

ANÁLISE DE VIGAS DE TRANSIÇÃO EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO CONSIDERANDO DIFERENTES FORMAS PARA SIMULAR O EFEITO CONSTRUTIVO

ANALYSIS OF TRANSITION BEAM IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS CONSIDERING DIFFERENT WAYS TO SIMULATE THE CONSTRUCTIVE EFFECT

POSSATO, Alex¹, SILVA, Felipe Huink¹, DUARTE FILHO, Luiz Alberto²

RESUMO

Ao analisar edifícios com vigas de transição por modelos de pórtico espacial sem a considerar o efeito incremental construtivo, os resultados podem não simular corretamente o comportamento da estrutura, subestimando o momento fletor da viga de transição e carga no pilar da transição, bem como a redução dos momentos fletores negativos em vigas que se apoiam no pilar da transição. Os softwares comerciais possuem ferramentas para simular este efeito como o método de pavimentos isolados do Eberick (até a versão V8), a majoração da inércia das vigas de transição e o efeito incremental, no TQS e efeito incremental no SAP2000. Nesta pesquisa foram analisados dois edifícios, sendo um simplificado e um edifício já existente. O projeto simplificado foi analisado nos softwares Eberick, SAP2000 e TQS, já o projeto real foi estudado nos softwares Eberick e TQS. Concluiu-se que no Eberick, é necessário usar mais de um modelo de análise, pavimentos isolados e pórtico espacial, criando assim, uma envoltória de esforços, vale ressaltar que a partir da versão V9 foi desabilitada a opção de análise por pavimentos isolados. O software TQS disponibiliza em sua plataforma um modelo de análise aproximado que considera a envoltória entre os modelos de pórtico espacial com a inércia natural e o outro com a inércia majorada das vigas de transição. Seguindo as recomendações para cada programa os modelos aproximados demonstram-se eficientes para análise desse tipo de edificação, porém nas versões atuais do Eberick é necessário que esse tipo de estrutura seja avaliado de outra forma.

Palavras chaves: Vigas de transição. Efeito incremental construtivo. Análise estrutural. Eberick. TQS. SAP2000.

ABSTRACT

When analyzing buildings with transition beams, by space portico models without considering the incremental constructive effect, the results may not correctly simulate the structure behavior, underestimating the bending moment of the transition beam and load on the transition pillar, as well as reduction of negative bending moments in beams that rest on the transition pillar. Commercial softwares have tools to simulate this effect, such as the Eberick insulated pavements method (until version V8), the increase of the inertia of the transition beams and the launching of the loads, respecting the construction stages, in the TQS. In this research, two buildings were analyzed, being a simplified one and an existing building. The simplified project was analyzed in the Eberick, SAP2000 and TQS software, and the real project was studied with the aid of the Eberick and TQS softwares. It was concluded that with Eberick, it is necessary to use more than one analysis model, isolated pavements and space gantry, thus, creating an envelope of efforts for the building, it is worth mentioning that from the V9 version the option of isolated pavement analysis was disabled. The TQS software provides on its platform an approximate analysis model that considers the envelope between the space portico models with the natural inertia and

¹ *Graduados em Engenharia Civil – Univali / Itajaí*

² *Professor Mestre, em Engenharia Civil – Univali / Itajaí*

other with the increased inertia of the transition beams. Following the recommendations of each program, the approximate models are considered efficient for analysis of this type of building, but in the current versions of Eberick it is necessary that this type of structure be evaluated in another way.

Keywords: Transition beams. Incremental constructive effect. Structural analysis. Eberick. TQS. SAP2000.

INTRODUÇÃO

Na elaboração de projetos estruturais utilizam-se ferramentas computacionais para se obter análises mais precisas em um curto espaço de tempo, tendo em vista que as construções estão cada vez maiores e mais complexas.

O que deve ser levado em conta na utilização de softwares é que a estrutura não é construída de uma só vez, ou seja, não é submetida de uma única vez ao carregamento total de que esta estrutura estará sujeita ao final da construção. É importante acompanhar os esforços, aplicando-os de forma gradual, conforme as etapas de construção para que a estrutura possa ter um comportamento mais próximo à realidade. Com isso, em análises computacionais com as cargas aplicadas simultaneamente, as vigas de transição podem se deformar excessivamente, fazendo com que alguns efeitos acabem não sendo considerados adequadamente.

Atualmente existem artifícios computacionais para simular este efeito construtivo de maneira aproximado, entre eles destacam-se o aumento da rigidez à flexão de vigas de transição e análise por pavimentos isolados, resta saber se são adequados. Para isso, será analisada uma estrutura simplificada nos softwares comerciais Eberick, SAP2000 e TQS. Após estudar a estrutura simplificada será analisada uma estrutura real nos softwares Eberick e TQS para demonstrar se os métodos aproximados são adequados.

2 EFEITO CONSTRUTIVO

Um edifício de concreto armado composto por vários pavimentos é construído por etapas, ou seja, pavimento por pavimento. Com isso, as cargas verticais são adicionadas gradativamente conforme a execução da estrutura. No entanto, na maioria dos casos a estrutura é analisada por inteiro, aplicando todas as cargas simultaneamente como se o edifício fosse construído de uma só vez (KIMURA, 2007).

Em análises elástico-lineares de pórticos espaciais, onde as vigas de transição utilizam a inércia natural, pilares centrais a rigidez axial natural e as cargas são aplicadas de uma única vez, tem-se uma deformação excessiva na viga de transição e/ou do pilar central, aliviando a carga do pilar na transição ou do pilar central. Ou seja, as cargas dos pilares acabam migrando para os pilares adjacentes e poder-se-ia ter vigas de transição ou pilares centrais subdimensionados, bem como a redução do momento negativo das vigas sobre este apoio ao longo da altura da estrutura (WORDELL, 2003).

Na Figura 1, pode ser visto o comportamento da estrutura sem a consideração do efeito construtivo. Nota-se que nas vigas dos pavimentos superiores ao da transição há duas parcelas de momento fletor, uma em função das cargas do pavimento e outra devido a deformação excessiva do pilar. Observa-se que a parcela de momento ocasionada pela deformação excessiva reduz o momento negativo da continuidade, isso significa que as vigas superiores estão contendo a deformação excessiva da transição, fazendo com que a carga do pilar na transição migre para os pilares adjacentes. A soma desses dois diagramas resulta no diagrama final, casos extremos como em vigas de cobertura, pode não haver momento negativo no apoio.

Porém, em edifício com múltiplos andares, quando o primeiro pavimento é construído o mesmo se deforma com a atuação das cargas verticais desse piso. Quando o segundo pavimento for construído a deformação ocorrida no primeiro pavimento será compensada, graças ao nivelamento das formas, e a viga do segundo pavimento será montada de forma reta, fazendo com que a deformação já ocorrida no naquele não influencie neste. “É importante notar que as deformações geradas pelas cargas do primeiro andar não geram esforços na viga do segundo pavimento” (KIMURA, 2007, p. 271).

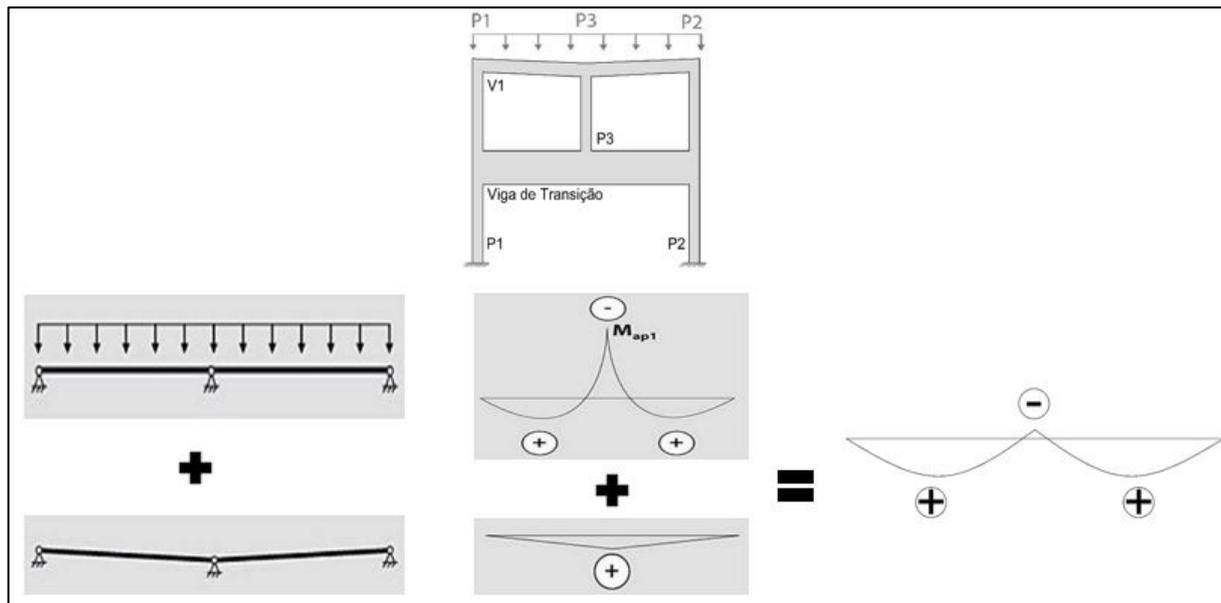


Figura 1 - Deslocamento sofrido pelo pilar e diagrama de momentos resultantes dessa deformação (Adaptado de KIMURA, 2007, p.269).

3 DESENVOLVIMENTO

Para as análises foram utilizados dois projetos distintos, inicialmente um projeto estrutural simplificado (item 3.1) e posteriormente um projeto estrutural real (item 3.2).

O projeto simplificado foi analisado nos softwares Eberick, SAP2000 e TQS, utilizando os diferentes modelos de análise disponibilizados por cada programa para a consideração do efeito incremental (modelos descritos no item 3.1.1). Para o projeto real a estrutura foi analisada apenas nos softwares Eberick e TQS, os modelos de análise estão descritos no item 3.2.2.

Os projetos que foram utilizados para a realização da pesquisa apresentam as seguintes características em comum:

- São estruturas com a finalidade residencial;
- Utilizam f_{ck} de 30 Mpa para o concreto;
- Módulo de elasticidade inicial do concreto (E_{ci}) de 30.672 MPa;
- Módulo de elasticidade secante do concreto (E_{cs}) de 26.072 MPa;
- Classe de agressividade II (Moderada);
- Fundações rotuladas;
- Coeficientes de não linearidade física:
 - o Vigas: 0,4;
 - o Pilares: 0,8;
 - o Lajes: 0,3.

3.1 Projeto Simplificado

O projeto estrutural simplificado será composto por doze pavimentos, sendo que onze deles serão compostos por doze pilares, sete vigas e seis lajes maciças. Também contará com um pavimento que possui uma viga de transição para efetuar as análises necessárias (vide Figura 2) e pavimento baldrame.

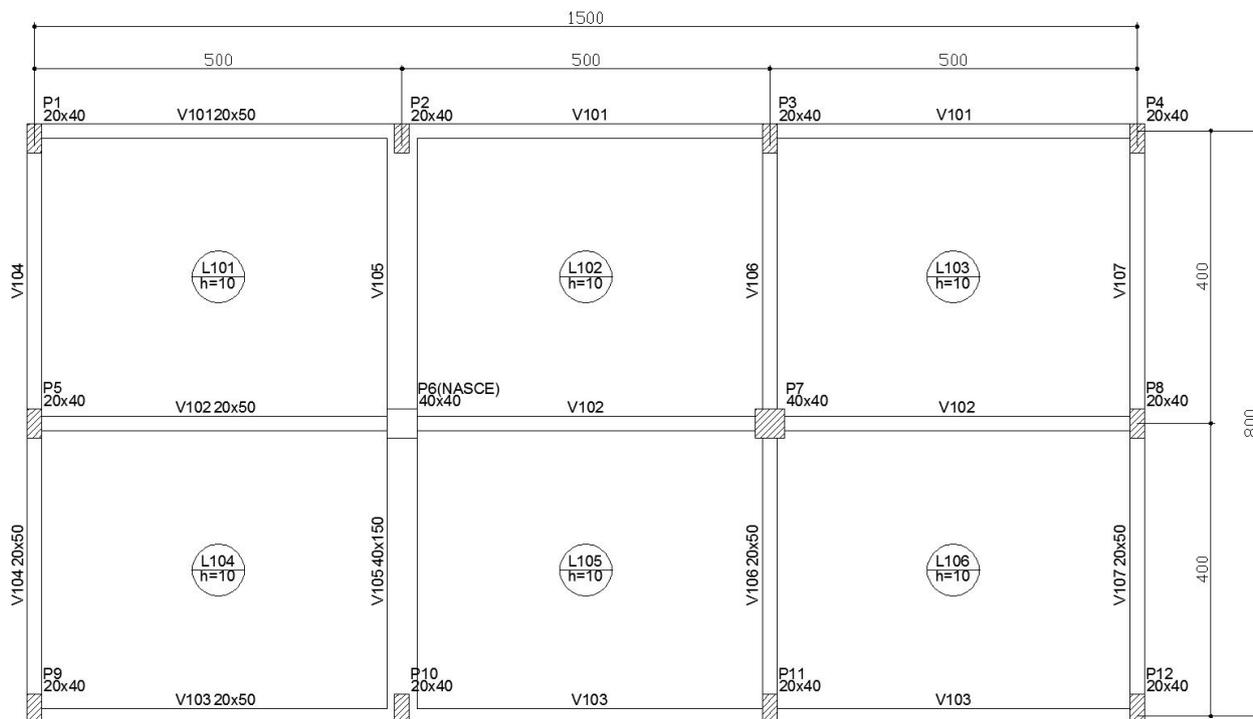


Figura 2 - Forma pavimento 1º Teto do projeto simplificado.

O projeto conta com pé-direito de 2,80 metros para todos os pavimentos, e apresenta o corte esquemático da Figura 3. Já os níveis de cada pavimento estão representados na Tabela 1.

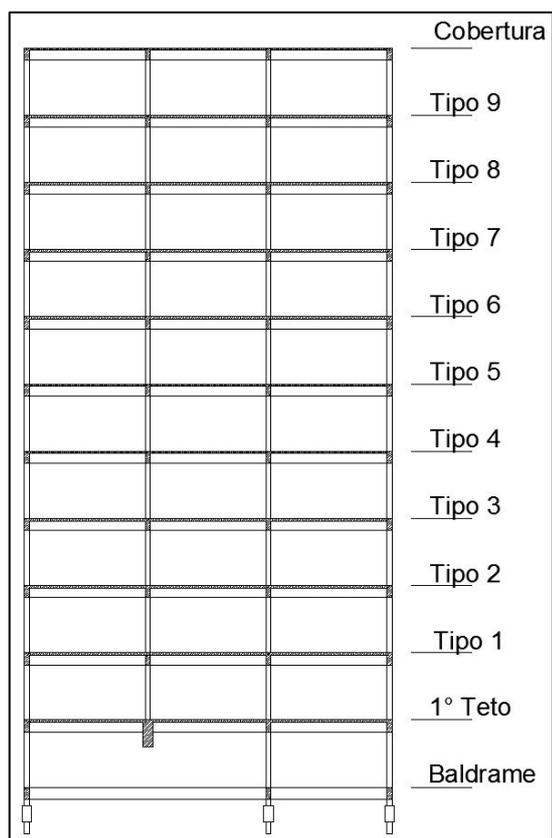


Figura 3 - Corte esquemático do projeto simplificado

Tabela 1 - Níveis dos pavimentos do projeto simplificado

Pavimento	Altura (m)	Nível (m)
Cobertura	2,80	30,80
Tipo 9	2,80	28,00
Tipo 8	2,80	25,20
Tipo 7	2,80	22,40
Tipo 6	2,80	19,60
Tipo 5	2,80	16,80
Tipo 4	2,80	14,00
Tipo 3	2,80	11,20
Tipo 2	2,80	8,40
Tipo 1	2,80	5,60
1º Teto	2,80	2,80
Baldrame	0,00	0,00

3.1.1 Descrição dos Modelos de Análise

A estrutura descrita no item 3.1 foi lançada em três softwares de análise estrutural disponíveis comercialmente, Eberick, SAP2000 e TQS. A seguir serão descritas as características de cada modelo.

Neste projeto não foram considerados os efeitos do vento e de segunda ordem nos modelos de análise, de modo que os resultados obtidos sejam somente devidos as cargas verticais.

Eberick

Para as análises foram utilizados dois métodos de cálculo disponibilizados pelo software, o primeiro em pórtico espacial e o segundo utilizando o método de pavimentos isolados.

O método de pavimentos isolados tem como principal característica a não consideração da deformação dos pavimentos subsequentes e principal limitação a não consideração dos esforços de vento e de 2ª ordem.

SAP2000

A discretização no SAP2000 foi feita com elementos de barras para as vigas e pilares, e elementos de placas para as lajes. Assim, tem-se uma contribuição da laje para a rigidez global. O efeito da Não Linearidade Física (NLF) foi considerado conforme prescreve a NBR 6118:2014 e foi aplicada diretamente nas propriedades de sua respectiva seção.

Foram feitos dois modelos, o primeiro que aplica todas as cargas simultaneamente na edificação (similar aos métodos de softwares Eberick e TQS) e outro modelo aplicando as cargas pavimento por pavimento, simulando assim o efeito incremental construtivo.

TQS

O software TQS disponibiliza dois recursos para a simulação do efeito incremental construtivo: a majoração da inércia das vigas de transição e a aplicação das cargas gradativamente, pavimento por pavimento. Então foram adotados três modelos para análise, sendo eles:

- Modelo 1: pórtico espacial com a inércia natural dos elementos.
- Modelo 2: pórtico espacial com a rigidez axial dos pilares e a inércia das vigas de transição majoradas.
- Modelo 3: pórtico espacial com as cargas aplicadas pavimento por pavimento (efeito incremental).

3.1.2 Resultados do Projeto Simplificado

Como mencionado anteriormente, o projeto simplificado foi analisado por meio de três softwares (Eberick, SAP2000 e TQS), cujas estruturas podem ser vistas na Figura 4.

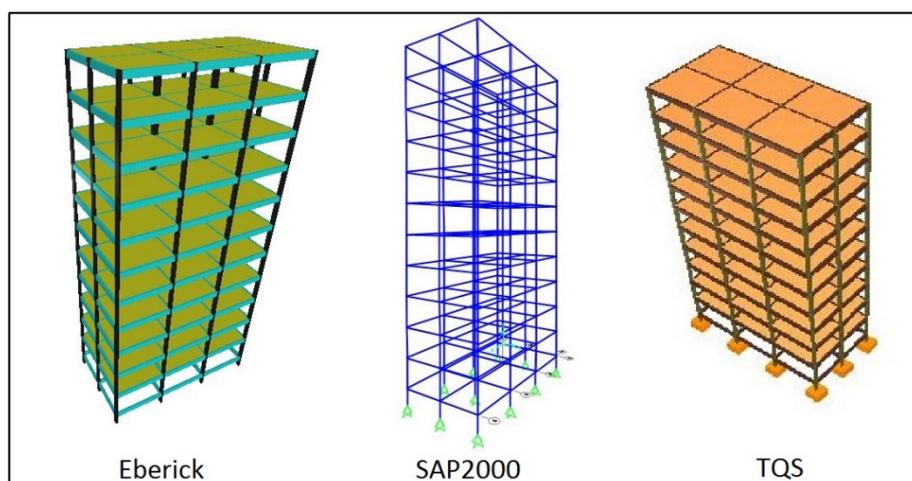


Figura 4 - Modelos estruturais – Simplificado - Eberick, SAP2000 e TQS

3.1.3 Viga de Transição

Ao analisar o edifício em ambos os softwares, foram extraídos os valores de carga dos pilares na transição e momento fletor positivo da viga de transição, que estão expostos na Tabela 2 onde também apresenta a variação dos esforços em relação ao modelo de pórtico espacial sem tratamento para o efeito construtivo.

Tabela 2 – Cargas do pilar e momentos fletores da viga de transição.

	Modelos	Carga (kN)	Variação	Momento (kN.m)	Variação
Eberick	Espacial	1.780,00	-	3.474,98	-
	Pavimento Isolado	3.013,42	+ 69,3%	5.726,41	+ 64,8%
SAP	Espacial	1.475,50	-	2.887,05	-
	Incremental	1.912,27	+ 29,6%	3.691,20	+ 27,9%
TQS	Espacial	1.610,28	-	3.350,34	-
	Majorado	2.057,02	+ 27,7%	5.248,46	+ 56,7%

Incremental	2.079,00	+ 29,1%	4.181,80	+ 24,8%
-------------	----------	---------	----------	---------

Como pode ser visto, os modelos que consideram o efeito construtivo têm seus esforços significativamente aumentados. No Eberick, a carga no pilar e o momento fletor pelo método dos pavimentos isolados são 69,3% e 64,8% maiores, respectivamente. No SAP2000, o modelo de efeito incremental apresenta um aumento de 29,6% para a carga e de 27,9% para momento fletor. No TQS, o modelo com a majoração da inércia tem um aumento de 27,7% para a carga e de 56,7% para o momento fletor, e para o modelo de efeito incremental mostra-se 29,1% (carga) e 24,8% (momento fletor) maior.

Entre os dois modelos do TQS que consideram o efeito construtivo (inércia majorado e incremental), a carga do pilar apresenta valores muito próximos, entretanto quando se analisa o momento fletor o modelo majorado é mais conservador.

Ao analisar os valores obtidos para a carga do pilar nos modelos aproximados observa-se que o Eberick apresenta um valor muito conservador, já o TQS apresenta um valor bem próximo ao modelo de efeito incremental. Para o momento fletor, observa-se que os dois modelos aproximados são conservadores, tendo uma variação de apenas 9,1% entre eles.

3.1.4 Vigas de Cobertura

Também foram estudados os momentos fletores das vigas de cobertura, que se apoiam no pilar que nasce na viga de transição. Na Figura 5, está em destaque a viga de cobertura analisada.

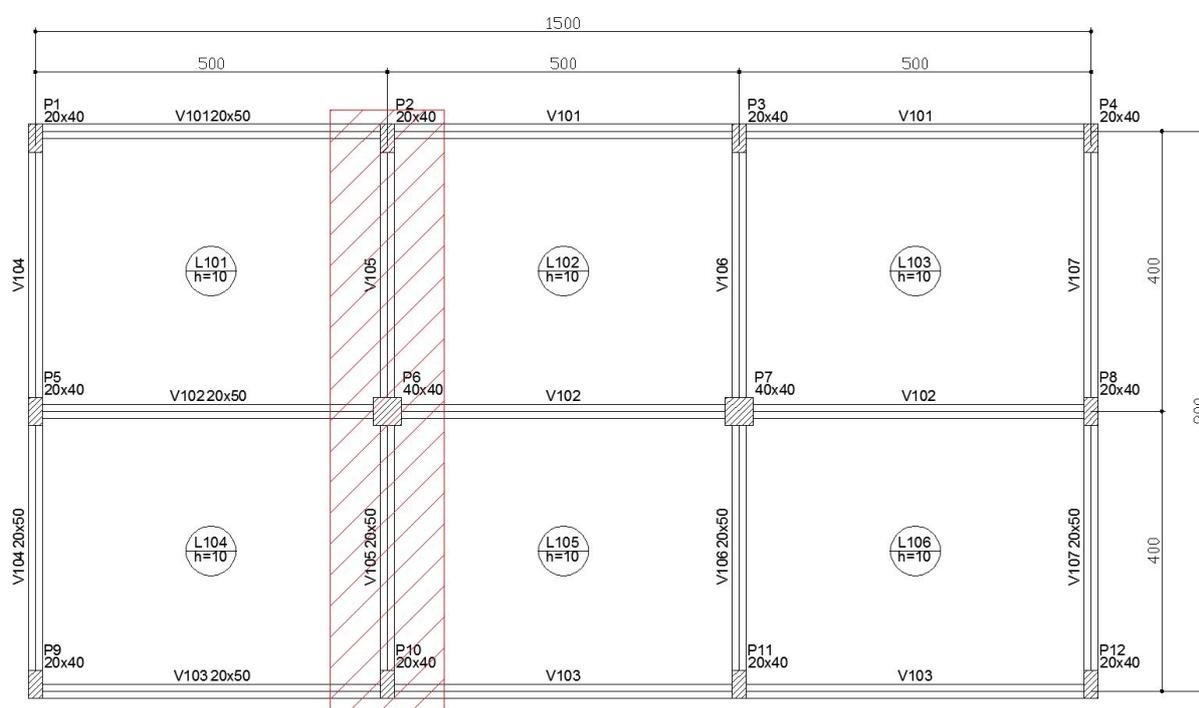


Figura 5 - Localização da viga de cobertura

A

Figura 6 e a Figura 7 apresentam os resultados desses momentos para os dois modelos estudados no Eberick.

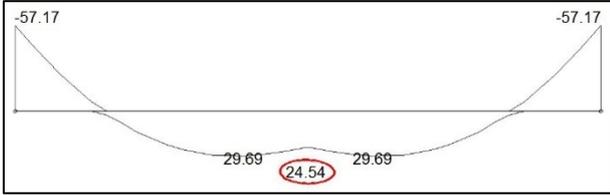


Figura 6 - Diagrama de momento fletor de cálculo da viga de Cobertura – P. Espacial – Eberick (kN.m)

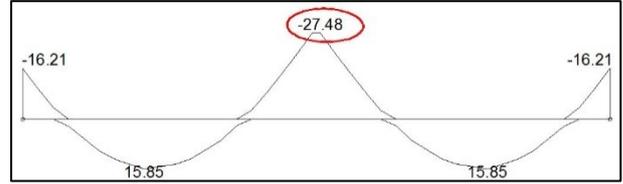


Figura 7 - Diagrama de momento fletor de cálculo da viga de Cobertura – Pto. Isolado – Eberick (kN.m)

No Software SAP2000 foram analisados os modelos de pórtico espacial e efeito incremental, e as vigas de cobertura estão expostas na Figura 8 e Figura 9.

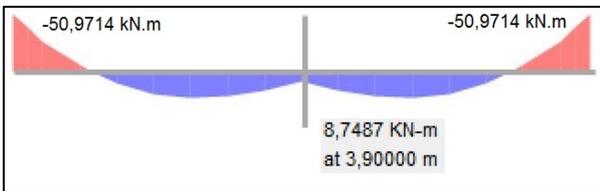


Figura 8 - Diagrama de momento fletor de cálculo da viga de Cobertura – P. Espacial – SAP2000 (kN.m)

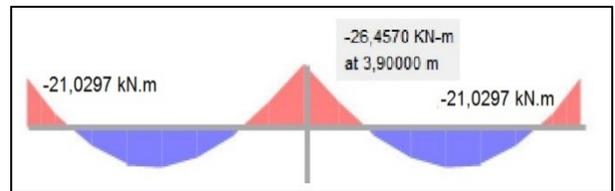


Figura 9 - Diagrama de momento fletor de cálculo da viga de Cobertura – E. Incremental – SAP2000 (kN.m)

Já as vigas da cobertura dos modelos estudados no TQS estão apresentadas na Figura 10, Figura 11 e Figura 12.

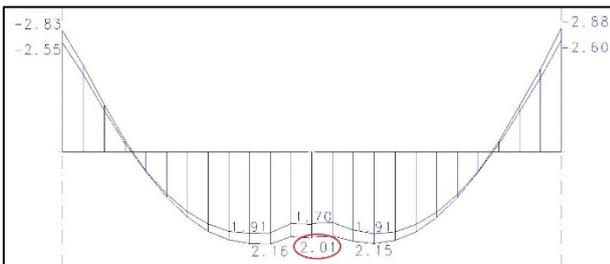


Figura 10 - Diagrama de momento fletor característico da viga de Cobertura – P. Espacial – TQS (tf.m)

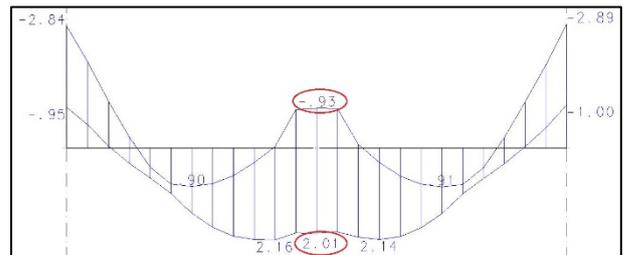


Figura 11 - Diagrama de momento fletor característico da viga de Cobertura – Majorado – TQS (tf.m)

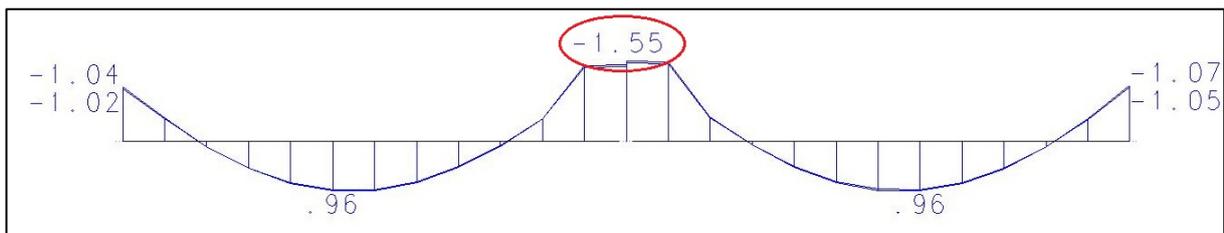


Figura 12 - Diagrama de momento fletor característico da viga de Cobertura – E. Incremental – TQS (tf.m)

A Tabela 3 resume todos os momentos apresentados na região do pilar de transição das vigas de cobertura do projeto simplificado.

Tabela 3 – Resumo de momentos fletores de cálculo das vigas de cobertura no apoio central.

	Modelo	Momento (kN.m)
Eberick	Espacial	24,54
	Pavimento Isolado	- 27,48
SAP2000	Espacial	8,75
	Incremental	- 26,46
TQS	Espacial	$2,01 \times 14 = 28,14$
	Majorado	$- 0,93 \times 14 = - 13,02$; $2,01 \times 14 = 28,14$
	Incremental	$- 1,55 \times 14 = - 21,70$

No Eberick, quando a estrutura é analisada por pórtico espacial sem nenhum tratamento para as vigas de transição, o pilar que nasce na viga de transição praticamente não se caracteriza como um apoio para viga de cobertura e, como é observado na Figura 6, existe somente momento fletor positivo na região do apoio. Já quando se estuda a estrutura com o método dos pavimentos isolados, o pilar configura-se como um apoio adequado, surgindo na região um momento negativo de 27,48 kN.m.

Os resultados obtidos no SAP2000 apresentam a mesma configuração do Eberick, mostrando também a importância da utilização de algum método para simular o efeito construtivo.

O modelo 1 (pórtico espacial) do software TQS mostra uma viga praticamente sem o apoio, pela inexistência de momento negativo. Nota-se que a configuração do diagrama de momento é similar com o diagrama de momento de uma viga com dois apoios. Quando a estrutura é analisada com efeito incremental (modelo 3), ela apresenta um momento fletor negativo de 21,70 kN.m, que é superior aos outros métodos, e também é o valor que mais se assemelha com a realidade. O modelo 2 (inércia majorada) tem como resultado uma envoltória de esforços que apresenta o máximo valor positivo (igual ao do modelo de pórtico espacial sem majoração) e um momento máximo negativo de 13,02 kN.m, mesmo esse valor sendo menor do que o apresentado no modelo 3, a viga será dimensionada corretamente. Pois quando a seção ultrapassar o limite de escoamento do modelo 2, o momento negativo será redistribuído para os positivos, que devido a envoltória de momentos são maiores que no modelo 3.

3.2 Projeto Real

O projeto real, disponibilizado pela Racitec Empreendimentos, se trata de um edifício residencial localizado no município de Itajaí/SC que possui uma área construída total de 8.988,91 m². O edifício é composto de vinte pavimentos sendo três garagens, um pavimento de transição, nove tipos, uma cobertura diferenciada, cobertura e pavimentos técnicos.

O corte esquemático da Figura 13 apresenta todos os pavimentos do edifício, e a Tabela 4 mostra o pé-direito e o nível de cada pavimento.

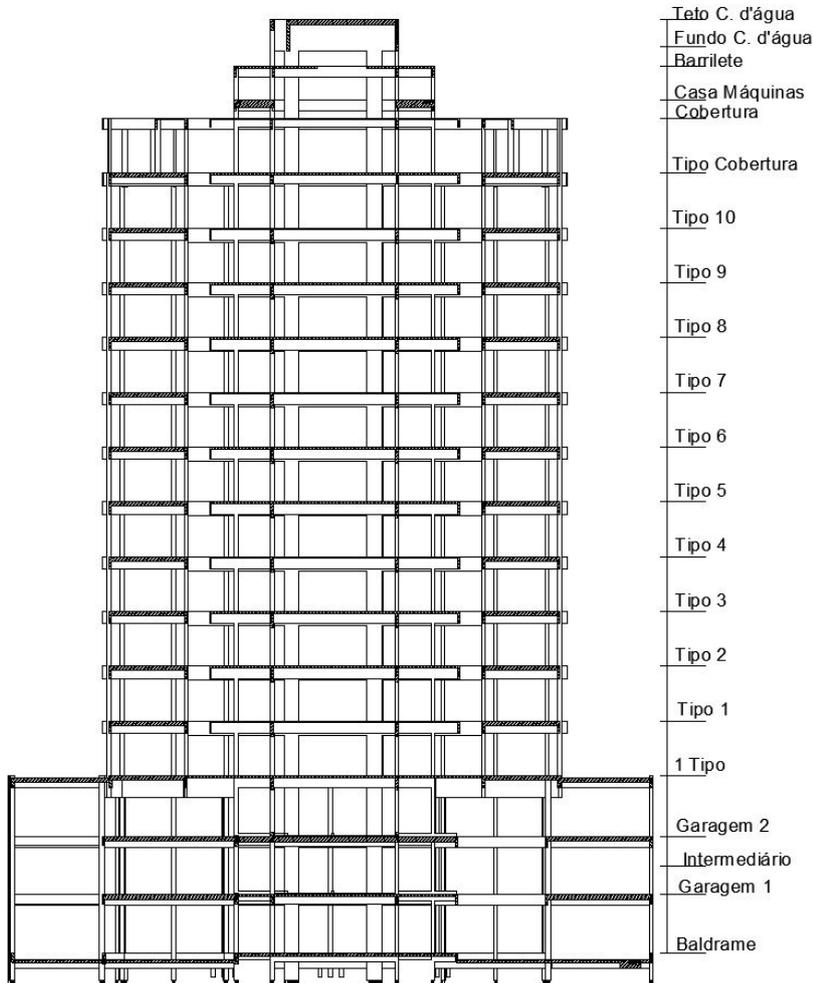


Figura 13 - Corte esquemático do projeto real

Tabela 4 - Níveis dos pavimentos do projeto real

Pavimento	Altura (m)	Nível (m)
Teto C. d'água	1,52	52,15
Fundo C. d'água	1,13	50,63
Barrilete	1,86	49,50
Casa de M.	1,02	47,64
Cobertura	3,06	46,62
Tipo Cob.	3,06	43,56
Tipo 10	3,06	40,50
Tipo 9	3,06	37,44
Tipo 8	3,06	34,38
Tipo 7	3,06	31,32
Tipo 6	3,06	28,26
Tipo 5	3,06	25,20
Tipo 4	3,06	22,14
Tipo 3	3,06	19,08
Tipo 2	3,06	16,02
Tipo 1	3,06	12,96
1 Tipo	3,42	9,90
Garagem 2	1,62	6,48
Intermediário	1,62	4,86
Garagem 1	3,24	3,24
Baldrame	0,00	0,00

3.2.1 Planta de Formas

O edifício é composto por lajes maciças nos pavimentos baldrame, áreas de circulação, casa de máquinas, barrilete e caixa d'água, as demais lajes são nervuradas com enchimento em EPS.

A planta de forma apresentada na Figura 14 mostra o pavimento 1º Tipo que é o pavimento de transição.

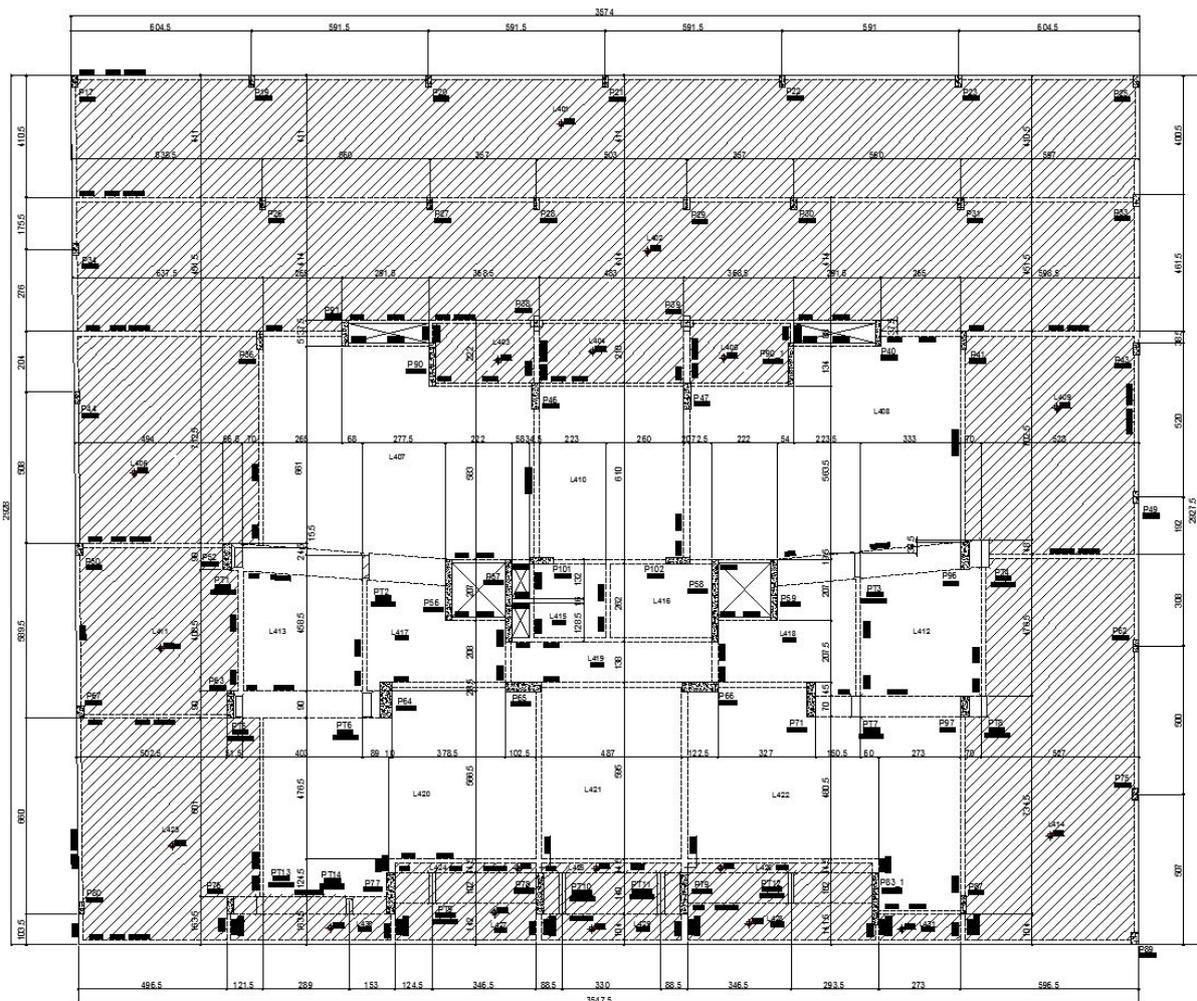


Figura 14 - Forma pavimento 1 Tipo do projeto real

3.2.2 Descrição dos Modelos de Análise

O projeto real descrito anteriormente foi lançado em dois softwares de análise estrutural: Eberick e TQS. Uma das diferenças do projeto real para o projeto simplificado é que nessa edificação foram considerados os efeitos do vento.

Eberick

Foram utilizados para as análises três métodos de cálculo disponibilizados pelo software, sendo eles:

- Modelo 1: pórtico espacial com as inércias naturais;
- Modelo 2: pórtico espacial com a rigidez axial dos pilares majorada;
- Modelo 3: método de pavimentos isolados.

TQS

Os modelos de análise serão os mesmos do projeto simplificado, sendo eles:

- Modelo 1: pórtico espacial com a inércia natural dos elementos;
- Modelo 2: pórtico espacial com a rigidez axial dos pilares e a inércia das vigas de transição majoradas;

- Modelo 3: pórtico espacial com as cargas aplicas pavimento por pavimento (efeito incremental).

3.2.3 Resultados do Projeto Real

A Figura 15 apresenta as estruturas em 3D dos lançamentos realizados no software Eberick e TQS.

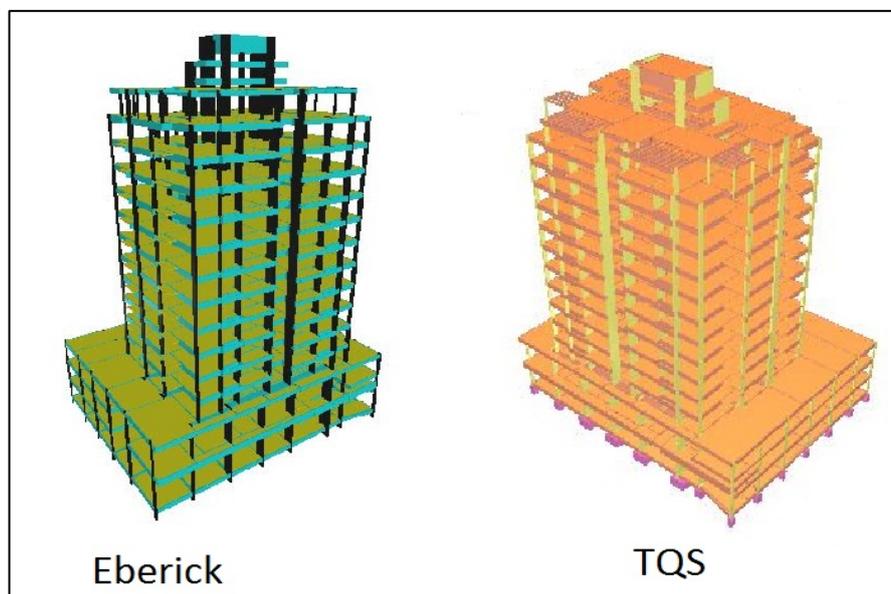


Figura 15 - Modelos estruturais Eberick e TQS

3.2.3.1 Viga VT1

A viga VT1 possui uma seção de 0,90 x 1,25 m, é apoiada em dois pilares, um que morre no nível da viga e outro segue até o pavimento barrilete. Nesta viga nascem dois pilares, sendo eles: PT1 e PT2. O PT1 é localizado próximo ao apoio enquanto o PT2 está próximo do centro do vão. A viga VT1 também recebe outras três vigas, além das lajes que se apoiam nela. A Figura 16 mostra a localização da viga no pavimento 1º Tipo, assim como a ampliação desta para melhor visualização.

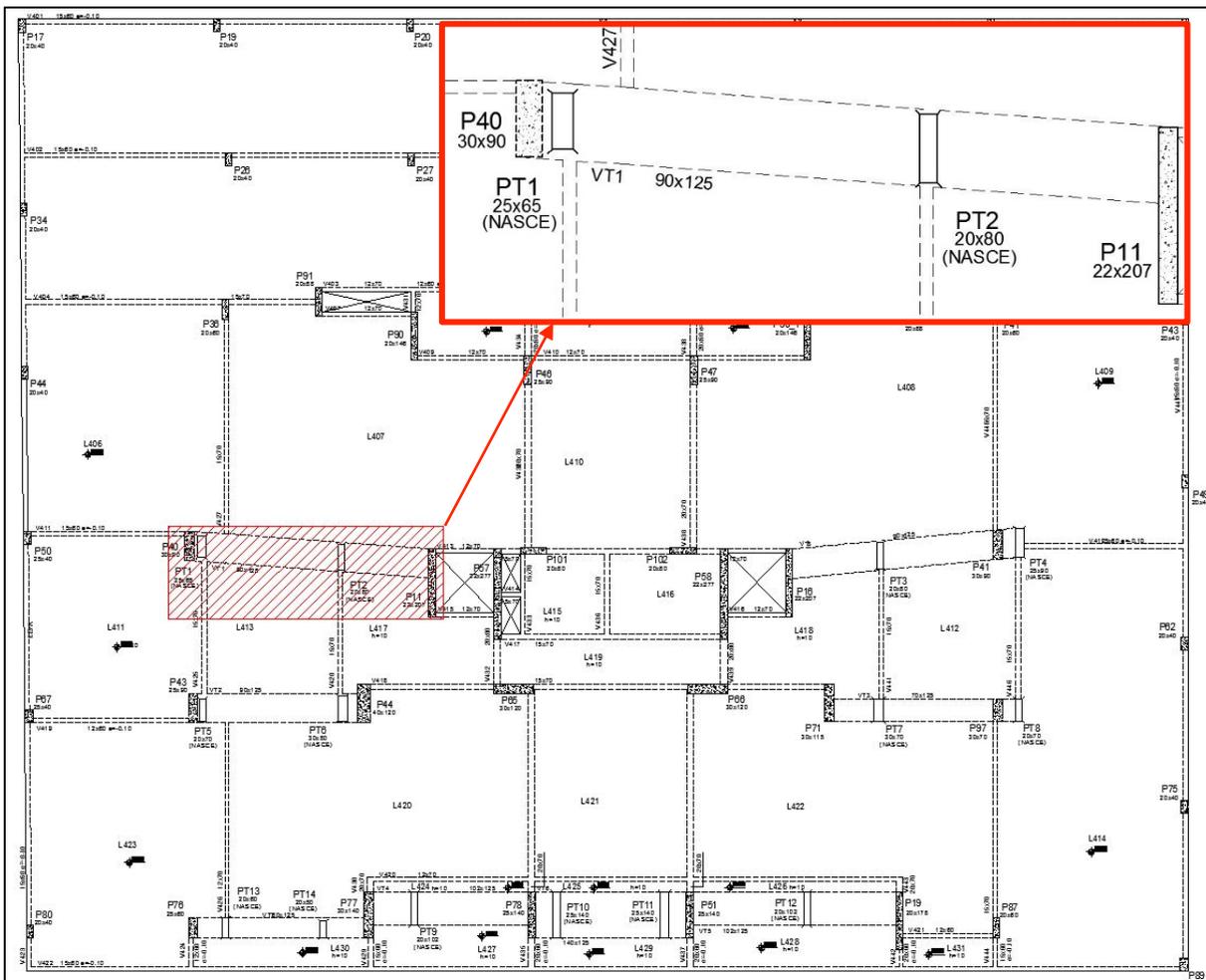


Figura 16 - Viga VT1 destacada.

Esforço Cortante

A Tabela 5 apresenta o resumo das cargas nos pilares, juntamente com a variação das cargas em relação ao modelo de pórtico espacial sem tratamento para o efeito constutivo.

Tabela 5 - Carga dos pilares e variação das cargas em relação ao modelo de pórtico espacial da VT1.

	Modelo	PT1 (kN)	Variação	PT2 (kN)	Variação
	Modelo 1 (Pórtico espacial)	3.369,90	-	1.789,18	-
Eberick	Modelo 2 (Rigidez axial majorada)	3.367,24	-0,1%	1.768,78	-1,1%
	Modelo 3 (Pavimento Isolado)	2.932,29	-13,0%	3.514,21	96,4%
	Modelo 1 (Pórtico espacial)	3.292,10	-	2.363,20	-
TQS	Modelo 2 (Inércia majorada)	3.323,88	1,0%	3.213,56	36,0%
	Modelo 3 (Análise incremental)	3.343,06	1,5%	2.609,18	10,4%

Nota-se que o pilar PT1 (próximo ao apoio) quase não sofre influência da deformação excessiva da viga de transição. Nos modelos do Eberick os esforços no pilar variam de 3.369,90 kN (modelo 1 – pórtico espacial) para 2.932,29 kN (modelo 3 – pavimentos isolados). Sendo o modelo 3 o proposto para compensar a perda nos esforços devido as deformações excessivas, destaca-se que a variação do esforço no pilar é de menos 13% para este modelo. O modelo 2 (rigidez axial majorada) não apresenta grande variação em relação ao modelo 1.

Entretanto, o pilar no meio do vão (PT2) evidencia que quanto mais afastado do apoio maior influência da deformação da viga no esforço do pilar. Pois o modelo 3 (pavimentos isolados) apresentou um esforço de 3.514,21 kN. Este modelo não leva em conta as deformações dos pavimentos subsequentes e o pilar chega a receber quase o dobro da carga em relação aos outros modelos.

Os modelos do TQS demonstram que para os pilares próximos ao apoio, as análises por todos os modelos são eficientes devido a variação dos esforços ser de apenas 1,5% (vide Tabela 5).

Ainda no TQS, para o pilar PT2 o modelo 3 (efeito incremental) apresenta uma carga de 2.609.18 kN, o que representa um aumento de 10,4% em relação ao modelo 1 (pórtico espacial). No modelo 2 (inércia majorada) há um acréscimo de carga de 36,0%. Teoricamente o modelo 3 é a forma mais correta de se processar uma estrutura, então os modelos 1 e 2 (modelos aproximados) foram comparados com o mesmo. Nota-se que ao analisar a estrutura através do modelo 1 pode-se subdimensionar o pilar. Já o modelo 2, devido ao acréscimo de carga em relação ao modelo ideal, mostra-se mais conservador.

Para o pilar PT2 (meio do vão) os modelos aproximados dos dois softwares (pavimentos isolados e inércia majorada) apresentam valores parecidos, com variação de apenas 9,4%, sendo o modelo de pavimentos isolados o mais conservador. Ao observar as cargas obtidas no pilar PT1 para todos os modelos, pode-se notar que há uma variação pequena entre todos os modelos analisados. Porém, é necessário que ao analisar uma estrutura no software Eberick, deva ser criada uma envoltória de esforços entre o modelo de pórtico espacial e pavimentos isolados, devido a carga apresentar-se menor para o modelo de pavimentos isolados no pilar próximo ao apoio.

Momento Fletor

Para a análise dos momentos fletores apresenta-se a Tabela 6 com o resumo dos resultados.

Tabela 6 - Momentos fletores e variação do momento em relação ao modelo de pórtico espacial da VT1.

	Modelo	Momento Máximo (kN.m)	Variação
	Modelo 1 (Pórtico espacial)	3.299,66	-
Eberick	Modelo 2 (Rigidez axial majorada)	3.261,17	-1,2%
	Modelo 3 (Pavimento Isolado)	5.797,23	75,7%
	Modelo 1 (Pórtico espacial)	4.820,90	-
TQS	Modelo 2 (Inércia majorada)	7.230,30	50,0%
	Modelo 3 (Análise incremental)	5.099,78	5,8%

O momento fletor máximo na viga de transição é influenciado principalmente pelo pilar que está localizado próximo ao centro do vão. No software Eberick, o comportamento dos modelos é próximo ao da carga dos pilares centrais, pois no modelo 3 (pavimentos isolados) o momento fletor máximo representa um valor 75,7% maior do que os modelos 1 e 2 (pórtico espacial e rigidez axial majorada).

Para o TQS, no modelo 3 (análise incremental) o momento máximo é de 5.099,78 kN.m, 5,8% a mais em relação ao modelo 1 (pórtico espacial), já o modelo 2 (inércia majora) tem um aumento de 50,0%. O modelo 2 mostra-se mais conservador, pois apresenta um

aumento de 41,8% em relação ao modelo 3, enquanto o modelo 1 mostra-se inadequado para o dimensionamento.

Pode ser observado que o modelo 2 do software TQS (inércia majorada) é o mais conservador entre todos os modelos analisados. O método de pavimentos isolados do Eberick apresenta um valor 13,7% maior do que modelo 3 do TQS (incremental). Portanto, os modelos aproximados mostram-se eficientes para esta situação.

3.2.3.2 Vigas VT2, VT5 e VT8

A Figura 16 mostra a localização da viga no pavimento 1º Tipo, assim como a ampliação desta para melhor visualização.

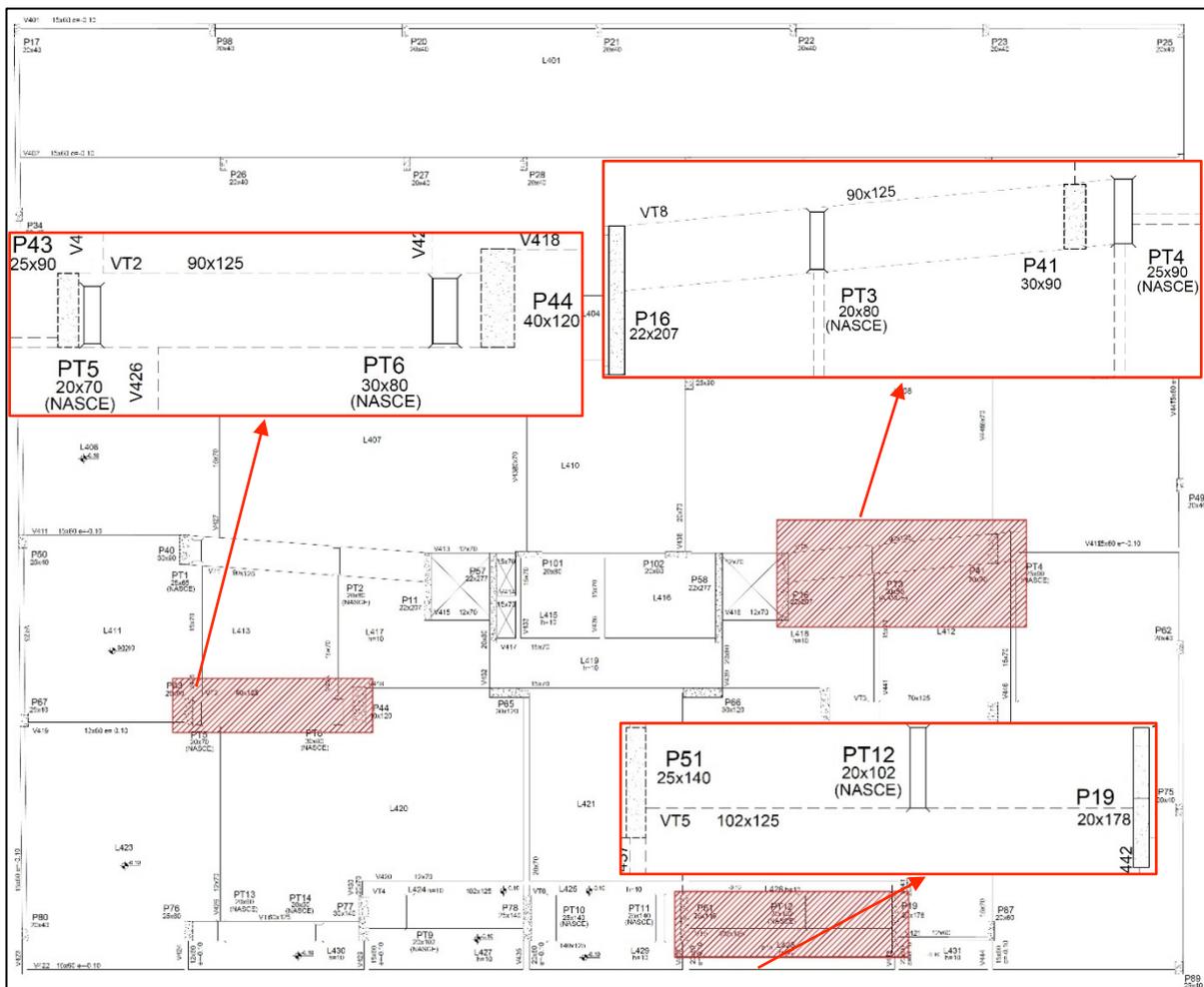


Figura 17 - Viga VT2, VT5 e VT8 destacadas

Tabela 7 - Carga dos pilares e variação das cargas em relação ao modelo de pórtico espacial da VT2, VT5 e VT8.

		VT2			
	Modelo	PT5	Variação	PT6	Variação
Eberick	Modelo 1	2.813,65	-	4.579,04	-
	Modelo 2	2.830,95	0,6%	4.598,58	0,4%
	Modelo 3	2.396,00	-14,8%	4.155,55	-9,2%
TQS	Modelo 1	2.585,24	-	4.707,22	-
	Modelo 2	2.582,02	-0,1%	4.719,68	0,3%
	Modelo 3	2.645,02	2,3%	4.446,68	-5,5%

VT5			
Modelo	PT12	Variação	
Eberick	Modelo 1	2.245,59	-
	Modelo 2	2.205,03	-1,8%
	Modelo 3	2.996,27	33,4%
TQS	Modelo 1	2.743,02	-
	Modelo 2	3.008,60	9,7%
	Modelo 3	2.884,24	5,1%

VT8					
Modelo	PT3	Variação	PT4	Variação	
Eberick	Modelo 1	2.410,61	-	3.701,80	-
	Modelo 2	2.463,49	2,2%	3.702,08	0,0%
	Modelo 3	3.638,83	51,0%	3.208,01	-13,3%
TQS	Modelo 1	3.034,50	-	3.462,48	-
	Modelo 2	3.543,26	16,8%	3.456,46	-0,2%
	Modelo 3	3.248,56	7,1%	3.485,72	0,7%

Tabela 8 - Momentos fletores e variação do momento em relação ao modelo de pórtico espacial da VT2, VT5 e VT8.

VT2			
Modelo	Momento Máximo	Variação	
Eberick	Modelo 1	1.990,68	-
	Modelo 2	2.015,21	1,2%
	Modelo 3	1.857,12	-6,7%
TQS	Modelo 1	2.543,66	-
	Modelo 2	2.681,28	5,4%
	Modelo 3	2.491,86	-2,0%

VT5			
Modelo	Momento Máximo	Variação	
Eberick	Modelo 1	2.844,45	-
	Modelo 2	2.783,69	-2,1%
	Modelo 3	3.782,31	33,0%
TQS	Modelo 1	4.343,36	-
	Modelo 2	5.288,50	21,8%
	Modelo 3	4.624,20	6,5%

VT8					
Modelo	Positivo Máximo	Variação	Negativo Máximo	Variação	
Eberick	Modelo 1	2.756,02	-	2.615,70	-
	Modelo 2	2.832,94	2,8%	2.630,08	0,5%
	Modelo 3	4.473,80	62,3%	2.495,30	-4,6%
TQS	Modelo 1	4.125,94	-	2.509,08	-
	Modelo 2	5.645,36	36,8%	2.540,72	1,3%
	Modelo 3	4.206,02	1,9%	2.586,50	3,1%

4 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Através dos modelos analisados pode-se constatar as grandes diferenças entre os esforços obtidos pelos modelos de pórtico espacial sem e com a consideração do efeito construtivo para determinadas situações de projeto.

Conclui-se que com os esforços obtidos pelos modelos aproximados (pavimentos isolados e majoração da inércia) deve-se construir uma envoltória de esforços, juntamente com o método de pórtico espacial, para os pilares e vigas na região da transição.

No software Eberick a ferramenta de pavimentos isolados demonstrou-se bastante eficiente e interessante para simulação do efeito construtivo. Ao realizar a envoltória de esforços com o modelo de pórtico espacial simples resulta em uma análise segura e eficaz. Porém, é importante salientar que o modelo de pavimentos isolados não considera os efeitos de 2ª ordem e vento, tanto que nas versões atuais do programa este método de análise não é mais possível de ser utilizado.

O programa SAP2000 apresenta resultados eficazes na consideração do efeito construtivo, porém devido ao mesmo não apresentar em sua plataforma uma ferramenta para o detalhamento dos elementos estruturais e não ser simples para o lançamento de uma estrutura real, acaba não sendo largamente utilizado na prática profissional.

O software TQS já possui em sua plataforma um modelo que constrói as envoltórias de esforços entre o modelo de pórtico espacial simples e o modelo com a majoração da inércia das vigas de transição. O software também disponibiliza outro modelo de cálculo cuja característica é a consideração do efeito incremental construtivo, sem a necessidade de fazer aproximações. Porém foi demonstrado que não há necessidade de fazer a análise pelo método de efeito incremental, pois os resultados obtidos no modelo aproximado são eficazes e conservadores.

Para trabalhos futuros recomenda-se avaliar as flechas diferidas em ambos os softwares e simular o efeito construtivos nas versões atuais do Eberick (sem o método de pavimentos isolados).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

KIMURA, A. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado**. São Paulo: Pini, 2007. 632p.

WORDELL, F. **Avaliação da instabilidade global de edifícios altos**. 2003. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.