico, estrutural e de instalações (hidrossanitárias, de combate a incêndio e elétricas).

As interferências encontradas nos testes foram separadas em categorias, conforme os objetos em conflito. Elas foram caracterizadas através de imagens e então analisadas. Os resultados foram baseados nos relatórios gerados pelos testes de *clash detection*. Para a

realização deste trabalho foram feitos dois cursos específicos, de 30 horas cada, sobre os *softwares* utilizados, totalizando 60 horas de treinamento.

Após a identificação e caracterização das interferências encontradas, os resultados foram analisados. Foram discutidos aspectos relevantes, dificuldades encontradas e pontos positivos do processo de identificação. Foi então avaliado o resultado geral em aspectos quantitativos e qualitativos, com uma síntese do processo e das interferências encontradas no modelo, separadas por disciplinas de projetos confrontadas.

O quadro a seguir demonstra de forma mais minuciosa as atividades, ferramentas e resultados esperados.

|                                                                                                |                                                                                                         |                                                                   |                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>OBJETIVO GERAL</b>                                                                          | Conhecer, aplicar e avaliar a utilização da metodologia BIM para a compatibilização de projetos         |                                                                   |                                                                                              |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>                                                                   | <b>METODOLOGIA</b>                                                                                      |                                                                   |                                                                                              |
|                                                                                                | <b>ATIVIDADES</b>                                                                                       | <b>FERRAMENTAS</b>                                                | <b>RESULTADOS ESPERADOS</b>                                                                  |
| Conhecer os conceitos, aplicações e benefícios do BIM para a construção civil                  | Explicar o conceito e características da metodologia BIM através de revisão bibliográfica sobre o tema. | Livros, artigos, teses e dissertações                             | Compreensão dos conceitos e das vantagens relacionadas à utilização da metodologia BIM       |
| Identificar as principais interferências encontradas em projetos de edificações                | Levantar as interferências mais recorrentes encontradas na construção civil brasileira                  | Pesquisas, artigos, teses e dissertações                          | Conhecimento acerca dos problemas técnicos de construção decorrentes de incompatibilidades   |
| Aplicar ferramentas BIM para a compatibilização de projetos através de estudo de caso.         | Criar seleções de objetos a serem confrontados, com base na etapa de levantamento                       | Softwares (Revit e Navisworks) e projetos da obra "X"             | Facilitar e dar eficiência ao processo de identificação de interferências                    |
|                                                                                                | Definir o modo de análise para identificação das interferências                                         | Softwares (Revit e Navisworks) e projetos da obra "X"             | Filtrar e facilitar o processo de identificação                                              |
|                                                                                                | Realizar testes de conflito ( <i>clash detection</i> ) entre as disciplinas do modelo estudado          | Softwares (Revit e Navisworks), relatórios e projetos da obra "X" | Identificar as interferências de projetos e problemas existentes no modelo do estudo de caso |
| Avaliar os resultados obtidos na aplicação da metodologia BIM na compatibilização de projetos. | Avaliar o processo de identificação de interferências                                                   | Relatórios de <i>clash detection</i> gerados                      | Demonstrar automação e eficiência no processo de identificação                               |

QUADRO 01 – Metodologia do trabalho

### 3 BIM (*Building Information Modeling*)

Desde seu início até os dias atuais, a indústria da construção civil tem se baseado em representações e desenhos bidimensionais (2D) para definir e executar a sequência de atividades necessárias para a construção de uma edificação (EASTMAN et al., 2011). A partir dos desenhos e informações associadas a eles, documentos são gerados, assim como toda a estrutura que compõe um projeto.

Para o sucesso de um projeto é de fundamental importância que as representações sejam perfeitamente compreendidas por todas as partes envolvidas na construção, já que é baseado nelas que o planejamento e a execução das atividades serão feitos. No entanto, as representações em 2D apresentam algumas deficiências. Dentre elas, a de dependerem basicamente da interpretação e abstração de quem as lê, já que são baseadas em linhas, arcos e outros elementos bidimensionais para representar um objeto que na verdade é tridimensional, como uma parede, por exemplo. Outro grande problema relacionado às representações em CAD (*computer-aided design*) 2D é que as informações geradas não podem ser interpretadas por computadores, não tendo, portanto, automação, que é um conceito extremamente importante para evitar erros e facilitar atualizações de projetos.

Visando o aperfeiçoamento do processo de concepção de projeto, a indústria da construção tem buscado o auxílio tecnológico com a utilização de recursos computacionais que passaram a estar gradativamente disponíveis ao longo das últimas décadas. Tem se buscado uma melhor representação do espaço construído e uma melhor aplicação dos recursos computacionais na gestão de projetos, utilizando a Tecnologia da Informação (TI) para melhorar não somente a elaboração dos projetos, mas também a precisão das informações extraídas deles e o fluxo de informações entre as equipes envolvidas.

Com os avanços trazidos pela computação, o advento do CAD e o surgimento de diversas ferramentas auxiliares, algumas tarefas repetitivas no processo de criação puderam ser automatizadas pelos projetistas. Entretanto, o modelo de criação no qual se baseia todo o projeto mudou pouco, ainda tendo como base representações bidimensionais que geram plantas, cortes, perspectivas e documentos independentes (KYMMELL, 2008). Isso ocorre em grande parte do mercado, que ainda desconhece e não utiliza o potencial da metodologia BIM.

Para se atingir um grau de eficiência, padronização e qualidade compatível com outros setores, a construção civil precisa primeiramente mudar a forma como se pensa e elabora suas obras. Nesse sentido, o BIM surge como um dos conceitos mais revolucionários já criados no

setor, pois rompe o modelo tradicional e propõe um modelo completamente novo e integrado que trará grandes benefícios. Segundo EASTMAN et al. (2011):

O BIM representa uma grande mudança de paradigma que trará grande impacto e benefícios não apenas para a indústria da construção, mas para a sociedade como um todo, já que as obras são executadas com menor consumo de materiais, menos trabalho e menor custo.

A modelagem de informação da construção muda completamente o processo de projeto e construção, saindo de uma realidade bidimensional para uma n-dimensional (ADDOR et al., 2010). Não se trata de um programa ou ferramenta, mas sim de uma metodologia que representa um grande potencial para reduzir erros decorrentes de trocas de informações e melhorar todas as etapas no ciclo de vida de um empreendimento.

### 3.1 CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS DO BIM

A modelagem de informação da construção consiste basicamente na elaboração de um modelo virtual que contém informações sobre os elementos que fazem parte da edificação. Aos elementos tridimensionais são associadas informações que vão desde a geometria até informações sobre os materiais, quantidades e outras mais. O modelo, depois de pronto, constitui-se em um verdadeiro banco de dados sobre a construção, tendo grande utilidade no planejamento, execução e manutenção de uma edificação.

Na bibliografia disponível, as definições sobre BIM mudam pouco. As principais definições segundo autores e instituições ligadas ao setor da AEC são:

- "A modelagem de informações da construção é uma representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação. Como tal, serve como um conhecimento compartilhado de recursos para obter informações sobre uma instalação, formando uma base sólida para as decisões desde o início do seu ciclo de vida em diante." *National Institute of Building Sciences* (NIBS, 2007).
- "BIM é uma tecnologia de modelagem e um grupo associado de processos para produção, comunicação e análise do modelo de construção." (EASTMAN et al., 2011).
- "BIM é uma simulação do projeto que consiste em elementos 3D do modelo com links para todas as informações associadas ao planejamento, construção, operação e desativação de uma edificação." (KYMMELL, 2008).

- “BIM é a construção virtual de uma edificação ou estrutura que contém objetos inteligentes em um único arquivo de origem e que, quando compartilhado entre os membros da equipe do projeto, aumenta e melhora a comunicação e colaboração.” (HARDIN, 2009)

Uma grande diferença entre um projeto feito em BIM para um feito no modelo tradicional é que um modelo BIM constitui-se geralmente de um único arquivo que simula a construção real. O modelo contém todas as informações necessárias, de onde se pode extrair vistas, cortes e documentos sobre o projeto. Além disso, o modelo BIM pode ser alimentado de forma simultânea por todos os envolvidos no projeto, enquanto que no modelo tradicional isso ocorre de forma burocrática e lenta, passando de um projetista para o outro.

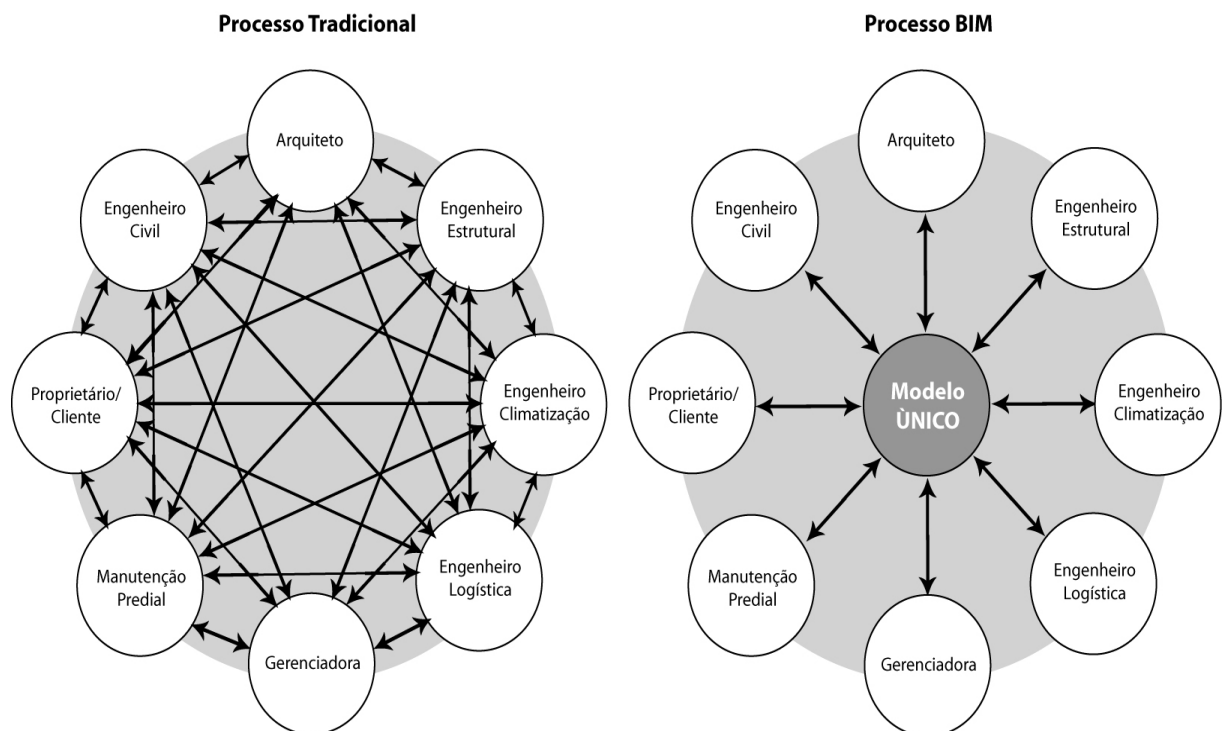


FIGURA 01 – Processo BIM como contraponto ao processo tradicional de projeto  
Fonte: GOES e SANTOS (2011)

O conceito de construção de um modelo virtual que simula o real é extremamente poderoso, pois abre um leque de possibilidades não antes possíveis aos projetistas e construtores. Dentre essas possibilidades estão:

- O modelo possibilita a extração de quantitativos de forma rápida e com maior precisão, aumentando a confiabilidade das estimativas de custo.

- Permite a análise e visualização de modificações no projeto e suas implicações, antes que elas sejam executadas.
- Permite a detecção de interferências de projetos de forma muito mais fácil e eficiente.
- Realização de testes e análises de desempenhos acústico, energético, dentre outros.
- Elaboração do planejamento 4D, permitindo aos construtores uma completa visualização da obra em todas as suas fases.

A modelagem por objetos paramétricos e a interoperabilidade são as principais características de um modelo BIM. São conceitos extremamente importantes e que são a base dessa revolucionária metodologia.

A modelagem paramétrica, como será vista mais adiante, trata-se da representação computacional através de parâmetros e atributos. Esse fato proporciona diversos dos benefícios do BIM para a construção civil, em especial a capacidade de atualizações automáticas, que é um dos grandes diferenciais em relação ao CAD 2D.

Já o conceito de interoperabilidade está diretamente relacionado à troca de informações dentro do modelo. Com a adoção de um modelo único que é alimentado por todas as equipes envolvidas, se torna fundamental que nenhuma informação seja perdida, já que os softwares envolvidos são diferentes para cada equipe do projeto. Ao final, o processo de formação do modelo único alimentado pelos distintos softwares deve ser consistente, sem que haja perda de informações no caminho.

### **3.1.1 Modelagem Paramétrica**

A modelagem paramétrica é a base que suporta a metodologia BIM e uma das responsáveis pelos benefícios que o BIM proporciona à AEC. O conceito de modelagem por objetos paramétricos é antigo e foi utilizado em outras indústrias muito antes do que na construção civil. Ela é um requisito ao BIM e um dos fatores que define o que é e o que não é tecnologia BIM.

A modelagem paramétrica é feita com base em objetos paramétricos, que são aqueles construídos através de parâmetros e regras. Ela não representa objetos com uma geometria fixa, mas sim através de propriedades e parâmetros definidos. Estes parâmetros podem ser relações entre diferentes objetos, o que permite que o sistema atualize de forma automática

todo o projeto quando um objeto é modificado (EASTMAN et al., 2011). Essa automação permitida pela modelagem paramétrica é um dos grandes diferenciais que proporcionam inúmeras vantagens aos modelos BIM.

Os parâmetros associados a um objeto podem ser valores ou simplesmente características. Eles definem o comportamento gráfico do objeto, bem como sua interação com outros objetos. Para tentar ilustrar melhor o conceito de objeto paramétrico, eis um exemplo: uma parede de alvenaria é modelada como um elemento composto de diversos blocos e argamassa. Em um modelo não paramétrico, essa alvenaria teria dimensões e propriedades fixas. Se quisermos aumentar o pé-direito do pavimento onde se encontra a parede, ela não mais tocará a laje superior, já que sua altura é fixa. Quando modelamos essa parede como um objeto paramétrico, podemos associar a ela a regra de que sempre esteja em contato com a laje superior, por exemplo, o que faz com que uma modificação no pé-direito gere automaticamente uma alteração na altura da parede, que se ajusta sem necessidade de intervenção humana.

A automação, que é tão fundamental ao BIM, se deve principalmente à modelagem paramétrica, já que ela confere aos modelos uma enorme capacidade de atualização automática. A coordenação do modelo e de alterações se torna muito mais rápida e fácil com as atualizações automáticas que dependem dos parâmetros de um objeto. Em geral, os *softwares* trazem grupos de objetos que são chamados de famílias e possuem parâmetros similares de interação com outros objetos. Famílias comuns nos *softwares* modeladores em BIM são as paredes e escadas, por exemplo.

A maioria dos *softwares*, além de ter famílias pré-definidas, permite também ao usuário a liberdade de criar suas famílias de objetos com parâmetros de acordo com as necessidades específicas do projeto, já que nem sempre os parâmetros dos objetos fornecidos pelos *softwares* atendem bem ao usuário. Por isso, é importante que o projetista crie novas famílias ou modifique as existentes, com o intuito de evitar problemas não previstos nas famílias pré-definidas existentes em cada *software*.

Segundo EASTMAN et al. (2011), os objetos paramétricos podem ser classificados de três maneiras:

- Objetos que interagem com outros objetos e tem um comportamento paramétrico mais complexo, como por exemplo, paredes, pilares e lajes.
- Objetos que não interagem com outros e que não necessitam de modelagem paramétrica, como elementos fixos de portas e janelas, por exemplo. São mais facilmente criados e podem ser importados de outros programas.

- Objetos comerciais feitos por fabricantes para uso específico.

Os objetos paramétricos têm como base a geometria e relações entre elementos, mas também precisam conter uma variedade de propriedades e informações sobre os elementos que o constituem. Essas informações podem ser interpretadas e utilizadas por outros aplicativos, formando dessa forma um verdadeiro banco de dados sobre todos os elementos que existem dentro do modelo. Quanto maior for a diversidade e qualidade das informações dos objetos, melhor será a qualidade do modelo, já que seu comportamento simulado se assemelhará ao comportamento da estrutura real. As informações podem ser acerca dos materiais, propriedades físicas, dimensões, fabricantes e outras mais.

Em um modelo paramétrico, é possível a realização de análises diversas com grande precisão e em fases iniciais do projeto. Tudo depende das informações contidas nos objetos que integram o projeto. As análises fornecem aos construtores e projetistas uma poderosa ferramenta, já que o modelo pode ser avaliado em diferentes campos, como em relação ao desempenho acústico e energético, por exemplo. Isso fornece à equipe de projetistas a capacidade de realizar modificações no projeto de acordo com os resultados das análises feitas, possibilitando assim a melhoria do produto final.

Como visto, um modelo em BIM é composto por uma grande quantidade de objetos paramétricos, que contém parâmetros e informações acerca dos elementos representados. Isso gera um grande banco de dados sobre toda a construção, mas também gera um modelo único denso que exige uma grande capacidade de memória e processamento dos computadores, já que em um modelo paramétrico as atualizações ocorrem de forma automática. Quando se altera um elemento, vários outros se ajustam automaticamente, o que exige grande capacidade de processamento dos computadores. Quanto maior for o modelo, maior será a potência exigida para rodá-lo, logicamente. Isso é um dos maiores problemas relacionados ao BIM: a exigência de máquinas poderosas e caras para rodar e analisar os modelos.

### **3.1.2. Interoperabilidade**

O conceito de BIM está diretamente ligado à colaboração entre os diversos profissionais envolvidos em um determinado projeto. A construção de um modelo único alimentado por diversos projetistas requer uma intensa troca de informações entre as equipes e entre os diversos *softwares* envolvidos. A multidisciplinaridade e a colaboração são requisitos fundamentais e ocorrem com maior intensidade na metodologia BIM.

A interoperabilidade é a capacidade de se trocar informações de forma eficiente entre os diversos aplicativos computacionais usados em um mesmo projeto, sem que haja perda de informações. Em geral, cada projetista usa um determinado *software* para modelar ou analisar o modelo, e as extensões de arquivos variam de acordo com os fabricantes e modelos dos *softwares* utilizados. “Com a interoperabilidade se elimina a necessidade de réplica de dados de entrada que já tenham sido gerados e facilita, de forma automatizada e sem obstáculos, o fluxo de trabalho entre diferentes aplicativos, durante o processo de projeto.” (ANDRADE & RUSCHEL, 2009).

Com o crescente uso e o surgimento de diversos aplicativos em BIM, a falta de padronização e a dificuldade na transferência de dados entre sistemas passaram a ser alguns dos problemas enfrentados pelos usuários. Buscando diminuir esse problema e padronizar a troca de informações, uma organização chamada *International Alliance for Interoperability* (IAI) criou, em 1997, um modelo de dados chamado *Industry Foundation Classes* (IFC) (CARVALHO, 2011). Desde então, o IFC passou por constantes melhorias, com diversas versões lançadas. Atualmente o IFC é o modelo de dados mais utilizado no setor e se encontra na versão IFC 2x4.

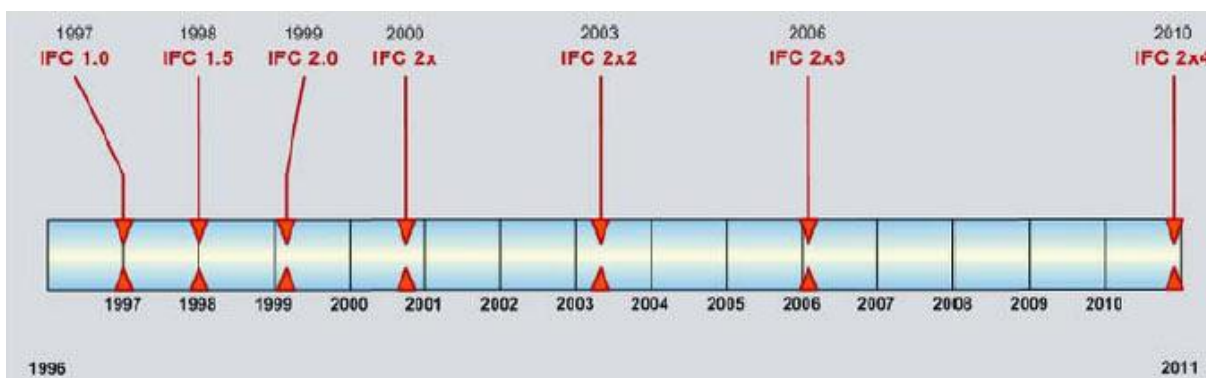


FIGURA 02 – Evolução IFC  
Fonte: CARVALHO e SCHEER (2011)

Para a IAI, o IFC é um formato aberto, neutro e com especificações padronizadas para o BIM. Além disso, o IFC é também um formato voltado para o planejamento, projeto, construção e gerenciamento de uma edificação (ANDRADE & RUSCHEL, 2009). O IFC representa um formato de arquivo padrão, onde os fabricantes de softwares têm a oportunidade de converter suas distintas extensões de arquivos no formato IFC. Se essa transformação for possível, o modelo criado a partir de diversos softwares carregará muito mais informações anexadas aos objetos (KYMMELL, 2008).

### 3.2 BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DO BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os benefícios da metodologia BIM na construção civil vão desde as fases iniciais e perduram durante todo o ciclo de vida de uma construção. As aplicações são inúmeras e beneficiam projetistas, construtores e gestores de obras. O potencial para a indústria AEC é enorme e está longe de ser totalmente explorado, já que a tecnologia é recente e se encontra em constante aperfeiçoamento de suas aplicações. Esse tópico visa demonstrar o potencial prático da aplicação do BIM para o setor da construção civil.

As mudanças dos processos são enormes, bem como os desafios para implementar o BIM. É fundamental, portanto, o conhecimento das potencialidades dessa metodologia e as mudanças necessárias para sua adoção. As vantagens trazidas pelo BIM geram redução de custos, otimização da mão-de-obra, melhoria nos projetos e no gerenciamento das construções.

Na fase de pré-construção (concepção e elaboração do projeto) é onde as aplicações do BIM geram maior redução de custos. Nessa fase, a equipe de projetistas e engenheiros pode antecipar e solucionar problemas que teriam grande impacto financeiro. O BIM permite uma melhor visualização do projeto como um todo e possibilita o teste de diversas soluções e análises para os problemas encontrados, antes que eles ocorram em campo. Além disso, a melhor visualização permite ao proprietário da obra vislumbrar se o projeto está de acordo com o que ele procura (HERGUNSEL, 2011).

Durante a fase de construção, o impacto financeiro do uso do BIM diminui, mas as aplicações que ele permite são vastas. Ele permite a elaboração do planejamento 5D (3D + custos + prazo), permitindo a visualização de todas as fases da construção e as implicações no canteiro de obras, por exemplo. Permite também o rápido e preciso levantamento de quantitativos e, conseqüentemente, um melhor controle de custos, que é também uma aplicação importante na fase de pré-construção. A fabricação de elementos pré-moldados com maior nível de detalhamento é também uma vantagem nessa fase, além de várias outras.

Na fase pós-construção (operação), o modelo se torna uma poderosa ferramenta de manutenção e reformas, pois ele funciona como um registro de todos os elementos contidos na construção e suas informações associadas. Outras aplicações ligadas às análises de desempenho também são possíveis nesse estágio, desde que o modelo contenha informações suficientes para isso.

Como já foi dito, são diversas as aplicações e benefícios do BIM para a construção civil que vão além da compatibilização de projetos, sendo impossível aprofundar todas. Esse tópico lista algumas aplicações que estão entre as mais importantes para a AEC.

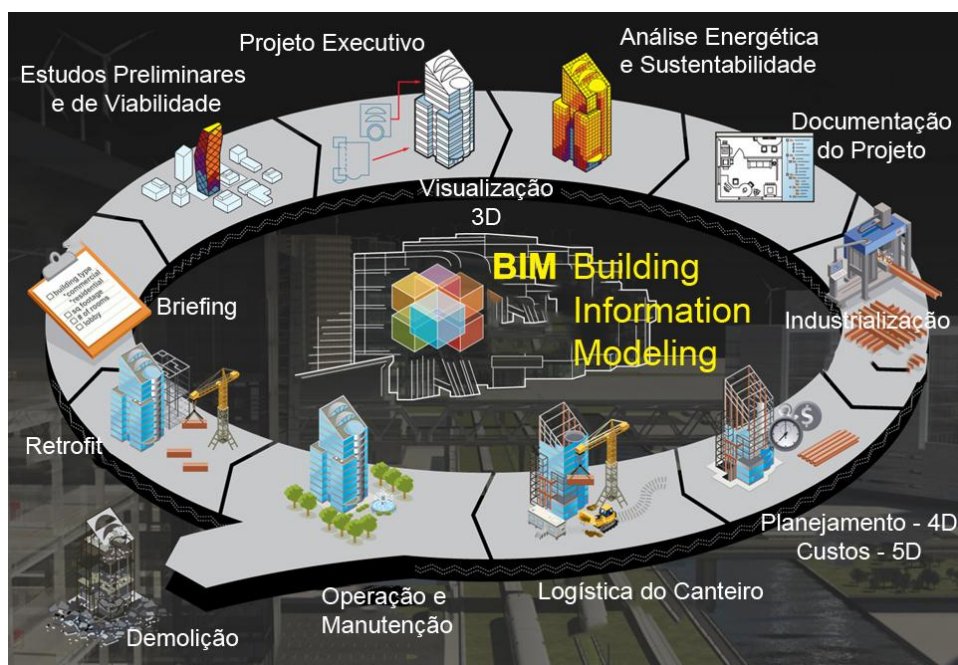


FIGURA 03 - ciclo do BIM.  
Fonte: CAMPOS (2010)

### 3.2.1 Planejamento e monitoramento da construção

A elaboração do planejamento e cronograma são atividades fundamentais para o sucesso de um projeto como um todo. Quando realizado de forma correta e realista, o planejamento funciona como uma ferramenta chave para o cumprimento de prazos e controle de gastos. Ele também funciona como uma ferramenta base no controle das atividades realizadas em campo e fornece uma melhor compreensão de todos os processos construtivos previstos. No entanto, tradicionalmente o planejamento não fornece uma grande capacidade de visualização das atividades e os problemas ligados a elas, pois em geral não existe um *link* com os projetos em 2D ou mesmo em 3D.

Um conceito chave para a visualização do ambiente dentro da construção é a técnica de representar a construção, os produtos finais e os processos em uma simulação virtual baseada no tempo (MALLASI, 2006). Na metodologia BIM, o modelo 3D pode ter um *link* direto com o cronograma das atividades executadas em planilhas ou em programas específicos de planejamento. Isso permite mostrar o andamento da construção ao longo do tempo, fornecendo a capacidade de visualizar todas as atividades previstas em todas as fases da

construção. Com isso, um melhor planejamento dos estoques necessários se torna possível, bem como uma melhor visualização dos gargalos gerados por atividades simultâneas. A essa capacidade se dá o nome de planejamento 4D (3D + tempo) e é uma poderosa ferramenta para o gerenciamento da obra.

A utilização do planejamento 4D, quando elaborado corretamente, fornece também a possibilidade do estudo da logística do canteiro de obras (HERGUNSEL, 2011). As atividades representadas no modelo, ao longo do tempo, fornecem informações sobre estoques de materiais e equipamentos necessários, possibilitando determinar quando serão necessários, de que forma e onde serão estocados. O modelo deve conter também elementos temporários, como guias e bate-estacas, por exemplo. Isso permite visualizar possíveis interferências e a otimização do espaço disponível, além de permitir o estudo do fluxo de caminhões e pessoas dentro do canteiro de obras e a disposição de instalações provisórias e outros elementos; ou seja, permite que o planejamento do canteiro de obras seja feito de forma mais eficiente e realista, evitando gargalos e interferências.

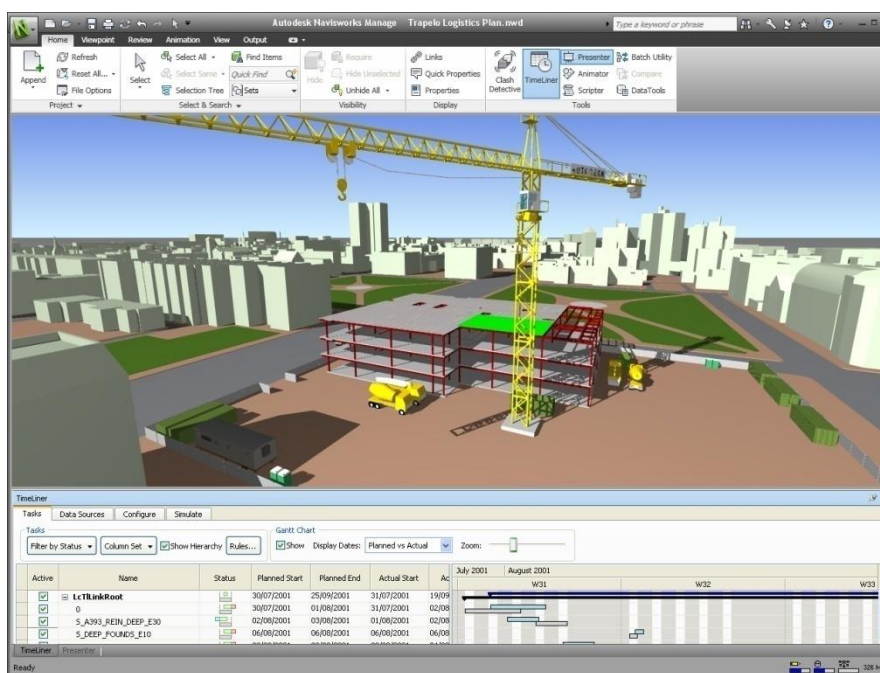


FIGURA 04 - Planejamento 4D no Navisworks.

Fonte: PORTAL AUTODESK (2010)

Por fim, a ferramenta 4D BIM permite aos engenheiros e gerentes da construção um melhor monitoramento da construção. As atividades críticas (que podem gerar gargalos) podem receber especial atenção para que ocorram conforme previstas e o planejamento pode ser revisto com maior facilidade, de acordo com o andamento das atividades, tornando-o mais

realista e funcional. Outro ponto que pode ser monitorado também é a questão da segurança do trabalho e as medidas necessárias para sua garantia. O planejamento 4D deve conter as estruturas de segurança necessárias (bandejas de proteção, guarda-corpos, dentre outras) e o período em que elas deverão existir dentro da construção.

Segundo EASTMAN et al. (2011), os benefícios relacionados ao planejamento 4D são:

- Comunicação: Os gestores da construção podem demonstrar visualmente a todas as partes envolvidas o andamento da construção e todos os processos ligados a ela. O modelo em 4D traz de forma mais eficiente os aspectos temporais e espaciais ligados ao planejamento do que o modelo tradicional baseado em gráficos de Gantt.
- Colaboração entre partes envolvidas: modelos 4D são frequentemente utilizados para mostrar a leigos como um projeto pode ter impacto de tráfego, acesso a um hospital, por exemplo, ou outras preocupações de mobilidade urbana.
- Logística do canteiro de obras: O planejamento do canteiro pode ser elaborado de forma mais eficiente, com o estudo de acesso à obra e a locação de grandes equipamentos e instalações.
- Controle do planejamento: Permite aos gerentes comparar diferentes cronogramas e determinar, com maior facilidade, se a construção possui atrasos.

### 3.2.2 Estimativas de custo

A estimativa de custo deve ser utilizada em etapas iniciais dos estudos de um empreendimento, quando as informações ainda são insuficientes para a elaboração de um orçamento mais detalhado (SANTOS et al., 2009). “A estimativa é a espinha dorsal do sucesso financeiro a qualquer projeto de construção” (ALDER apud WITICOVSKI & SCHEER, 2006). Ela serve como parâmetro para tomada de decisões na concepção de um negócio e deve ser precisa para que seja confiável. É bastante frequente, no entanto, que índices financeiros sejam adotados como base para as estimativas, como o CUB, por exemplo.

Segundo HERGUNSEL (2011), os dois principais elementos nas estimativas de custos são: levantamento de quantitativos e composição de preços. Em um modelo formado por objetos paramétricos, as informações sobre os elementos são mais precisas, bem como a extração de quantitativos, que ocorre de forma mais rápida, com menor intervenção humana. Diversas ferramentas modeladoras em BIM possibilitam a geração de tabelas de quantitativos

com preços associados aos objetos que fazem parte do modelo. No entanto, para se ter informações precisas na saída de dados, a entrada de dados deve ser igualmente precisa. Por isso, é extremamente importante que construtores e projetistas atuem de forma colaborativa desde fases iniciais do projeto, em especial na definição dos materiais e elementos que serão utilizados.

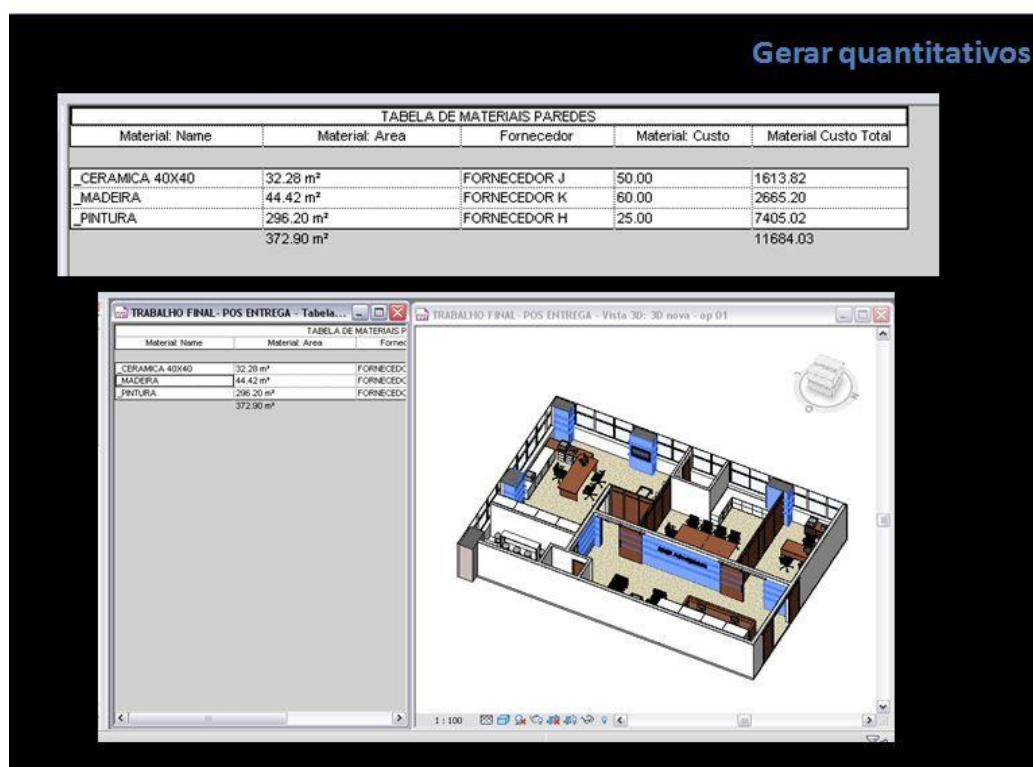


FIGURA 05 - Geração de tabelas de quantitativos no Revit  
Fonte: BIM REVIT (2010)

Na elaboração de estimativas e orçamentos, uma quantidade significativa de tempo é gasta na compreensão 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, já que a visualização do projeto ocorre de forma muito mais eficiente, dando assim, maior credibilidade as interpretações e levantamentos.

Outro fator relevante quando se trata de custos é a capacidade de simulação que o BIM permite. Vários cenários podem ser testados, com diferentes implicações nos custos da obra. Isso permite a mudança de materiais e elementos com maior facilidade e com uma melhor noção sobre a produtividade e o impacto financeiro gerado.

### 3.2.3 Visualização e Coordenação

Uma grande diferença do BIM para os projetos feitos em CAD 2D é a capacidade de visualização e coordenação que os modelos 3D permitem. As informações contidas são visualizadas de forma muito mais rápida e clara, pois estão menos sujeitas a interpretações humanas errôneas, fato que ocorre com frequência em projetos 2D. A combinação de elementos 3D adequadamente projetados e a modelagem paramétrica permite uma imensa capacidade de visualização do projeto, pois fornece com precisão os dados sobre a geometria e sobre a disposição dos elementos no espaço construído, além de fornecer também informações diversas embutidas em cada objeto pelos projetistas; capacidade possível devido à modelagem paramétrica.

A capacidade de visualização em modelos BIM fornece uma melhor compreensão de como será o produto final e de como as mudanças ao longo do projeto afetam a construção. Há uma melhor comunicação entre projetistas e o proprietários, já que este pode visualizar melhor se o ambiente construído está de acordo com suas necessidades e solicitar com antecedência mudanças nos projetos. A comunicação com o cliente final também melhora bastante, pois demonstrar para leigos a representação do ambiente é muito mais fácil em modelos 3D do que em plantas bidimensionais.

Outra questão relevante é que visualizar corretamente o espaço construído é fundamental para evitar erros no processo de construção. São comuns os erros devidos à má compreensão das informações contidas nos projetos. Isso ocorre, pois muitas vezes as informações são fragmentadas, espalhadas em diversos projetos e documentos, requerendo assim um maior esforço para interpretação. A construção de um modelo único elimina quase que por completo essa fragmentação de documentos e projetos.

O maior problema no planejamento e na construção é a incorreta visualização das informações do projeto ("o diabo está nos detalhes"). Se os projetos não forem totalmente visualizados, compreendidos e comunicados, não podem ser representados corretamente nos contratos e podem, consequentemente, criar problemas durante a construção. (KYMMELL, 2008)

A coordenação é outro aspecto que é melhorado significativamente com o BIM. A troca de informações em fases de concepção do projeto ocorre com maior eficiência e intensidade. As equipes, de certa forma, são obrigadas a trabalharem em conjunto, visando construir um modelo único consistente. A colaboração entre projetistas e gestores da construção em fases

iniciais (fato que pouco ocorre no modelo tradicional) melhora o projeto final como um todo. Essa colaboração permite soluções que melhoram o desempenho da edificação para os usuários, na fase de operação.

### **3.2.4 Análises diversas e simulações de cenários**

A análise de desempenho e comportamento de edificações através da computação existe há décadas, sendo, portanto, anterior ao BIM (EASTMAN et al., 2011). Os projetistas estruturais, por exemplo, já utilizam recursos computacionais pra simular e analisar o comportamento da estrutura há vários anos. A parametrização de objetos e o advento do BIM potencializaram esse conceito. Por se tratar de uma construção virtual que simula o comportamento da edificação, o modelo em BIM é uma poderosa ferramenta de testes e análises.

A capacidade de análise de um modelo está diretamente ligada à qualidade e quantidade de dados dos seus elementos. Quanto maior e mais precisa for a entrada de dados do modelo, maior será a capacidade de análise. Existem ferramentas específicas que usam o modelo pra analisar o comportamento em relação a diversos aspectos, como por exemplo, análise estrutural, eficiência energética, desempenho acústico, dentre outros. Tudo depende da entrada de dados do modelo e da interoperabilidade entre as ferramentas de análise e os softwares modeladores. Segundo EASTMAN et al. (2011), cada análise específica requer dados distintos.

As simulações permitem a tomada de decisão na escolha dos elementos da edificação, com maior confiabilidade quanto a custos e desempenho durante a operação. Através das análises, a equipe de projetistas e engenheiros pode testar o desempenho de diferentes elementos e materiais no modelo, tendo assim, como ter informações mais precisas sobre custos, desempenho e facilidade na construção dos elementos analisados.

## **3.3 IMPLEMENTAÇÃO DO BIM**

A mudança de um modelo convencional de projeto para o BIM requer um grande esforço. Durante décadas, as construções foram projetadas e construídas baseando-se em representações bidimensionais e seguindo uma convenção de trabalho e processos durante a etapa de concepção do projeto. Mudar isso para uma realidade tridimensional e com uma nova metodologia de trabalho requer, antes de qualquer coisa, uma mudança de mentalidade por

parte dos agentes envolvidos. Um projeto elaborado em BIM requer uma maior integração entre projetistas e entre as distintas equipes de trabalho que fazem parte do projeto (planejamento, custos, produção) pois ele altera os processos, especialmente na fase de concepção do projeto.

A implementação do BIM em uma empresa requer tempo, treinamento, revisão de processos existentes e investimento em máquinas e licenças. Segundo DELATORRE (2011), o processo de implantação deve envolver pessoas, processos e ferramentas. Os profissionais que atuarão no projeto devem receber treinamento específico para lidar com novos processos e ferramentas. Os processos existentes devem ser revisados e adequados para o uso da tecnologia BIM. Por fim, devem ocorrer investimentos na aquisição de *softwares* e máquinas necessárias e no desenvolvimento de novas ferramentas para auxiliar na gestão do processo.

Ainda segundo DELATORRE (2011), a implantação da tecnologia depende dos resultados e objetivos almejados por cada empresa, mas de forma geral o processo deve envolver os seguintes aspectos:

- Definição da estratégia de adoção de acordo com o perfil da empresa
- Apoio da Alta Diretoria
- Análise de como o BIM pode agregar valor à empresa
- Definição de metas claras e objetivas
- Alinhamento com a visão organizacional
- Definição do escopo
- Definição dos requisitos do projeto
- Definição dos requisitos de equipe e identificação de usuários chave
- Programação de treinamentos
- Avaliação dos processos e ferramentas atuais
- Definição de *softwares* e *hardwares* necessários
- Planejamento do projeto em etapas claras
- Medição dos resultados através de indicadores bem definidos
- Processo de melhoria contínua e busca por otimização

Para uma implementação bem sucedida do BIM é necessário a elaboração de um plano de execução. Dentre outras coisas, esse plano deve conter o escopo de atividades para a correta implementação do BIM, objetivos e detalhes de todo o processo de implantação, além de nomear responsáveis e definir a troca de informações entre as equipes integrantes de um mesmo projeto. O plano de execução deve ser continuamente atualizado e revisado durante

todo o ciclo de vida do projeto, visando assim o aperfeiçoamento dos processos (THE COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM, 2010).

Segundo SOUZA et al. (2009), em pesquisa feita em escritórios de engenharia e arquitetura que utilizavam a tecnologia BIM em seus projetos, constatou-se as principais vantagens buscadas pelos usuários e as dificuldades encontradas na implementação. As principais vantagens apontadas foram a facilidade nas modificações de projetos, a diminuição de erros de desenho e a facilidade de visualização em 3D. Já dentre as dificuldades para implementação, foram apontadas como causas os elevados custos de *softwares*, o tempo necessário para treinamento de pessoal e o tamanho dos arquivos gerados pelos modelos.

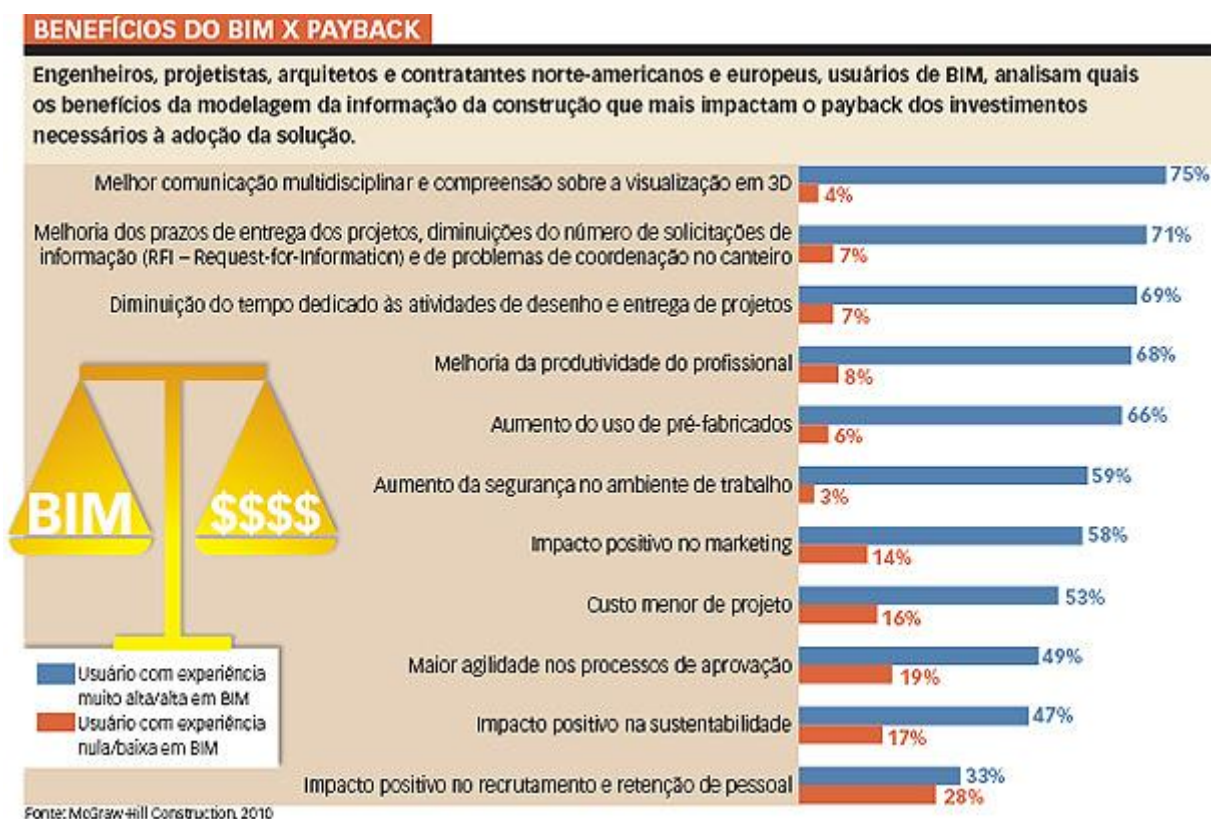


FIGURA 06 – Pesquisa sobre benefícios do BIM.  
Fonte: MCGRAW HILL (2010)

## 4 COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS

### 4.1 PROJETOS DE EDIFICAÇÕES

Antes de adentrar propriamente na compatibilização, faz-se necessária uma revisão acerca dos conceitos e da importância do projeto. A etapa de projeto é de grande importância para o sucesso de um empreendimento, pois é nela que boa parte das decisões e definições estratégicas que terão impacto serão tomadas. Apesar de a etapa de execução representar grande parte do custo de uma obra, é na etapa de projeto que se define entre 70 e 80% do custo total da edificação, segundo OLIVEIRA e FREITAS (1997).

O projeto de edificação pode ser entendido como um documento que representa e detalha todo o processo construtivo de um determinado elemento. Na bibliografia disponível, as definições de projeto mudam um pouco de autor para autor:

- “Descrição gráfica e escrita das características de um serviço ou obra de Engenharia ou de Arquitetura, definindo seus atributos técnicos, econômicos, financeiros e legais.” (ABNT, 1999)
- "Uma atividade ou serviço integrante do processo de construção, responsável pelo desenvolvimento, organização, registro e transmissão das características físicas e tecnológicas especificadas para uma obra, a serem consideradas na fase de execução" (MELHADO, 1994).
- “Elaboração e consolidação das ações destinadas à execução de uma determinada obra, fabricação de um produto, fornecimento de um serviço ou execução de um processo.” (VALERIANO apud SOUSA, 2006)

Segundo MELHADO (1994), os agentes participantes de um empreendimento podem ser classificados em quatro categorias que possuem interesses próprios e capacidades distintas de intervir no processo. Os agentes são os seguintes:

- o **empreendedor**, responsável pela geração do produto.
- o **projetista**, atuando na formalização do produto.
- o **construtor**, que viabiliza a fabricação do produto.
- o **usuário**, que assume a utilização do produto.

A fim de evitar maiores custos durante a execução, a fase de projeto no início de um empreendimento deve ser priorizada, mesmo que seja necessário um maior investimento inicial e tempo para sua elaboração (MELHADO et al., 2005). A qualidade na elaboração e coordenação dos projetos tem um grande impacto no empreendimento, afetando não somente os custos como também os prazos de execução e a qualidade do produto final. Em países desenvolvidos, o tempo dedicado à etapa de projeto chega a ser equivalente ao da fase de construção, o que permite não somente obter mais qualidade nos projetos, mas também um melhor planejamento do processo construtivo. Essa prática ainda está um pouco distante da realidade da construção civil brasileira. Apesar de a etapa de execução representar grande parte do custo de uma obra, é na etapa de projeto que se define entre 70 a 80% do custo total da edificação, segundo OLIVEIRA e FREITAS (1997).

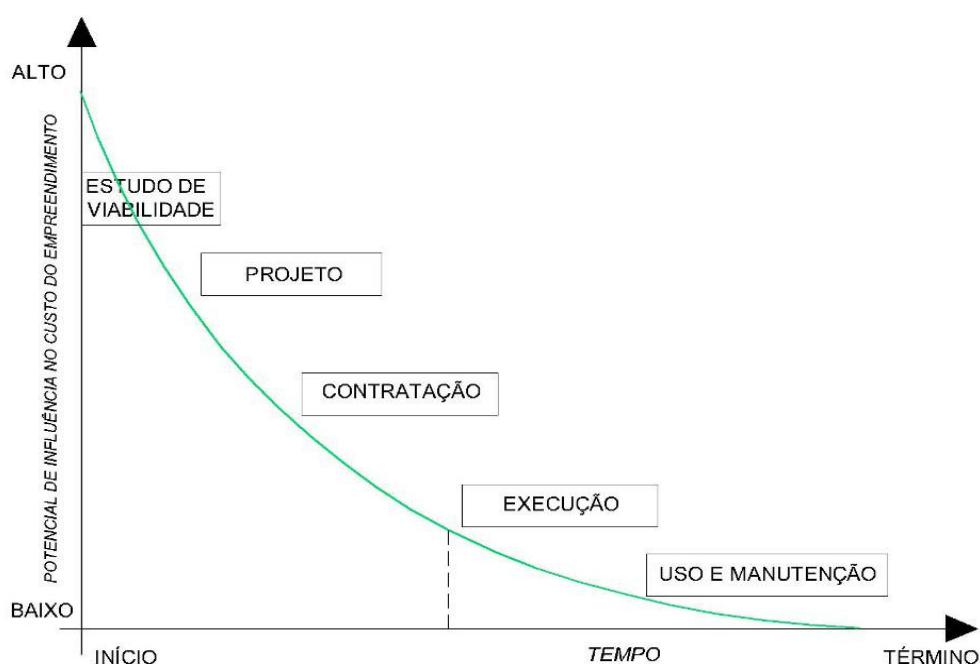


FIGURA 07 – Potencial de influência no custo final do empreendimento e suas fases  
Fonte: CII *apud* MELHADO (2005)

O processo de projeto pode ser subdividido e classificado em diversas etapas. As classificações em etapas de acordo com cada autor, em geral, são similares, divergindo um pouco apenas em etapas iniciais e finais. RODRIGUEZ e HEINECK (2003) propõem a seguinte classificação:

| <b>ETAPAS DE PROJETO (RODRÍGUEZ e HEINECK, 2003)</b> |                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ETAPAS</b>                                        | <b>ATIVIDADES</b>                                                                                                                |
| <b>PLANEJAMENTO E CONCEPÇÃO DO EMPREENDIMENTO</b>    | Estudo de mercado; Levantamento dos dados do terreno; Elaboração do programa de necessidades.                                    |
| <b>ESTUDO PRELIMINAR</b>                             | Estudos preliminares de arquitetura, estrutura, instalações elétricas e hidrossanitárias; Primeira compatibilização de projetos. |
| <b>ANTEPROJETO</b>                                   | Anteprojetos de arquitetura, estrutura, instalações elétricas e hidrossanitárias; Segunda compatibilização                       |
| <b>PROJETOS LEGAIS</b>                               | Elaboração de projetos legais                                                                                                    |
| <b>PROJETOS EXECUTIVOS</b>                           | Elaboração de projetos executivos de arquitetura e complementares; Terceira compatibilização                                     |
| <b>ACOMPANHAMENTO DA EXECUÇÃO E USO</b>              | Assistência técnica à obra; Elaboração de projeto "as built"; Acompanhamento do desempenho                                       |

QUADRO 02 – Etapas de projeto.  
 Fonte: RODRÍGUEZ e HEINECK (2003).

O processo de projeto constitui-se de diversas etapas, onde gradativamente ocorre a elaboração dos vários subsistemas que devem atuar em conjunto e de forma colaborativa, formando assim, ao final, o conjunto de projetos executivos da edificação. A complexidade do projeto se dá devido ao grande número de subsistemas, o que implica em um número maior de interlocutores que contribuem no processo e em um maior número de informações geradas e compartilhadas pelos projetistas e coordenadores do projeto.

Como se vê, o projeto não somente pode ser definido como uma representação documentada da construção, mas também como um processo de troca de informações constantes, que envolve equipes multidisciplinares que devem trabalhar em conjunto, com o intuito de atender aos objetivos pré-estabelecidos. No entanto, essa troca de informações nem sempre ocorre de forma eficiente e coordenada, e problemas como as incompatibilidades são consequências disso, mesmo com as compatibilizações sendo realizadas.

## 4.2 CONCEITOS DE COMPATIBILIZAÇÃO

A compatibilização é uma atividade fundamental para a garantia da qualidade do projeto e do empreendimento. Para alguns autores, ela pode ser classificada como uma das funções da coordenação de projeto, enquanto que para outros é uma função separada da coordenação. A compatibilização tem como objetivo principal evitar que os projetos executivos contenham interferências entre as diversas disciplinas, além de erros diversos que possam gerar atrasos e desperdícios durante a execução e que tragam prejuízo ao usuário final.

Segundo MELHADO et al. (2005), é importante diferenciar coordenação e compatibilização de projetos. A coordenação requer uma interação por parte dos projetistas com o intuito de tomar decisões e viabilizar soluções para o projeto, sendo, portanto, um gerenciamento dos diversos agentes envolvidos no projeto. “Na compatibilização, os projetos de diferentes especialidades são superpostos para verificar as interferências entre eles, e os problemas são evidenciados para que a coordenação possa agir sobre eles e solucioná-los.” (MELHADO et al., 2005) . Ainda segundo o autor, a compatibilização deve ocorrer quando os projetos já estão concebidos, funcionando como uma “malha fina”, onde erros possam ser detectados antes da execução.

Para CALLEGARI e BARTH (2007), a compatibilização de projetos visa à redução das possíveis falhas que ocorrem na fase de concepção até a fase de execução da obra arquitetônica.

A compatibilização compõe-se em uma atividade de gerenciar e integrar projetos afins, visando o perfeito ajuste entre os mesmos e conduzindo para a obtenção dos padrões de controle de qualidade da obra. Busca-se assim a otimização e a utilização de materiais, tempo e mão de obra, bem como as posteriores manutenções. Compreende, também, a ação de detectar falhas relacionadas às interferências e inconsistências geométricas entre os subsistemas da edificação. (CALLEGARI e BARTH, 2007)

Para MIKALDO JR. e SCHEER (2008), a compatibilização de projetos pode ser definida como a atividade que torna os projetos compatíveis, proporcionando soluções integradas entre as diversas áreas que tornam um empreendimento real. Dentre os motivos que justificam a compatibilização, podem ser listados: a separação entre a atividade projetual e a execução; forma sequencial de projeto; especialização cada vez maior das diferentes áreas de projetos; equipes de um mesmo projeto atuando em diferentes localidades; dentre outros.

Para os fins deste trabalho, a compatibilização é entendida como a atividade que visa identificar e eliminar possíveis erros e interferências físicas entre subsistemas de um mesmo projeto. O foco principal está na solução de incompatibilidades, já que elas são um problema recorrente na construção civil brasileira e que geram grandes prejuízos.

Como se pode ver, o conceito de compatibilização de forma geral está associado à qualidade do projeto, em todas as suas fases. A compatibilização é um dos requisitos para a garantia da qualidade do projeto final, e consequentemente, para a qualidade do empreendimento como um todo. OLIVEIRA e FREITAS (1997) sugerem a utilização da abordagem proposta por PICCHI (1993), onde a qualidade do projeto pode ser dividida nas seguintes etapas:

- **Qualidade do programa proposto:** Para a garantia da qualidade do programa proposto, a pesquisa mercadológica deve ser levada em consideração, bem como a correta identificação das necessidades dos clientes e a rápida percepção de mudanças no mercado, dentre outros fatores.
- **Qualidade da solução elaborada:** Deve-se atender ao programa de necessidades (adequação estética e funcional); buscar a flexibilização do projeto para o cliente, contemplando distintas utilizações; observar normas existentes e legislações locais; considerar aspectos de construtibilidade; dentre outros.
- **Qualidade da apresentação da documentação do projeto:** Está associada à clareza, adequada quantidade de informações disponíveis e à facilidade de consulta. Deve-se buscar a padronização da apresentação; definir padrões de apresentação de detalhes construtivos; elaborar projetos de produção; produzir projetos claros e de fácil entendimento para os clientes; desenvolver especificações técnicas para a compra de materiais e componentes; compatibilizar os documentos técnicos com os documentos do lançamento do empreendimento; dentre outros.
- **Qualidade do processo de elaboração do projeto:** Está fortemente relacionada com o prazo, custo, comunicação e integração entre as pessoas envolvidas. Deve-se estabelecer procedimentos gerenciais para a utilização do projeto; promover a coordenação dos projetos; verificar a compatibilização dos projetos; estabelecer cronogramas de atividades e o fluxograma do processo; utilizar tecnologia da informação para o controle (arquivamento dos projetos, controle de cópias e revisões, elaboração das plantas, etc...); dentre outros.

Com uma fragmentação cada vez maior do trabalho no processo de projeto, para muitos autores, uma forte razão que justifica a compatibilização de projetos é o caráter multidisciplinar do processo. O grande número de envolvidos dificulta a coordenação e a troca de informações. Frequentemente, os projetos são elaborados em diversos escritórios de diferentes especialidades, que são incumbidos de parcelas cada vez menores do projeto e dependentes de informações de terceiros. Os projetos individuais produzidos por cada escritório precisam ser continuamente articulados por uma equipe de coordenação, e isso se torna especialmente difícil quando essa articulação ocorre somente ao final das contribuições individuais, segundo GEHBAUER e ORTEGA (2006).

Para MIKALDO JR. (2006), a necessidade de se compatibilizar projetos é originada pela separação entre a atividade de projeto e a de execução. No entanto, o autor lista também como razões que justificam a compatibilização: a fragmentação e especialização crescente dos projetistas, a adoção de novas tecnologias nos canteiros de obras e a separação física das equipes que, por vezes, atuam em diferentes localidades.

O processo de projeto tradicional é caracterizado por uma forma sequencial de se projetar, baseado em representações bidimensionais, onde muitas vezes as equipes trabalham de forma isolada, sem uma maior interação entre os projetistas. Segundo MELHADO et al. (2005), esse arranjo tradicional foca a delimitação das características do produto-edifício, e dá pouca ênfase ao papel do projeto como ferramenta para auxílio na condução das atividades construtivas. Isso acaba gerando uma lacuna entre os que projetam e os que concebem a construção, fato que leva a incompatibilidades, erros diversos de projetos, falta de detalhes relativos à construção, dentre outros problemas.

No quadro a seguir, GEHBAUER e ORTEGA (2006) listam alguns dos problemas encontrados nos projetos de edificações e propõem soluções.

| <b>PROBLEMAS</b>                                                      | <b>PROJETISTAS</b>                                                         | <b>CONSTRUTORAS</b>                                                                            | <b>SOLUÇÕES</b>                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Falta de integração entre os projetistas                              | Não conhecimento da equipe de projetos                                     | Sem a competência da coordenação e compatibilização de projetos                                | Envolvimento simultâneo dos projetistas                         |
| Falta de clareza e objetividade nas informações fornecidas no projeto | Inexistência ou incorreção de informações sobre as necessidades do cliente | Inexistência de caderno de diretrizes                                                          | Elaboração do caderno de diretrizes pela construtora            |
| Conflito de informações entre os diversos projetos                    | Desenvolvimento isolado das diversas fases do projeto                      | Desconhecimento do momento ideal para a compatibilização dos projetos                          | Capacitação em gestão de projetos                               |
| Construção extrapola o custo previsto de projeto                      | Falta de definição de custo para as soluções de projeto                    | Viabilidade inexata e estanque. Falta de transparência das informações                         | Capacitação em custos para a equipe de projetos                 |
| Frequentes atrasos na entrega de projetos                             | Processos internos de gestão obsoletos                                     | Não exigência de padrões mínimos de contratação dos projetistas                                | Implantação de sistema de qualidade nos escritórios de projetos |
| Soluções de projetos obsoletas                                        | Isolamento geográfico dificulta a troca de experiências                    | Falta de conhecimento dos custos das decisões de projeto e privilégio de projetos mais baratos | Capacitação técnica e aprimoramento tecnológico                 |
| Alto custo com retrabalho                                             | Distanciamento das práticas construtivas                                   | Práticas construtivas atuais, porém estanques                                                  | Maior transparência na troca de informações                     |

QUADRO 03: Diagnóstico dos problemas encontrados nos projetos.  
Fonte: GEHBAUER e ORTEGA (2006).

#### 4.3 DIMENSÕES DA COMPATIBILIZAÇÃO

Outra visão para a compatibilização de projetos é apresentada por SOLANO (2005), onde o autor afirma que a compatibilização não pode se limitar somente aos aspectos da análise do desenho como modelo representativo da obra. A compatibilização gráfica pode ser

reduzida, se os projetistas forem bem orientados pela coordenação e gerência do projeto. O autor sugere o conceito de dimensões da compatibilização, onde além da compatibilização gráfica, outros aspectos são levados em consideração, como a viabilidade técnico-econômica, a facilitação de fluxo da produção, o programa de necessidades, dentre outros.

Em estudo realizado com diversas empresas do setor de construção civil, SOLANO (2005) demonstrou as dimensões da compatibilização e as classificou em cinco categorias: estratégica, pesquisa de mercado, viabilidade técnico-econômica, construtibilidade e facilitação de fluxo da produção dos projetistas. O autor propôs métodos e ações para a compatibilização em cada uma das dimensões descritas, listando deveres do compatibilizador. Todas as informações a seguir são baseadas em SOLANO (2005).

#### **4.3.1 Dimensão do plano estratégico do projeto**

Dentre as obrigações e deveres do compatibilizador nesta etapa, podem ser listados: criar condições para que os projetistas possam respeitar o cronograma de desenvolvimento dos projetos; fazer com que os projetos permitam exeqüibilidade ao cronograma previsto para a execução da obra; fazer com que o custo previsto para o desenvolvimento dos projetos seja atingido; fazer com que os projetos oportunizem atingir os custos previstos para execução da obra; dentre outros.

#### **4.3.2. Dimensão da pesquisa de mercado**

Dentre as obrigações e deveres do compatibilizador, estão: instruir e cobrar dos projetistas o foco das ações dos projetos para o cliente final; orientar e exigir que a representação gráfica dos projetos atenda aos requisitos de leitura, dos ambientes de permanência prolongada e transitória, da relação entre lados dos compartimentos, da orientação solar, da vista do panorama e de acessibilidade, dentre outros.

#### **4.3.3 Dimensão da viabilidade técnico-econômica**

Nesta fase, o compatibilizador deve utilizar indicadores considerados no estudo de viabilidade econômico-financeira para verificar possíveis desconformidades; indicadores geométricos, de consumo, de custos, de produtividade; índice de compactidade, além de taxas de forma, concreto, armaduras, esquadrias, dentre outras; e as curvas ABC, que foram geradas

a partir do estudo de viabilidade econômico-financeira. O compatibilizador deve priorizar os itens de maior custo para o projeto e garantir que os projetistas se enquadrem nos consumos e custos previstos na fase de concepção do empreendimento. Todos esses índices e indicadores devem ser avaliados com o intuito de checar a coerência dos projetos frente ao plano de viabilidade elaborado.

#### **4.3.4 Dimensão da construtibilidade**

O autor propõe um método que possa garantir três aspectos aos projetos: construtibilidade, operacionabilidade e manutenibilidade. Para isso, o compatibilizador deve: elaborar listas de verificação das zonas vulneráveis; elaborar o plano de compatibilização de acordo com o cronograma dos projetos; verificar se o projetista atendeu à padronização dos documentos; verificar se a base dos projetos é a versão atual do projeto de arquitetura liberado; elaborar regras para o processo de compatibilização; manter o controle da compatibilização e divulgar os resultados entre os intervenientes do projeto; dentre outros.

#### **4.3.5 Dimensão da facilitação de fluxo da produção dos projetistas**

Segundo o autor, esta dimensão não é utilizada pela maioria dos compatibilizadores e consiste em: garantir o cumprimento de prazos previstos no cronograma de projetos e prazos para a compatibilização; divulgar amplamente o processo de compatibilização por meio compartilhado; garantir que os projetos sejam liberados para produção sem pendências, somente após a conclusão da compatibilização e do processo de projeto como um todo.

### **4.4 CONSTRUTIBILIDADE**

Como demonstrado anteriormente, o objetivo principal da compatibilização é evitar que erros e interferências de projetos afetem a fase de construção, gerando atrasos e desperdícios. Esta ideia está fortemente ligada ao conceito de construtibilidade, que segundo RODRÍGUEZ e HEINECK (2003), “refere-se ao emprego adequado do conhecimento e da experiência técnica em vários níveis para racionalizar a execução dos empreendimentos, enfatizando a inter-relação entre as etapas de projeto e execução.” Já para o *Construction Industry Institute* (CII) apud SOUSA (2010), a construtibilidade é a aplicação integrada e otimizada do

conhecimento de projetos e técnicas construtivas, com o intuito de alcançar os objetivos globais do projeto.

A separação entre a atividade projetual e a construtiva é justamente uma das causas de ocorrência de incompatibilidades de projetos. Ser exequível e tecnicamente viável é um requisito dos projetos. Por isso, a compatibilização é indispensável e um dos mais importantes requisitos, dentre os diversos necessários, para a garantia da construtibilidade de um projeto. No entanto, a preocupação com o processo construtivo nem sempre ocorre como deveria nas etapas de projeto. São comuns projetos com pouco ou nenhum detalhamento acerca do procedimento construtivo e suas interações com outros subsistemas. “Pensar como construir em paralelo às soluções de projetos significa imaginar o sequenciamento e transformação de insumos em espaços tridimensionais, por meio da boa prática e aplicação da tecnologia viável.” (GEHBAUER e ORTEGA, 2006).

Pensando em melhorar a interface projeto-execução e consequentemente reduzir incompatibilidades, uma boa solução é a utilização do conceito de **projeto para produção**. Os projetos para produção têm como principal objetivo integrar o projeto à obra, detalhando o processo executivo e apresentando soluções adequadas. Eles devem ser elaborados de forma simultânea ao detalhamento e conter elementos da atividade de produção, tais como: disposição e sequência das atividades construtivas; frentes de serviço; arranjo e evolução do canteiro de obras; dentre outras (MELHADO et al., 2005).

O principal motivo que torna o projeto para produção um fator determinante da construtibilidade e benéfico à compatibilização é que nele as interfaces entre subsistemas são analisadas a fundo. O intuito é garantir a racionalização estudando o processo construtivo como um todo, podendo assim prever soluções para potenciais problemas e interferências.

Em MELHADO et al. (2005), os autores citam como exemplo aspectos relevantes que devem ser estudados entre as interfaces dos projeto de vedações e instalações :

- Definição de cotas de marcação de passagens e furações necessária às instalações, levando-se em conta as interferências com a estrutura.
- Definição da sequência de execução da forma e elementos das formas de passagem.
- Estudo da sequência de atividades de execução das instalações; estudo das interferências com as vedações.
- Checar condições para início da execução dos ramais (isométricos) das instalações.

#### 4.5 ENGENHARIA SIMULTÂNEA E BIM

A expressão Engenharia Simultânea (ES) surgiu na década de 90 e utiliza conceitos que visam à produção de forma integrada e simultânea. Para FERREIRA (2007), o foco principal da ES é sugerir mudanças gerenciais que permitam o trabalho em paralelo, com o intuito de reduzir o tempo de produção e obter as vantagens associadas à produção simultânea. Já para GEHBAUER e ORTEGA (2006), a ES é uma abordagem sistemática para o projeto integrado e simultâneo, e que contempla todos os elementos do ciclo de vida de um projeto, desde a concepção até o uso e disposição final.

O conceito de Engenharia Simultânea (também conhecido como projeto simultâneo) é bastante benéfico ao projeto de edificações e à compatibilização, uma vez que ele prega a produção em paralelo e integração entre os envolvidos. Isso requer a formação de equipes multidisciplinares que devem atuar em conjunto e de forma organizada. Engenheiros de produção devem atuar em conjunto com projetistas na elaboração dos projetos, agregando valor ao processo e ajudando a prever potenciais problemas do projeto e na fase de execução (MELHADO et al., 2005).

Para MELHADO et al. (2005), ao se adotar a ES, os principais benefícios visados são:

- Maior integração entre as partes envolvidas no processo através de formação de equipes multidisciplinares;
- Diminuição de tempo na elaboração dos projetos;
- Melhoria de desempenho do produto e do processo;
- Redução de custos;

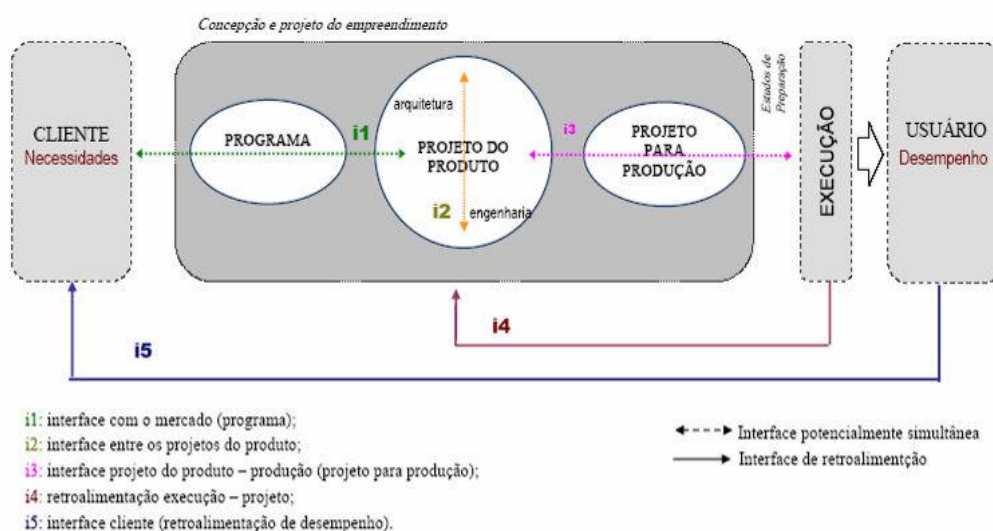


FIGURA 08 – Interfaces do processo de desenvolvimento de produto na construção civil.

Fonte: FABRICIO (2002) apud MIKALDO JR. (2006)

Segundo MIKALDO JR. (2006), o conceito de ES abrange e contribui ao conceito de construtibilidade, já que a fase de desenvolvimento dos projetos se concentra nos processos relativos à produção. Neste enfoque, se faz necessário o uso de um modelo computacional central.

Nesse contexto, a metodologia BIM surge como uma solução, justamente por conter em sua essência os fundamentos da Engenharia Simultânea. Por se tratar de um modelo único e integrado que contém documentos e informações diversas agregadas pelos projetistas e agentes envolvidos. Mais do que isso, ela abrange os conceitos da ES pela forma integrada, coordenada e que exige dos envolvidos, uma constante troca de informações para a construção do modelo.

Por se tratar de uma tecnologia incipiente no Brasil, nem sempre essa colaboração ocorre como deveria na construção do modelo, mas ela já é uma realidade em países que tem maior adesão e beneficiam-se de todas as vantagens oferecidas pelo BIM. Quebrar a forma sequencial e tradicional de se projetar pode trazer bastante ganho à construção civil, especialmente pela redução de diversos problemas relacionados à fase de projetos, como as incompatibilidades físicas, por exemplo.

## 4.6 DETECÇÃO DE INTERFERÊNCIAS COM BIM E CAD 2D

### 4.6.1 Limitações do CAD 2D para a compatibilização

A detecção de interferências físicas no CAD 2D é um processo falho, árduo e ineficaz. Isso ocorre devido à fragmentação dos projetos neste modelo, por estes serem apenas formados por *layers* (sem objetos paramétricos) e obviamente, por serem representações bidimensionais. Habitualmente, a detecção de interferências nesse modelo é feita de forma manual, pela sobreposição de projetos distintos. Esse processo deve ser feito com diversos projetos que interagem, e a identificação de interferências é confusa, falha, e fica totalmente a critério do compatibilizador. Além desses fatores, pesa ainda o fato de que a utilização de tecnologia da informação em geral é bem restrita nesse processo.

Segundo FERREIRA e SANTOS (2007), as simplificações adotadas e omissões de informações em projetos 2D são fatores que dificultam as análises de interferências dos projetos. Para os autores, essas simplificações e omissões são típicas dos projetos em 2D e ocorrem para tornar o desenho mais legível em plantas, cortes e elevações. Quando elas ocorrem, a equipe responsável pela compatibilização deve recriar mentalmente o espaço

omitido ou simplificado, o que faz com que o processo de compatibilização seja intuitivo e , portanto, sujeito a erro humano.

O quadro a seguir demonstra algumas das limitações, características e exemplos citados por FERREIRA e SANTOS (2007):

| <b>Característica</b> | <b>Descrição</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Exemplo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ambiguidade           | A mesma representação pode ser interpretada de mais de uma forma, mesmo que adicionada de notas, símbolos ou esquemas, em geral em algum ponto do contexto do desenho que pode não ser claramente percebido.                                                                                                                                                                                                                                                                                     | A representação das vigas que estão no mesmo plano ou em níveis diferentes (invertidas), em que essas diferenças são representadas em seções que podem passar despercebidas pelo projetista.                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Simbolismo            | O objeto é representado por um símbolo cujas dimensões e formas não têm relação com o objeto real que representa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | A indicação dos pontos de elétrica (interruptor, tomada alta ou baixa etc.) usa símbolos fora da proporção com o objeto real que representam, induzindo o projetista a ignorar as relações espaciais reais.                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Omissão               | Na tentativa de tornar o desenho mais sintético, são omitidas informações consideradas “óbvias” para o especialista que está projetando. Entretanto, para a análise de outros envolvidos, a informação em geral é desconhecida e, por não estar representada, não é levada em consideração. Também pode se caracterizar pela omissão de uma elevação ou corte necessário para a correta interpretação do projeto.                                                                                | Em um dos problemas identificados, o projetista não representou a peça metálica de fixação do conjunto flexível de água quente e fria do misturador do chuveiro. Para o projetista de hidráulica, era óbvio que aquele conjunto não ficaria no ar. Porém, a interferência com a estrutura para a parede de drywall e a existência de um shaft com tampa removível, apertou a instalação dentro do shaft, quando se considerou a peça de fixação dos misturadores. |
| Simplificação         | O projetista simplifica uma determinada representação, alterando o volume real do objeto ilustrado. Este problema é semelhante ao do simbolismo, porém, diferentemente deste, a simplificação guarda algumas relações de forma e dimensão com o modelo real, porém esta característica não as representa explicitamente.                                                                                                                                                                         | O projetista de hidráulica freqüentemente representa como uma simples linha ou curvas as tubulações de água quente e fria. Estas tubulações, em geral, têm diâmetros de 40 ou 50 mm, praticamente a metade da dimensão da tubulação de esgoto (de 100 mm). Em espaços muito restritos, esse tipo de representação sempre compromete a análise das reais ligações entre as diversas peças.                                                                         |
| Fragmentação          | A fragmentação está relacionada à separação da informação em várias vistas ortográficas (planta, elevação, corte) e pode ser agravada com a eventual representação destas vistas em folhas separadas. O esforço cognitivo é aumentado quando é necessário correlacionar informações representadas em duas vistas diferentes, favorecendo o erro. Esse procedimento é diferente do desenho mecânico, onde as vistas devem sempre ser alinhadas, facilitando a correlação dos detalhes das vistas. | O projetista de elétrica, em um dado projeto, indicou a altura de uma arandela na escada. As vigas da escada nem sempre estão no mesmo nível do pavimento tipo. Para poder compreender o todo e evitar que a arandela acabasse ficando na viga, seriam necessários cortes e ou elevações para o entendimento dos vários níveis.                                                                                                                                   |

QUADRO 04 – Limitações das representações 2D

Fonte: FERREIRA e SANTOS (2007)

#### 4.6.2 Detectando interferências com BIM

Em modelos BIM, a detecção de interferências (comumente conhecida por sua expressão em inglês, *clash detection*) surge do fato de que apesar de ser um modelo único constituído de todos os componentes, sua construção se dá em diversas plataformas distintas. As diferentes especialidades de projetos têm *softwares* específicos para modelagem, e que nem sempre são de um mesmo fabricante. Por vezes, os formatos dos arquivos de cada uma das disciplinas de projetos são também distintos, o que requer uma interoperabilidade para que no processo de junção dos modelos, informações valiosas não sejam perdidas. Ao final do processo de modelagem, os arquivos são unidos e transformados em um único modelo, que contém todas as informações inseridas durante a modelagem.

A detecção de interferências ocorre tanto durante a modelagem do projeto, quanto após a junção dos componentes das diferentes disciplinas de projeto. Por se tratar de um ambiente tridimensional e paramétrico, as interferências e erros são vistos com muito mais facilidade, rapidez e com maior automação. A possibilidade de geração de cortes e vistas diversas em qualquer ponto do modelo também auxilia na detecção visual de problemas, fato que não é possível em projetos em CAD 2D.

Além da maior facilidade de visualização, em geral, os próprios *softwares* modeladores possuem ferramentas que permitem os testes de conflitos. Existem também diversos programas de análise e gerenciamento de modelos que rodam testes de conflitos mais completos, e que permitem ao usuário confrontar informações específicas de elementos de subsistemas, como por exemplo, rodar um teste confrontando as vigas estruturais em concreto com as tubulações de passagem de água fria. Para EASTMAN et al. (2011), os resultados obtidos com os testes dependem do nível de detalhamento do modelo. Quanto mais preciso e rico em detalhes for o modelo, mais eficiente será o teste de conflitos.

Em geral, os conflitos detectados no BIM podem ser classificados em três tipos:

- *Hard Clash* – Ocorre quando dois objetos ocupam o mesmo espaço. Quando há o choque entre os elementos. É o tipo mais comum e prejudicial de interferência.
- *Soft Clash* ou *Clearance Clash*- São os conflitos que ocorrem sem o choque físico dos objetos. Ocorrem em elementos que demandam certa tolerância espacial livre dentro de um raio específico. Por exemplo, a execução de forro em placas de gesso, que para ser correta precisa de uma distância mínima para a passagem de tubulações entre ele e a laje.

- *4D Clash* ou *Workflow Clash* – São conflitos que são detectados durante o sequenciamento de atividades ao longo do tempo de construção. Eles não são visíveis ao final do processo, mas somente durante etapas específicas da construção. São bastante úteis para checar conflitos dentro do canteiro de obras, com elementos como guias e máquinas que atuam temporariamente.

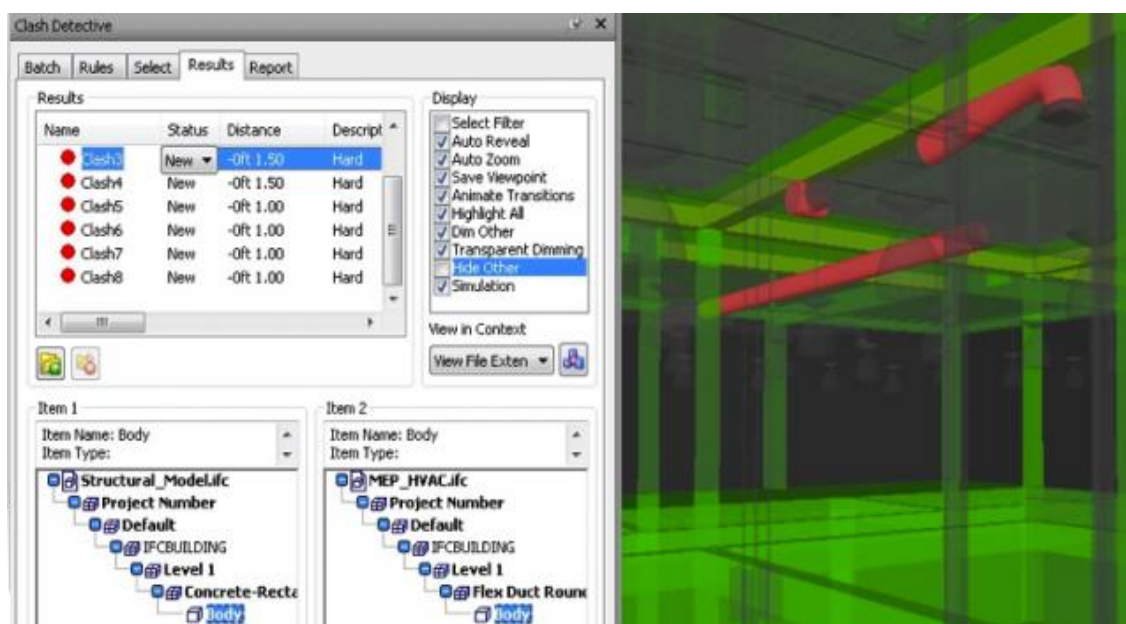


FIGURA 09 – Teste de conflitos no Autodesk Navisworks.  
 Fonte: PORTAL AUTODESK (2010)

A automação do processo de identificação de interferências é uma grande vantagem da compatibilização em modelos BIM. Existem *softwares* de análise que permitem que categoria de objetos sejam testados de forma isolada, bem como todo o projeto seja testado de uma só vez. No entanto, essa automação no processo acaba identificando interferências que não são tão relevantes. Filtrar o resultado dos testes é fundamental para que as interferências que podem gerar atrasos e desperdícios na fase executiva sejam solucionadas no processo de compatibilização. Portanto, é importante que os testes de *Clash* sejam feitos de forma criteriosa, filtrando as informações relevantes e permitindo o estudo correto das interferências encontradas, bem como a atribuição de responsabilidades na correção dos problemas junto aos projetistas.

## 5 ESTUDO DE CASO: COMPATIBILIZAÇÃO EM UM MODELO BIM

O estudo de caso proposto neste trabalho tem como objetivo a avaliação do processo de identificação de interferências em um modelo BIM. Espera-se com isso, apresentar os benefícios da metodologia BIM para a compatibilização de projetos, e a consequente redução de potenciais interferências que afetariam a construção e a qualidade do projeto. Portanto, o foco está em demonstrar o processo de compatibilização através da identificação de interferências físicas, principalmente.

Para o estudo das interferências, o modelo utilizado foi cedido pela incorporadora “A”. O estudo foi feito através das análises de interações dos projetos arquitetônicos, estruturais e de instalações gerais (elétricas, hidrossanitárias e de combate a incêndio) da obra “X”. A construção do modelo se deu através da contratação de projetistas por parte da empresa “A”. Os distintos projetistas que participaram do processo receberam treinamento e licenças da família de *softwares* Autodesk Revit para realizar a modelagem dos componentes de projeto. A coordenação final, união dos modelos de cada disciplina e compatibilização ficou sob responsabilidade da empresa contratante “A”.

Como visto anteriormente, apesar de ser um processo digital e com boa automação, a identificação de interferências deve passar por um bom filtro, para que somente as informações relevantes sejam estudadas. Isso requer um bom conhecimento das interações entre subsistemas, bem como das principais e mais prejudiciais interferências de projetos que podem ocorrer. Por isso, este estudo de caso se inicia com uma revisão e levantamento das principais interferências e falhas encontradas em projetos de edificações.

O processo de identificação no modelo teve como ponto de partida os levantamentos das principais interferências de projetos feitos no item 5.1. A partir destes, foram identificados os objetos com potencial para gerar interferências e foi definido o modo de análise de *clash detection* a ser utilizado. Posteriormente, seleções de elementos foram criadas no modelo visando confrontar os objetos listados nos quadros do item 5.1, com as respectivas formas de análise.

Foram criadas diversas seleções de objetos, como pilares, esquadrias metálicas, portas, tubulações horizontais, prumadas, dentre outras. Os itens com potencial para gerar interferências foram devidamente testados, e ao final, todos os itens das disciplinas confrontadas foram testados, visando identificar interferências que não foram previstas na etapa de levantamento.

Com essa metodologia, os resultados dos testes de interferências são apresentados para efeito de análise no item 5.3. A descrição do empreendimento e dos modelos utilizados é feita no item 5.2. Ao final, no item 5.4, é feita uma análise geral dos resultados obtidos no processo de identificação.

Um roteiro com a síntese da metodologia empregada na identificação é demonstrado na FIGURA 10, a seguir.

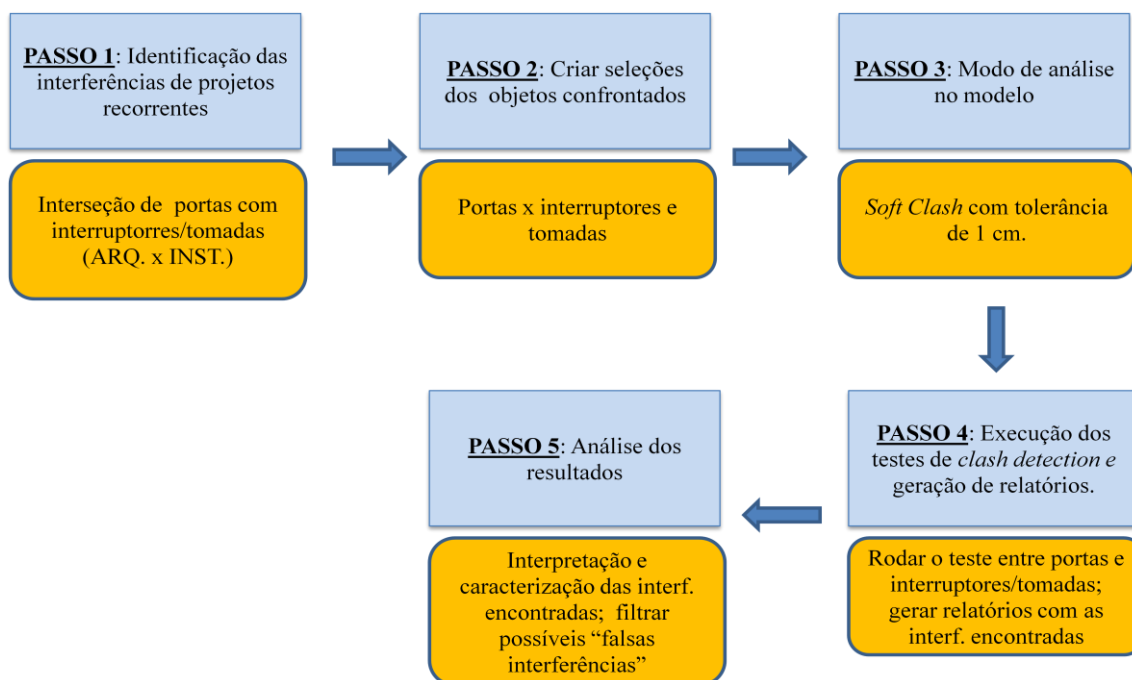


FIGURA 10 – Metodologia do estudo de caso.

Os resultados dos testes de identificação são baseados nos relatórios gerados para cada teste individual realizado. As análises e resultados são demonstrados ao longo deste item para cada grupo de disciplinas confrontadas. Os relatórios, por serem extremamente extensos em alguns casos, não constam no corpo deste trabalho. Um exemplo de relatório gerado durante os testes é demonstrado a seguir, na FIGURA 11.



## Clash Report

| Test 1 | Tolerance | Clashes | New | Active | Reviewed | Approved | Resolved | Type      | Status |
|--------|-----------|---------|-----|--------|----------|----------|----------|-----------|--------|
|        | 0.01m     | 4       | 0   | 4      | 0        | 0        | 0        | Clearance | OK     |

| Image | Clash Name | Status | Distance      | Description | Date Found         | Clash Point                | Item 1              |                   |                              |                   |               |                | Item 2              |            |                     |            |               |           |
|-------|------------|--------|---------------|-------------|--------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|---------------|----------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------|-----------|
|       |            |        |               |             |                    |                            | Item ID             | Layer             | Item Name                    | Item Layer        | Item Material | Item Type      | Item ID             | Layer      | Item Name           | Item Layer | Item Material | Item Type |
|       | Clash1     | Active | -0.00         | Clearance   | 2012/7/18 22:15:39 | x:93.58, y:-16.34, z:47.30 | Element ID: 1863209 | 16 - 6° Pavimento | 0.80x2.10 - DML              | 16 - 6° Pavimento | Madeira       | Composite Part | Element ID: 3312194 | <No level> | Interruptor Simples | <No level> | interruptor   | Solid     |
|       | Clash2     | Active | 0.00000000057 | Clearance   | 2012/7/18 22:15:39 | x:93.59, y:-16.34, z:47.30 | Element ID: 1863209 | 16 - 6° Pavimento | 0.80x2.10 - DML              | 16 - 6° Pavimento | Madeira       | Composite Part | Element ID: 3312194 | <No level> | Interruptor Simples | <No level> | Solid         |           |
|       | Clash3     | Active | 0.01          | Clearance   | 2012/7/18 22:15:39 | x:92.84, y:-11.18, z:47.29 | Element ID: 336926  | 16 - 6° Pavimento | 0.80x2.10 - Depósito de Lixo | 16 - 6° Pavimento | Madeira       | Composite Part | Element ID: 3312195 | <No level> | Interruptor Simples | <No level> | interruptor   | Solid     |
|       | Clash4     | Active | 0.01          | Clearance   | 2012/7/18 22:15:39 | x:93.58, y:-16.33, z:47.32 | Element ID: 1863209 | 16 - 6° Pavimento | 0.80x2.10 - DML              | 16 - 6° Pavimento | Madeira       | Composite Part | Element ID: 3312194 | <No level> | Interruptor Simples | <No level> | tecla         | Solid     |

FIGURA 11 – Relatório de teste de *soft clash* entre portas e interruptores.

## 5.1 LEVANTAMENTO DE INTERFERÊNCIAS DE PROJETOS

Visando otimizar o processo de identificação de interferências e falhas de projetos, se faz necessário o conhecimento prévio dos principais problemas comumente encontrados na etapa de compatibilização. Esse conhecimento traz maior eficiência e velocidade ao processo de identificação, possibilitando que elementos específicos que costumam apresentar interferências sejam confrontados. Essa revisão serve como parâmetro e elemento de partida norteador para a busca de potenciais problemas existentes no modelo.

Como já dito anteriormente, o estudo de caso focará na análise das seguintes disciplinas de projetos: arquitetônico; estrutural; instalações (hidrossanitárias, elétricas e combate a incêndio). Portanto, apenas será feito o levantamento de interferências que englobam essas disciplinas. Segundo CALLEGARI e BARTH (2007), alguns tópicos e itens devem ser analisados:

- Arquitetura x Estrutura: modulação dimensional; pilares e vigas, analisando seus alinhamentos com paredes e intersecções com esquadrias; dutos de ventilação vertical e horizontal; circulações verticais como elevador e escada.
- Instalações Elétricas x Arquitetura e Estrutura: o quadro de distribuição; pontos de iluminação, interruptores e tomadas conforme *layout*; *shaft*.

- Instalações Hidrossanitárias x Arquitetura e Estrutura: prumadas e tubulações horizontais de água fria, água quente, esgoto, tubo de ventilação, pluvial e caixa de gordura; registros gerais e aparelhos ou equipamentos.

A partir do levantamento das principais interferências, os elementos em conflito podem ser estudados e analisados, caso a caso. Esse estudo é importante para que os testes no modelo possam ser feitos filtrando as informações relevantes, que costumam apresentar problemas. A partir das características de cada interferência listada, define-se então o modo como ocorrerá a análise no modelo. A análise foi desenvolvida com a utilização dos *softwares* Autodesk Revit Architecture e Autodesk Naviswork. Ela ocorre através de testes de interferência com *Hard* e *Soft Clash*, além da visualização de elementos tridimensionais.

A seguir segue um resumo dos principais problemas e interferências encontrados em projetos de edificações. O levantamento foi baseado em estudos feitos por SILVEIRA et al. (2002); CALLEGARI (2007); FERREIRA e SANTOS (2007); SOUSA (2010); MIKALDO JR. (2006).

### 5.1.1 Arquitetura x Estrutura

Dentre os problemas mais recorrentes envolvendo essas disciplinas, se destaca a falta de alinhamento entre pilares, vigas e paredes. Isso gera dentes nas paredes, fazendo com que um volume muito maior de revestimento seja gasto para corrigir esse problema. Ocorre também a interseção de pilares e vigas com esquadrias, bem como o desacordo de vãos de portas e janelas com os vãos estruturais. Isso dificulta a colocação de vergas, alizares e outros componentes das esquadrias, gerando atraso e retrabalho.

| <i>Disciplinas analisadas</i> | <i>Características das interferências</i>                        | <i>Itens confrontados</i>             | <i>Modo de análise</i> |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| <b>ARQ. X EST.</b>            | Desalinhamento de pilares, paredes e vigas                       | Pilares, vigas e paredes              | Visual                 |
|                               | Interseção de pilares e vigas com as esquadrias                  | Esquadrias x pilares e vigas          | <i>Hard Clash</i>      |
|                               | Vãos de portas e janelas em desacordo com vãos estruturais       | Vigas e pilares x portas e janelas    | <i>Soft Clash</i>      |
|                               | Caixas dos elevadores não condizentes com os tamanhos dos mesmos | Pilares e vigas centrais x elevadores | <i>Soft Clash</i>      |

QUADRO 05 – Interferências Arquitetura x Estrutura

### 5.1.2 Arquitetura x Instalações

Para a compatibilização dessas disciplinas, as prumadas de hidráulica e *shafts* costumam apresentar problemas de interseção ou mau posicionamento. São comuns também interferências entre prumadas e esquadrias. São verificados problemas que geram complicações e atrasos, como rebaixo de forro por conta de caixas sifonadas e curvas, encontro de registros e elementos decorativos, dentre outros. Outro problema que costuma gerar atrasos é o desencontro de aparelhos como vasos e pias e suas entradas de água e saída de esgoto.

| <i>Disciplinas analisadas</i> | <i>Características das interferências</i>                                                                             | <i>Itens confrontados</i>                        | <i>Modo de análise</i>     |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>ARQ. X INST.</b>           | Interseção de prumadas de água fria e quente com as esquadrias                                                        | Tubulações de queda x esquadrias                 | <i>Hard Clash</i>          |
|                               | Desalinhamento de paredes com prumadas de esgoto e de água                                                            | Tubulações de queda x <i>shaft</i>               | Visual e <i>Hard Clash</i> |
|                               | Tubulação de esgoto impedindo a colocação de forro na altura correta                                                  | Tubulação de esgoto x forro                      | <i>Soft Clash</i>          |
|                               | Interseção de dutos horizontais e paredes                                                                             | Dutos de passagem x paredes                      | <i>Hard Clash</i>          |
|                               | Diferença no posicionamento de aparelhos e equipamentos hidrossanitários, nos projetos arquitetônico e de instalações | Peças hidrossanitária x tubulações (AF, AQ e ES) | <i>Soft Clash</i>          |
|                               | Interferências de elementos decorativos com aparelhos hidrossanitários                                                | Bancadas x registros e válvulas                  | <i>Soft e Hard Clash</i>   |
|                               | Interruptores localizados atrás das folhas de aberturas de portas                                                     | Interruptores x Portas                           | Visual                     |
|                               | Interferências de tomadas, interruptores e QD com portas                                                              | portas x interruptores/tomadas/QD                | <i>Hard e Soft Clash</i>   |

QUADRO 06 – Interferências Arquitetura x Instalações

### 5.1.3 Estrutura x Instalações

Dentre os problemas relacionados com a estrutura e as instalações, os furos não previstos para passagem de tubulações são os mais recorrentes. Eles ocorrem devido à falta de

detalhamento das passagens em lajes e vigas ou devido às modificações nos projetos de instalações. Ocorrem também problemas relacionados à passagem de prumadas e ao posicionamento de aparelhos interferindo em elementos estruturais, como quadros de distribuição posicionados próximos a pilares. As interferências entre estrutura e instalações são mais comuns em obras residenciais, mas ocorrem também em edificações comerciais.

| <i><b>Disciplinas analisadas</b></i> | <i><b>Características das interferências</b></i>                                   | <i><b>Itens confrontados</b></i>      | <i><b>Modo de análise</b></i> |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| <b>EST. X INST.</b>                  | Interseção de tomadas, interruptores e QD com pilares                              | Elementos de elétrica x pilares       | <i>Hard Clash</i>             |
|                                      | Passagem de tubulações interceptando pilares                                       | Tubulações x pilares                  | <i>Hard Clash</i>             |
|                                      | Interseção de dutos de ventilação com vigas e pilares sem previsão da passagem     | Dutos de ventilação x Vigas e Pilares | <i>Hard Clash</i>             |
|                                      | Furos de passagem que não foram previstos ou decorrentes de alterações de projetos | Tubulações horizontais x vigas        | <i>Soft Clash</i>             |
|                                      | Furos em lajes para passagem de prumadas com pouco detalhamento                    | Tubos de queda x lajes                | <i>Hard e Soft Clash</i>      |
|                                      | Interseção de prumadas com vigas (geralmente em projetos com diversas formas)      | Tubos de queda x vigas                | <i>Hard Clash</i>             |

QUADRO 07 – Interferências Estrutura x Instalações

#### 5.1.4 Arquitetura x Arquitetura

Esse tipo de interferência afeta com maior gravidade a fase de acabamento da obra. Geralmente, essas interferências são oriundas da falta de detalhamento de alguns elementos, como paginação de revestimentos cerâmicos, alvenaria de vedação, tamanho de bancadas, dentre outros. As constantes alterações de projetos e elementos arquitetônicos durante a fase executiva é também um fator que gera interferências desse tipo. Por exemplo, uma modificação de especificação de uma esquadria deve ter o seu entorno estudado, já que por vezes o espaço para colocação das peças é limitado por outro elemento arquitetônico que não é alterado, preservando as limitações de espaço.

| <i><b>Dicsiplinas analisadas</b></i> | <i><b>Características das interferências</b></i>                                 | <i><b>Itens confrontados</b></i> | <i><b>Modo de análise</b></i> |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| <b>ARQ. X<br/>ARQ.</b>               | Falta de paginação de piso e revestimento cerâmico                               | Cerâmica                         | Visual                        |
|                                      | Alizar de portas e janelas incompatíveis com os espaços previstos em projeto.    | Vãos x esquadrias                | <i>Hard Clash</i>             |
|                                      | Desencontro de medidas de bancadas com o espaço interno de banheiros e cozinhas. | Bancadas x paredes               | <i>Hard Clash</i>             |
|                                      | Interseção de sancas com alizar de portas e janelas                              | Forro x janelas e portas         | <i>Hard Clash</i>             |

QUADRO 08 – Interferências Arquitetura x Arquitetura

### 5.1.5 Estrutura x Estrutura

Para os propósitos deste trabalho, não foram identificados interferências entre projetos estruturais na bibliografia pesquisada. De forma muito usual, os projetos estruturais de edificações são compostos de poucos elementos (pilares, vigas, lajes e fundações) e utilizam como material o concreto armado. Além disso, os elementos estão unidos, pois há sempre transmissão de cargas de um elemento para outro.

Devido a essa conformação simples, com poucos elementos e devido ao rigoroso estudo das interfaces dos elementos, que são dimensionados em programas que utilizam recursos tridimensionais, os problemas entre elementos do projeto estrutural são drasticamente reduzidos e inesperados. Os problemas relativos a projetos estruturais em concreto armado geralmente são relacionados à disposição de armaduras, fato que não é possível analisar nesse estudo de caso, pois o modelo não possui tamanho detalhamento.

Como não foram identificados interferências e como são poucos os elementos de projeto, deve ser testado o projeto contra si mesmo, com todos os seus objetos.

### 5.1.6 Instalações x Instalações

São interferências mais recorrentes em edificações comerciais, onde há uma predominância desses elementos em relação à estrutura e arquitetura. Dentre os tipos mais comuns, estão as interferências entre tubulações horizontais em pontos de passagem e o choque entre aparelhos/peças e tubulações diversas. Podem ocorrer também falhas de

posicionamento de interruptores e tomadas e as tubulações de elétrica. Em geral, ocorrem por falta de detalhamento ou especificação dos pontos de passagem e elementos do projeto.

| <i><b>Disciplinas analisadas</b></i> | <i><b>Características das interferências</b></i>     | <i><b>Itens confrontados</b></i>            | <i><b>Modo de análise</b></i> |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>INST. X INST.</b>                 | Falha no posicionamento de interruptores e tomadas   | Alinhamento de interruptores e tomadas      | Visual                        |
|                                      | Interferência de tubulações horizontais diversas     | Tubulações x Tubulações                     | <i>Hard Clash</i>             |
|                                      | Pontos de iluminação em conflito com tubos de esgoto | Caixas de iluminação x tubulações de esgoto | <i>Hard Clash</i>             |
|                                      | Interferência de peças e aparelhos com tubulações    | Peças e aparelhos x tubulações              | <i>Hard Clash</i>             |

QUADRO 09 – Interferências Instalações x Instalações

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DO MODELO

O empreendimento do estudo de caso se trata de uma edificação comercial composta de 40 pavimentos, sendo 7 de garagens e 32 de salas comerciais. As áreas das unidades comercializadas variam de 95 a 800 m<sup>2</sup>. O edifício possui fachada em pele de vidro e mármore, total de 16 elevadores, além de heliporto e mais de 1000 vagas de garagens. Ocupa um terreno com área total superior a 8.000 m<sup>2</sup> e possui um total de área construída de quase 80.000 m<sup>2</sup>.

Para a realização deste trabalho, foram utilizados os projetos de arquitetura, estrutura e instalações (hidrossanitárias, combate a incêndio e elétricas) de um pavimento tipo do edifício. Os modelos dessas disciplinas foram cedidos pela empresa “A” em etapa de anteprojeto. Portanto, os erros e interferências encontrados não refletem a qualidade da coordenação e nem dos projetos, já que os trabalhos de coordenação e concepção estavam ainda em pleno curso de suas atividades.

Para facilitar a visualização do modelo e das análises, o pavimento tipo foi isolado, conforme figura a seguir.

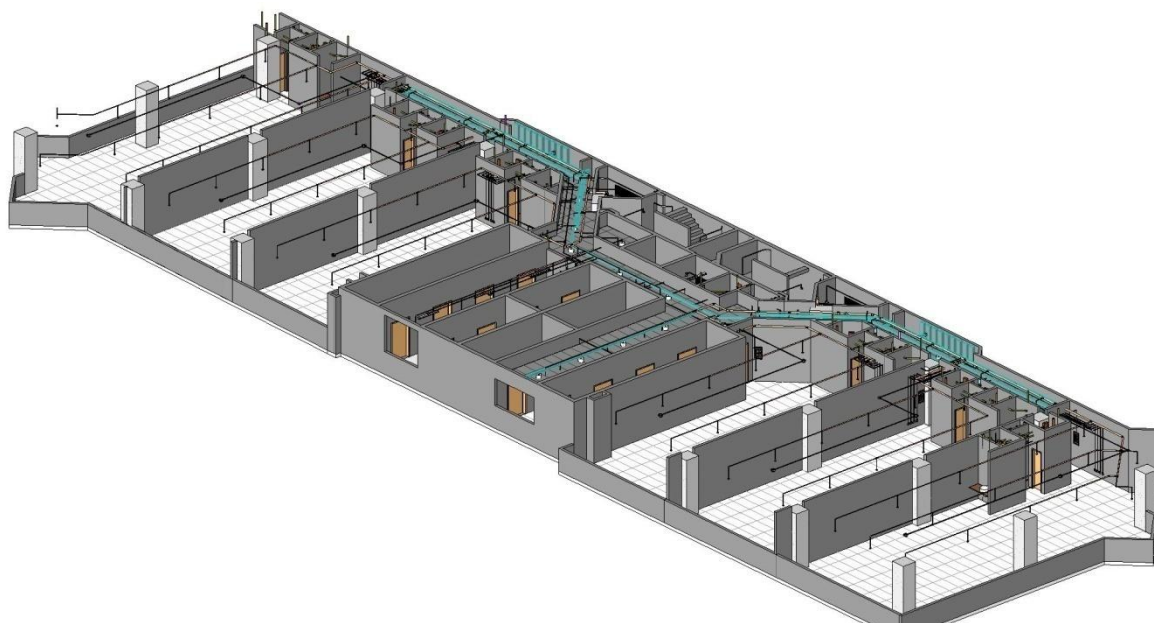


FIGURA 12 – Pavimento tipo do modelo estudado.

- Características do modelo arquitetônico:

- ✓ O projeto arquitetônico permite grande variabilidade do espaço interno, mas originalmente é composto de espaços sem divisórias superiores a 150 m<sup>2</sup>.
- ✓ Possui piso elevado com altura de 11 cm.
- ✓ Vedações internas em *drywall*, inclusive nos sanitários, que utiliza chapas de *drywall* tipo RU.
- ✓ A vedação externa é feita de alvenaria e esquadrias que compõem a fachada.
- ✓ Possui total de 16 elevadores dispostos no núcleo central
- ✓ Total de 13 sanitários por pavimento.
- ✓ Forro em gesso acartonado.

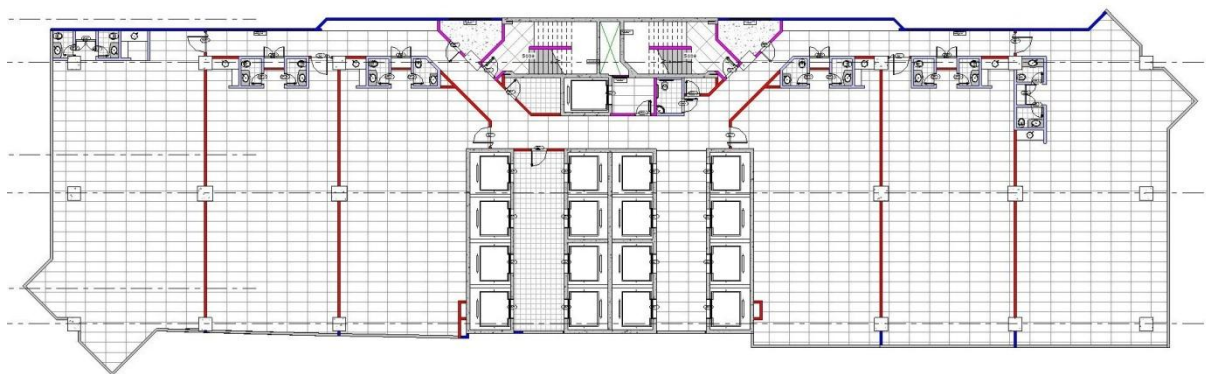


FIGURA 13 – Planta baixa do modelo arquitetônico.

- Características do modelo estrutural:

- ✓ Estrutura composta de elementos em concreto armado.
- ✓ Ausência de vigas internas nas áreas privativas.
- ✓ Lajes planas com altura de 18 cm.
- ✓ Pilares retangulares com 80x80 ou 90x90 cm, exceto 2 pilares de 60x100 cm.
- ✓ Parede estrutural (pilar parede) ao redor dos elevadores e escadas.
- ✓ Formação de capitéis com 7 cm de espessura ao redor dos pilares.

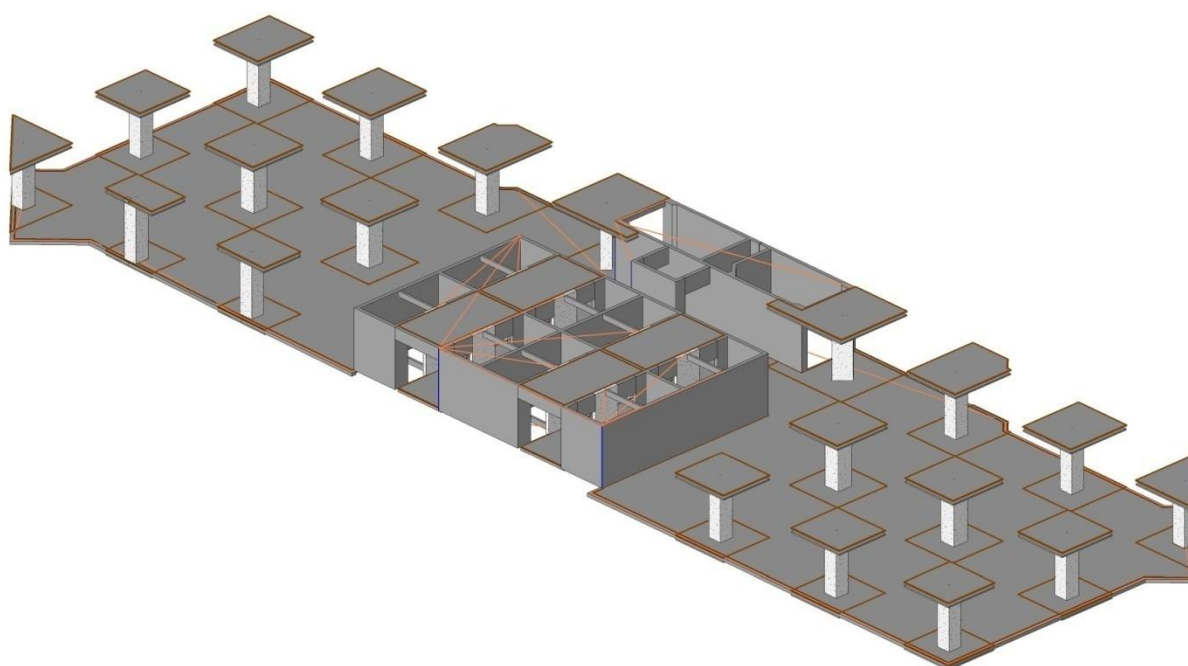


FIGURA 14 – Modelo estrutural

- Características do modelo de instalações:

- ✓ O modelo possui elementos hidrossanitários, de combate a incêndio e de elétrica. Possui também alguns componentes de alarme e telefone.
- ✓ Alta concentração de tubulações horizontais sobre o forro do corredor de circulação.
- ✓ Forte presença de tubulações de combate a incêndio por todo o pavimento.
- ✓ Possibilidade de passagem de tubulações pelo piso elevado.

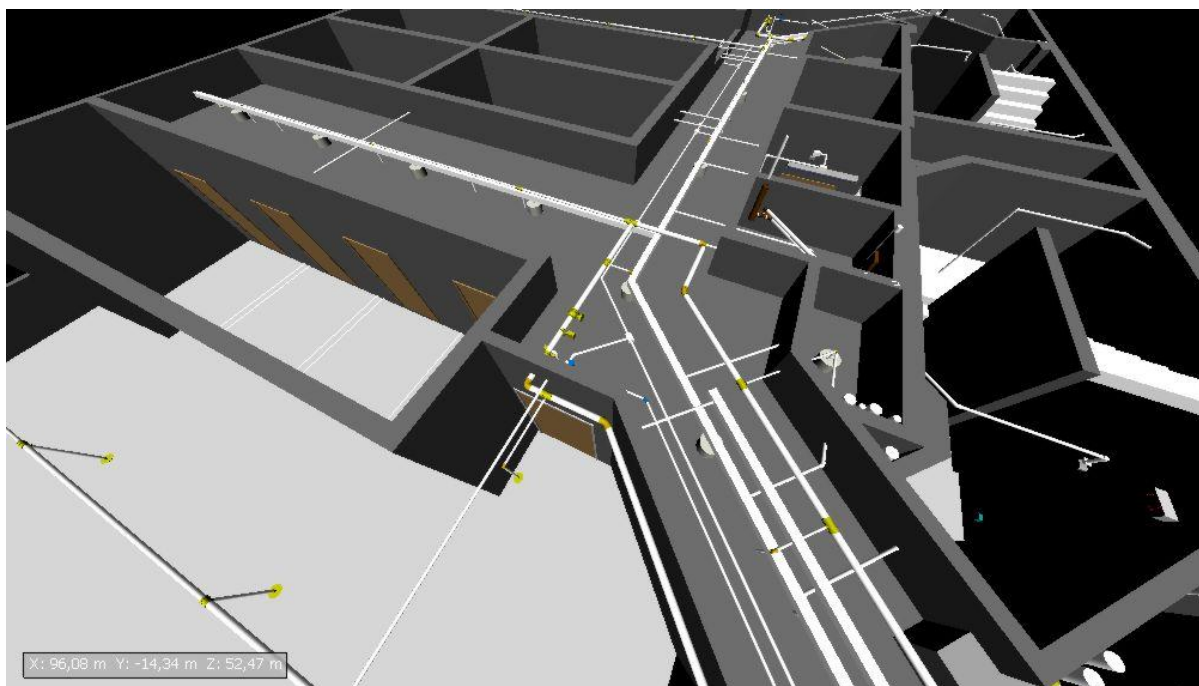


FIGURA 15 – Instalações sobre o corredor de circulação.

### 5.3 IDENTIFICAÇÃO E ESTUDO DAS INTERFERÊNCIAS NO MODELO

A identificação das interferências do modelo apresentado teve como foco as interações dos subsistemas em um pavimento tipo do projeto apresentado. Não foram analisadas problemas de fachadas, garagens ou coberturas, mas apenas problemas relativos ao pavimento tipo estudado e já caracterizado na etapa anterior.

O processo de identificação das interferências ocorreu com a utilização dos softwares Autodesk Revit Architecture e Autodesk Navisworks. O Revit é uma plataforma modeladora, que constrói o modelo arquitetônico com seus componentes e dados, enquanto o Navisworks é uma ferramenta de gerenciamento do modelo, com diversas utilidades para o gerenciamento e análise do projeto. Ambas possuem tecnologia e ferramentas auxiliares para detecção de conflitos, sendo que as ferramentas disponíveis no Navisworks são mais elaboradas e com maior variedade de opções, já que a proposta do *software* é justamente a coordenação de modelos. Portanto, a grande maioria das análises foi feita com a utilização dos recursos disponíveis no Navisworks.

A escolha dos *softwares* citados ocorreu devido à possibilidade de obter licenças da versão completa, de forma gratuita para estudantes. Por serem de um mesmo fabricante, a Autodesk, as ferramentas apresentam boa interação, tendo recursos de exportação dos

modelos do Revit para o Navisworks com boa interoperabilidade. Para o estudo de caso, foram utilizadas as versões 2012 de ambos os *softwares*.

Os modelos de arquitetura, estrutura e instalações gerais foram elaborados com a utilização das famílias de softwares Revit (Architecture, Structure e MEP). Para o estudo de caso, eles foram fornecidos pela empresa “A” e unidos no próprio Revit, para então serem exportados para análises no Navisworks. A interoperabilidade permitida possibilitou que as análises de *Clash Detection* fossem feitas no Navisworks com boa precisão das informações contidas nos objetos originalmente modelados no Revit.

Com a metodologia do estudo de caso proposta no início deste capítulo, as identificações e análises foram feitas.

### 5.3.1 Arquitetura x Estrutura

Para a identificação de interferências do projeto arquitetônico com o estrutural, foram utilizados tanto os recursos específicos dos programas Revit e Navisworks, como também a visualização da interface dos objetos confrontados. Os elementos dos projetos de instalações foram ocultados de forma a facilitar a visualização do modelo e a identificação de problemas.

Seguindo a metodologia proposta, foram analisados os itens listados no QUADRO 5, bem como confrontados todos os itens do projeto arquitetônico com os do projeto estrutural, para identificar problemas não previstos inicialmente. Devido à modulação simples do projeto estrutural, que não possui vigas internas e apresenta objetos relativamente simétricos, as interferências e problemas encontrados foram poucos, se resumindo a três tipos. Interferências e problemas entre: vãos de portas e pilares; alinhamento de pilares e paredes; vigas e elevadores.

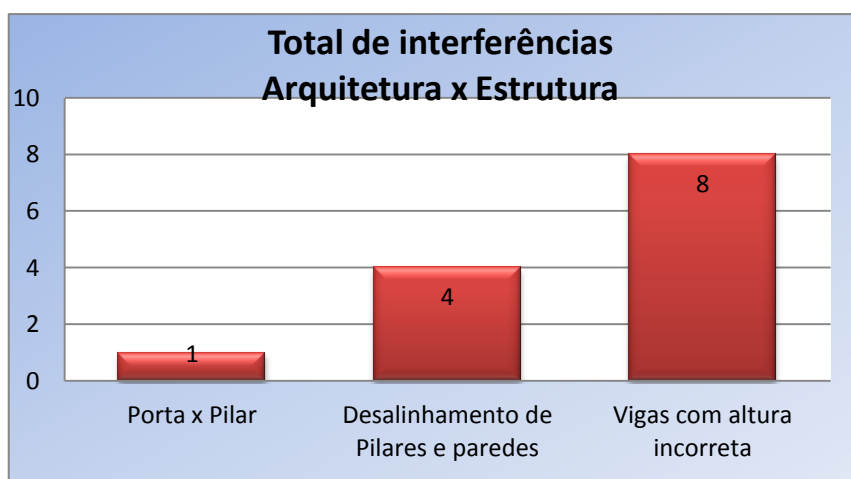


FIGURA 16 – Total de interferências entre Arquitetura e Estrutura

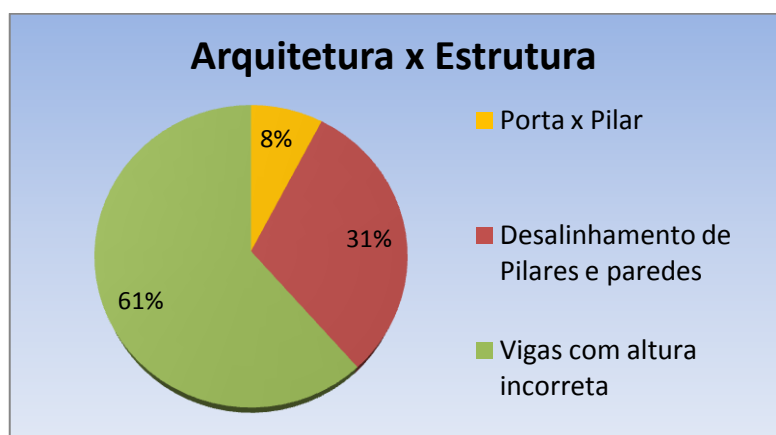


FIGURA 17 – Arquitetura x Estrutura

Foi detectada uma interferência em teste confrontando vãos de portas e pilares. O teste foi realizado como previsto no QUADRO 5, com *Soft Clash* e com tolerância de 5 centímetros. A porta em questão estava apenas a 2 centímetros do pilar, o que dificulta a execução de bonecas e pode gerar interferência física entre o alizar da porta e o pilar, já que não há margem mínima para qualquer erro executivo e problemas como esbojamento de pilares poderiam tornar inviável a colocação da porta no local previsto.

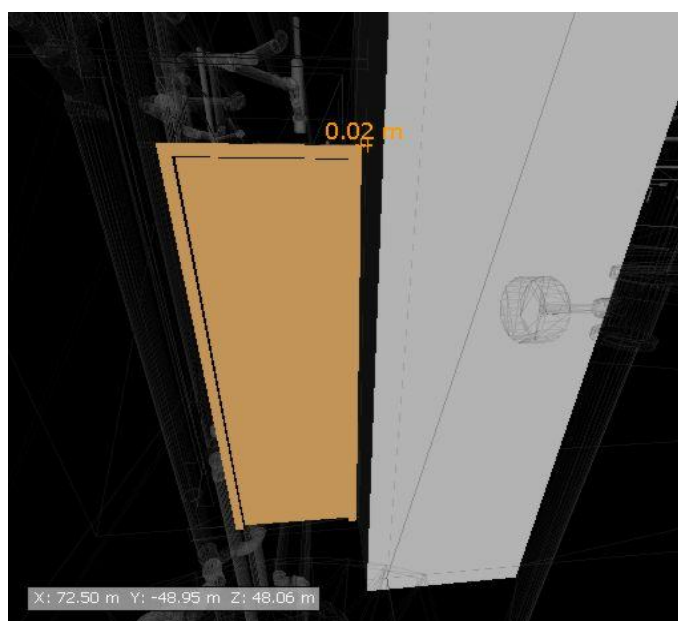


FIGURA 18 – Interferência entre porta e pilar.

Verificou-se a inexistência de alinhamento entre pilares e paredes em boa parte do projeto, pois com exceção do pilar central de contraventamento, os demais pilares são quase todos de seção quadrada, com dimensões de 80x80 ou 90x90 centímetros. Como os elementos

de vedação têm, em geral, espessura inferior ou igual a 15 centímetros, e em boa parte são constituídos de *drywall*, há grandes saliências nas interfaces com os pilares. Isso faz com que se perca uma área útil considerável, fato que não ocorreria caso os pilares fossem retangulares e alongados, seguindo o eixo das paredes. No entanto, para a solução estrutural adotada, os pilares de seção quadrada podem ser mais indicados.

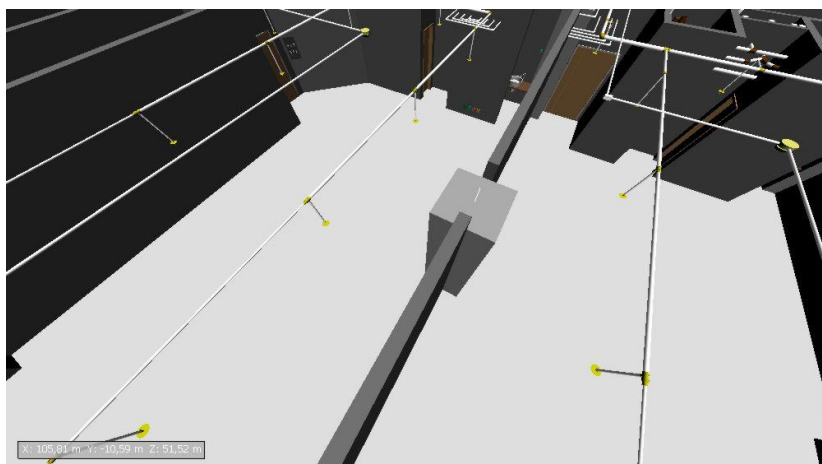


FIGURA 19 – Desalinhamento de pilares e paredes.

Analizando o modelo estrutural, é possível notar que as vigas de separação das caixas dos elevadores tem altura de 30 centímetros. No entanto, vários sistemas de elevadores atuais exigem que essas vigas sejam maiores para a correta instalação e funcionamento dos mesmos. Detectar esse tipo de problema durante a fase executiva geraria bastante retrabalho, pois em alguns casos a altura necessária das vigas pode chegar a mais de 80 centímetros, o que implica em mudança da forma e correção das vigas já executadas com altura incorreta. Como o modelo não possui maiores informações sobre os elevadores, deve se verificar com os projetistas essa questão.

### 5.3.2 Arquitetura x Instalações

Os projetos de instalações apresentam maior número de elementos no modelo. A variedade e quantidade de objetos presentes geram uma grande interação com os elementos arquitetônicos e, conseqüentemente, um número maior de interferências e problemas relacionados a essas duas disciplinas. Devido à fragmentação da modelagem e a essa grande interação entre os objetos, o trabalho de seleção dos elementos para os testes foi maior nessa etapa. Os resultados de falsas interferências foram numerosos, exigindo a criação de seleções de elementos específicos e filtros nos testes, para identificar os problemas relevantes.

As análises foram feitas partindo do levantamento de interferências no QUADRO 6. Inicialmente, foram analisados e confrontados todos os elementos que constam na etapa de levantamento. Não foram identificados diversos dos problemas listados, como por exemplo, problemas entre prumadas e esquadrias, entre tubulações e aparelhos hidrossanitários, entre elementos decorativos e aparelhos hidrossanitários, dentre outros.

As interferências identificadas foram classificadas e analisadas conforme o gráfico a seguir.

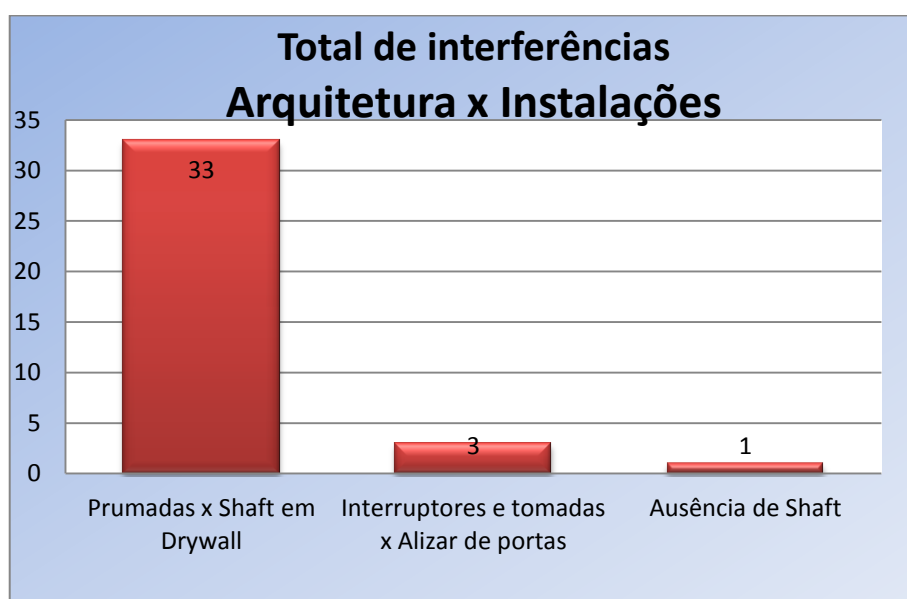


FIGURA 20 – Total de interferências entre Arquitetura e Instalações.

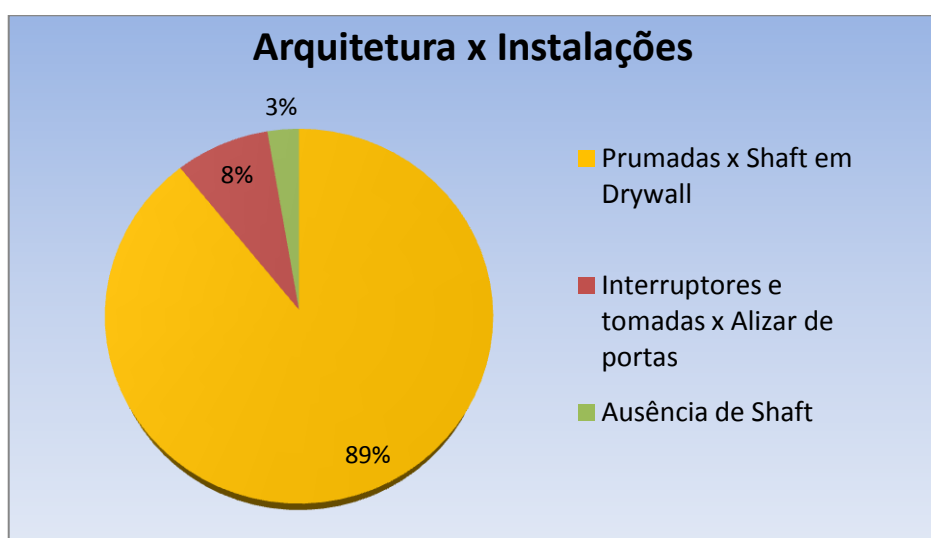


FIGURA 21 – Arquitetura x Instalações.

O principal problema, que apresentou maior número de interferências, foi entre tubulações de prumadas e *shafts* em *drywall*. Através da análise de *Hard Clash* com tolerância

de 1 centímetro, foram identificadas 33 interferências físicas entre esses elementos, sendo que grande parte das interferências foi entre elementos de conexões (curvas, tês e joelhos) de prumadas de esgoto e as paredes em *drywall*.

Essas interferências podem gerar posteriores problemas de utilização e atrasos durante a execução. As passagens de tubulações em *drywall* geram recortes e quinas nas chapas que podem danificar as tubulações. É recomendado que as passagens pelas chapas de *drywall* sejam em ângulo reto, para facilitar a execução e não danificar a tubulação. No entanto, no modelo é possível notar que várias curvas ou passagens inclinadas de ramificações das prumadas estão em conflito com as chapas. Em alguns casos, as próprias tubulações de prumada estão em conflito com o *drywall*. Uma solução para ambos os problemas seria afastar um pouco as prumadas em relação às paredes dos shafts.

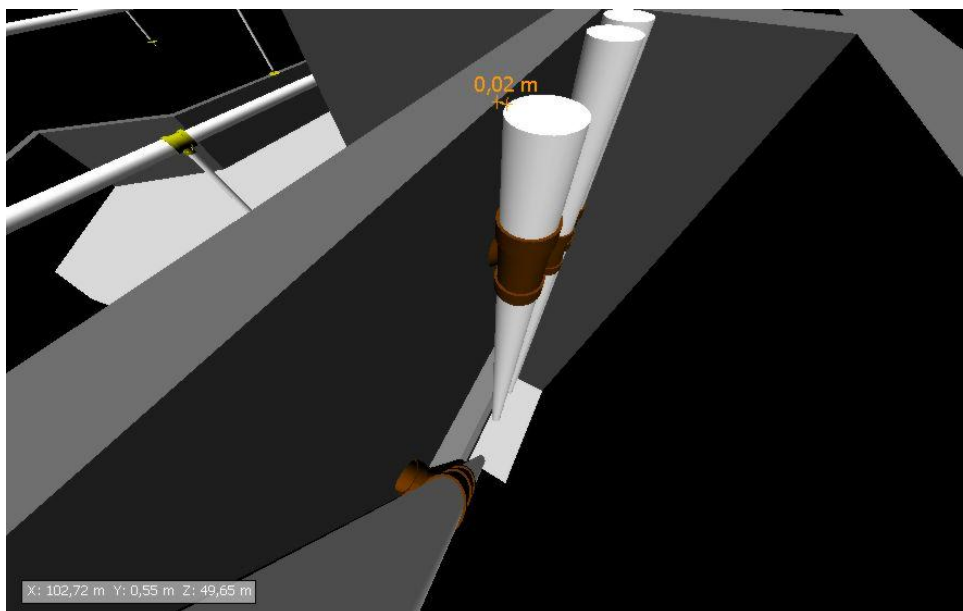


FIGURA 22 – Interferência entre prumadas de esgoto e shaft em *drywall*.

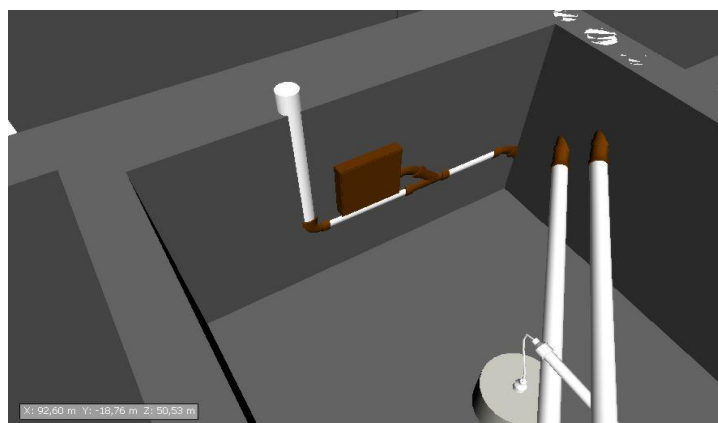


FIGURA 23 – Tubulação de esgoto mal posicionada.

Foram identificados alguns problemas referentes ao posicionamento de interruptores. Verificou-se através de teste *Soft Clash* entre tomadas/interruptores e portas, três interferências entre interruptores e o alizar de portas. Além disso, também foi possível identificar a ausência de um *shaft* de passagem de tubulações.

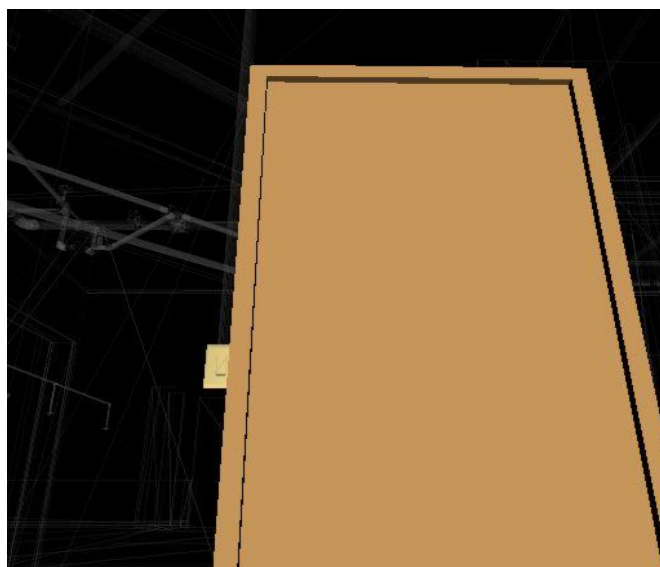


FIGURA 24 – Interferência entre interruptor e alizar de porta.

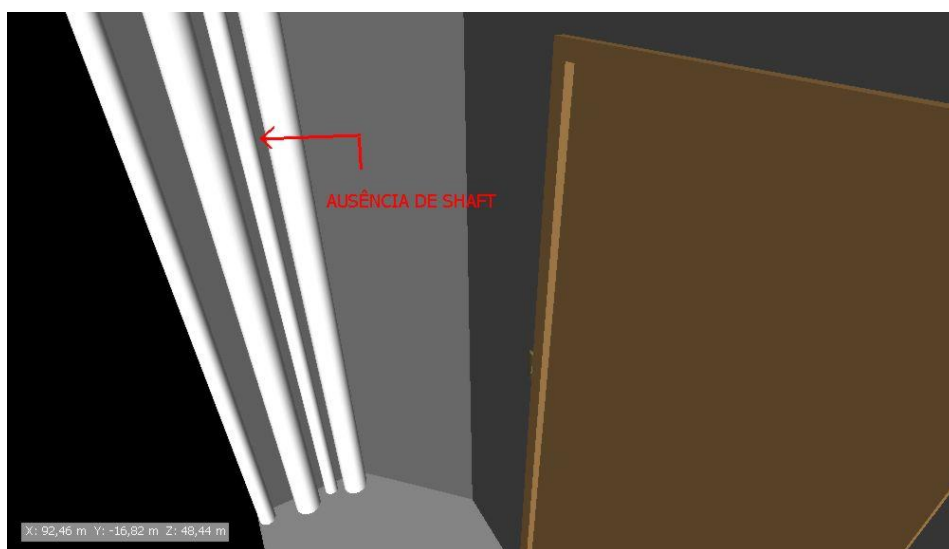


FIGURA 25 – Ausência de shaft.

Durante as análises, muitas falsas interferências oriundas do processo de modelagem puderam ser identificadas. Os choques físicos entre tubulações de água fria e as paredes são um exemplo frequente. Isso ocorre porque durante a modelagem as saídas de alimentação de aparelhos não foram previstas com furos, fazendo com que os testes identifiquem esse

choque, que na realidade não representa uma interferência entre projetos, mas apenas uma fragmentação da modelagem.

### 5.3.3 Estrutura x Instalações

Partindo do QUADRO 7, os elementos listados como potenciais interferências foram confrontados no modelo através de testes diversos. Dentre as interferências levantadas, não foram identificados problemas referentes a: dutos de ventilação x vigas e pilares; furos de passagem em vigas; prumadas interceptando vigas.

Por ser composto de lajes planas e com pouquíssimas vigas nos espaços internos, as principais interferências ocorreram envolvendo pilares e elementos das instalações. Foram encontrados problemas relacionados à interseção de pilares e diversos elementos, como tubulações elétricas, tubulações hidráulicas, locação de caixas elétricas diversas e tomadas. Os problemas encontrados foram divididos em três categorias, conforme demonstrado a seguir.

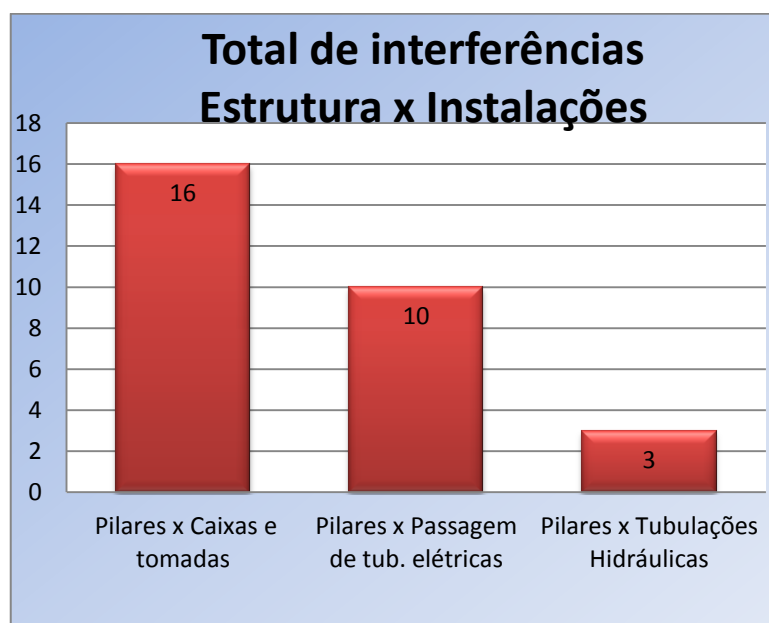


FIGURA 26 – Total de interferências entre estrutura e instalações.

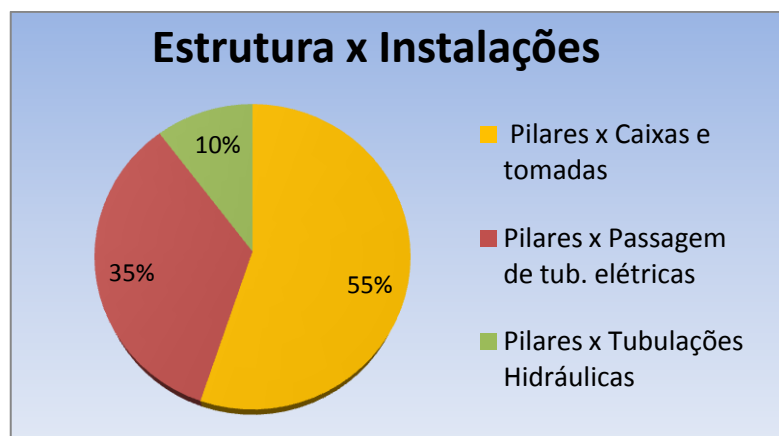


FIGURA 27 – Estrutura x Instalações

O problema mais recorrente foi a incorreta locação de caixas elétricas para luminárias e tomadas em pilares. Foi verificado um grande número de interferências entre esses elementos no corredor de circulação e principalmente na área das escadas. Nessa região também se concentram os problemas referentes às passagens de tubulações em pilares e interseção de tubulações de hidráulica. No modelo estrutural, essa região é listada como coluna estrutural feita com concreto armado usinado. Porém, faz-se necessário averiguar o motivo de tantos elementos elétricos localizados nesse trecho.

Utilizando teste de *Soft Clash* com tolerância de 3 centímetros entre pilares e tubulações gerais, foram detectados diversos conflitos. A presença dessas tubulações e conexões com proximidade menor ou igual a 3 centímetros não necessariamente representa uma interferência, mas caso ocorra algum erro executivo, a instalação dessas tubulações pode apresentar complicações. Foram consideradas interferências apenas as tubulações com proximidade igual ou inferior a 1 centímetro.

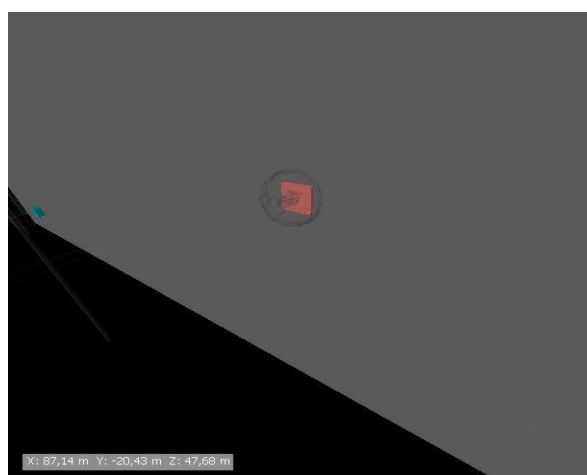


FIGURA 28 – Elemento elétrico locado em pilar

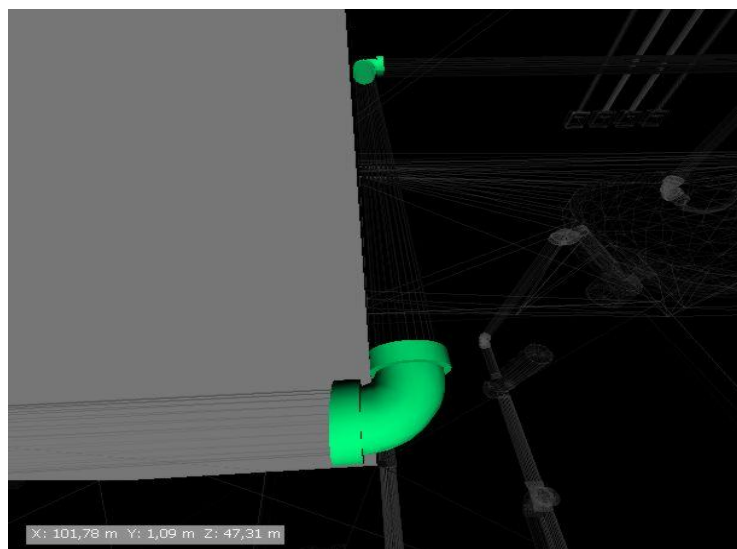


FIGURA 29 – Componente de tubulação de hidráulica interceptando pilar.

Em relação às passagens de prumadas nas lajes, não foram previstos nem detalhados os furos em *shafts*. No projeto como um todo, os furos de passagens de tubulações não foram detalhados. Isso não representa uma interferência, pois esse detalhamento provavelmente ocorrerá em etapa posterior do projeto.

### 5.3.4 Arquitetura x Arquitetura

Assim como ocorre com o projeto estrutural, o arquitetônico é relativamente simples. Por possuir um projeto “limpo”, com poucas separações, ambientes amplos e pé direito elevado, foram identificadas poucas interferências no modelo. Dentre as interferências listadas no QUADRO 8, foram notadas apenas interferências entre alizar de portas e vãos. Mais precisamente, incompatibilidades entre duas portas de armários de *shaft* de inspeção e os respectivos vãos entre paredes em *drywall*. Também foram identificados dois problemas referentes à locação de portas muito próximas a paredes, praticamente sem boneca.

A seguir são demonstrados os problemas e total de interferências.

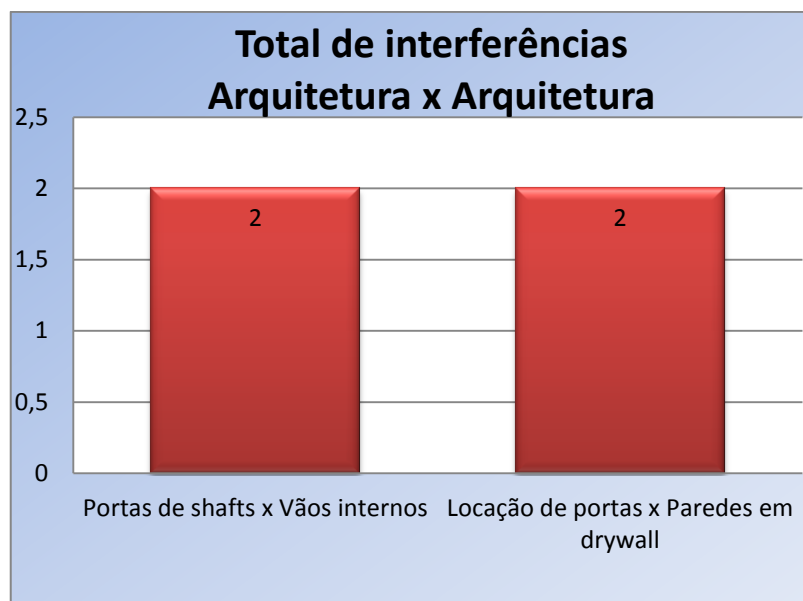


FIGURA 30 – Total de interferências no projeto arquitetônico

As duas incompatibilidades entre portas de shafts e os vãos internos foram identificadas através de teste *Hard Clash* com tolerância de 1 centímetro. As interferências encontradas foram da ordem de 5 centímetros. O vão entre paredes em *drywall* não permite a correta instalação das portas dos armários de dimensão 1,20 x 1,50 metros. Isso requer uma mudança na dimensão do armário, que possivelmente teria que ter no máximo 1,10 de largura, para sua correta instalação.

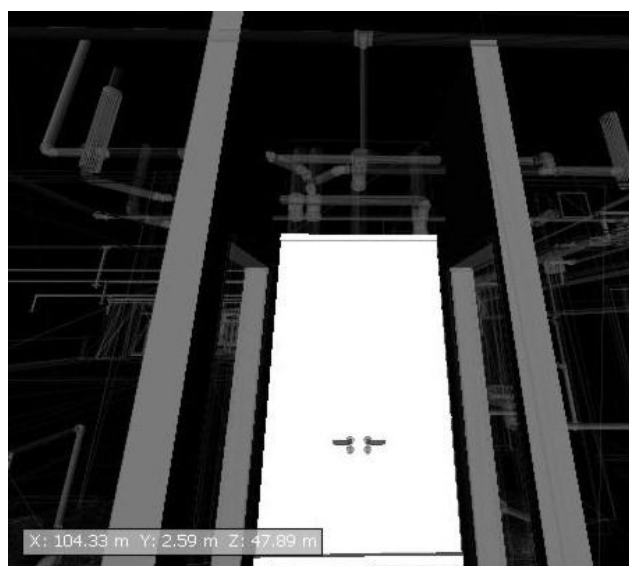


FIGURA 31 – Incompatibilidade entre armário de shaft e vão disponível.

Em relação à locação de portas com bonecas insuficientes, foram identificados dois problemas. Esse tipo de problema pode trazer atrasos à execução, especialmente em uma das

portas que estava locada a 2 cm da vedação externa em alvenaria. Dimensões inferiores a 5 cm são inviáveis para execução de bonecas e dificultam a instalação, além de apresentar dificuldade para a abertura total da porta, que pode ficar com amplitude de abertura restrita, a depender da maçaneta utilizada.

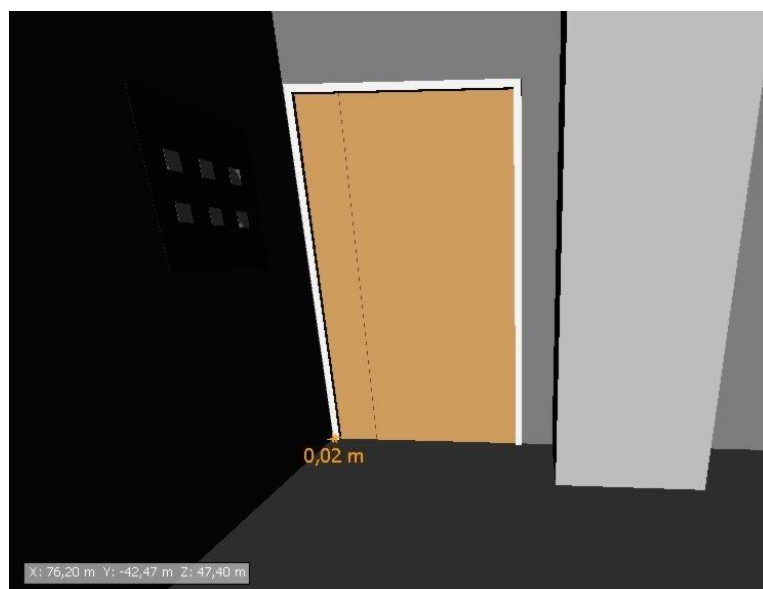


FIGURA 32 – Abertura incorreta devido à proximidade da porta com a parede.

### 5.3.5 Estrutura x Estrutura

Como previsto, não foram identificadas interferências entre elementos de projetos estruturais. A modulação simples desse projeto aliado aos fatos ponderados no item 5.1, minimizam o surgimento de interferência entre os objetos do projeto estrutural. A falta de detalhamento maior sobre disposição de barras de aço no concreto armado impede a correta análise e identificação de problemas, já que esses elementos costumam apresentar maior interação e podem gerar problemas executivos.

Para efeito de análise deste trabalho, os elementos do projeto estrutural foram testados uns contra os outros. Foi feita ainda, uma análise visual do modelo e também não foram identificados problemas referentes à interação desses objetos.

### 5.3.6 Instalações x Instalações

Por se tratar de um projeto comercial, sem vigas, com amplos espaços abertos e com uma modulação relativamente simples, a presença dos elementos das instalações diversas

(combate à incêndio, alarme, interfone, etc...) ocorre de forma mais intensa, exigindo um esforço maior para sua coordenação. A consequência disso é o maior número de interferência nessa disciplina, já que o número de passagem de tubulações é bem grande em áreas comuns (corredores e halls).

Os objetos pertencentes às instalações foram isolados no Navisworks em categorias, de forma que as interferências listadas na etapa de levantamento pudessem ser identificadas. Foram testados os itens do QUADRO 9, assim como foi analisado o alinhamento de interruptores e tomadas. Ao final, confrontaram-se todos os elementos que se enquadram na categoria de instalações, para identificar interferências que não foram previstas no levantamento.

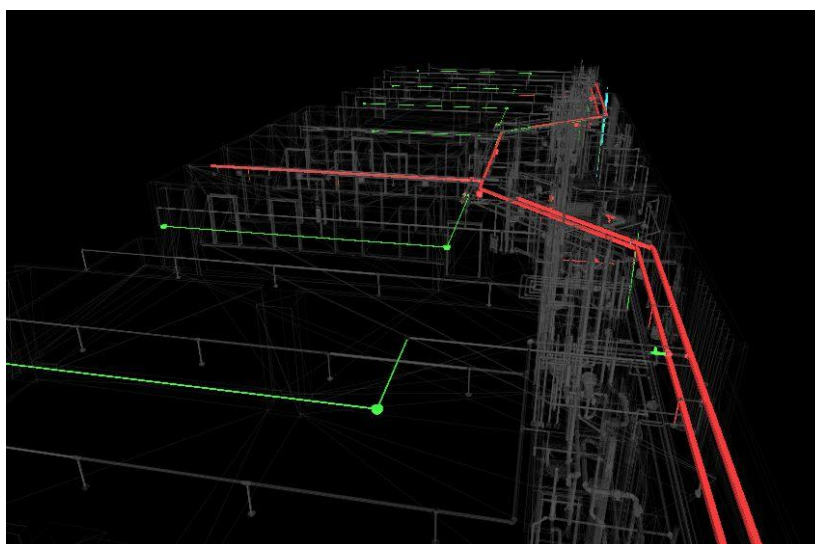


FIGURA 33 – Interferências realçadas nos testes de Instalações x Instalações

O tipo de interferência mais encontrado foi entre tubulações horizontais e elementos de elétrica nos corredores de circulação, especialmente entre tubulações de combate a incêndio, eletrocalhas e perfilados. Na área da circulação foram identificados diversos problemas de interferência entre elementos de elétrica, combate a incêndio e alarme. Nas áreas privativas foram identificadas poucas interferências, se resumindo a problemas entre luminárias e passagem de tubulações de incêndio.

A seguir segue resumo dos testes com as interferências encontradas.

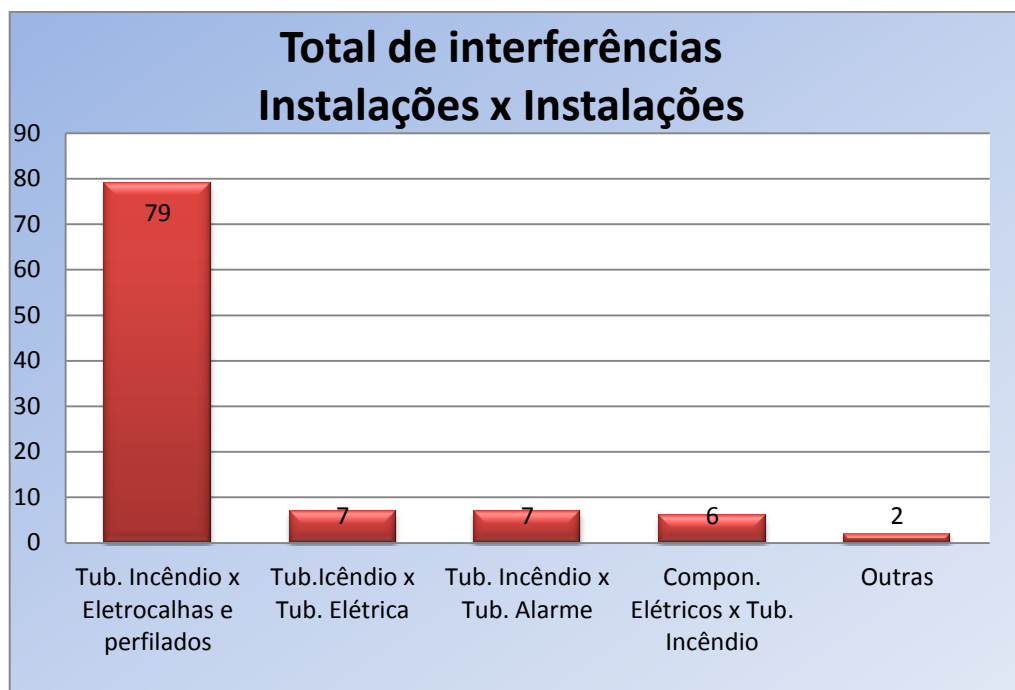


FIGURA 34 – Total de interferências entre Instalações.

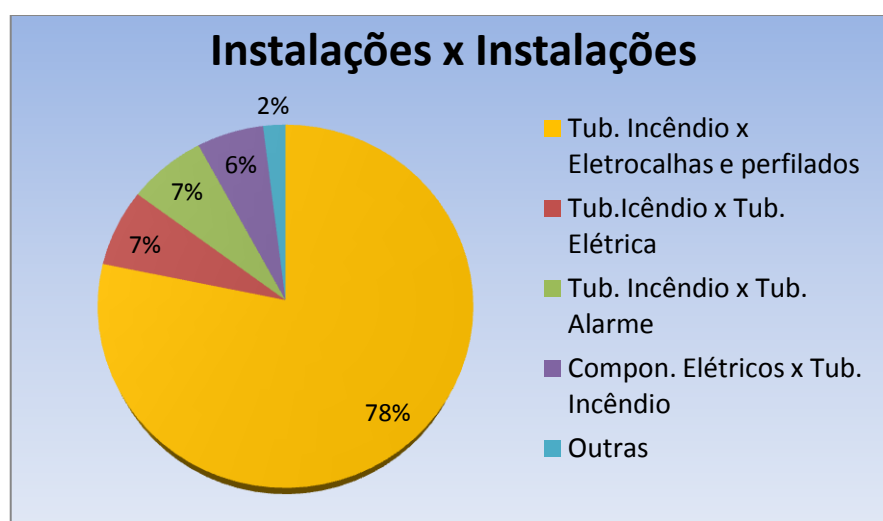


FIGURA 35 – Instalações x Instalações.

Além das interferências listadas, foram identificados sessenta (60) objetos duplicados durante os testes. Essas duplicações afetam o resultado dos testes de conflitos, pois geram resultados duplicados, que precisam ser devidamente filtrados. Elas também afetam posteriores utilizações do modelo para quantitativos e análises diversas, fornecendo valores incorretos.

Foi possível identificar um grande número de interferências de tubulações de combate a incêndio com eletrocalhas e perfilados nos corredores de circulação. Em muitos casos, parte da tubulação principal de distribuição que corre pelo corredor seguia alinhamento muito

próximo a eletrocalhas e perfilados, o que acabou gerando interferências em diversos pontos, que variaram entre 3 e 5 cm em geral. Portanto, é possível sugerir aos projetistas o deslocamento de, ao menos, 5 cm no traçado de um dos dois elementos (tubulação de combate a incêndio ou eletrocalhas/perfilados) para solucionar o problema.

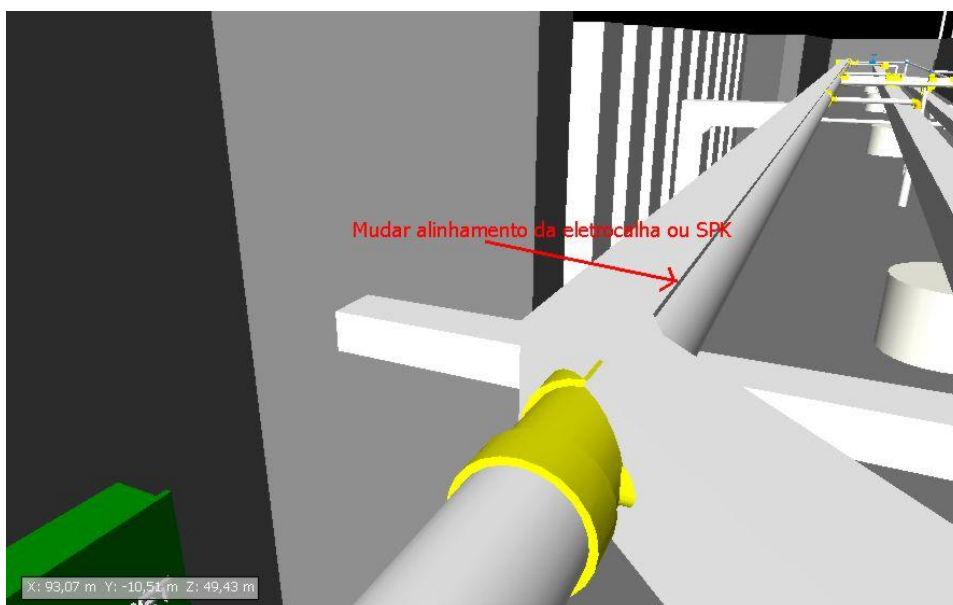


FIGURA 36 - Tubulação de incêndio e eletrocalha em mesmo alinhamento

Foram identificados, também, conflitos entre diversos elementos (luminárias, detectores de fumaça, tubulações de alarme) e tubulações secundárias de combate a incêndio. Essas interferências apresentaram baixa incidência e foram detectadas em pontos distintos do modelo, ocorrendo principalmente nos corredores de circulação.

Por fim, duas interferências pontuais foram percebidas, entre tubulações de esgoto e água fria e entre uma luminária e tubulação de alarme.

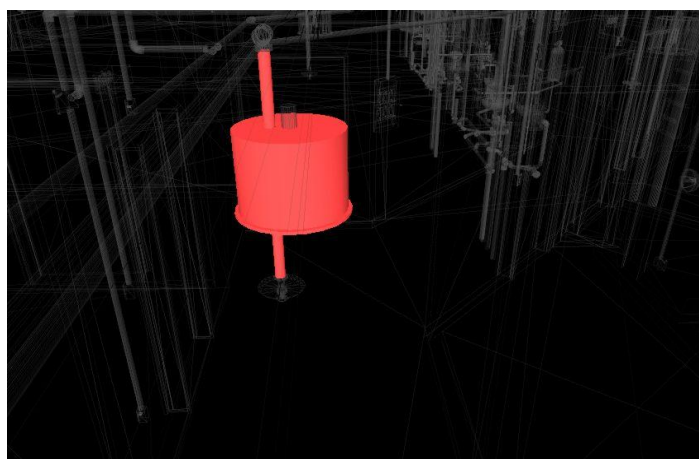


FIGURA 37 – Interferência entre tubulação de incêndio e luminária

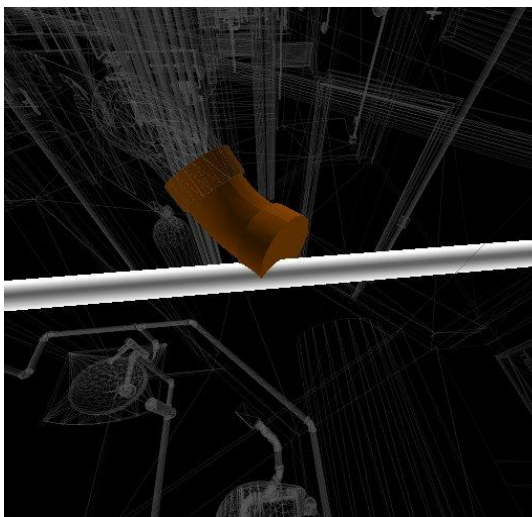


FIGURA 38 – Interferência entre tubulação de esgoto e água fria.

#### 5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dentro da metodologia proposta, partindo do levantamento de interferências recorrentes em projetos de edificações, os resultados obtidos apontam diversos elementos previstos nos item 5.1. Os problemas identificados foram separados em categorias, conforme os objetos em conflito. Também foram vistos problemas não previstos na etapa 5.1, que somente foram identificados nos testes finais, quando todos os elementos das disciplinas confrontadas eram testados uns contra os outros.

Além dos problemas já demonstrados e analisados na etapa 5.3, foram percebidos alguns elementos duplicados, especialmente no modelo de instalações. Esse tipo de problema não representa uma interferência de projeto, mas afeta a utilização do modelo para outros fins, como levantamento de quantitativos e análises de custo, por exemplo. As ferramentas utilizadas demonstraram boa eficiência na identificação dos elementos duplicados.

Também foram notados objetos fragmentados, que geravam falsas interferências nos testes. Foram caracterizadas como “fragmentação da modelagem” as situações onde objetos deveriam estar interligados, como um único elemento, ou quando o choque é esperado. Essa situação não representa erro ou interferência, mas apenas uma dificuldade no processo de compatibilização e identificação de problemas, já que essa fragmentação é apontada pelos testes efetuados e deve ser devidamente descartada.

Para facilitar a visualização dos resultados obtidos no processo de identificação, foi elaborado um resumo, conforme quadro e figuras a seguir.

| QUADRO RESUMO DA IDENTIFICAÇÃO DE INTERFERÊNCIAS |                                                   |                              |                   |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|-------------------|
| <i>Disciplinas analisadas</i>                    | <i>Interferências identificadas</i>               | <i>Modo de identificação</i> | <i>Quantidade</i> |
| <b>ARQ. x EST.</b>                               | Portas x Pilares                                  | <i>Soft Clash</i>            | 1                 |
|                                                  | Desalinhamento de pilares e paredes               | Visual                       | 4                 |
|                                                  | Vigas de elevadores com altura incorreta          | Visual                       | 8                 |
| <b>ARQ. x INST.</b>                              | Prumadas x <i>Shafts</i> em <i>drywall</i>        | <i>Hard Clash</i>            | 33                |
|                                                  | Interruptores e tomadas x Alizar de portas        | <i>Soft Clash</i>            | 3                 |
|                                                  | Ausência de <i>Shaft</i>                          | Visual                       | 1                 |
| <b>EST x INST.</b>                               | Pilares x Caixas elétricas e tomadas              | <i>Hard Clash</i>            | 16                |
|                                                  | Pilares x Passagens de tubulações elétricas       | <i>Hard Clash</i>            | 10                |
|                                                  | Pilares x Tubulações hidráulicas                  | <i>Soft Clash</i>            | 3                 |
| <b>ARQ. x ARQ.</b>                               | Portas de <i>shafts</i> x Vãos internos           | <i>Hard Clash</i>            | 2                 |
|                                                  | Locação de portas x Paredes em <i>drywall</i>     | <i>Soft Clash</i>            | 2                 |
| <b>EST. x EST.</b>                               | xxx                                               | xxx                          | xxx               |
| <b>INST. x INST.</b>                             | Tubulação de incêndio x Eletrocalhas e perfilados | <i>Hard Clash</i>            | 79                |
|                                                  | Tub. Incêndio x Tub. Elétrica                     | <i>Hard Clash</i>            | 7                 |
|                                                  | Tub. Incêndio x Tub. Alarme                       | <i>Hard Clash</i>            | 7                 |
|                                                  | Componentes elétricos x Tub. incêndio             | <i>Hard Clash</i>            | 6                 |
|                                                  | Componentes elétricos x Tub. de alarme            | <i>Hard Clash</i>            | 1                 |
|                                                  | Tubulação de água fria x Tubulação de esgoto      | <i>Hard Clash</i>            | 1                 |

QUADRO 10 – Resumo das interferências encontradas

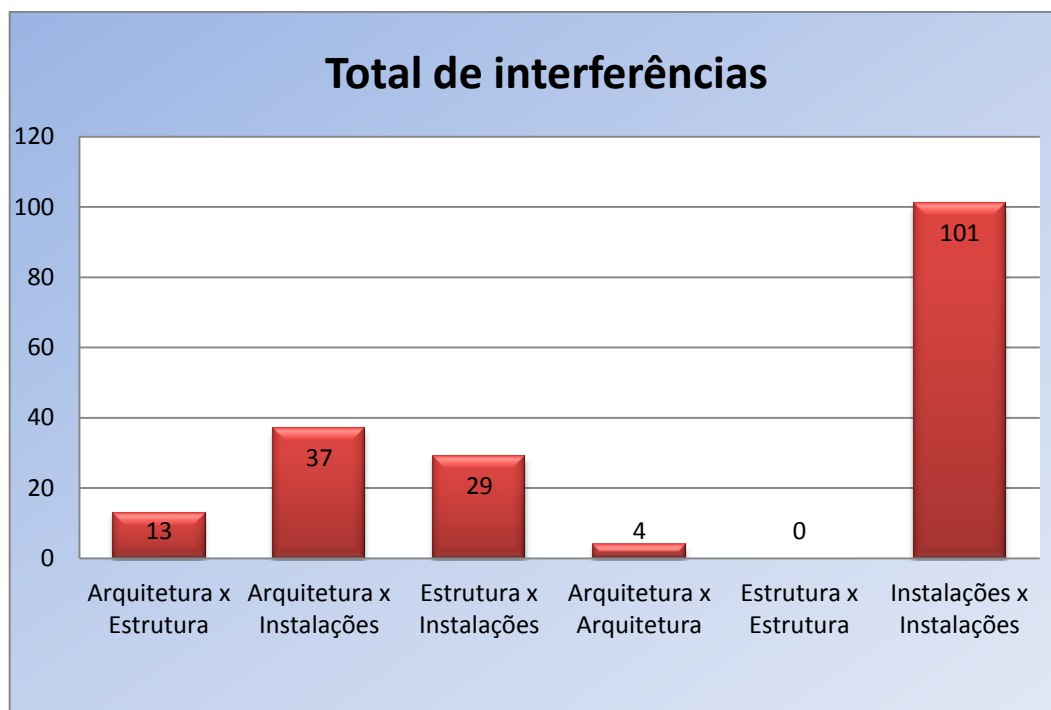


FIGURA 39 – Total de interferências identificadas

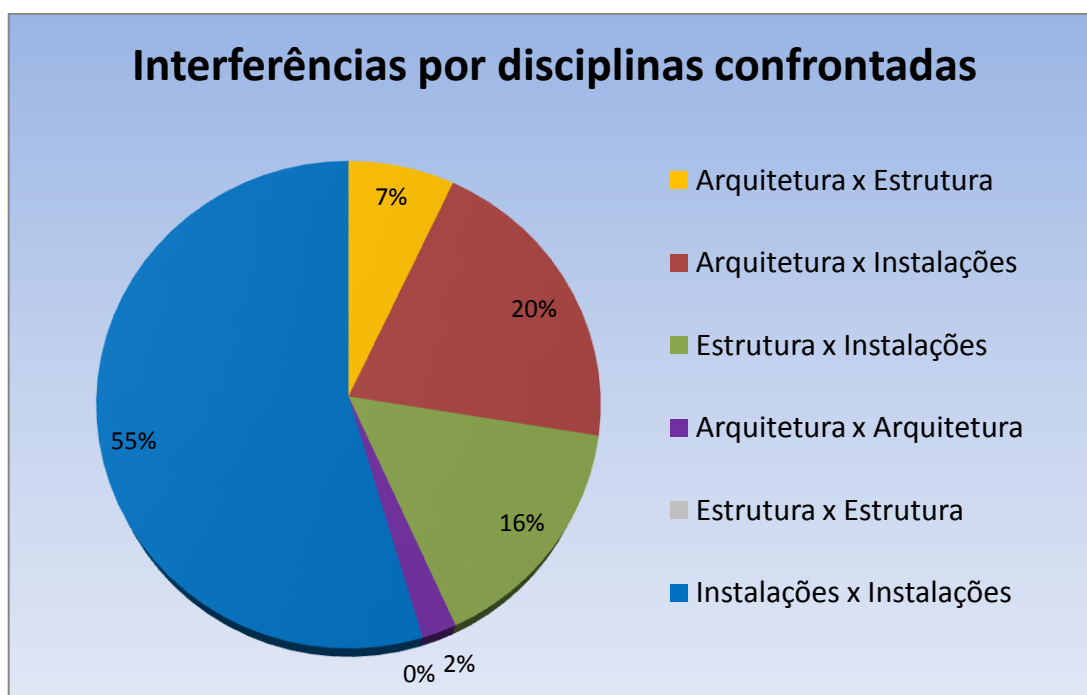


FIGURA 40 – Interferências por disciplinas confrontadas

É possível notar que a grande maioria das interferências identificadas está relacionada ao modelo de instalações. Essa disciplina se encontra presente em 91% dos problemas, como visto na FIGURA 40. Especificamente, os projetos de combate a incêndio e instalações elétricas apresentaram grande número de interferências físicas entre si e problemas

relacionados a outros projetos, principalmente no corredor de circulação do pavimento tipo estudado. Uma revisão desses projetos reduziria significativamente a quantidade de problemas encontrados.

Como visto no QUADRO 10, alguns problemas foram identificados através da análise visual do modelo, já que não foi possível sua identificação através dos testes. Geralmente são problemas que não envolvem conflito de objetos, mas apenas erros de representações que não podem ser detectados de forma automática. A capacidade de visualização em 3D e a possibilidade de consultar as informações anexadas sobre os objetos facilitaram a detecção desses problemas.

Analisando o QUADRO 10, é possível notar que de um total de 184 interferências, somente 13 foram detectadas de forma visual. No total, 171 interferências foram detectadas com a utilização dos recursos automáticos de *clash detection* das ferramentas BIM aplicadas. Isso quer dizer que 93% das interferências foram detectadas com esses recursos e somente 7% através de análise visual no modelo, o que comprova a grande automação permitida pelo BIM para a compatibilização de projetos.

Para o processo de identificação através de *clash detection*, alguns cuidados foram tomados para que falsas interferências e objetos duplicados não gerassem resultados incorretos. O fato de se tratar ainda do anteprojeto, sem maiores detalhamentos dos objetos modelados, em alguns casos exigiu maiores cuidados na realização dos testes. Ainda assim, o processo como um todo apresentou boa automação, como previsto no referencial teórico. Grande parte dos conflitos pode ser identificada através de testes, que geraram relatórios completos sobre as seleções de objetos confrontadas e criadas especificamente para isso.

Como não há informação sobre compatibilizações anteriores feitas com o modelo, não existem parâmetros para efeito comparativo dos problemas detectados. No entanto, o processo elaborado neste trabalho foi capaz de identificar uma grande diversidade e quantidade de problemas e, além disso, demonstrou possibilidades de melhoria na coordenação das interferências. Os problemas identificados foram devidamente cadastrados através de relatórios com imagens e dados diversos sobre os objetos em conflito, como sua localização espacial no modelo, data e hora de identificação, *layer* a que pertence, dados dos materiais, dentre outros.

## 6 CONCLUSÕES

Visando atingir o primeiro objetivo específico, foram demonstrados os conceitos e as diversas aplicações da metodologia BIM para a construção civil, evidenciando seus benefícios para o setor, que vão além da compatibilização de projetos. Também foram identificadas e listadas, através de pesquisa de estudos anteriores, as principais interferências encontradas em projetos de edificações.

Com base na identificação das principais interferências de projetos e na revisão bibliográfica efetuada, as ferramentas BIM foram aplicadas em um modelo através de estudo de caso. As interferências encontradas foram devidamente separadas por categoria e caracterizadas. Os resultados do processo foram demonstrados e avaliados.

Diante dos resultados expostos e das limitações de detalhamento dos modelos estudados, que ainda se encontravam em fase de anteprojeto, é possível concluir que mesmo em fases iniciais de projetos, a compatibilização com o uso de ferramentas da tecnologia BIM é capaz de identificar, com grande capacidade de automação e facilidade de coordenação dos problemas detectados, diversas interferências e problemas relativos a projetos.

Com as análises feitas, foi possível concluir também, que o grau de detalhamento dos projetos modelados influi no processo de compatibilização. Quanto mais rico em informações for o modelo, mais fácil e eficiente será sua compatibilização. Por estar em etapas iniciais de projeto, o processo de identificação de interferências do modelo estudado exigiu, em alguns casos, cuidados na coordenação dos resultados e descarte de falsas interferências. Além disso, a qualidade e grau de detalhamento do processo de modelagem permitem sua utilização para diversas outras finalidades.

Em comparação aos projetos elaborados em CAD 2D, a metodologia BIM permitiu uma melhor gestão da informação e visualização do espaço projetado. Ela possui a capacidade de agregar todos os dados do empreendimento em um único modelo, o que facilitou o processo de compatibilização, já que reduz uma das principais causas de incompatibilidades de projetos, que é a fragmentação da informação. A capacidade de visualizar objetos em um espaço tridimensional também facilitou o processo de identificação das interferências nos casos em que não foi possível utilizar a detecção automática. Essa vantagem apresentada pelos modelos BIM reduz erros relacionados à simbologia e simplificações adotadas em projetos bidimensionais, que podem gerar interpretações equivocadas.

Outro fator positivo que ficou evidente no processo de compatibilização foi o uso de objetos paramétricos e a capacidade de detecção automática. A compatibilização dos projetos de instalações, cujos resultados apontaram mais de 100 interferências, teria sido bastante difícil e possivelmente menos eficaz sem a utilização da tecnologia BIM. Grande parte das interferências detectadas era entre tubulações centralizadas no corredor de circulação. A capacidade de automação permitida pelas ferramentas utilizadas na detecção foi fundamental para os resultados obtidos. A quantidade de elementos centralizados em um espaço pequeno dificulta a identificação visual das interferências. Esse processo teria sido extremamente difícil em um ambiente bidimensional sem automação.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode ser estudada a compatibilização de modelos com a interação do planejamento 4D associado. O estudo da compatibilização com o sequenciamento de atividades ao longo da construção pode demonstrar interferências entre elementos de canteiro e da edificação, por exemplo. Também pode demonstrar interferências entre elementos temporários de montagem, que não são possíveis de serem identificados apenas com os projetos, sem sequenciamento da construção. Para tanto, os modelos devem possuir alto nível de detalhamento.

Por fim, ainda que a mudança dos projetos para a metodologia BIM represente um grande esforço e principalmente quebra de paradigmas, sem dúvida ela é válida, pois traz benefícios desde fases iniciais não somente à compatibilização. A utilização desta metodologia e tecnologia representa uma grande oportunidade de melhoria do processo de concepção e gestão do empreendimento como um todo.

## REFERÊNCIAS:

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5674 – Manutenção de edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1999.

ADDOR, M.; CASTANHO, M.; CAMBIAGHI, H.; DELATORRE, J.; NARDELLI, E.; OLIVEIRA, A. **Colocando o “i” no BIM**. Revista eletrônica de arquitetura e urbanismo, edição nº 4, 2010. Disponível em: <<http://www.usjt.br/arq.urb/>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

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.

ANDRADE, M. L. V. X; RUSCHEL, R. C. **Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Carlos, v.4, n. 2, p. 76 - 111, nov. 2009. Disponível em: <[www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/](http://www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/)>. Acesso em: 03 fev. 2012.

AZEVEDO, Orlando J. M. de. **Metodologia BIM – Building Information Modeling na direção técnica de obras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Reabilitação, Sustentabilidade e Materiais de Construção) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2009.

BIM REVIT. Blog, 2010. Disponível em:<[www.bimrevit.com](http://www.bimrevit.com)>. Acesso em: 28 mar. 2012

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

CALLEGARI, S.; BARTH, F. **Análise comparativa da compatibilização de projetos em três estudos de caso**. Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFSC. Florianópolis, 2007.

CAMPOS, Claudia. Blog, 2010. Disponível em:<<http://claudiacamposlima.wordpress.com/>>. Acesso em: 22 mar. 2012.

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

DELATORRE, Joyce. **BIM na prática: como uma empresa construtora pode fazer uso da tecnologia BIM**. Autodesk University, 2011. Disponível em: <[www.autodesk.com.br/aubrasil/](http://www.autodesk.com.br/aubrasil/)>. Acesso em: 12 mar. 2012.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2ª ed., 2011.

FERREIRA, Sérgio Leal. **Da engenharia simultânea ao modelo de informações de construção (BIM): contribuição das ferramentas ao processo de projeto e produção e vice-versa**. In: Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. Curitiba, 2007.

FERREIRA, R. C.; SANTOS, E. T. **Características da representação 2D e suas limitações na etapa de compatibilização espacial do projeto**. Gestão e Tecnologia de Projetos, v.2, nº 2, nov. 2007. Disponível em: <[www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/](http://www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/)>. Acesso em: 26 abr. 2012.

GEHBAUER, Fritz; ORTEGA, Lucilla de Godoy. **Compatibilização de projetos na construção civil**. Projeto COMPETIR. Recife, 2006.

GOES, Renata Heloisa; SANTOS, Eduardo Toledo. **Compatibilização de projetos: comparação entre o BIM e o CAD 2D**. In: TIC2011: 5º Encontro de Tecnologia da Informação e Comunicação da Construção Civil. Salvador, 2011.

HARDIN, Brad. **BIM and Costruction Management: Proven Tools, Methods and Workflows**. 1ª edição, Sybex, 2009.

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 Iinformation 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: <[www.elsevier.com/locate/autcon](http://www.elsevier.com/locate/autcon)>. Acesso em: 05 mar. 2012

MCGRAW HILL. Portal da editora McGraw Hill, 2010. Disponível em: <<http://www.mcgraw-hill.com.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2012

MELHADO, S. B. et al. **Coordenação de Projetos de Edificações**. O Nome da Rosa. São Paulo, 2005.

MELHADO, S.B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

MIKALDO JR., Jorge. **Estudo comparativo do processo de compatibilização de projetos em 2D e 3D com uso de TI**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

MIKALDO JR., Jorge; SCHEER, Sérgio. **Compatibilização de projetos ou Engenharia Simultânea: qual é a melhor solução?**. Gestão e Tecnologia de Projetos, v.3, n. 1, 2008. Disponível em: <[www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/](http://www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/)>. Acesso em: 04 abr. 2012.

NIBS. **National Institute of Building Sciences**. 2007. Disponível em: <[www.nibs.org](http://www.nibs.org)>. Acesso em: 13 fev. 2012.

OLIVEIRA, M.; FREITAS, H. **Melhoria da qualidade da etapa de projeto de obras de edificação: um estudo de caso**. Revista READ, ed. 7, vol. 3, nº 3. Porto Alegre, 1997. Disponível em: <<http://read.adm.ufrgs.br/>>. Acesso em: 03 abr. 2012.

PICCHI, F.A. **Sistemas da qualidade: uso em empresas de construção de edifícios**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

PORTAL AUTODESK. Site da Autodesk, 2010. Disponível em: <[www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)>. Acesso em: 02 maio 2012.

RODRÍGUEZ, M. A. A.; HEINECK, L. F. M. **A construtibilidade no processo de projeto de edificações**. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. São Carlos-SP, 2003.

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: <[www.ijie.ufsc.br](http://www.ijie.ufsc.br)>. Acesso em: 05 mar. 2012.

SILVEIRA, J. C.; SALES, A. L. F.; MOURÃO, Y. R.; SILVEIRA, L.; BARROS NETO, J. P. **Problemas encontrados em obras devido às falhas no processo de projeto: Visão do engenheiro de obra**. 2002.

SOLANO, Renato da Silva. **Compatibilização de projetos na construção civil de edificações: Método das dimensões possíveis e fundamentais**. In: V Workshop de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. Florianópolis, 2005.

SOUSA, Francisco Jesus de. **Compatibilização de projetos em edifícios de múltiplos andares: estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2010.

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:  
<[www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/](http://www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/)>. Acesso em: 03 fev. 2012.

THE COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. **Building Information Modeling execution planning guide**. 2010. Disponível em:  
<[www.engr.psu.edu/bim](http://www.engr.psu.edu/bim)>. Acesso em: 25 jan. 2012

WITICOVSKI, L.; SCHEER, S. **Utilização de modelagem BIM no processo de integração entre projeto e orçamentação**. In: TIC2011: 5º Encontro de Tecnologia da Informação e Comunicação na construção civil. Salvador, 2011.