



EMPREGO DE MODELO COMPUTACIONAL INTEGRADO NA PLATAFORMA BIM NA ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Felipe Aguiar Braunstein

felipe.aguiarb@gmail.com

Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense ,UFF

Claudia Maria de Oliveira Campos

cmocampos@id.uff.br

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal Fluminense, UFF

Rua Passo da Pátria, Nº156, Boa Viagem, 24210-240, Niterói/RJ, Brasil

Claudio Ribeiro Carvalho

claudio.uff.civil@gmail.com

Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal Fluminense, UFF

Rua Passo da Pátria, Nº156, Boa Viagem, 24210-240, Niterói/RJ, Brasil

Abstract. *Structural engineering firms are being prepared to offer the projects using architectural models based on the BIM (Building Information Modeling) platform. Therefore, studies that apply these new tools are very important to guarantee an evolution in the project design. The present work aims to evaluate the BIM concept taking into account the problems related to structural analysis, and two software are used to analyze the adopted structural models: Autodesk Robot and CypeCAD. Four different models are used to compare the results of the structural analysis performed by the two software after exporting the model through Revit. This work presents some problems found in the usage of Revit, for the modeling of the structure, and software as Autodesk Robot and CypeCAD for the structural analysis, such as: adjustment in the coefficient of stiffness adopted in CypeCAD; Revit analytical model settings (initial configurations, model, node connection, column support, and continuous beams that support two boards at different levels); specific adjustments in the Robot analytic model before the Revit model is imported. A comparative analysis is carried out using graphs, differentiating the results obtained with the two software. Thus, it was possible to verify a satisfactory result considering the usage of BIM platform with the structural analysis performed by analytical model, observing some details highlighted in this work.*

Palavras-chave: BIM, Análise estrutural, Revit, Robot, CypeCAD.

1 INTRODUÇÃO

O termo BIM (Building Information Modeling) vem se tornando cada vez mais forte no campo da Construção Civil. A ideia de um sistema integrado, que visa todos os elementos presentes nos projetos, resolveria boa parte dos eventuais problemas e dificuldades que projetistas, orçamentistas, dentre outros profissionais, vem enfrentando ao longo do projeto.

Os modelos com esse sistema, podem ser considerados “inteligentes” ou “informativos”, já que, diferentemente das linhas sem significado de um desenho em CAD simples, a modelagem em BIM pode fornecer um conglomerado de informações relevantes. À título exemplificativo, pode-se citar a análise de uma viga em concreto armado, onde a utilização da metodologia BIM irá permitir, a verificação do volume de concreto, as dimensões, e as propriedades do material de forma prática e simplificada.

Assim sendo, o trabalho tem por objetivo buscar as informações contidas em um modelo BIM, a fim de facilitar a modelagem para a análise estrutural. Dessa forma, foram elaborados 04 (quatro) modelos de fôrmas gerados por um software BIM, o Autodesk Revit 2017, que serão integrados em dois softwares de análise estrutural.

O primeiro software é o CypeCAD 2016, um programa integrado, ou seja, capaz de fornecer todas as informações necessárias para um projeto de cálculo de estruturas, tais como análise estrutural, dimensionamento e detalhamento das peças estruturais. O segundo, denominado Autodesk Structural Robot 2017 é mais utilizado na Europa e tem como principal característica, a liberdade na elaboração do modelo para análise estrutural, além de uma relação exclusiva com o Autodesk Revit.

Para a integração do modelo de fôrma, elaborado no Revit, foram abordados dois mecanismos, a exportação via o formato IFC (Industry Foundation Classes) que será utilizado para integração com o CypeCAD e a compatibilidade da Autodesk para integrar o modelo gerado no Revit com o Autodesk Structural Robot 2017.

Logo, através de uma análise experimental, serão abordadas sugestões de elaboração de modelos que visam apresentar o comportamento estrutural adequado, e simultaneamente usufruem da modelagem desenvolvida pela metodologia BIM elaborada no Autodesk Revit.

2 BREVES CONSIDERAÇÕES GERAIS

2.1 Elaboração do modelo em BIM

A elaboração do modelo em BIM, foi embasada na utilização do software de projeto Autodesk Revit 2017 para a criação de diferentes exemplos, cada um com uma peculiaridade específica, que necessitam de análises diversas com a finalidade de verificar o método que mais se adequa ao comportamento estrutural do modelo analisado.

O Autodesk Revit, possui dois modelos diferentes capazes de se relacionar com outros softwares: o modelo geométrico e o modelo analítico.

O modelo geométrico (Fig. 1), tem como objetivo mostrar o formato real, isto é, a geometria dos elementos estruturais gerados, tais como vigas, laje e pilares. É o modelo mais utilizado para a elaboração do projeto estrutural e importação via IFC.

O modelo analítico (Fig. 1), é composto por elementos simplificados voltados para análise de estruturas tais como nós, barras e placas. No caso de integração com o Robot, esse é o modelo que deverá ser estudado e compreendido para que os resultados obtidos com a importação apresentem o comportamento estrutural adequado.

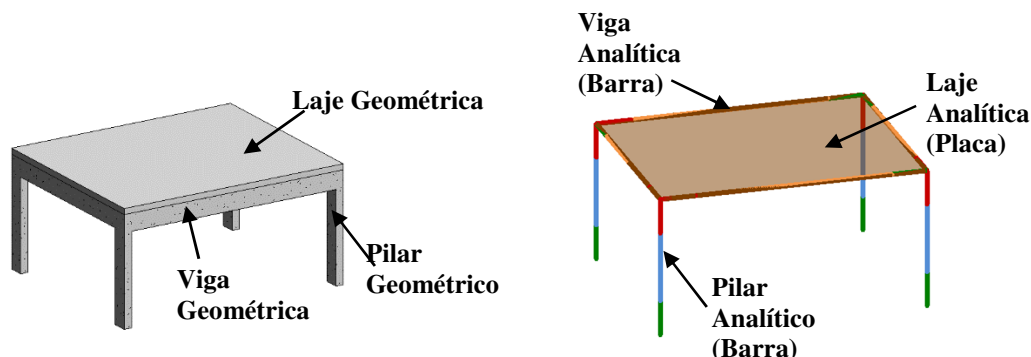


Figura 1. Modelo geométrico e modelo analítico no Revit

2.2 Configurações iniciais do modelo analítico

A elaboração do modelo analítico pode ser facilitado através da utilização de configurações prévias recomendáveis no Autodesk Revit, onde verifica-se a necessidade de uma atenção maior por parte do projetista.

Ao criar um elemento geométrico, automaticamente é criado um modelo analítico, desde que a função “Enable Analytical Model”, nas propriedades do Revit, esteja ligada. Observe a Fig. 2.

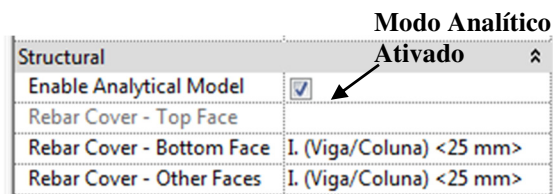


Figura 2. Enable Analytical Model ligado nas propriedades de uma coluna

Dessa forma, é possível modelar os dois modelos, geométrico e analítico, de uma só vez, conforme verifica-se na Fig. 3.

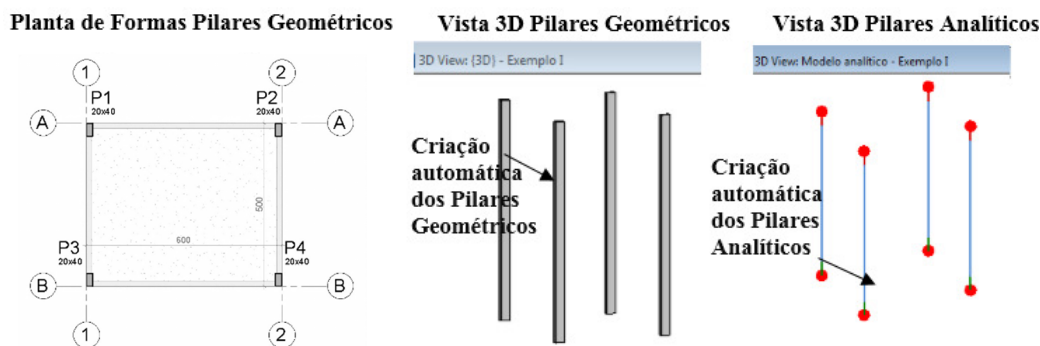


Figura 3. Pilares – modelo geométrico e modelo analítico

Ao inserir os pilares, a barra criada no modelo analítico é posicionada automaticamente no centro de gravidade do pilar. Para as vigas, isso não pode ocorrer, pois geralmente, o centro de gravidade do pilar não bate com o da viga, gerando instabilidade na estrutura. Para garantir a conexão, recomenda-se editar algumas configurações do modelo analítico do Revit para que a conexão entre vigas e pilares seja automática.

Conforme Hédou (2014), no ícone “Structural Settings” e na aba “Analytical Model Settings”, deve-se alterar no tópico “Tolerances”, todos os parâmetros para 0.01 cm (Fig. 4). Dessa forma o programa automaticamente vai unir os elementos analíticos desde que eles estejam no modo “auto detect”.

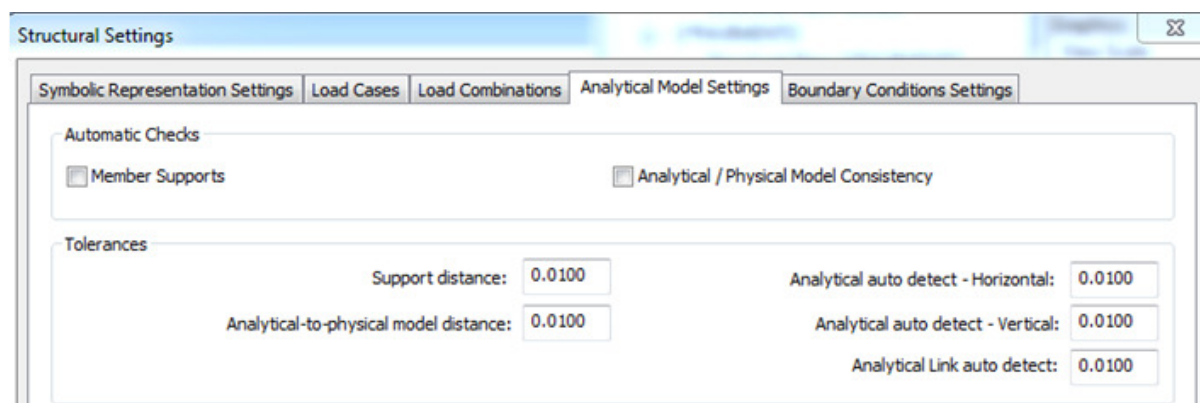


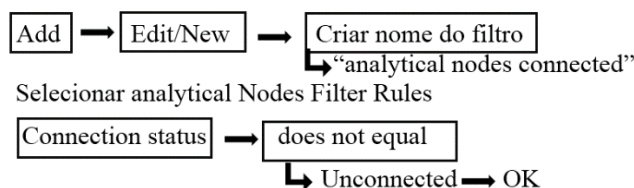
Figura 4. Configuração modelo analítico

Para garantir essa conexão entre os elementos, segundo Hédou (2014), é recomendável a criação de filtros no Revit para detectar se os nós estão conectados ou não.

Dentro da vista 3D do modelo analítico, deve-se entrar na janela “Visibility/ Graphic Overrides”, na aba “Analytical Model Categories” e verificar se o ícone do modelo analítico dos nós está ligado.

Após a verificação, dentro da janela “Visibility/ Graphic Overrides” deve-se ir para a aba “Filters” e seguir os passos conforme a Fig. 5.

Para nós conectados:



Para nós desconectados:

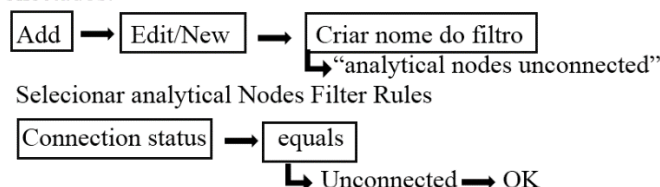


Figura 5. Configuração modelo analítico

Após a criação dos filtros, é necessário escolher a cor para diferenciarmos um filtro do outro em “filters” – “Projection/Surface” – Alterar as cores de “Lines” e “Patterns”.

Neste artigo, para os nós conectados foi atribuído a cor verde, já para os nós desconectados foi atribuído a cor vermelha, de acordo com a Fig. 6.

As especificações desses filtros, só foram atribuídas à vista 3D do modelo analítico. Caso seja necessário a atribuição dos filtros em todas as vistas, é preferível criar os filtros na “View Template”.

Frisa-se que os filtros são criados para a conexão entre dois nós. Na Fig. 6, os nós que correspondem a base dos pórticos estão em vermelho também, porém isso não quer dizer que estão errados, refletem apenas que estes não estão conectados a nenhum dos outros nós.

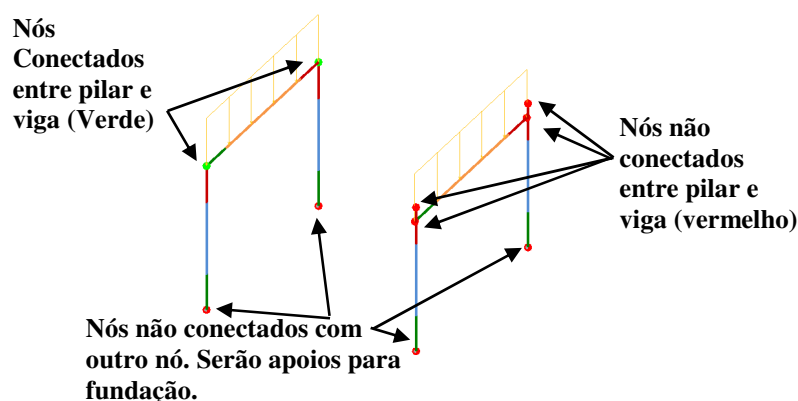


Figura 6. Exemplo dos filtros aplicados na vista 3D do modelo analítico

Embora o software seja bastante versátil em relação a criação dos elementos estruturais, recomenda-se seguir o padrão de modelagem usual, ou seja, criação de pilares, seguidos de vigas e por último as lajes.

Para exportar o modelo analítico do Revit para o Robot utiliza-se um comando de fácil acesso “Robot Structural Analysis”, encontrado na aba “Analisar” do Revit. Ressalta-se que esse ícone só aparece no Revit, quando o Robot está instalado no computador.

2.3 Configurações iniciais do CypeCad

O CypeCad apresenta algumas configurações iniciais que visam o melhor detalhamento da estrutura, porém, quando é realizado um estudo comparativo com outro software, divergências são encontradas, dificultando o entendimento da metodologia de obtenção dos esforços solicitantes no modelo em estudo.

A primeira configuração verificada, foi o “default” de reduzir em 30% o coeficiente de engastamento nos pilares no último pavimento de uma edificação. Essa configuração é convencional para o detalhamento de um projeto estrutural, mas tratando-se de uma análise comparativa entre os esforços solicitantes, os resultados serão alterados em função da divergência dos modelos estudados em cada software. Existe também a possibilidade de redução desses momentos negativos nas vigas em até 30%, o que também altera a valoração dos seus esforços.

Vale observar, que na análise foi encontrada diferença em relação ao vão efetivo da viga, tendo em vista que, enquanto o Robot trabalha com o vão efetivo entre eixos dos pilares, o Cype entende que esse vão efetivo não inclui os pilares.

Todavia, vale ressaltar que as diferenças apontadas acima foram encontradas durante a análise inicial do CypeCad, sendo necessário o aprofundamento do estudo do software, a fim de garantir a confirmação dessas divergências.

2.4 Configurações iniciais do Robot

O Robot apresenta algumas configurações iniciais recomendáveis para receber o modelo analítico desenvolvido no Revit, conforme abordado nas considerações seguintes.

A integração entre Revit e Robot pode ocorrer por intermédio de um link entre os dois programas, vez que ambos possuem ícones de fácil acesso para se conectar com o outro.

Durante a integração de um modelo elaborado no Revit para o Robot, é possível atribuir o carregamento de peso próprio da estrutura ao tipo de carga criado previamente no Revit.

Os carregamentos dos exemplos desenvolvidos neste trabalho, foram atribuídos durante a modelagem no Autodesk Revit, sendo a carga “Peso Próprio” definida como o peso próprio da estrutura. Assim, o Robot considerou, durante sua análise, o carregamento de peso próprio da estrutura.

Assinale-se que os carregamentos podem ser definidos tanto no Revit, quanto no Robot.

3 MODELOS ELABORADOS

3.1 Modelos no CypeCAD

Para as análises propostas neste trabalho, foram idealizados quatro exemplos que são descritos nos próximos itens. A estrutura idealizada para cada exemplo, foi lançada diretamente no CypeCad 2016, e o modelo analítico, que será empregado na análise estrutural, é gerado automaticamente. Este modelo analítico é chamado de “modelo Cype”.

Os resultados numéricos encontrados, a partir da análise estrutural com o modelo Cype, são utilizados como referencial para a análise dos resultados obtidos com os modelos analíticos: 1) obtidos com o Cype a partir da importação de arquivo IFC; 2) os obtidos pelo Robot, a partir da exportação direta pelo Revit.

Para o modelo geométrico criado no Revit 2016, foi gerado o modelo IFC da estrutura de todos os quatro exemplos, e importado pelo Cype. Observou-se que, com este procedimento, a integração de modelos via IFC com o Cype importou os pilares (com as características, geométricas e de locação, sem alteração) e o contorno das lajes. Foi necessário concluir a criação do modelo analítico criando as vigas e as lajes, além de ser necessário a inclusão do carregamento e definição dos materiais. A comparação entre os resultados obtidos com o modelo Cype e aqueles obtidos a partir do arquivo IFC não apresentou diferenças, já que a maioria dos dados referente às lajes, vigas e carregamentos foram introduzidos após a importação. Até o presente, não foi verificada a existência de alguma funcionalidade ou

procedimento que permita a importação direta de todos os atributos de uma estrutura para o Cype.

3.2 Exemplo I

O primeiro exemplo trata de um pórtico plano bi-engastado com as seguintes características: pilares de 20x40cm com 3 metros de altura, viga de 15x60cm com vão de 4,6 metros (eixo a eixo do pilar) e carregamento permanente de 10 kN/m. A Figura 7 apresenta o modelo geométrico 3D criado no Revit, que gera um modelo analítico a ser analisado pelo programa de análise estrutural.

O objetivo deste exemplo é apresentar diferentes modelos analíticos que podem ser criados no Revit, de forma a verificar procedimentos que resultem em um modelo mais representativo do comportamento físico da estrutura e que será empregado na análise estrutural.

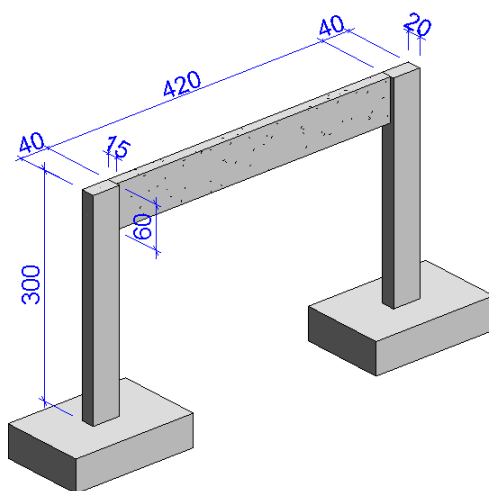


Figura 7. Exemplo I no modelo geométrico 3D criado no Revit

3.2.1 Modelos analíticos criados no Revit exportados para o Robot

A partir do modelo geométrico e considerando os aspectos relacionados às configurações iniciais para geração de modelos analíticos, foram criados quatro modelos diferentes para análise no Robot. As tabelas 1 a 4 apresentam a descrição de cada modelo analítico analisado para o exemplo I. As sapatas do modelo geométrico são geradas automaticamente quando o modelo analítico é exportado para o Robot e importado novamente pelo Revit, devido a função de apoio, definido no Robot como engastado ou apoiado. No caso dos exemplos desse trabalho, todos foram considerados engastados.

Tabela 1. Descrição dos modelos analíticos do exemplo I - Modelo 1

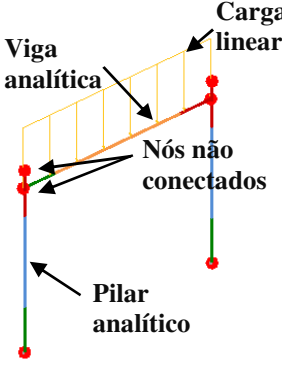
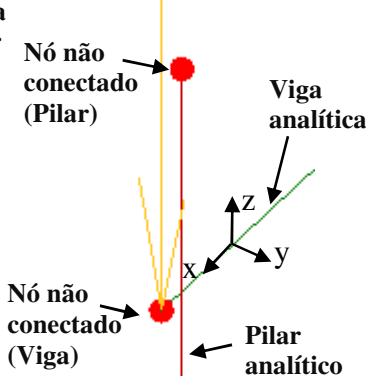
Descrição	Modelo Analítico	Detalhe do Nó
Pilar analítico de 3m de altura, cujo eixo da barra coincide com centro geométrico da seção transversal; vigas de 4,6 m de comprimento com barra analítica no centro geométrico da seção transversal da peça, tanto na direção y quanto na direção z. Nota-se que os nós estão vermelhos, logo, desconectados.		

Tabela 2. Descrição dos modelos analíticos do exemplo I - Modelo 2

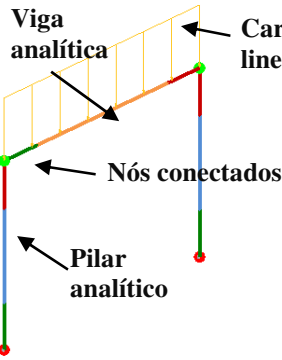
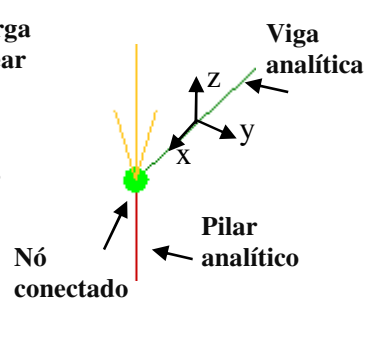
Descrição	Modelo Analítico	Detalhe do Nó
Pilar analítico de 3m de altura, cujo eixo da barra coincide com centro geométrico da seção transversal; vigas de 4,6m de comprimento com a barra analítica com a função “autodetect” acionada, com isso, ao criar a viga, os nós do modelo automaticamente se encontraram com o nó mais próximo, no caso, os nós dos pilares.		

Tabela 3. Descrição dos modelos analíticos do exemplo I – Modelo 3

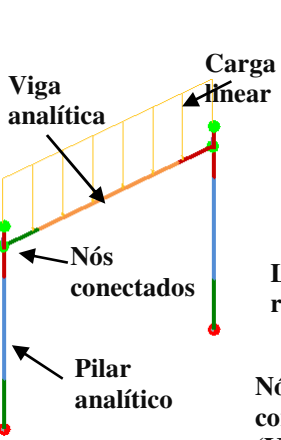
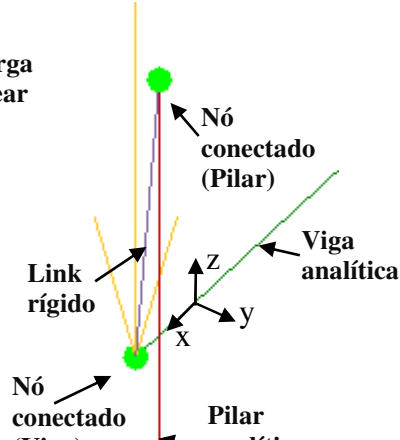
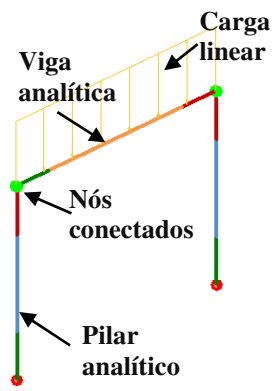
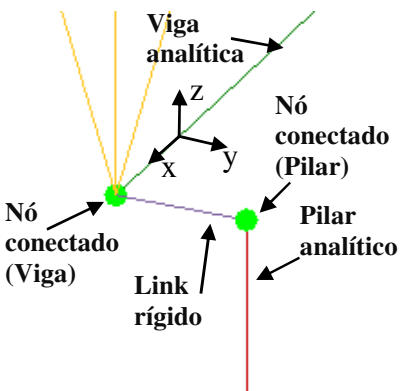
Descrição	Modelo Analítico	Detalhe do Nó
Pilar analítico de 3m de altura, cujo eixo da barra coincide com centro geométrico da seção transversal; vigas de 4,6m de comprimento com barra analítica no centro de gravidade da peça, tanto na direção y quanto na direção z. Porém, diferentemente do modelo 1, foi criado um link rígido entre o pilar e a viga, com isso, garantimos que o esforço gerado no nó da viga, passará para o pilar. Na figura acima verificamos que ambos os nós ficam verdes.		

Tabela 4. Descrição dos modelos analíticos do exemplo I - Modelo 4

Descrição	Modelo Analítico	Detalhe do Nó
Pilar analítico de 3m de altura, cujo eixo da barra coincide com centro geométrico da seção transversal; vigas de 4,6m de comprimento com barra analítica no centro de gravidade da peça, somente na direção y. A ideia de ajustar a posição no próprio Robot é interessante quando começarmos a introduzir lajes, isso irá facilitar a modelagem nos próximos exemplos.		

3.2.2 Análise dos resultados do exemplo I

A tabela 5 apresenta os resultados obtidos com análise estrutural de cada um dos modelos cujos os detalhes foram apresentados nas tabelas de 1 a 4, bem como os resultados do “modelo Cype” descrito em 3.1. Os resultados referentes aos modelos de 1 a 4 são, respectivamente, os descritos na tabela 5 como Robot01 a Robot04.

Tabela 5. Resultados do Modelo I

Esforços Solicitantes	Cype	Robot 01*	Robot 02	Robot 03	Robot 04
Viga M+ (kNm)	17,31	175	20,54	22,23	20,55
Viga M- (kNm)	10,16	0	11,74	11,7	11,74
Viga Cortante (kN)	25,64	64,94	28,08	28,08	28,08
Pilar (base) - Fz (kN)	33,5	5,88	33,96	33,96	33,96
Pilar (base) - Fx (kN)	0	0	0	0	0
Pilar (base) - Fy (kN)	7,9	0	5,85	5,48	5,85
Pilar (base) - Mx (kN)	0,7	0	0	0,7	0,7
Pilar (base) - My (kN)	7,3	0	5,82	4,75	5,82
Deformada viga (mm)	0,62	-	0,66	0,86	0,86

*No momento do cálculo deste exemplo, o Robot emite uma mensagem avisando que alguns nós estão instáveis, recomendando a interrupção do processo de cálculo para análise do modelo analítico, dessa forma, entende-se que os resultados abordados no modelo 01, não são válidos.

O resultado Robot 01 corresponde ao modelo 01, cujos nós, de vigas e pilares, estão desconectados. Ressalta-se que, mesmo com essa modelagem, o Robot avisa que a estrutura está instável, porém prossegue com a análise estrutural que leva à resultados de deformada indeterminada, e cujo comportamento não é representativo do ponto de vista estrutural esperado.

No modelo Robot 02, a não consideração da excentricidade em y, elimina o momento em torno do eixo x ou plano yz. Esse modelo, seria o mais próximo de um elaborado num software de análise 2D como o Ftool.

Entende-se que os modelos Robot 03 e Robot 04, são os mais adequados do ponto de vista da análise estrutural dentre os modelos analisados. A principal diferença é o deslocamento da viga na direção z, sendo no modelo 03 a barra analítica da viga no centro de gravidade geométrico da mesma, enquanto no modelo 04, a barra se mantém no topo geométrico. Em uma análise de elementos finitos, é comum utilizar o modelo 04, em função da necessidade de apoiar a laje nessa viga. Esse tipo de análise, será abordado no exemplo II.

3.3 Exemplo II

O segundo exemplo tem como objetivo a introdução das lajes e a influência que ela gera no modelo analítico. Trata-se de um pórtico espacial de um pavimento, com laje de 6m x 6m com 0,15m de espessura, pilares de 30x30cm com 3 metros de altura, vigas de 15x60cm, com a face externa das vigas alinhadas com a face externa de um pilar, carga permanente na laje de 1 kN/m² e sobrecarga na laje de 3 kN/m². Conforme a Fig. 8.

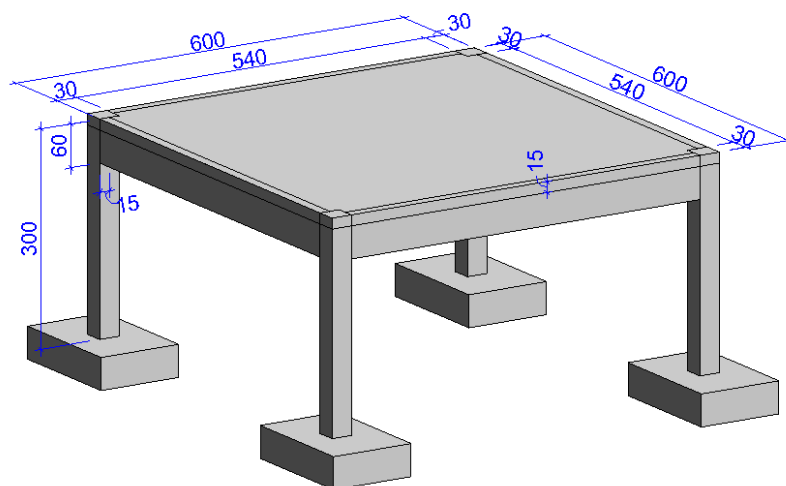


Figura 8. Exemplo II – Modelo Geométrico

3.3.1 Modelos analíticos criados no Revit exportados para o Robot

É necessário determinar o método de elaboração do modelo analítico no Revit, pois é preciso entender como a estrutura composta por barras, placas e nós trabalham para criar um modelo que melhor represente o comportamento físico da estrutura.

Para os pilares foi adotada a barra analítica no centro geométrico do mesmo. Nas vigas, o centro de gravidade na direção y foi mantido, porém na direção z é necessário manter na altura necessária de apoio para a laje, que no caso desse exemplo foi no topo da viga. As lajes devem respeitar o contorno formado pelas vigas, possibilitando assim a conexão entre os dois elementos estruturais, conforme demonstra a Fig. 9.

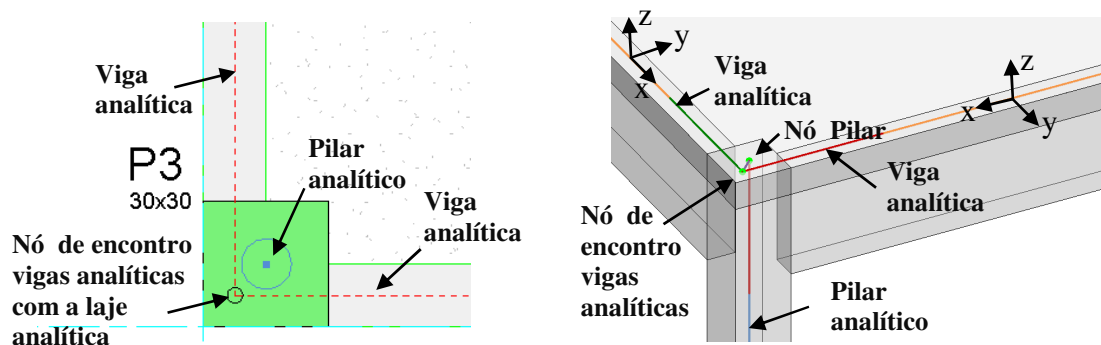


Figura 9. Exemplo II -Modelo analítico adotado

Mesmo com a criação de todos os elementos estruturais, verifica-se que os pilares estão diretamente apoiados nas lajes e não nas vigas (Hédou, 2014). Para resolver essa situação, é necessário a criação de um link rígido para que ocorra uma conexão entre as vigas e os pilares, conforme representado na Fig. 10.

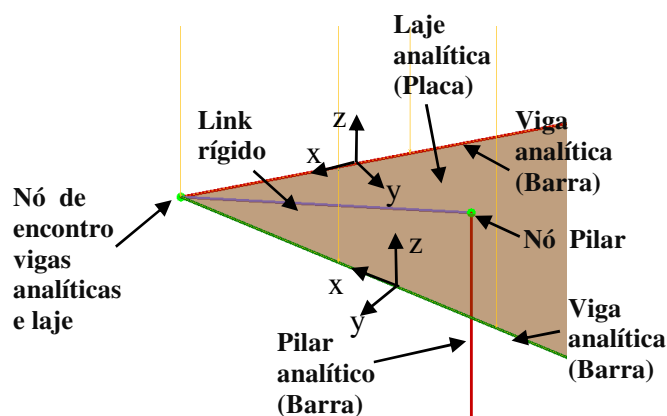


Figura 10. Exemplo II - Link Rígido

No caso do modelo proposto, o centro geométrico da viga está conectando a laje, dessa forma, o modelo físico da estrutura apresenta as vigas invertidas. O Robot, tem uma função chamada “offset” ou “deslocamentos” que permite o deslocamento das peças estruturais, permitindo deslocar o topo da viga até o topo da laje, conforme representa a Fig. 11.

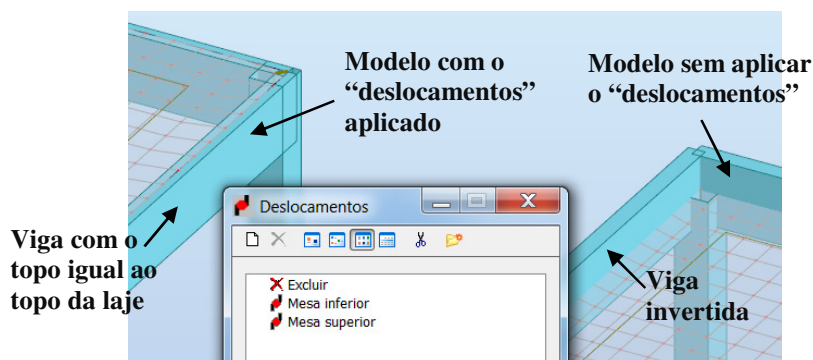


Figura 11. Exemplo II – ferramenta “deslocamentos”

Foram criados três modelos diferentes no Revit, para avaliar a eficiência do link rígido citado anteriormente e o deslocamento do centro geométrico da viga.

Em todos os modelos, os pilares são de 3m com modelo analítico no centro geométrico do mesmo e vigas de 5,85m com modelo analítico no centro de gravidade da peça na direção y e na direção z foi considerada no topo da laje. O valor de 5,85m da viga, corresponde ao ponto de encontro entre os eixos das vigas.

A laje tem a dimensão de 5,85x5,85x0,15m, com isso, o ponto de encontro do nó da laje é o mesmo da viga.

As diferenças entre os modelos é a utilização do link rígido para conter a excentricidade dos pilares com as vigas/laje e a manipulação das vigas no robot para que o eixo da viga fique abaixo do eixo da laje. As tabelas de 7 a 9 representam cada modelo estudado.

Tabela 7. Descrição dos modelos analíticos do exemplo II - Modelo 1

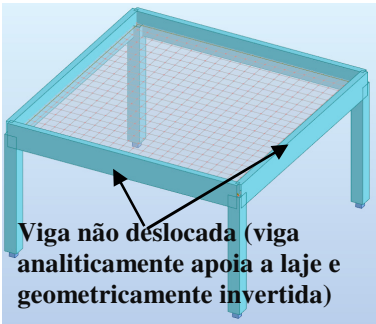
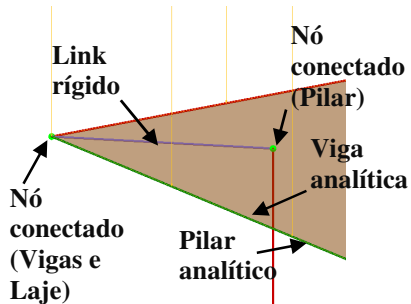
Descrição	Modelo	Detalhe do Nó
Possui link rígido, para conectar a laje/viga com os pilares e o centro de gravidade das vigas não foi deslocado para baixo. Viga analiticamente apoia a laje e geometricamente invertida.		

Tabela 8. Descrição dos modelos analíticos do exemplo II - Modelo 2

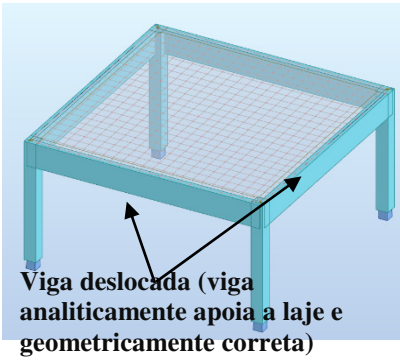
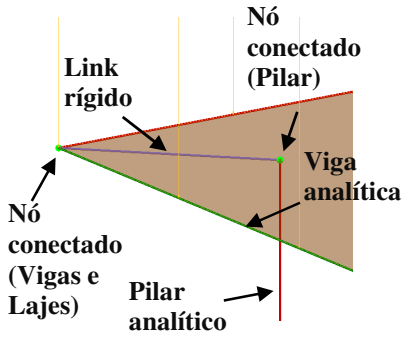
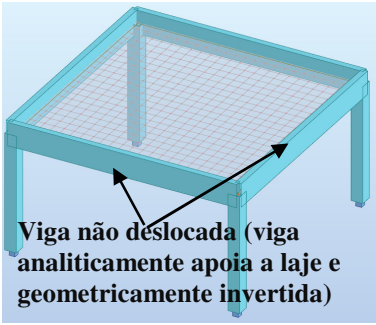
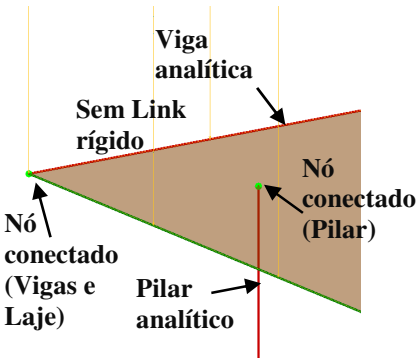
Descrição	Modelo	Detalhe do Nó
Possui link rígido, para conectar a laje/viga com os pilares e o centro de gravidade das vigas foi deslocado para baixo. Viga analiticamente apoia a laje e geometricamente com o topo no topo da laje (manipulação pela ferramenta “deslocamentos” no Robot).		

Tabela 9. Descrição dos modelos analíticos do exemplo II - Modelo 3

Descrição	Modelo	Detalhe do Nó
Não possui Link Rígido, para conectar a Laje/Viga com os Pilares e o centro de gravidade das Vigas não foi deslocado para baixo.		

3.3.2 Análise dos resultados do exemplo II

Para efeito comparativo, foi elaborado uma tabela (Tabela 10) com os principais resultados de cada modelo estudado, seja pelo Robot quanto pelo Cype.

Tabela 10. Resultados do Exemplo II

Esforços Solicitantes	Cype	Robot 01	Robot 02	Robot 03
Viga (maior vão) M+ (kNm)	58,77	67,47	30,16	75,09
Viga (maior vão) M- (kNm)	27,65	32,51	16,01	23,06
Viga (maior vão) Cortante (kN)	39,16	52,94	54,28	47,86
Pilar (base) - Fz (kN)	83,9	85,22	85,22	85,18
Pilar (base) - Fx (kN)	16,6	11,6	5,66	8,27
Pilar (base) - Fy (kN)	-16,6	11,6	5,66	8,27
Pilar (base) - Mx (kN)	15,3	11,58	5,53	8,33
Pilar (base) - My (kN)	-15,3	11,58	5,53	8,33
Laje- Momento em x (kNm)	11,74	12,22	10,51	12,52
Laje- Momento em y (kNm)	11,74	12,22	10,51	12,52
Laje - Deformada (mm)	7,72	7,3	5,39	7,76

Pelos valores encontrados é possível verificar que a forma de ajustar a viga através da ferramenta “offset” no Robot (modelo 2) gera resultados que não condizem com a distribuição de esforços adequada. Dessa forma, entende-se que a mobilização para ajustar as vigas no Robot, não é válida.

Analisando o modelo Robot 03 foi possível verificar que a falta de um link rígido diminuiu um pouco os esforços solicitantes na base dos pilares, provavelmente pelo fato de que o pilar está apoiado diretamente nas lajes e não na viga. Dessa forma, entende-se que o modelo

Robot 01 é o modelo que apresenta os resultados, dentre os modelos analisados, mais convergentes com a expectativa comportamental da estrutura.

3.4 Exemplo III

O terceiro exemplo tem como objetivo a introdução de um pórtico de 3 pavimentos, com lajes de 5m x 6m x 0,15m, pilares de 20cmx40cm com 3 metros de altura, vigas de 15cmx60cm, carga permanente na laje de 1 kN/m² e sobrecarga na laje de 3 kN/m². Conforme Fig. 12.

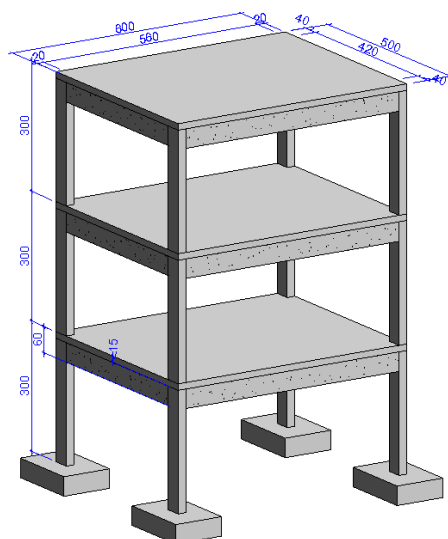


Figura 12. Exemplo III - Modelo Geométrico

3.4.1 Modelos analíticos criados no Revit exportados para o Robot

Foi verificado que o Revit não separa a barra que caracteriza o pilar por pavimento no modelo analítico. Dessa forma, foram elaborados dois modelos. O primeiro com o pilar dividido e apoiando nos pavimentos e o segundo com o pilar inteiro, ou seja, atravessa sem apoiar a laje nos dois primeiros pavimentos, conforme Fig. 13.

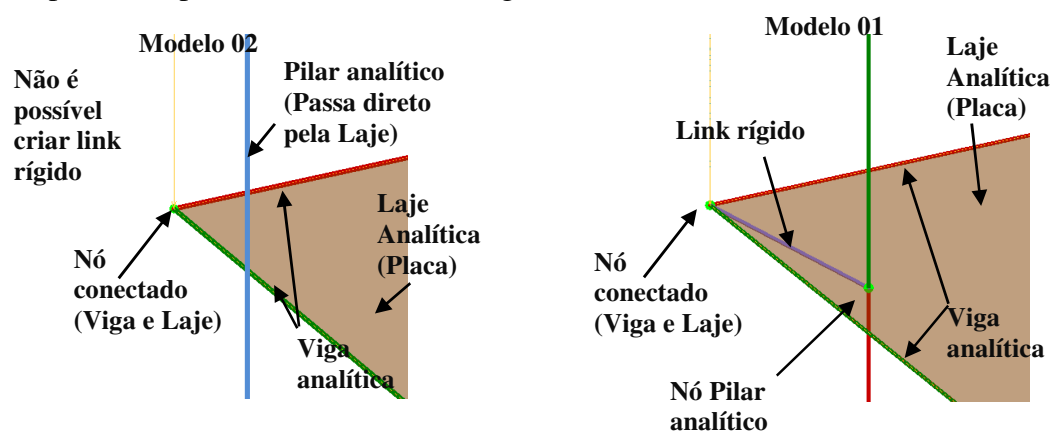


Figura 13. Exemplo III – Pilar seguindo direto no modelo 02

3.4.2 Análise dos resultados do exemplo III

Para efeito comparativo, foi elaborado uma tabela com os principais resultados de cada modelo estudado, seja pelo Robot quanto pelo Cype.

Tabela 11. Resultados do Exemplo III - Térreo

Esforços Solicitantes	Cype	Robot 01	Robot 02*
Viga (maior vão) M+ (kNm)	59,73	63,91	47,04
Viga (maior vão) M- (kNm)	27,08	26,93	6,85
Viga (maior vão) Cortante (kN)	39,37	47,95	17,85
Laje- Momento em x (kNm)	9,28	9,4	8,09
Laje- Momento em y (kNm)	9,83	9,94	7,2
Laje - Deformada (mm)	5,02	5,15	indeterminado

Tabela 12. Resultados do Exemplo III – 1ºPavimento

Esforços Solicitantes	Cype	Robot 01	Robot 02*
Viga (maior vão) M+ (kNm)	55,23	59,57	254,23
Viga (maior vão) M- (kNm)	32,44	27,76	1552,9
Viga (maior vão) Cortante (kN)	39,55	47,93	1497,11
Laje- Momento em x (kNm)	8,96	9,26	166,16
Laje- Momento em y (kNm)	9,84	9,67	79,19
Laje - Deformada (mm)	4,88	5,09	indeterminado

Tabela 13. Resultados do Exemplo III – 2ºPavimento

Esforços Solicitantes	Cype	Robot 01	Robot 02*
Viga (maior vão) M+ (kNm)	64,1	71,8	60,09
Viga (maior vão) M- (kNm)	21,92	22,59	11,39
Viga (maior vão) Cortante (kN)	39,19	47,74	34,29
Laje- Momento em x (kNm)	9,59	9,63	10,13
Laje- Momento em y (kNm)	9,81	10,44	11,08
Laje - Deformada (mm)	5,36	5,82	6,15

Tabela 14. Resultados do Exemplo III – Pilares Simétricos

Esforços Solicitantes	Cype	Robot 01	Robot 02*
Pilar - Fz (kN)	211,2	216,46	84,21
Pilar - Fx (kN)	7,6	4,56	0,75
Pilar - Fy (kN)	6,6	4,52	0,92
Pilar - Mx (kN)	7	4,53	2,91
Pilar - My (kN)	5,9	4,57	2,32

*No momento do cálculo deste exemplo, o Robot emite uma mensagem avisando que alguns nós estão instáveis, recomendando a interrupção do processo de cálculo para análise do modelo analítico, dessa forma, entende-se que os resultados abordados no Robot 02, não são válidos.

O modelo Robot 02, apresentou instabilidade no momento do cálculo no Robot, em virtude da falta de apoio demonstrada na Fig. 13.

Após a integração dos dois modelos no Robot, foi possível detectar que o exemplo com os pilares inteiros, não apoiou as lajes inferiores.

Uma das primeiras análises que é feita pelos projetistas, com a finalidade de garantir a integridade do seu modelo computacional, é a de verificar a deformação da estrutura. Conforme é visto na Fig. 14, é possível descartar o modelo 02, tendo em vista que as deformações não são representativas ao comportamento estrutural esperado.

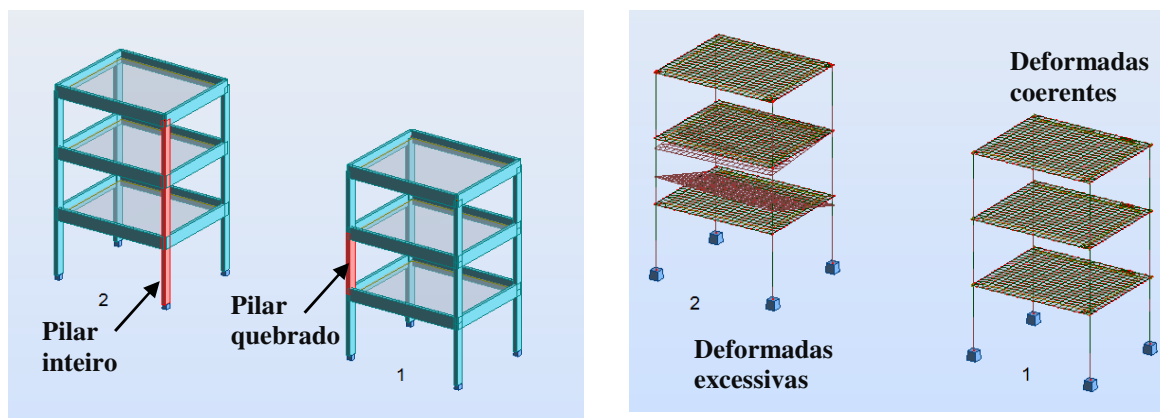


Figura 14. Exemplo III – Deformadas modelo 01 e modelo 02

Do ponto de vista de elaboração do projeto no Revit, isso é um problema, tendo em vista que um dos melhores recursos do software é a alteração de posicionamento do pilar.

Como é necessário criar um novo pilar, por pavimento, na elaboração do modelo analítico, caso esse pilar sofra alguma alteração no futuro, será necessário alterá-lo em todos os pavimentos.

3.5 Exemplo IV

Esse será o ultimo exemplo abordado nesse trabalho, que teve o objetivo de chegar até uma estrutura usual como a mostrada a seguir, seguindo como base exemplos inferiores. Trata-se de um pórtico espacial com três pavimentos, sendo duas lajes de 5m x 6m x 0,15m, pilares de 20x40cm com 3 metros de altura, vigas de 15x60cm, carga permanente na laje de 1 kN/m² e sobrecarga na laje de 3 kN/m². Conforme Fig. 15.

Existem algumas diferenças entre os pavimentos. O pavimento térreo, possui uma viga transversal entre os pilares centrais, algo que não ocorre no segundo pavimento. Já no último pavimento, a viga entre os pilares centrais está apoiando tanto a laje L1 quanto a laje rebaixada L2.

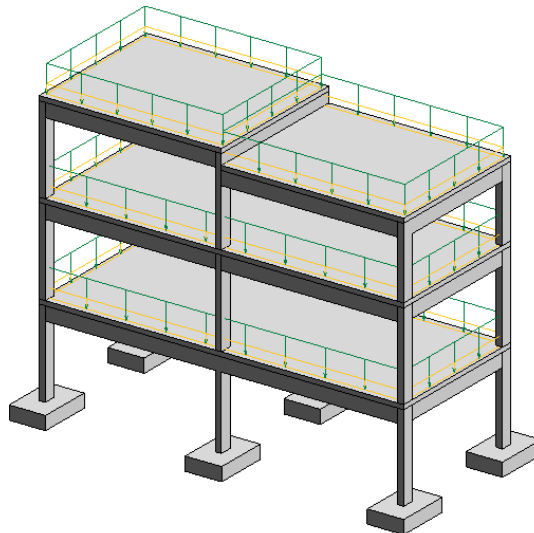


Figura 15. Exemplo IV - Modelo Geométrico

3.5.1 Modelos analíticos criados no Revit exportados para o Robot

O foco principal desse exemplo é demonstrar que quanto maior a complexidade da edificação, mais complicada é a sua modelagem. No modelo foi possível verificar um ponto crítico entre a ligação da viga central do ultimo pavimento com as lajes em níveis diferentes, conforme é representado pela Fig. 16 e a Tabela 15.

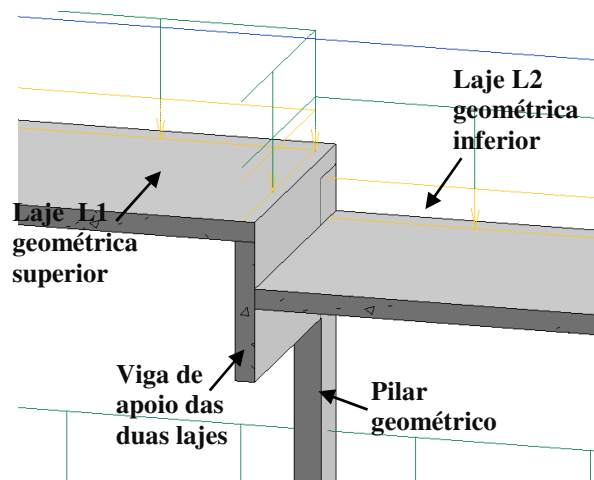


Figura 16. Exemplo III – Pilar Seguindo Direto

Tabela 15. Descrição dos modelos analíticos do exemplo IV - Modelo 1

Descrição	Modelo	Detalhe do Nó
A viga analítica, se encontra apoiada somente na laje superior, dessa forma, a laje inferior, não recebe apoio da viga.		

3.5.2 Análise dos resultados do Exemplo IV

Ao fazer a análise de deformação no Robot, devido a falta de apoio da viga na laje inferior, foi verificado que esta laje não recebeu a rigidez da viga, sendo resistida somente por ela mesma, conforme é possível notar no diagrama de deformação local da estrutura.

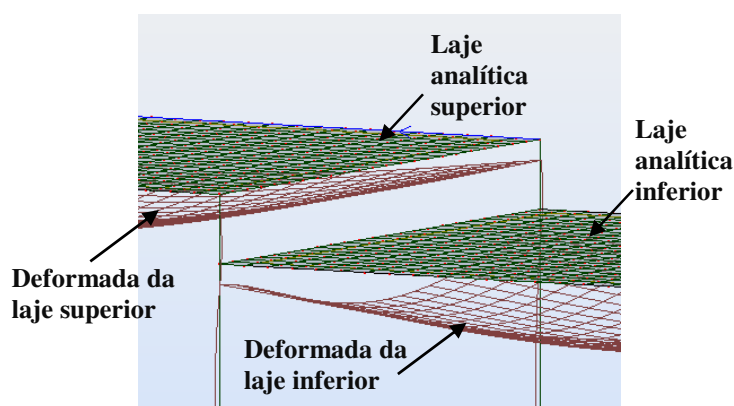


Figura 17. Exemplo IV - Deformada do último pavimento

Conforme a Fig. 17, se entende que a laje inferior se deforma de forma não representativa do comportamento estrutural esperado.

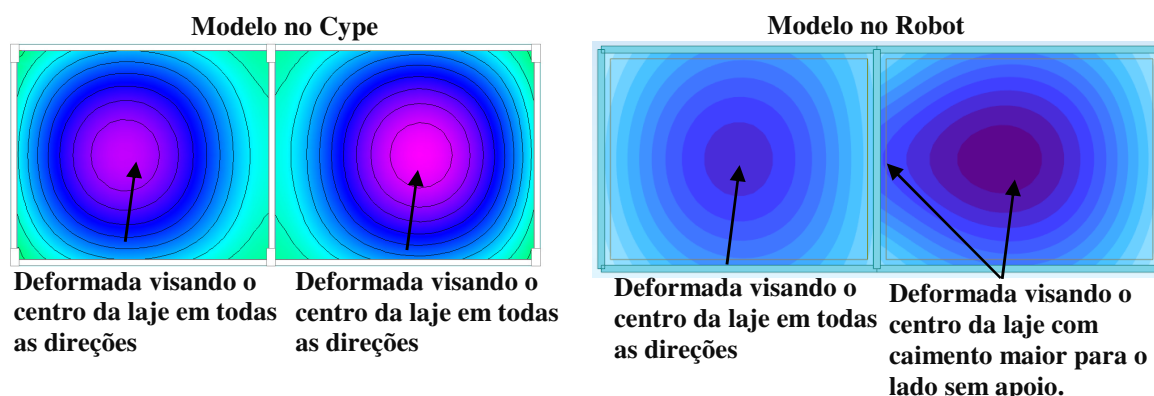


Figura 18. Exemplo IV – Deformadas na laje no último piso Cype/Robot

Pela análise da Fig.18, é possível verificar que o modelo no Robot não apresentou o comportamento estrutural esperado ao não apoiar a laje inferior com a viga central. Segundo Papadoupoulos (2014) outros mecanismos devem ser considerados para elaborar um modelo analítico mais representativo do comportamento físico da estrutura, como a opção "Execute Model Correction In Robot", que cria links rígidos dentro do próprio Robot. Essa opção, no caso, não foi testada durante a elaboração deste artigo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos analisados neste artigo permitiram um melhor entendimento do fluxo de trabalho na concepção de modelos analíticos, durante a elaboração de um projeto com metodologia BIM no campo da análise estrutural, observando as dificuldades e praticidades encontradas no processo de desenvolvimento de cada exemplo estudado.

A exportação via IFC de um projeto realizado no Autodesk Revit 2017 para o CypeCad 2016 ainda precisa ser melhor avaliada, no sentido de verificar a existência de funcionalidades que permitam a importação de todos os elementos estruturais pelo software. Uma abordagem mais aprofundada sobre o comportamento do modelo analítico do Cype, serve como base para compreender suas metodologias e, dessa forma, alinhar os resultados dos modelos analíticos elaborados no Robot, ou outro software de análise estrutural. Mesmo assim, é possível notar uma tendência de melhora no futuro, tendo em vista o grande interesse do meio técnico em desenvolver dos projetos de engenharia, considerando as diversas disciplinas envolvidas com base na metodologia BIM.

O estudo realizado neste trabalho e os modelos analíticos apresentados para cada exemplo, possibilitaram verificar a necessidade da execução de um modelo analítico completo, com diversos ajustes feitos no Autodesk Revit para viabilizar a integração direta com o Autodesk Robot.

O projeto estrutural modelado no Autodesk Revit e exportado para o Autodesk Robot deve ser analisado com rigor e senso crítico, pois pode gerar resultados que não representam o comportamento estrutural adequado. Verificou-se que quanto maior a complexidade do modelo, maior é a dificuldade e os riscos em relação a análise pelo Autodesk Robot.

O exemplo I, buscou mostrar a importância da conexão das peças por meio dos nós, enquanto o modelo II, mostrou a aplicação do link rígido modelado diretamente no Revit e sua influência na conexão das lajes, vigas e pilares.

Os exemplos III e IV nos mostraram alguns detalhes importantes na análise estrutural, demonstrando alguns riscos na modelagem das estruturas realizadas no Autodesk Revit.

No exemplo III, a elaboração do modelo analítico no Autodesk Revit demonstrou, por exemplo, a necessidade de dividir os pilares por pavimento. Isto pode comprometer o potencial da modelagem feita na plataforma em BIM presente no Autodesk Revit, no caso de uma eventual necessidade de mudanças nos pilares durante o projeto.

No exemplo IV, foi possível detectar que uma das lajes do último pavimento não apoiou na viga central como deveria, provavelmente não interpretando de maneira correta o desnível apresentado na laje e, com isso, promovendo um comportamento inadequado da estrutura.

Mesmo com a complexidade e necessidade de domínio por parte do projetista para a integração de softwares com base em BIM e os softwares existentes no mercado para a análise de estruturas em concreto armado, acredita-se que esta integração será a tendência nos projetos estruturais no futuro. Assim, pode-se esperar que grande parte das empresas recorrerão ao IFC como meio de comunicação entre os softwares ou até mesmo poderão elaborar suas próprias ferramentas utilizando a plataforma BIM.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a equipe da empresa Sbrasil Engenharia, por sua iniciativa em buscar o desenvolvimento da metodologia BIM, a fim de inspirar as futuras gerações. Os autores agradecem também a UFF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Autodesk, 2012. *Integrating Autodesk Revit, Revit Structure, and Robot Structural Analysis Professional*.

Braunstein, F. A., 2014. *Estudos e alternativas de ferramentas para dimensionamento e desenho de projeto*. Projeto de Graduação. Universidade Federal Fluminense, UFF, Niterói/RJ, Brasil

Braunstein, F. A., 2016. *Emprego de modelo computacional integrado na plataforma Bim na análise de estruturas de concreto*. Projeto de Graduação. Universidade Federal Fluminense, UFF, Niterói/RJ, Brasil

Cypecad Multiplus Softwares Técnicos., 2016.

Fontes, F., 2005. *Análise Estrutural de Elementos Lineares segundo a BNR6118:2003*, , 137fls, Mestrado Universidade de São Paulo

Hédou, F., 2014. *Relatório de workflow para a execução de projeto com os programas Autodesk Revit Structural e Robot Structural Analysis*. Trabalho interno Sbrasil Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Papadopoulos, N.A., 2014. *Avaliação da metodologia BIM através da modelagem paramétrica 3D de um projeto convencional*. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-RJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

Revit Autodesk, Inc., 2017.

Robot Autodesk, Inc., 2017.