

Estudo Comparativo da Compatibilização de Projetos em Ambiente 2D e BIM no Setor da Arquitetura, Engenharia e Construção.

Estêvão Pereira de Souza¹, Vinícius Pinheiro dos Santos², Tiago Ferreira Campos Neto³

Resumo

A importância da utilização do BIM está diretamente relacionada com a necessidade de compatibilização e redução de gastos nos projetos. Incompatibilidades entre as disciplinas envolvidas nos projetos geram atraso no cronograma, gastos não planejados e retrabalho no decorrer da obra. Portanto, o objetivo desse projeto de pesquisa é estudar a eficácia do processo de compatibilização utilizando ferramentas bidimensionais e BIM. A metodologia fundamentou-se na utilização de um projeto gerado, em ambiente CAD 2D e a modelagem do mesmo no *Revit*, de forma a apontar incompatibilidades e classificá-las de acordo com os níveis de interferência. Utilizando-se o software *Navisworks*, encontrou-se uma quantidade superior de interferência, em ambiente BIM devido a facilidade de verificação e possibilidade de visualização da obra no espaço. Enquanto que, nas disciplinas em 2D utilizou-se o método de sobreposição de projetos, que por sua vez, possui uma maior dificuldade de compreensão da volumetria da edificação e identificação das interferências.

Palavras-chave: Compatibilização de projetos. Níveis de interferência. BIM.

1. Introdução

Segundo Eastman et al. (2014), BIM (*Building Information Modeling*) é uma das criações mais promissoras, quando se trata da indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), sendo uma tecnologia de modelagem que está diretamente associada ao processo de produção, comunicação bem como, a análise do modelo de construção, pois na plataforma digital é possível construir um modelo virtual preciso de uma edificação. Com modelagem do projeto é possível gerar a geometria exata e os dados necessários, para dar suporte a fabricação, construção e fornecimentos de insumos, para a construção.

Os dois pontos chaves que diferenciam o sistema CAD tradicional da plataforma BIM, é a modelagem paramétrica e a interoperabilidade. A modelagem paramétrica permite a representação de objetos, por parâmetros e regras, que se associam diretamente, com a sua geometria, bem como a incorporação de propriedades não geométricas, que fazem parte das propriedades desses objetos, oferecendo uma extração de relatórios, bem como a checagem de interferências no projeto. Interoperabilidade é definida como uma linguagem

¹ contato.estevao@hotmail.com, Graduando em Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

² vinicpmg@hotmail.com, Graduando em Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

³ tiagocampos@unirv.edu.br, Professor Mestre, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

padrão internacional, que permite transferência de modelos entre softwares (ANDRADE; RUSCHEL, 2009; EASTMAN et al., 2014; CAMPESTRINE et al., 2015).

Existem cinco dimensões padronizadas nos modelos utilizados em BIM, pertinentes ao seu formato de programação e na variedade de informações que os mesmos apresentam, seriam elas: **3D** definido como um modelo computacional que possui propriedades espaciais e geometrias relacionadas ao projeto; **4D** quando há a inserção do fator tempo; **5D** determinado com a adição de custos conforme mostra a Figura 1. Havendo ainda a dimensão **6D** relacionada diretamente com a sustentabilidade, **7D** quando é aplicado a gestão de instalações, **8D** segurança no trabalho, **9D** *lean construction* (construção enxuta) e **10D** construção industrializada (CZMOCH; PEKALA, 2014; CAMPESTRINI et al., 2015; ARNAL, 2018).

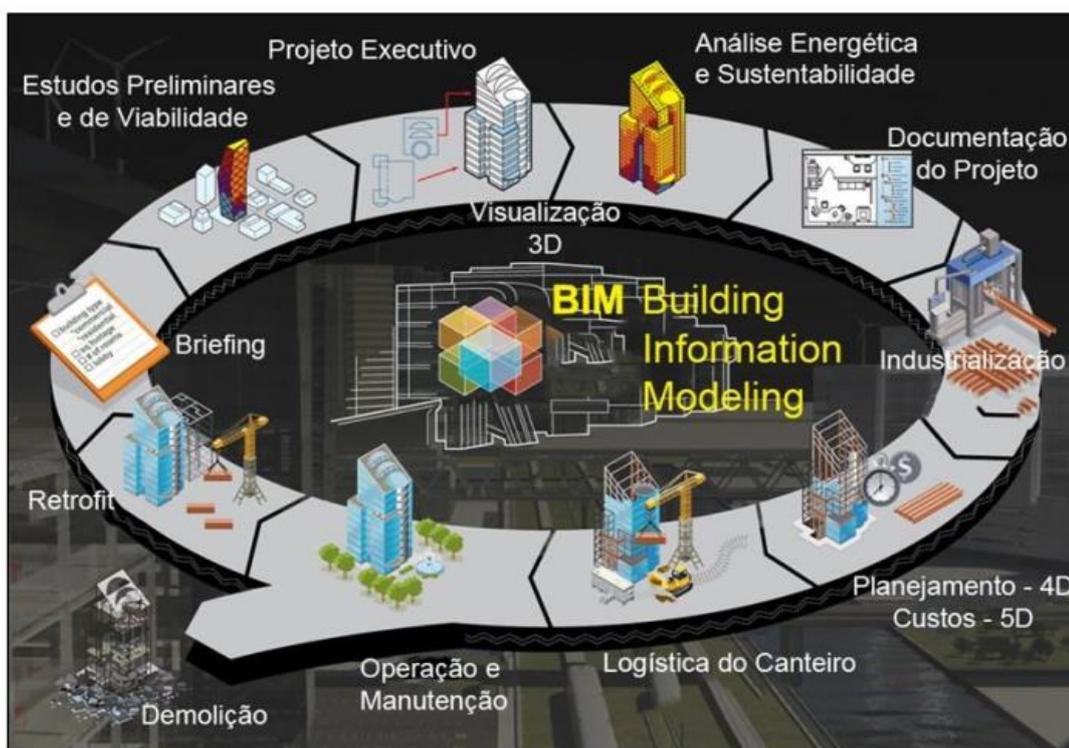


Figura 1 – O BIM e o ciclo de vida da edificação

Fonte: Caderno de apresentações de projetos em BIM apud Autodesk (2013).

A tecnologia BIM oferece várias vantagens, pois é possível ter uma visão definida e antecipada do projeto, em razão dos desenhos gerados apresentarem maior riqueza nos detalhes, bem como uma maior precisão, visto que, nas primeiras etapas do processo de elaboração do projeto, já são visíveis as incompatibilidades, auxiliando nas tomadas de decisões que serão extremamente importantes, no decorrer da obra (EASTMAN et al., 2014; MENEGATTI, 2015; AUTODESK, 2017).

De acordo com Eastman et al. (2014), o IFC é o único modelo criado com dados públicos e aperfeiçoado para a indústria AEC, por esse motivo se tornou um padrão, sendo utilizado por vários governos e agências ao redor do mundo, o que demonstra uma aceitação abrangente quanto ao seu uso.

O Brasil está em fase de crescimento quanto ao BIM, no Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018, foi instituído o CE-BIM, comitê responsável pela elaboração da Estratégia BIM BR, cujo objetivo é difundir um ambiente apropriado para investimento. Desta forma, o Governo Federal (2018), define quais são as metas a serem atingidas pelos usuários, estima-se um crescimento de produtividade de 10% de empresas, que aderiram ao BIM, diminuição em 9,7% do custo relacionado a construção, recorrente a esses avanços, aumentando em 28,9% o PIB da Construção Civil. Os prazos para as adequações foram definidos, a partir de **2021** quando entrará em vigor a primeira fase, relacionada a modelagem da arquitetura, estrutura e os projetos complementares. A segunda etapa referente a obras valerá a partir de **2024**, adicionando a orçamentação e planejamento da execução da obra, bem como o *as-built*. E finalizando a partir de **2028**, com a introdução do pós-obra, que gerenciará todo ciclo de vida da obra.

1.1. Objetivo geral

Comparar métodos de compatibilização realizados em ambiente 2D e BIM.

1.2. Objetivos específicos

- Analisar as incompatibilidades existentes em projetos da indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção);
- Avaliar o grau das interferências recorrentes no projeto arquitetônico com os projetos complementares;
- Realizar levantamento estatístico de interferências encontradas nos diferentes métodos de compatibilização.

2. Materiais e Métodos

Após a fundamentação teórica realizou-se uma pesquisa, com aplicação prática do processo de compatibilização, em ambientes 2D e 3D, de projetos da indústria da engenharia, arquitetura e construção. A estrutura da pesquisa está apresentada na Figura 2.

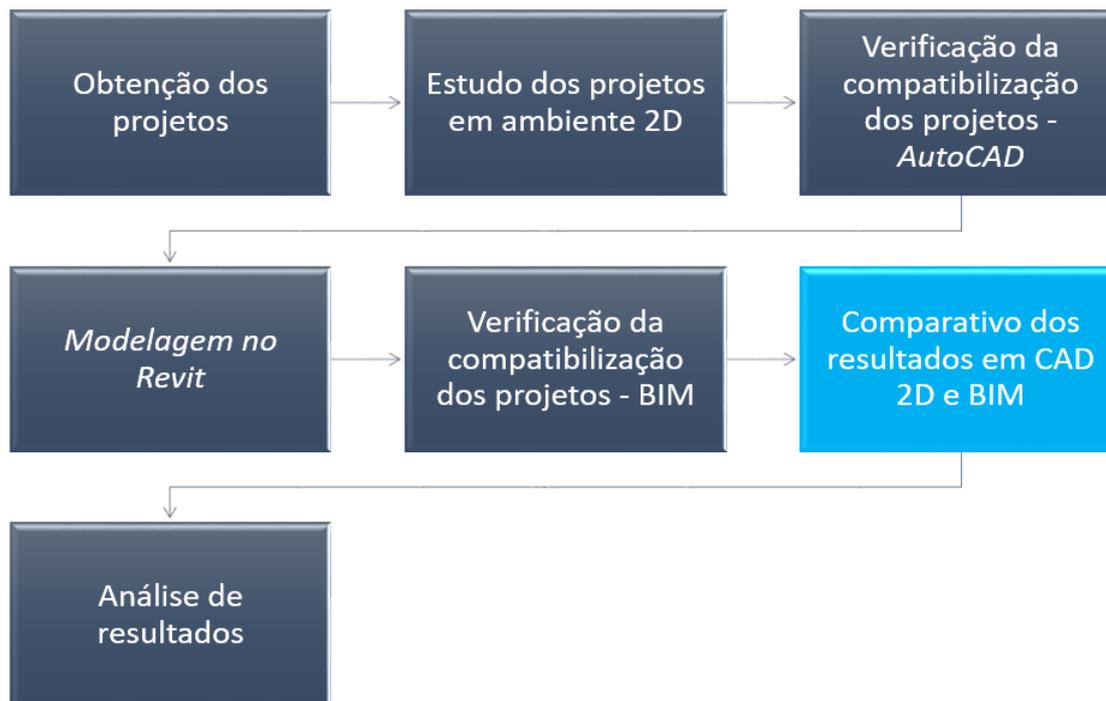


Figura 2 - Metodologia de trabalho

Fonte: Próprio autor, 2019.

2.1 Obtenção dos projetos

O trabalho do estudo de caso foi iniciado com a obtenção dos projetos. O projeto compreende um edifício residencial multifamiliar, possuindo quatro pavimentos, sendo um pavimento térreo e três pavimentos tipo, cada pavimento tipo com dois apartamentos, por andar. Os dados do edifício estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dados do edifício

| Obra | Edifício residencial multifamiliar |
|---------------------|------------------------------------|
| Pavimentos | 4 |
| Apartamentos | 6 |
| Área construída | 733,60m ² |
| Valor da obra | R\$ 1.100.400,00 |
| Tempo de construção | 18 meses |
| Local | Uberlândia - MG |
| Ano da construção | 2011 |

Fonte: Próprio autor, 2019.

A utilização dos projetos para estudo foi aprovada pelo escritório que o desenvolveu, podendo então seguir com o andamento da pesquisa. Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os projetos em planta baixa, e na Figura 5 a fachada do edifício.

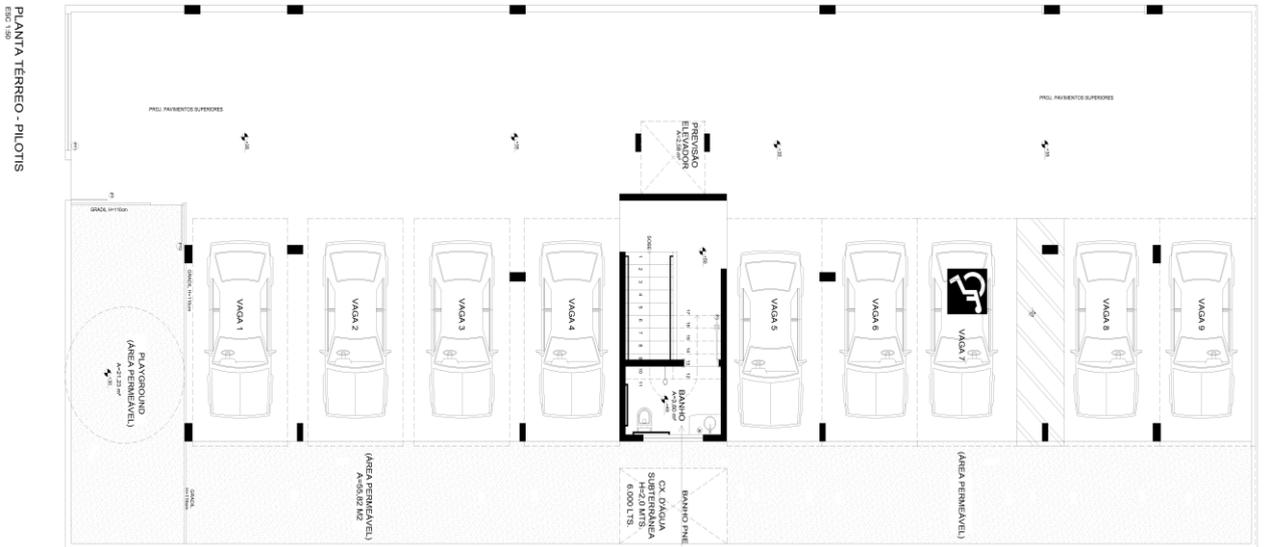


Figura 3 - Planta baixa do térreo

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

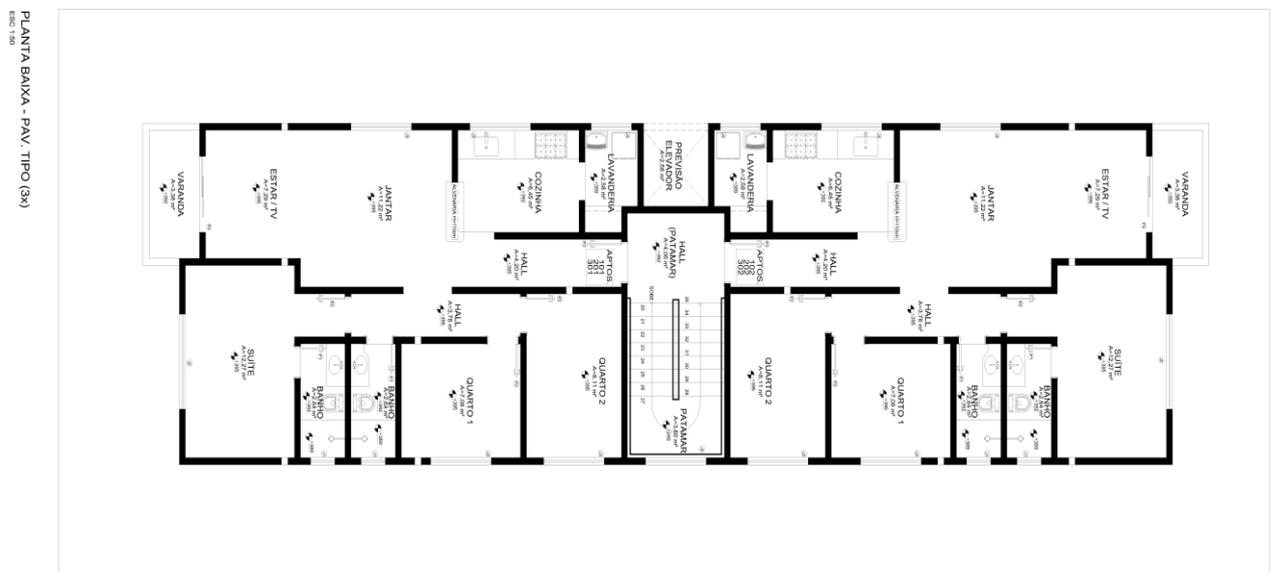


Figura 4 - Planta baixa do pavimento tipo

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

A metodologia utilizada para a verificação de incompatibilidades entre os projetos, adaptada de Rigo (2015), em que as interferências nos projetos foram divididas, em quatro níveis de conflitos, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Níveis de interferências

| Níveis de interferências | |
|--------------------------|---|
| Níveis | Descrição |
| Nível 1 | Incompatibilidades relacionadas a representação, como objetos posicionados fora do lugar de origem, pequenas divergências entre informações, erros ocorridos durante a importação para o formato dwg, não caracterizando conflitos significativos. Não necessitando da intervenção do projetista. |
| Nível 2 | Incompatibilidades simples, como a sobreposição de sistemas em mesma cota, facilmente resolvido organizando os projetos de todas disciplinas, necessitando da intervenção do projetista da disciplina. |
| Nível 3 | Incompatibilidades mais complexas, que precisam de atenção para serem resolvidas, onde necessita de alteração de inclinação ou a adição de algum elemento, alterações que poderiam afetar principalmente a arquitetura, necessitando de um conhecimento técnico específico para resolver, necessitando da intervenção dos projetistas de duas ou mais disciplinas. |
| Nível 4 | Incompatibilidades de grande relevância, onde o envolvimento dos engenheiros/arquitetos responsáveis é de extrema necessidade, precisando de maiores cuidados para serem resolvidas. Devendo redimensionar ou refazer parte do projeto, devido a interferências entre as disciplinas, como alteração de prumadas ou posicionamento da estrutura, necessitando da intervenção dos projetistas de duas ou mais disciplinas. |

Fonte: Adaptado de Rigo, 2015.

2.4 Modelagem no Revit

O projeto obtido estava em formato CAD 2D, portanto, foi modelado todo edifício em ambiente BIM com arquivos separados. A modelagem dos projetos foi feita de forma individual, sem a avaliação prévia entre os projetos com o intuito de evitar alterações. Para modelagem da arquitetura utilizou-se o software *Revit 2019*, com a inserção das vistas isométricas e a inserção de objetos paramétricos, seguindo as pranchas obtidas, conforme Figura 7.



Figura 7 – Modelagem arquitetura - *Revit 2019*

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

Em seguida, empregou-se o *Revit 2019* para a modelagem do projeto estrutural obtido, seguindo a sequência de fundação, pilares, vigas e lajes, obedecendo todas as dimensões e informações fornecidas nos projetos, conforme Figura 8.

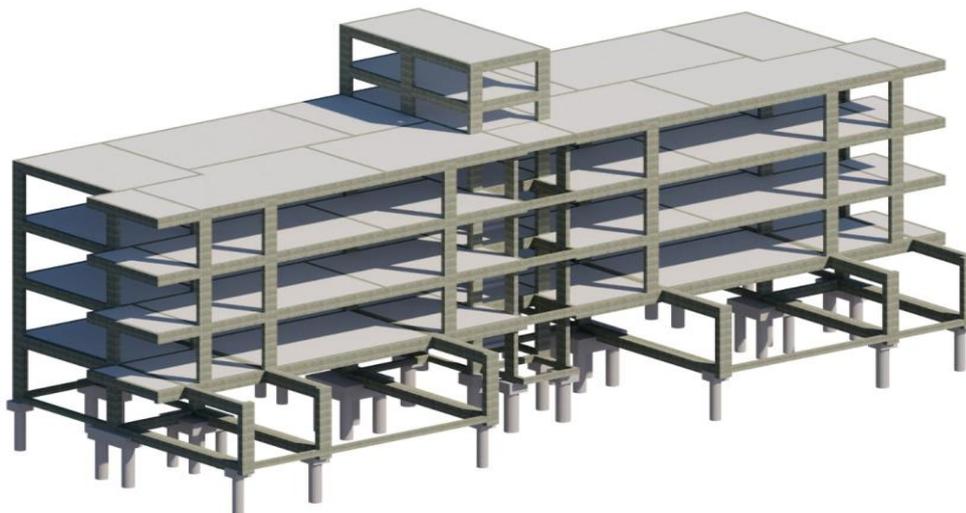


Figura 8 – Modelagem estrutura - *Revit 2019*

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

Para finalizar foi usado o *Revit 2019* para modelagem das disciplinas complementares. No projeto hidrossanitário modelou-se as canalizações de água fria e esgoto, tomando bastante cuidado com as prumadas e o posicionamento das tubulações, conforme Figura 9.



Figura 9 – Modelagem hidrossanitário - *Revit 2019*

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

O projeto elétrico foi modelado obedecendo informações, cotas e especificações contidas nos projetos, conforme Figura 10. Após a modelagem de todos os projetos foi feita a exportação dos arquivos separados diretamente do *Revit 2019*, em formato NWC – *Navisworks Cache*, uma extensão que permite realizar simulações e análises para a verificação de interferências entre as disciplinas.

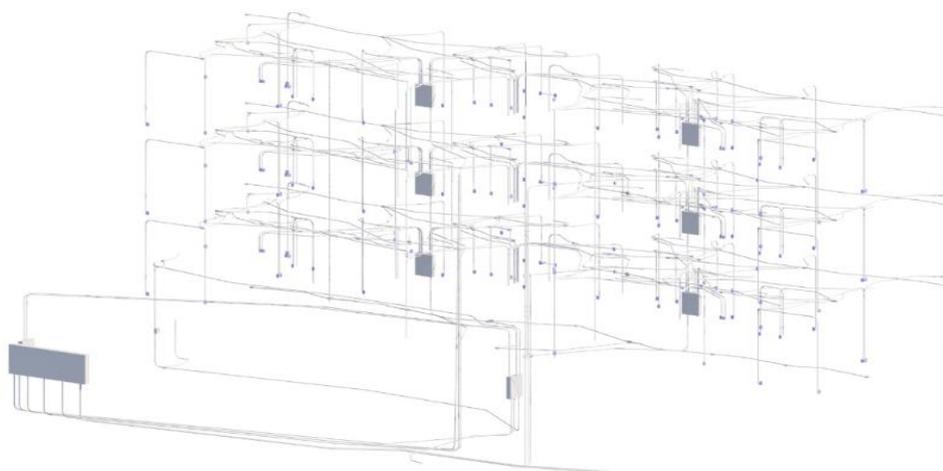


Figura 10 – Modelagem elétrico - *Revit MEP*

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

2.5 Verificação de interferências dos projetos - BIM

Após a exportação dos arquivos direto do *Revit* de todas as disciplinas de estudo, foram importados os arquivos para o *Navisworks*, em que foram escolhidos os modelos a serem estudados, seguindo a seguinte ordem: Arquitetura x Estrutura, Arquitetura x Hidrossanitário, Arquitetura x Elétrico, Estrutura x Hidrossanitário, Estrutura x Elétrico, Hidrossanitário x Elétrico. A ideia de separar em pares as verificações está relacionada com a facilidade de compreensão dos resultados, bem como a praticidade na visualização das interferências.

Para a verificação das incompatibilidades na plataforma BIM, foi utilizada a mesma metodologia de verificação de níveis de interferências utilizados no item 2.3.

Após importar os projetos para o *Navisworks*, por se tratar de uma modelagem que possui objetos paramétricos, é gerada uma lista com todos os elementos presentes nas disciplinas, conforme Figura 11.

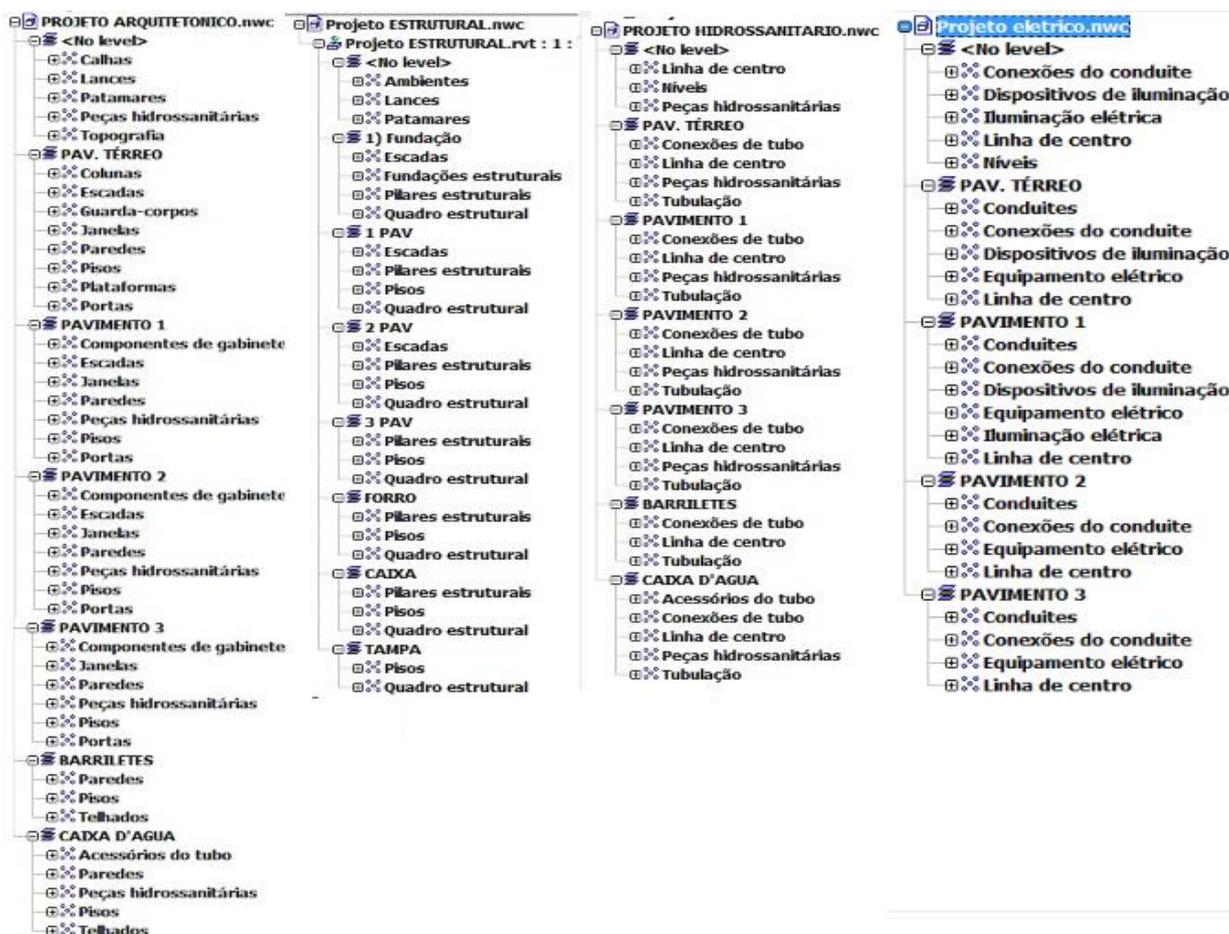


Figura 11 – Filtros de famílias gerados na importação para o *Navisworks*

Fonte: Próprio autor, 2019.

Os projetos foram compatibilizados analisando-se as famílias de elementos, por meio de filtros. Essa facilidade de avaliação se dá por se trabalhar com objetos paramétricos em ambiente BIM. Na Figura 12 é apresentado um exemplo de filtros de famílias que foram utilizados na comparação Arquitetura x Estrutura.

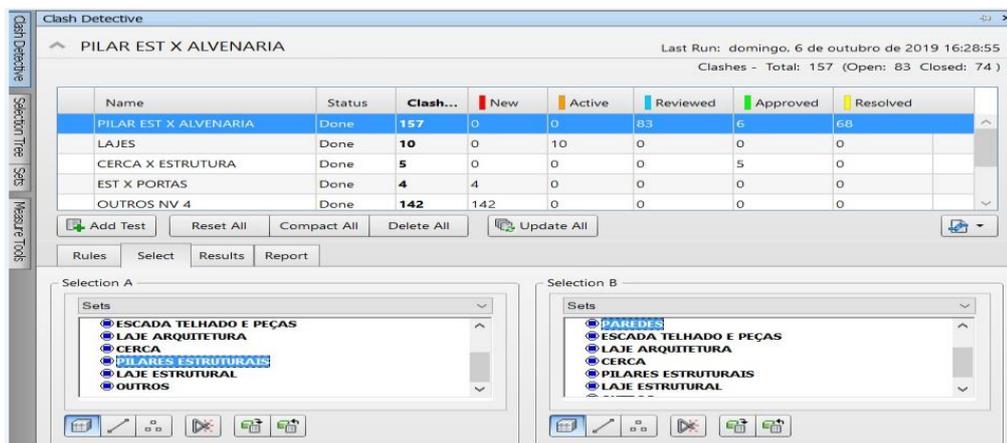


Figura 12 – Filtros de famílias utilizados para verificação de incompatibilidades

Fonte: Próprio autor, 2019.

O *Navisworks* possui uma classificação de cores e nomes por padrão: *New* cor vermelho, *Active* cor laranja, *Reviewed* cor azul, *Approved* cor verde, *Resolved* cor amarelo. A princípio as classificações existentes servem para identificar as etapas de compatibilização, *New* para interferência recém encontrada, *Active* quando identificada e aguardando tomada de decisão para correção, *Reviewed* após ter sido revisada, *Approved* servindo para marcar que a solução empregada foi aprovada pelos envolvidos, finalizando com *Resolved* após ter sido resolvido a incompatibilidade.

Para facilitar no quantitativo total, foram avaliadas as interferências de forma individual, e classificadas pelas cores de acordo com os níveis, conforme mostra a Figura 13. A cor azul *Reviewed* foi reservada para as interferências geradas por erros de modelagem, como esses erros foram gerados no projeto de estudo e não terem vindo do projeto original, foram descartados para não afetarem os resultados obtidos.

| Classificação Navisworks | Classificação adotada |
|--------------------------|-----------------------|
| New | Nível 4 |
| Active | Nível 3 |
| Resolved | Nível 2 |
| Approved | Nível 1 |
| Reviewed | Erros de modelagem |

Figura 13 – Classificações adotadas para identificação de níveis

Fonte: Próprio autor, 2019.

2.6 Comparativo dos resultados em CAD 2D e BIM

Após a sobreposição dos projetos no *AutoCAD 2019*, efetuou-se uma análise crítica, em relação às incompatibilidades. As interferências foram marcadas no projeto, com um círculo hachurado com a cor equivalente ao nível adotado para a identificação dos pontos a serem estudados. Em seguida efetuou-se a classificação em níveis referentes para todas as inconformidades encontradas.

Depois dos resultados gerados pelo *Navisworks*, foi montada uma planilha, com o comparativo das incompatibilidades encontradas, em todos os pares de projetos comparados, classificando também, em níveis conforme o item 2.3.

3. Resultados e discussão

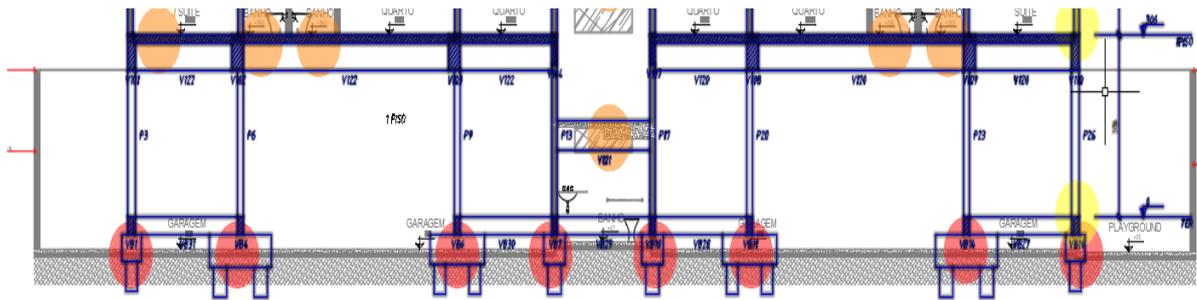
Segundo Eastman et al. (2014), o atual processo de elaboração de uma construção é dividido de forma, que toda a comunicação é fundamentada no papel, em que erros e negligências geram gastos inesperados. Os principais problemas gerados por esse sistema são relacionados com a demora, para se tomar decisões críticas, sendo que a maioria dos casos acontecem, quando a obra já está em andamento, isto é, tardiamente para adequações.

3.1 Compatibilização em ambiente 2D

A compatibilização em ambiente 2D foi feita conforme os itens 2.2 e 2.3, por meio de sobreposição dos projetos. O ponto base utilizado como referência para sobrepor os projetos foi a escada e a alvenaria de contorno, pois tratam-se de elementos ricos em detalhe e acabam demandando maior atenção.

As primeiras disciplinas a serem analisadas foram a Arquitetura x Estrutura. Antes da compatibilização já era esperado que entre essas disciplinas ocorressem várias incompatibilidades, pois representam maior impacto na obra, e a falta de compatibilização geram sérios problemas na execução. Essa verificação foi a que apresentou o maior número de interferência de todas as estudadas.

Assim que se iniciou a compatibilização foi encontrada uma interferência de nível 4 entre Arquitetura x Estrutura, pois os níveis não foram os mesmos, entre os projetos, o que resultou nos blocos de fundações estarem acima do nível térreo definido pela arquitetura, conforme mostra Figura 14a. A Figura 14b apresenta um caso real em outra obra, que apresentou o mesmo problema, decorrente da ausência da compatibilização, entre os projetos.



(a)



(b)

Figura 14 – Esquema representativo de incompatibilidade (a) e situação real (b)

Fonte: (a) Adaptado do projeto original, 2019; (b) Cedido por Campos Neto, 2019.

Esse tipo de interferência pode afetar diretamente, a estética da arquitetura, nessa situação como há a presença de blocos de fundações acima do piso do térreo, provoca a perda de vagas para a garagem. A reaprovação do projeto nessa situação é necessária, pois houve perda de área útil, comprometendo o número de vagas de estacionamento que serão realocadas. A nova adequação do projeto é necessária para a liberação do habite-se, que é uma certidão expedida pela prefeitura atestando que o imóvel está pronto para ser habitado, estando este de acordo, com o Código de Obras e demais exigências legais.

Devido a falha de desenvolvimento no projeto, outra interferência de nível 4 foi encontrada, envolvendo as escadas do pavimento térreo que ficaram com divergência entre os projetos, conforme Figura 15. No projeto arquitetônico há um degrau faltando no pavimento térreo, ocasionando uma diferença entre o pé-direito do pavimento térreo entre a arquitetura, estrutura e demais projetos complementares. Essa interferência afeta a definição dos níveis, entre as disciplinas, em caso da não comunicação entre os projetistas responsáveis, o problema irá para o canteiro de obra, afetando diretamente o cronograma e orçamento.

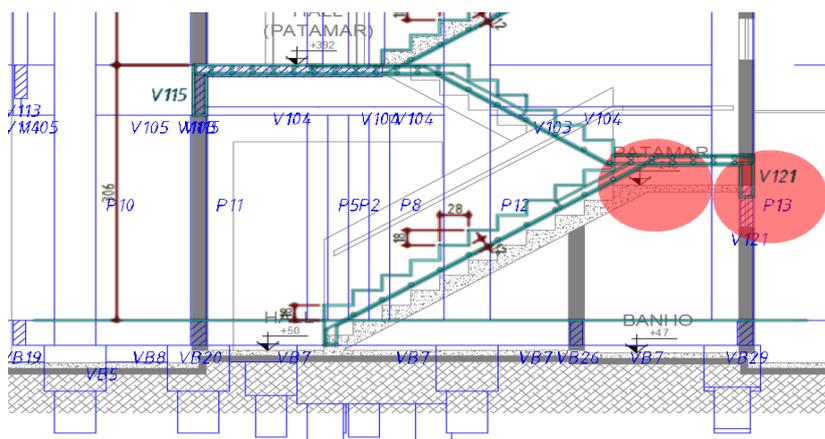
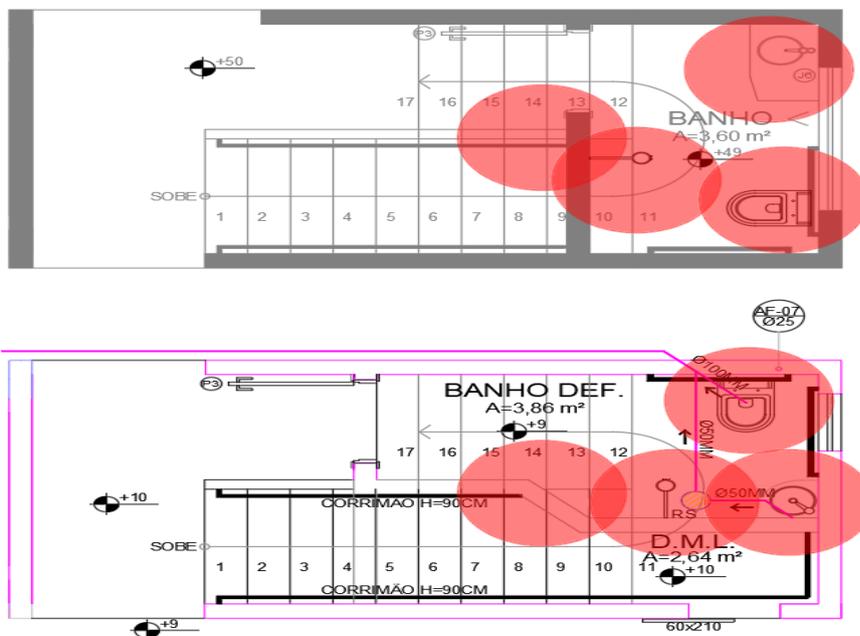


Figura 15 – Interferência de Nv.4 – Arquitetura x Estrutural

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

Em sequência foram compatibilizadas as disciplinas Arquitetura x Hidrossanitário, destacando uma interferência de nível 4 que pode ter sido causada por revisões diferentes em que os projetos foram elaborados. Observou-se que as peças sanitárias estavam em posições diferentes, em cada uma das disciplinas, conforme mostra a Figura 16a. A Figura 16b apresenta um caso real, causado, por um problema similar ao encontrado, precisando serem feitos ajustes no cômodo, podendo afetar uma ou mais disciplinas.



(a)



(b)

Figura 16 – Interferência de Nv.4 Arquitetura x Hidrossanitário (a) e situação real (b)

Fonte: (a) Adaptado do projeto original, 2019; (b) Cedido por Campos Neto, 2019.

Conforme mostra a Figura 17, esse tipo de interferência pode afetar diretamente, o conforto do morador, transtornos como redução da pia, realocação de peças sanitárias e redução da largura da porta. Nesse caso poderia ser preciso fazer requadrção para esconder canalização, afetando a arquitetura final proposta para o cliente.

A terceira combinação de disciplinas estudadas constituía Arquitetura x Elétrico. Um detalhe que foi relevância nessa compatibilização foi novamente o fato dos projetos terem sido feitos com revisões diferentes. A arquitetura estava com uma dimensão maior no pavimento tipo, acarretando em pontos, que ficaram para fora da alvenaria, conforme Figura 17.

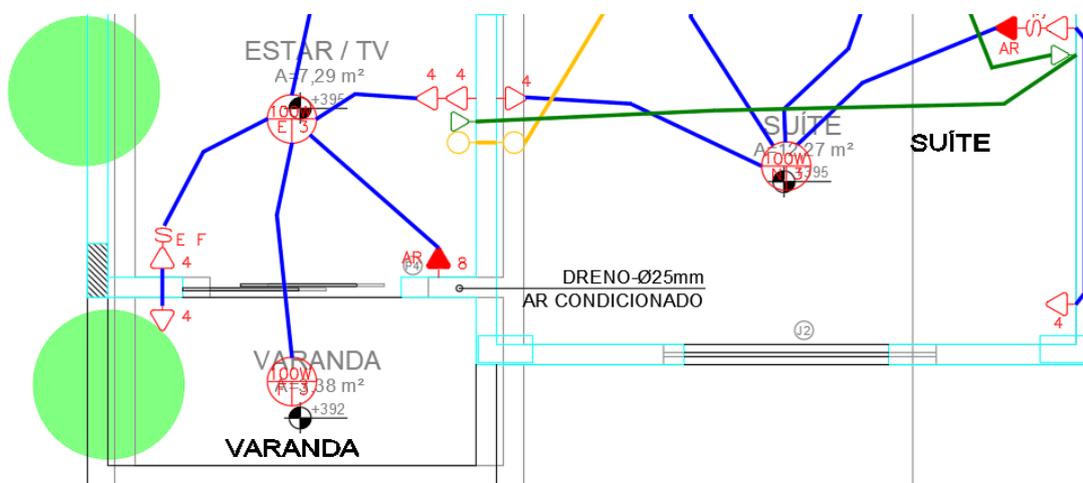


Figura 17 – Interferência de Nv.1 – Arquitetura x Elétrico

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

Essa incompatibilidade não afeta no posicionamento das tomadas ou interruptores, pois com o projeto elétrico em mãos, o responsável define o ponto mais próximo, do que está no projeto, para posicionar o elemento na alvenaria. Por esse motivo foram classificadas como nível 1, pois não influenciarão no momento da execução. Uma consequência dessa interferência é o gasto inesperado com materiais. Para orçamento é utilizado o projeto elétrico, e o gasto de materiais pode ser diferente ao necessário para executar a obra.

Foram compatibilizadas as disciplinas Estrutura x Hidrossanitário, em que pode-se observar que essas disciplinas foram responsáveis pelo maior número de interferências nível 4. As principais interferências identificadas foram as que geralmente se encontram em canteiros de obra, como por exemplo, tubulações passando por vigas sem previsão de furo, conforme mostra a Figura 18a. A Figura 18b ilustra um caso real em outra obra que apresentou o mesmo problema causado pela falta de compatibilização entre os projetos.

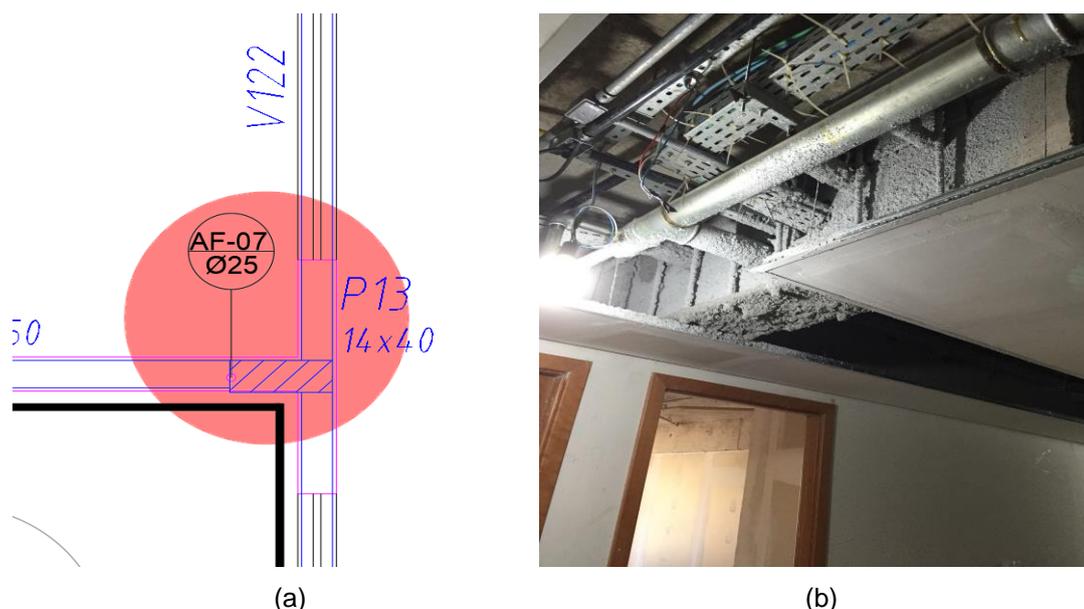


Figura 18 – Esquema representativo de incompatibilidade (a) e situação real (b)

Fonte: (a) Adaptado do projeto original, 2019; (b) Cedido por Campos Neto, 2019.

Esse tipo de interferência gera custos elevados, como a locação do equipamento para furar a viga de concreto. Em casos de maior gravidade, é preciso fazer reforço na estrutura, como o aumento da seção, reforço com perfis metálicos, encamisamento com concreto de alto desempenho e aplicação de polímeros com fibra de carbono.

Na compatibilização da Estrutura x Elétrico, a predominância de interferências foram do nível 1, resultante da divergência entre as revisões de projeto. Entretanto, houve

interferência de nível 4 causada por eletrodutos, que sobem do térreo, para os pavimentos tipo, cruzando a viga das escadas na vertical, conforme Figura 19.

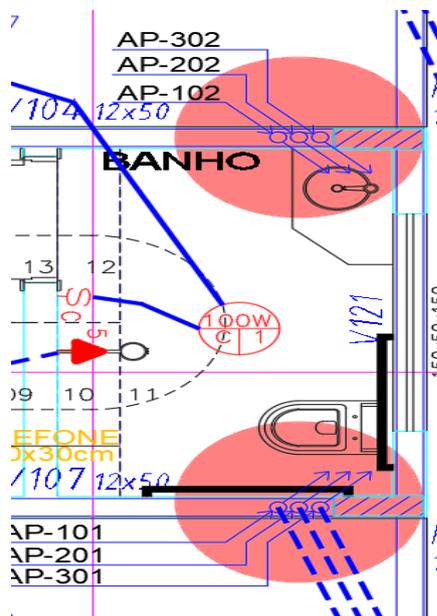


Figura 19 – Interferência de Nv.4 – Estrutura x Elétrico

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

As últimas disciplinas verificadas foram Hidrossanitário x Elétrico, não apresentando muitas interferências apesar de serem afetadas por divergência, nas revisões de projetos, como mostrado na Figura 20.

A predominância de interferências nesta última comparação foi de nível 1, pois o projeto elétrico é uma disciplina com menor interferência, entre todas as estudadas. O projeto elétrico é uma disciplina, quando comparado à estrutura e ao hidrossanitário, que possui maior flexibilidade no que tange às adaptações e alterações no projeto ou no canteiro de obras.

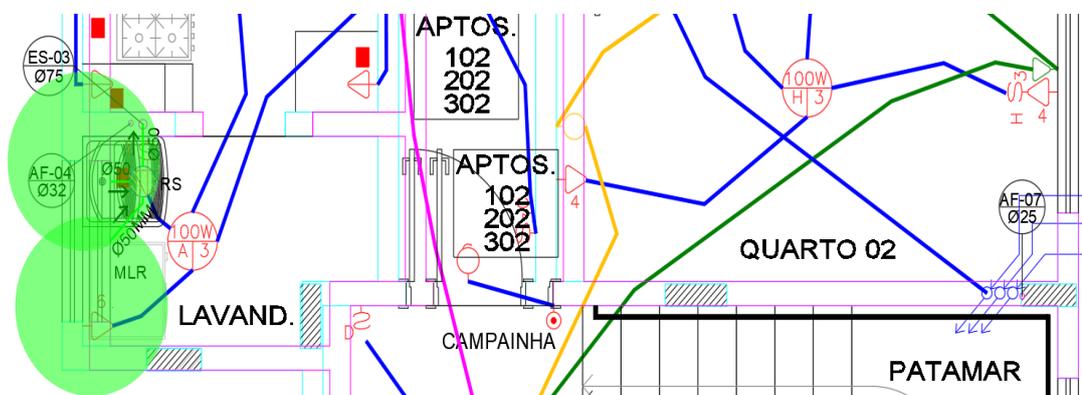


Figura 20 – Interferência de Nv.1 – Hidrossanitário x Elétrico

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

3.2 Compatibilização em ambiente BIM

A compatibilização em ambiente BIM foi feita conforme os itens 2.3, 2.4 e 2.5, inserindo filtros de famílias no *Navisworks* para evitar que erros de modelagem interferissem nos resultados obtidos. Exemplos de filtros utilizados seriam elementos/ estruturas definidas no projeto como alvenarias, esquadrias, fundações, vigas, pilares, lajes, tubulações, peças sanitárias, tomadas, quadros, etc.

A sequência de verificação das interferências foi a mesma estudada anteriormente em ambiente 2D. Começando pela Arquitetura x Estrutura, as principais interferências encontradas, foram de nível 4. A diferença de níveis entre os projetos acarretou nos blocos de fundação acima do piso do pavimento térreo, afetando a área útil do estacionamento e esquadrias, conforme mostra a Figura 21a e 21b.

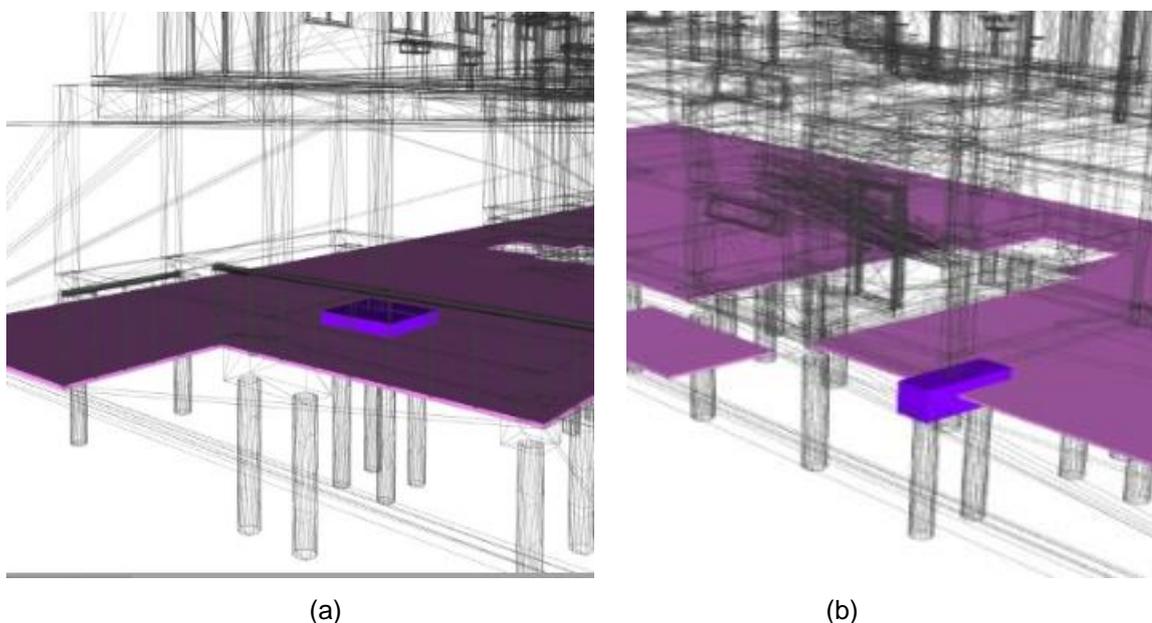
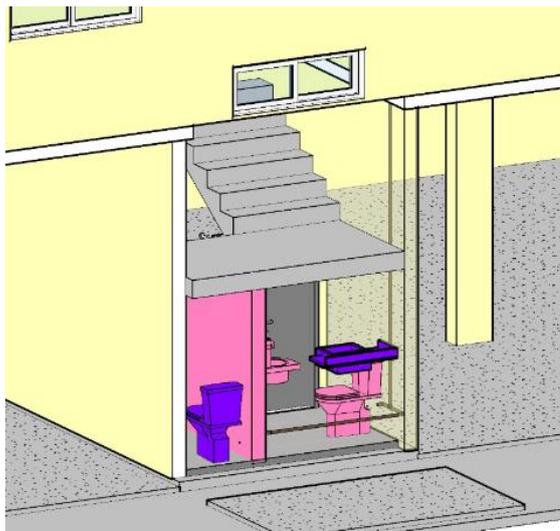


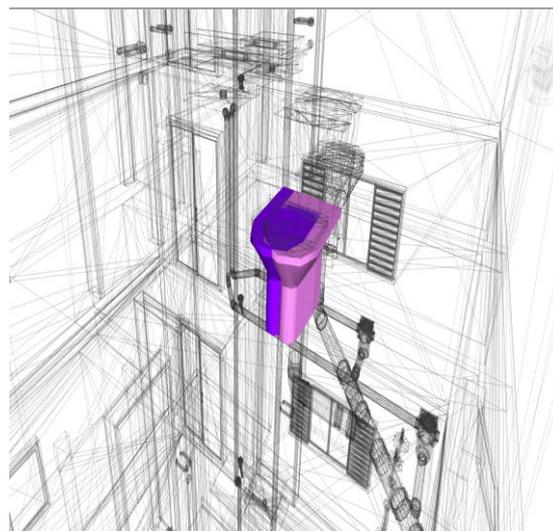
Figura 21 – Interferência de Nv.4 – Arquitetura x Estrutura

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

Em sequência analisou-se Arquitetura x Hidrossanitário, destaque para a interferência de nível 4, em que os banheiros no pavimento térreo, que ficaram diferentes, por causa de versões diferentes de projetos, como mostrado na Figura 22a. Outra interferência verificada, foi uma de nível 3, causada pela diferença no posicionamento das peças sanitárias, conforme Figura 22b.



(a)

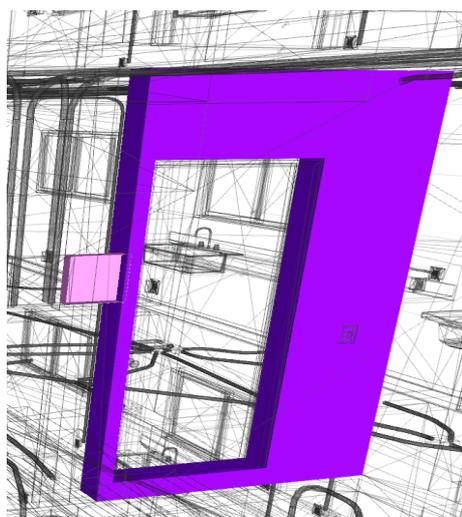


(b)

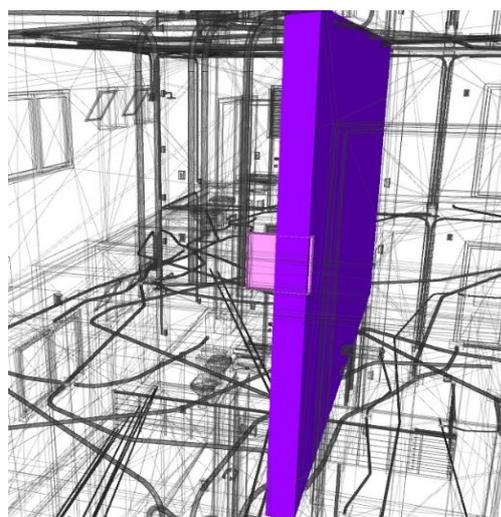
Figura 22 – Interferência de Nv.4 (a) e interferência de Nv.3 (b) – Arquitetura x Hidrossanitário

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

Conforme interferências encontradas entre Arquitetura x Elétrico, identificou-se um número maior de incompatibilidades, que afetam diretamente a arquitetura. Na Figura 23 é demonstrada uma interferência de nível 4, em que um quadro elétrico fica dentro da esquadria. Essa interferência não foi detectada em ambiente 2D, devido à dificuldade de verificação imposta pela simples sobreposição de projetos. Após encontrada essa interferência foi estudado o motivo do quadro estar em conflito, com a esquadria, pois no projeto elétrico foram estipuladas dimensões, para os quadros de medição que, quando somadas, ultrapassam o espaço livre disponível na alvenaria.



(a)



(b)

Figura 23 – Interferência de Nv.4 – Arquitetura x Elétrico

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

Após a examinar as interferências entre as disciplinas Estrutura x Hidrossanitário, conclui-se que nos projetos dessa obra, em nenhum momento foi considerada a importância da compatibilização entre os projetos.

No projeto hidrossanitário identificou-se várias tubulações cruzando elementos estruturais, na vertical ou em 45°, com canalizações os atravessando, que não é permitido, conforme mostrado na Figura 24. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) estruturas que irão possuir furos devem ser calculadas e detalhadas considerando perturbações das tensões em torno dessas aberturas, pois há a necessidade de prever as armaduras para resistirem aos esforços de tração, bem como, armaduras complementares localizadas no contorno e cantos que existirão essas aberturas. Em nenhum momento no projeto estrutural foi detalhado ou previsto algum tipo de furo, configurando as interferências encontradas como nível 4, pois influenciam diretamente no equilíbrio global da estrutura.

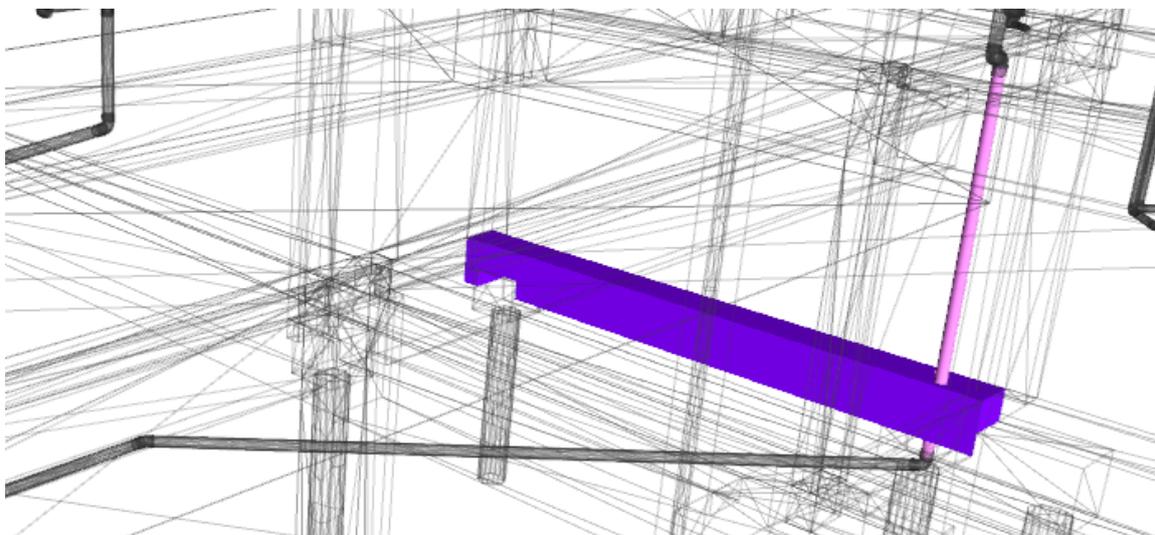
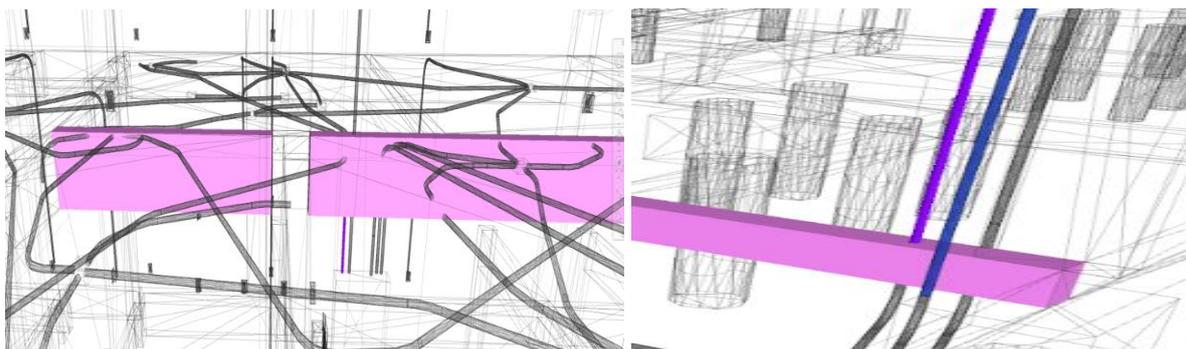


Figura 24 – Interferência de Nv.4 – Estrutura x Hidrossanitário

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

Na verificação entre Estrutura x Elétrico, a maioria dos eletrodutos estão cruzando vigas, os que estão cortando a viga na horizontal, foram apontados como nível 3. Os eletrodutos, que cruzam as vigas na vertical, foram definidos como interferências de nível 4 por apresentarem maior risco a estabilidade da estrutura. A Figura 25a demonstra as interferências encontradas de nível 1, a Figura 25b as interferências de nível 2. A Figura 25c demonstra um caso real que foi necessário fazer reforço estrutural na viga por conta de furos não considerados no projeto.



(a)

(b)



(c)

Figura 25 – Interferência de Nv.1 (a), interferência Nv.2 (b), caso real (c) – Estrutura x Elétrico

Fonte: (a), (b) Adaptado do projeto original, 2019; (c) Cedido por Campos Neto, 2019.

Na análise Hidrossanitário x Elétrica foram encontradas apenas duas incompatibilidades, entre peça sanitária e uma caixa de luz. Foram definidas como nível 1, por serem simples de resolver realocando a posição da caixa, conforme mostra a Figura 26.

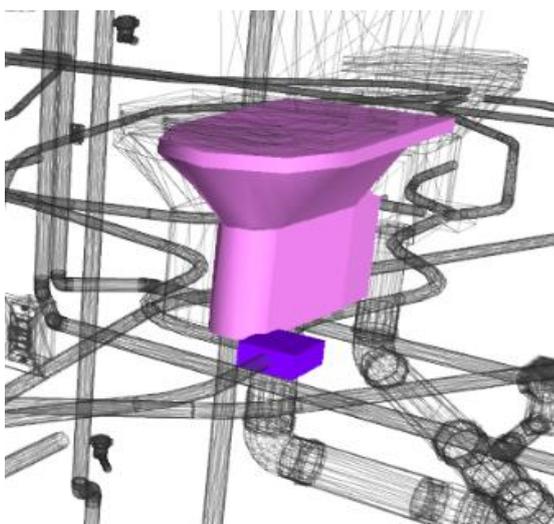


Figura 26 – Interferência de Nv.1 – Elétrico x Hidrossanitário

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.

3.3 Confrontação entre os métodos

As interferências de nível 3 e nível 4 influenciam de forma significativa no orçamento e cronograma da obra. O aumento no custo da obra e o atraso no cronograma, de acordo com as interferências encontradas, destacam-se: retrabalho para recalcular o projeto, compatibilizar as disciplinas envolvidas, furos em vigas que não estão previstos, necessidade de possível reforço estrutural em pontos críticos, consumo dos insumos maior do que o previsto no orçamento. Além dos pontos destacados, outra preocupação é o conforto do morador, pois peças sanitárias possuem divergência entre as disciplinas responsáveis, há a perda de área útil no térreo que irá implicar em realocação de vagas de estacionamento, requadração em cômodos que não estavam previstos no projeto arquitetônico.

No total foram encontradas 182 incompatibilidades em ambiente 2D, com predominância de nível 1, com 72 pontos encontrados. Mas o principal impacto está nas 39 interferências de nível 3, juntamente com as 44 interferências de nível 4, que influenciaram de forma significativa o orçamento da obra, bem como, na qualidade final da edificação. A Figura 27 aponta a quantidade de interferências por níveis encontradas, em todo o processo de compatibilização, em ambiente 2D.

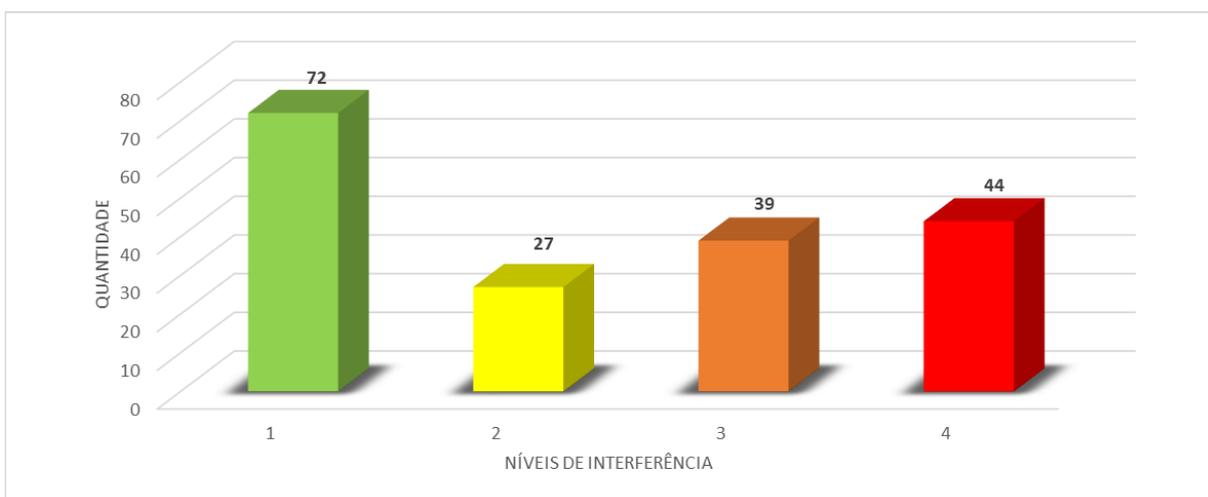


Figura 27 – Total de interferências por níveis na compatibilização em ambiente 2D

Fonte: Próprio autor, 2019.

No total, foram encontradas 1.624 interferências, entre as disciplinas verificadas no *Navisworks*, neste valor não constam as interferências causadas por erros de modelagem. Foram detectadas 993 interferências de nível 1 que serão ajustadas na obra, sem afetar de forma significativa o orçamento ou cronograma. Os dados mais preocupantes, foram as 299 interferências de nível 4 encontradas, conforme Figura 28.

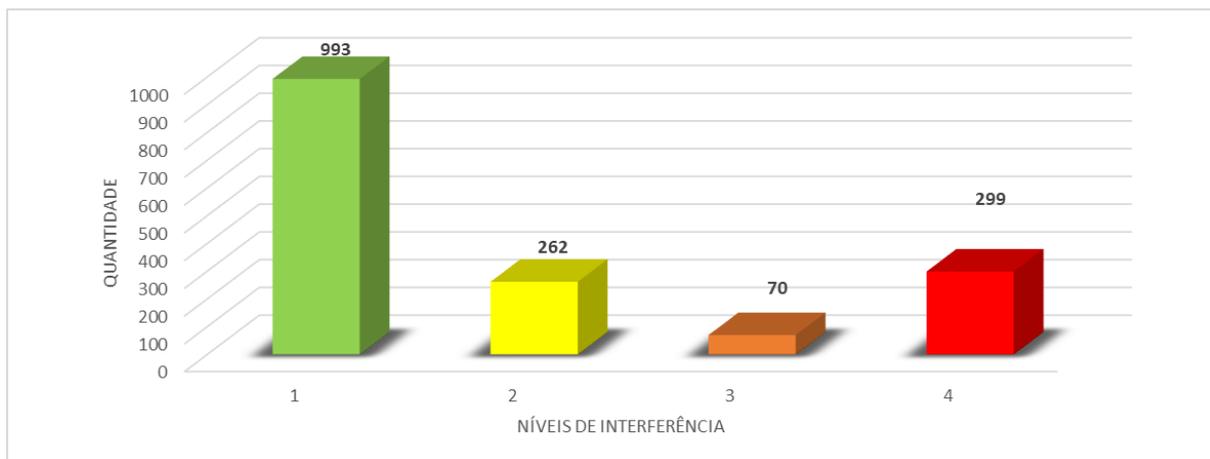


Figura 28 – Total de interferências por níveis na compatibilização em ambiente BIM

Fonte: Próprio autor, 2019.

Nota-se que o perfil de interferências similares no ambiente 2D e BIM, isto é, maior proporção de nível 1, seguido do nível 4, havendo apenas uma diferença, entre os níveis 2 e 3.

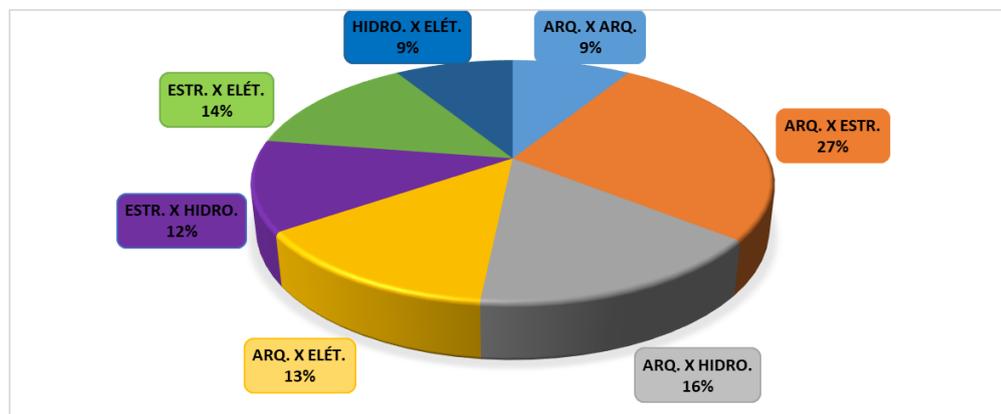
Com relação às quantidades de interferências de nível 1 encontradas em ambiente BIM foram 1.279% maior que as encontradas em ambiente 2D. As interferências de nível 2 encontradas em BIM foram 870% maior das encontradas em 2D. Das interferências que apresentam um grau maior de impacto na obra encontradas em ambiente BIM, a quantidade encontrada de nível 3 são 80% superiores seguidas de nível 4 representando 580% maiores que em ambiente 2D.

O método de verificação em ambiente 2D apesar de apontar algumas incompatibilidades, é muito dependente da experiência do profissional responsável pela verificação. Desta forma, sua base de dados se fundamenta no conhecimento prévio do profissional, no âmbito da leitura de projetos e execução de obras. Portanto, esse método é classificado como qualitativo, ou seja, a cada nova verificação, o número de interferências poderá modificar-se.

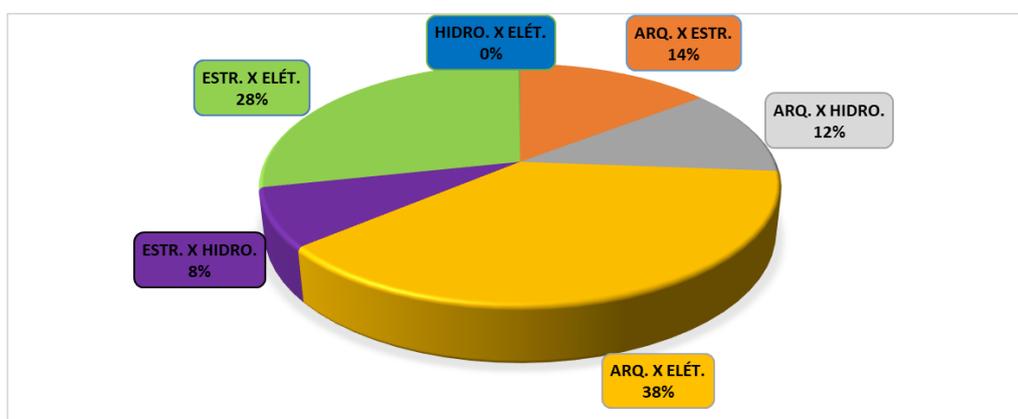
Os projetos com maior número de interferências encontradas na compatibilização em ambiente 2D foram as que envolvem Arquitetura x Estrutura, apresentando 27% das incompatibilidades totais, seguido da Arquitetura x Hidrossanitário com 16%, conforme mostra a Figura 29a.

As disciplinas com maior porcentagem de interferência foram Arquitetura x Elétrico, representando 38%, seguidas da Estrutura x Elétrico com 28%. O motivo desse valor é a divergência entre as versões utilizadas para o desenvolvimento no projeto gerando um grande número de interferências, conforme mostra a Figura 29b. Essa situação não ocorre em BIM quando o trabalho é feito em rede/ nuvem pois nessa interação quando há uma

alteração no projeto, os responsáveis pelas disciplinas recebem um aviso do software alertando sobre a mudança realizada.



(a)



(b)

Figura 29 – Porcentagem de interferência nas disciplinas em ambiente 2D (a), porcentagem de interferência nas disciplinas em ambiente BIM (b)

Fonte: Próprio autor, 2019.

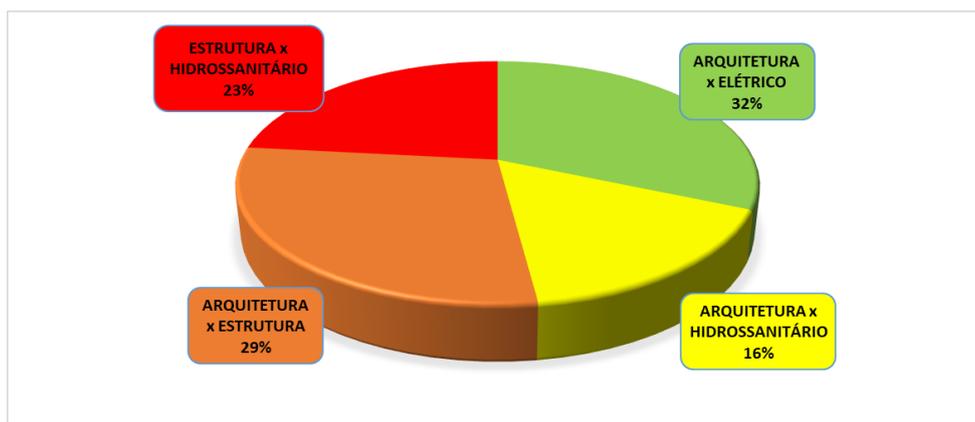
Os projetos com os maiores impactos, Arquitetura x Estrutura foram responsáveis por 14% das interferências totais. Em sequência Arquitetura x Hidrossanitário com 12%, esses dados são preocupantes, pois são duas disciplinas, que possuem influência direta, no resultado final da arquitetura, afetando também, de forma direta o custo e prazos estipulados inicialmente, para a edificação.

Quando é definido um projeto, existe uma sequência de projetos que possuem um grau de impacto e cuidados a serem tomados. A arquitetura é o projeto principal, que definirá as diretrizes seguidas pelos demais projetos, determinando as preferências e necessidades do cliente, dimensões de cômodos, posição das esquadrias, peças sanitárias utilizadas, acabamento, enfim, toda a parte visual da obra. Após definida a arquitetura, entra o projeto estrutural, que é o esqueleto da obra, a parte responsável por sustentar e garantir que seja dado uma forma ao projeto arquitetônico. Em sequência os projetos hidrossanitário

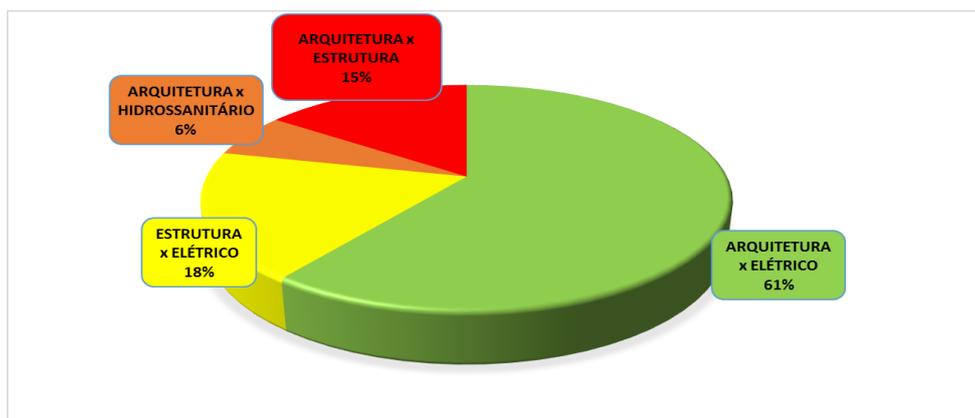
e elétrico, que são responsáveis por dar funcionamento a obra, comparados aos órgãos do edifício.

Na verificação das interferências, por níveis em ambiente 2D, as disciplinas que impactam diretamente no custo, cronograma e estética da obra, foram as que tiveram uma maior porcentagem, sendo nível 3 Arquitetura x Estrutura com 29% e nas de nível 4 Estrutura x Hidrossanitário com 23% do total das interferências encontradas, conforme mostra a Figura 30a.

A Arquitetura x Elétrico apresentaram a maior quantidade de interferências nível 1, sendo responsável por 61% das interferências por níveis. Em interferências de nível 3 são responsáveis por 6% do total, a Arquitetura x Hidrossanitário. Nas interferências de nível 4 representando 15%, ficaram a Arquitetura x Estrutura, conforme Figura 30b. O motivo para o projeto elétrico estar com maior porcentagem relaciona-se com a diferença entre os níveis definidos, em projeto e as versões utilizadas, para o dimensionamento.



(a)



(b)

Figura 30 – Disciplina com maior porcentagem no total de interferência por nível em ambiente 2D (a), disciplina com maior porcentagem no total de interferência por nível em ambiente BIM (b).

Fonte: Próprio autor, 2019.

Nas duas formas de comparação utilizadas, no ambiente 2D e BIM, possuem a presença da Arquitetura x Elétrico, como predominância de nível 1, por possuírem uma maior facilidade de ajuste *in loco*. Nas interferências de nível 2, houve uma diferença nas predominâncias encontradas devido a divergências nas versões utilizadas do projeto. Nas interferências de grande impacto na obra, nível 3 e nível 4, são presentes as disciplinas de arquitetura, estrutura e hidrossanitário.

Cada disciplina possui um grau de impacto diferente na obra, como a arquitetura é o projeto que serve como base para os demais, se algo está errado em sua concepção/execução, todos os demais projetos serão afetados. O projeto estrutural é responsável pela estabilidade e sustentação do edifício, ao passo que as instalações hidrossanitárias, por se relacionarem à funcionalidade, afetam o conforto e desenvolvimento da obra, quando projetada de forma errada geram transtornos pela dificuldade de adaptar as alterações. O projeto hidrossanitário em alguns casos exige grandes áreas de recorte, nos elementos estruturais, o que pode acarretar em problemas na estrutura, colocando em risco a capacidade portante do edifício. O projeto elétrico possui instalações ajustáveis, facilitando quando há a necessidade de ajustes *in loco*.

4. Conclusões

A verificação de interferências com ferramenta BIM provou ser mais eficaz devido ao elevado número de incompatibilidades identificadas. Em ambiente BIM é possível ter uma visualização mais aprimorada, facilitada e prática de cada disciplina envolvida nos conflitos analisados. Em ambiente 2D, a verificação das interferências é realizada de maneira qualitativa, dependendo do conhecimento prévio do profissional.

Em ambiente 2D, a sobreposição dos projetos dificulta a visualização das interferências, gerando um maior desgaste do profissional responsável pela compatibilização, implicando em um maior tempo na verificação. Quando a verificação é feita em ambiente BIM, por se trabalhar com objetos paramétricos, após a importação dos projetos para o *Navisworks*, é importada uma lista com as famílias das disciplinas, facilitando na verificação global dos projetos ou um caso isolado.

Portanto, conclui-se que a plataforma BIM é a melhor solução para se trabalhar com compatibilização de projetos, facilitando na interação entre os profissionais, auxiliando nas verificações de interferências, implicando na maior velocidade e segurança para tomada de decisões. Resultados que ajudam a manter o cronograma e principalmente, a redução de gastos imprevistos.

Referências

ARNAL, I. P. **Why don't we start at the beginning? The Basics of a Project: Lean Planning and Pre-Construction.** Disponível em: <<https://www.bimcommunity.com/news/load/490/why-don-t-we-start-at-the-beginning>>. Acesso em: 23/11/2019.

ANDRADE, Max Lira Veras X. de; RUSCHEL, Regina Coeli. Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 4, n. 2, 2009. Disponível em <<http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50960/55046>>. Acesso em 26/02/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2014.

AUTODESK. **Introdução ao BIM.** Disponível em: <<https://blogs.autodesk.com/mundoaec/guia-pratico-de-implementacao-bim/>>. Acesso em: 02/03/2019.

BRASIL. Decreto n. 9.377, de 17 de maio de 2018. **Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling**, Brasília, DF, mar. 2017. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9377.htm>. Acesso 17/03/2019.

CAMPESTRINI, T. F.; GARRIDO, M. C.; MENDES JUNIOR, R.; SCHEER, S.; FREITAS, M.C. D. **Entendendo BIM.** 1ª. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2015. 51 p.

CZMOCH, Ireneusz; PEKALA, Adam. Traditional Design versus BIM Based Design. **Procedia Engineering**, [s.l.], n. 91, p.210-215, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/275540956_Traditional_Design_versus_BIM_Based_Design>. Acesso em: 03/03/2019.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM** - Um guia de modelagem da construção para arquitetos, gerentes, construtores e incorporadores. 1ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 503 p.

MENEGATTI, Bruna. **Compatibilização de projetos arquitetônico e estrutural de uma residência unifamiliar com auxílio da plataforma BIM.** 2015. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015. Disponível em: < <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5791>>. Acesso em: 04/03/2019.

RIGO, Luis Felipe; PENHA, Saulo Rodrigues Lima Neuenschwander. **Aplicação de plataforma BIM para verificação de interferências de projeto em edificações no setor**



UNIVERSIDADE
DE RIO VERDE

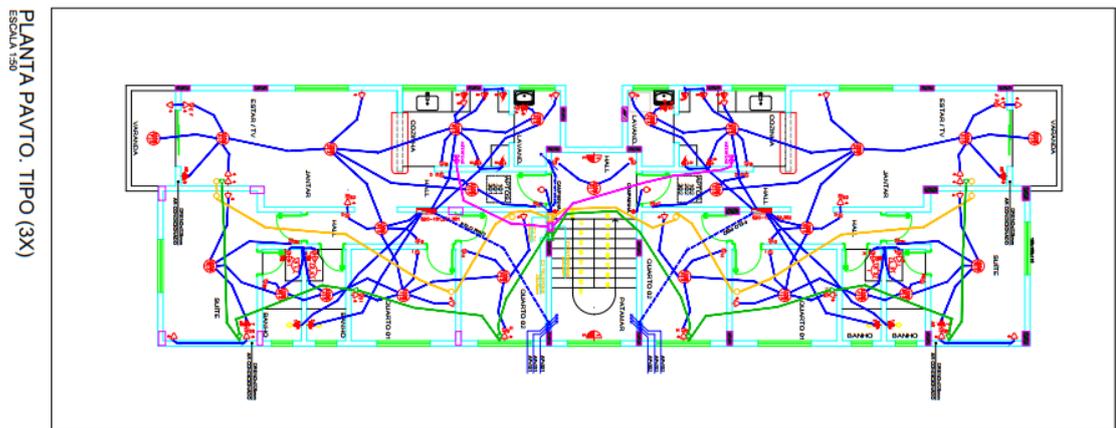
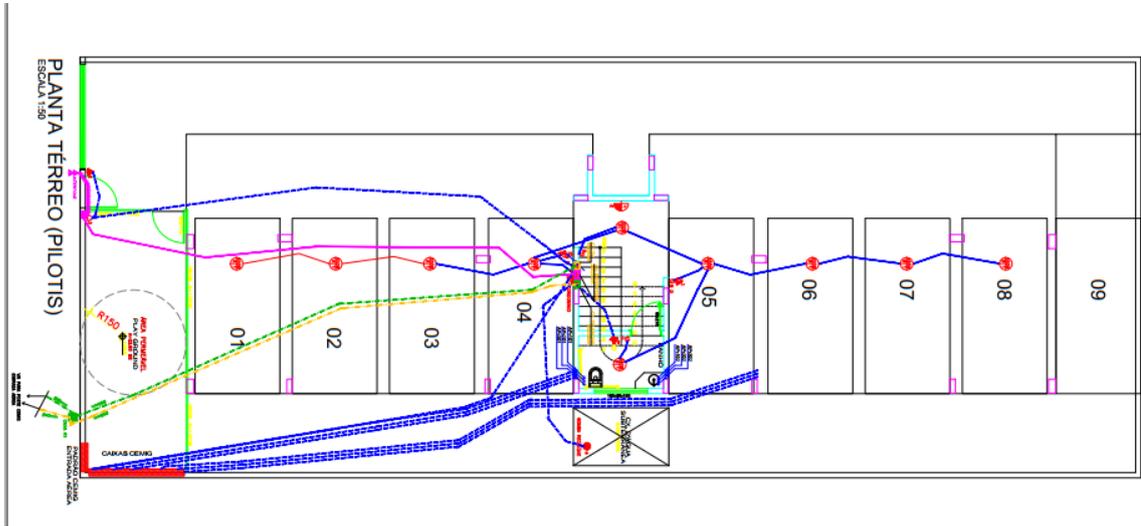


de engenharia, arquitetura e construção. 2015. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: < <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10044>>. Acesso em: 09/03/2019.

APÊNDICE A

Projeto Elétrico

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.





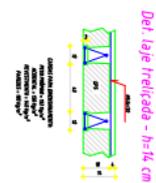
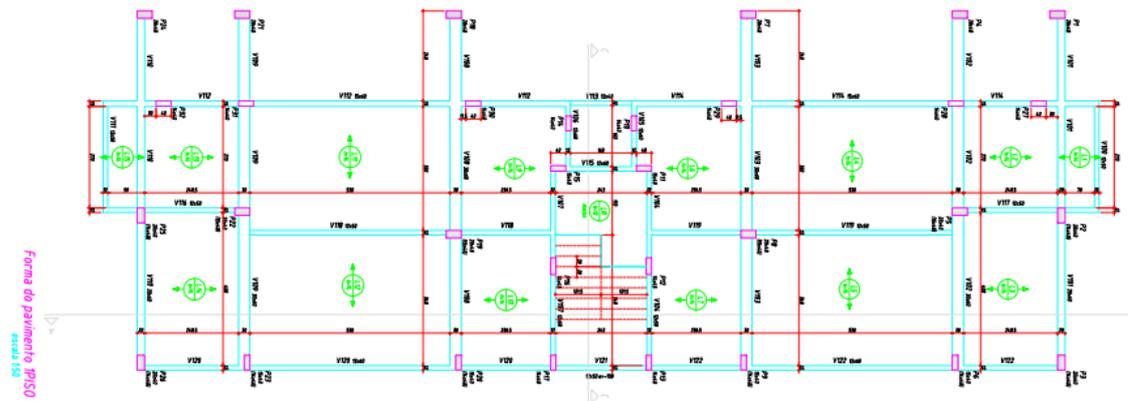
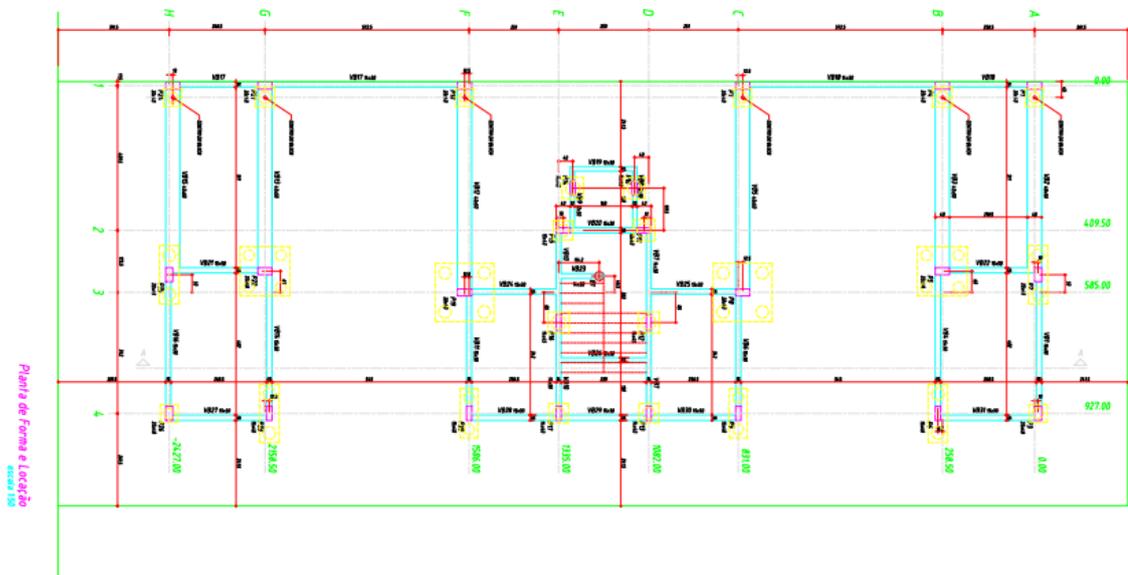
UNIVERSIDADE
DE RIO VERDE



APÊNDICE B

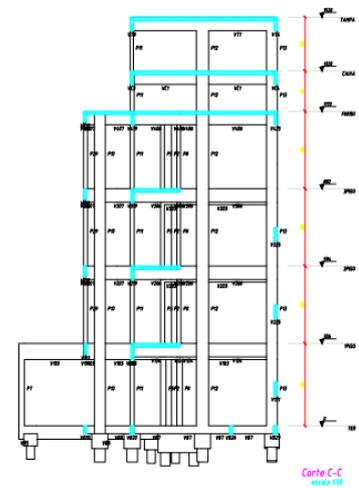
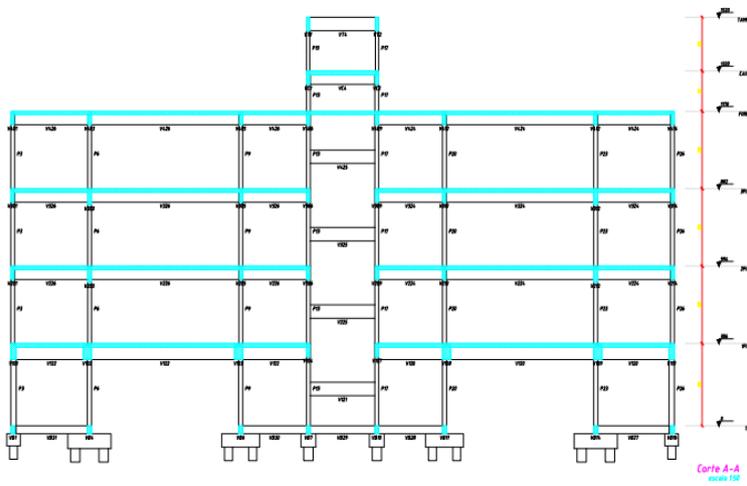
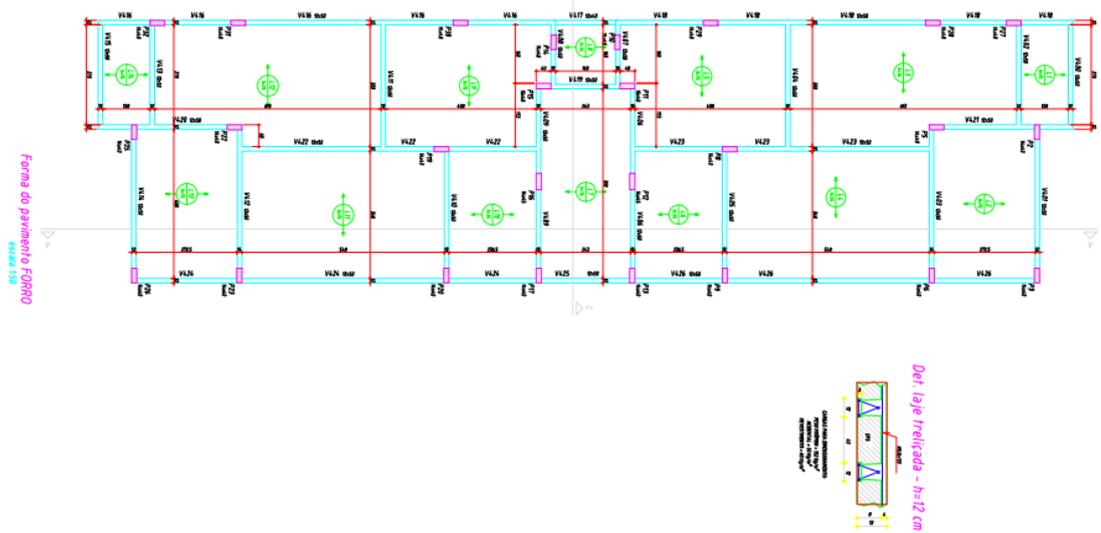
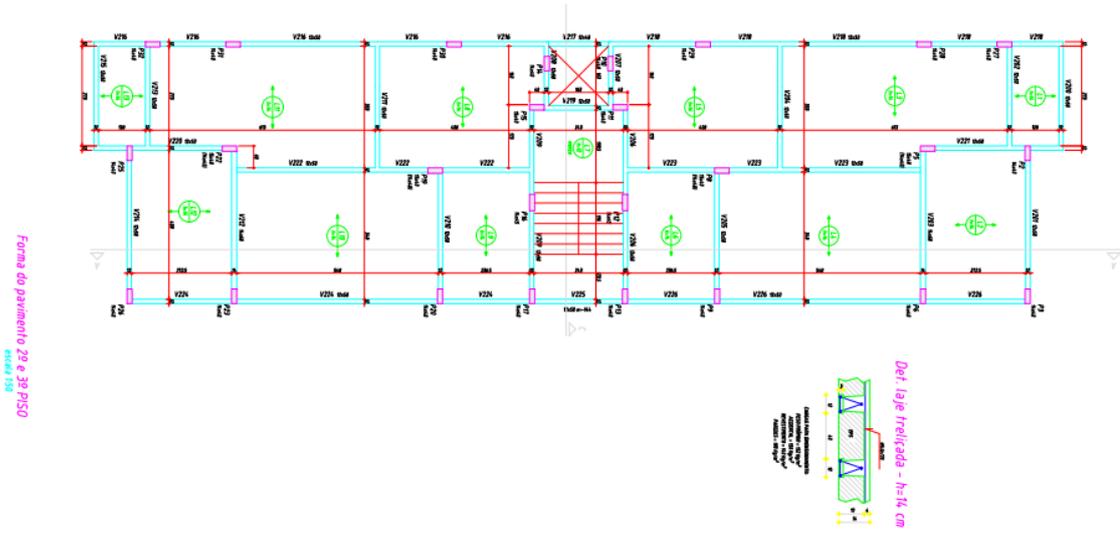
Projeto Estrutural

Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.





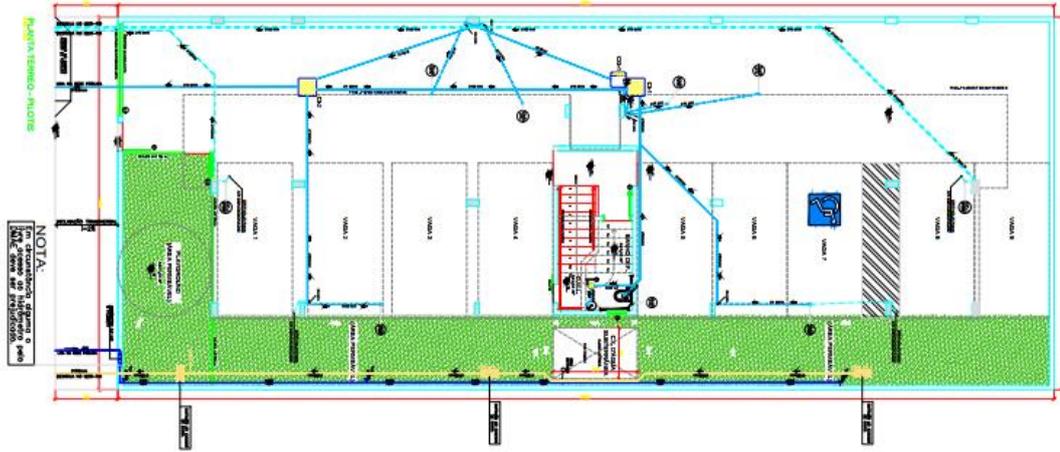
UNIVERSIDADE
DE RIO VERDE



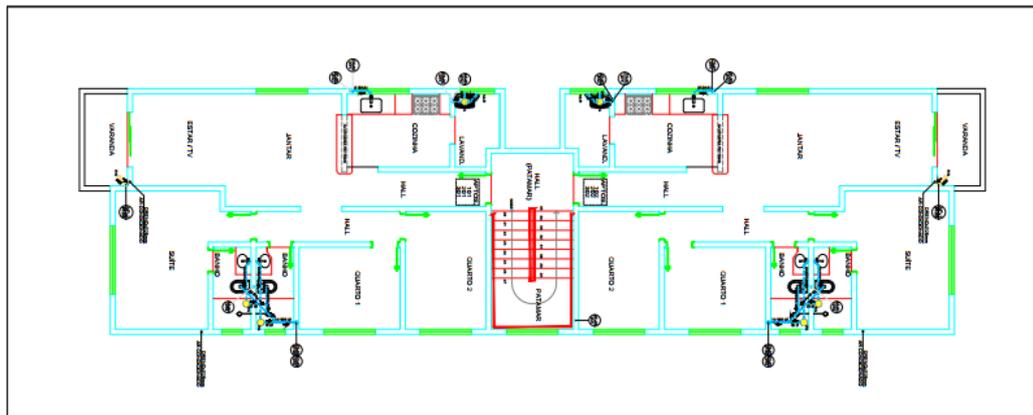
APÊNDICE C

Projeto Hidrossanitário

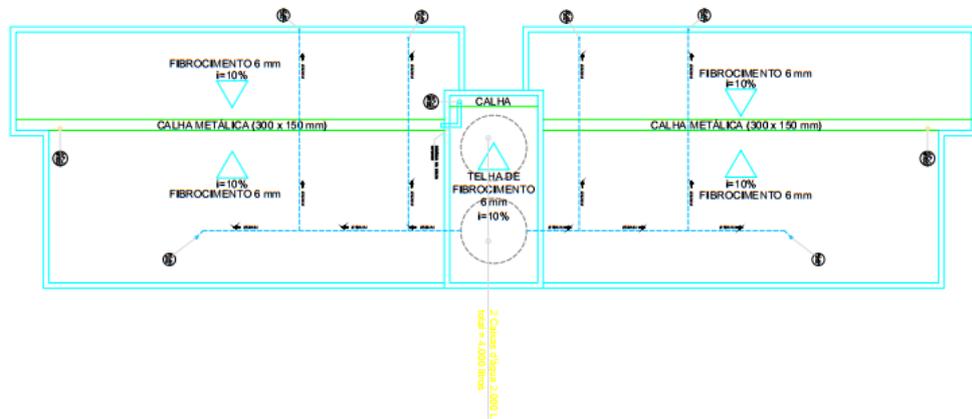
Fonte: Adaptado do projeto original, 2019.



PLANTA BANHA - FAV. TPO (2x)



PLANTA COBERTURA



APÊNDICE D

Quantidade de interferências por disciplina em ambiente 2D

Fonte: Próprio autor, 2019.

| ARQUITETURA x ARQUITETURA | | ARQUITETURA x ESTRUTURA | |
|---------------------------|------------|-------------------------|------------|
| NÍVEIS | QUANTIDADE | NÍVEIS | QUANTIDADE |
| 1 | 13 | 1 | 6 |
| 2 | 1 | 2 | 9 |
| 3 | 0 | 3 | 21 |
| 4 | 2 | 4 | 13 |
| TOTAL | 16 | TOTAL | 49 |

| ARQUITETURA x HIDROSSANITÁRIO | | ARQUITETURA x ELÉTRICO | |
|-------------------------------|------------|------------------------|------------|
| NÍVEIS | QUANTIDADE | NÍVEIS | QUANTIDADE |
| 1 | 3 | 1 | 23 |
| 2 | 12 | 2 | 0 |
| 3 | 10 | 3 | 0 |
| 4 | 4 | 4 | 2 |
| TOTAL | 29 | TOTAL | 25 |

| ESTRUTURA x HIDROSSANITÁRIO | | ESTRUTURA x ELÉTRICO | |
|-----------------------------|------------|----------------------|------------|
| NÍVEIS | QUANTIDADE | NÍVEIS | QUANTIDADE |
| 1 | 0 | 1 | 15 |
| 2 | 5 | 2 | 0 |
| 3 | 0 | 3 | 6 |
| 4 | 17 | 4 | 4 |
| TOTAL | 22 | TOTAL | 25 |

| HIDROSSANITÁRIO x ELÉTRICO | | TOTAL | |
|----------------------------|------------|--------------|------------|
| NÍVEIS | QUANTIDADE | NÍVEIS | QUANTIDADE |
| 1 | 12 | 1 | 72 |
| 2 | 0 | 2 | 27 |
| 3 | 2 | 3 | 39 |
| 4 | 2 | 4 | 44 |
| TOTAL | 16 | TOTAL | 182 |

APÊNDICE E

Quantidade de interferências por disciplina em ambiente BIM

Fonte: Próprio autor, 2019.

| ARQUITETURA x ESTRUTURA | | ARQUITETURA x HIDROSSANITÁRIO | |
|-------------------------|------------|-------------------------------|------------|
| NÍVEIS | QUANTIDADE | NÍVEIS | QUANTIDADE |
| 1 | 11 | 1 | 120 |
| 2 | 68 | 2 | 0 |
| 3 | 10 | 3 | 60 |
| 4 | 146 | 4 | 11 |
| TOTAL | 235 | TOTAL | 191 |

| ARQUITETURA x ELÉTRICO | | ESTRUTURA x HIDROSSANITÁRIO | |
|------------------------|------------|-----------------------------|------------|
| NÍVEIS | QUANTIDADE | NÍVEIS | QUANTIDADE |
| 1 | 581 | 1 | 0 |
| 2 | 18 | 2 | 0 |
| 3 | 0 | 3 | 0 |
| 4 | 11 | 4 | 127 |
| TOTAL | 610 | TOTAL | 127 |

| ESTRUTURA x ELÉTRICO | | HIDROSSANITÁRIO x ELÉTRICO | |
|----------------------|------------|----------------------------|------------|
| NÍVEIS | QUANTIDADE | NÍVEIS | QUANTIDADE |
| 1 | 279 | 1 | 2 |
| 2 | 176 | 2 | 0 |
| 3 | 0 | 3 | 0 |
| 4 | 4 | 4 | 0 |
| TOTAL | 459 | TOTAL | 2 |

| TOTAL | |
|--------------|-------------|
| NÍVEIS | QUANTIDADE |
| 1 | 993 |
| 2 | 262 |
| 3 | 70 |
| 4 | 299 |
| TOTAL | 1624 |