

ANÁLISE DA ADOÇÃO DA METODOLOGIA DE SEÇÃO T PARA PROJETO COM VIGAS EM CONCRETO ARMADO.

ANALYSIS OF THE ADOPTION OF THE SECTION T METHODOLOGY FOR ARMED CONCRETE BEAM DESIGN

¹MORAIS, P. V ; ²OLIVEIRA, E. F

¹Discente de Engenharia Civil – Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos

RESUMO

No trabalho, foi realizado, de maneira analítica e descritiva, um estudo comparativo do comportamento estrutural da superestrutura de um projeto modelo, considerando o método de mesa colaborante para o cálculo de vigas, no qual a seção adotada possui geometria T. O objetivo foi mostrar de maneira simples os principais impactos e cuidados que devem ser tomados ao realizar esta consideração. Como resultado do presente trabalho, obtiveram-se reduções em área de aço de pilares, podendo chegar a 33,33% para as armaduras longitudinais. Houve também um atenuamento nos deslocamentos das lajes. Nas lajes 7 e 10 foi verificada uma redução máxima de 10%. Nas vigas, houve um enrijecimento e a necessidade de armadura de compressão, aumentando assim a área de aço. Concluiu-se que a utilização deste procedimento de cálculo pode ser utilizado de maneira a otimizar o projeto.

Palavras-chave: Mesa Colaborante. Superestrutura. Seção T. Otimização. Concreto Armado.

ABSTRACT

In the work, a comparative study of the structural behavior of the superstructure of a model project was performed, considering the collaborative table method for the beam calculation, in which the adopted section has T geometry. The main purpose was to show the main impacts and precautions that should be taken when making this consideration. As a result of the present work, reductions in steel area of columns were obtained, reaching 33.33% for longitudinal reinforcement. There was also an attenuation in slab displacement. Slabs 7 and 10 has been verified a maximum reduction of 10%. In the beams, had a hardening and the need for compression reinforcement, increasing the steel area. It was concluded that the use of this calculation procedure can be used in order to optimize the project.

Keywords: Collaborating Table. Superstructure. Section T. Optimization. Reinforced Concrete.

INTRODUÇÃO

Os elementos estruturais são caracterizados de acordo com sua geometria e dimensões, sendo classificados com relação à ordem de grandeza das suas dimensões espaciais, comprimento, altura e espessura. (BASTOS, P.S. S. 2019).

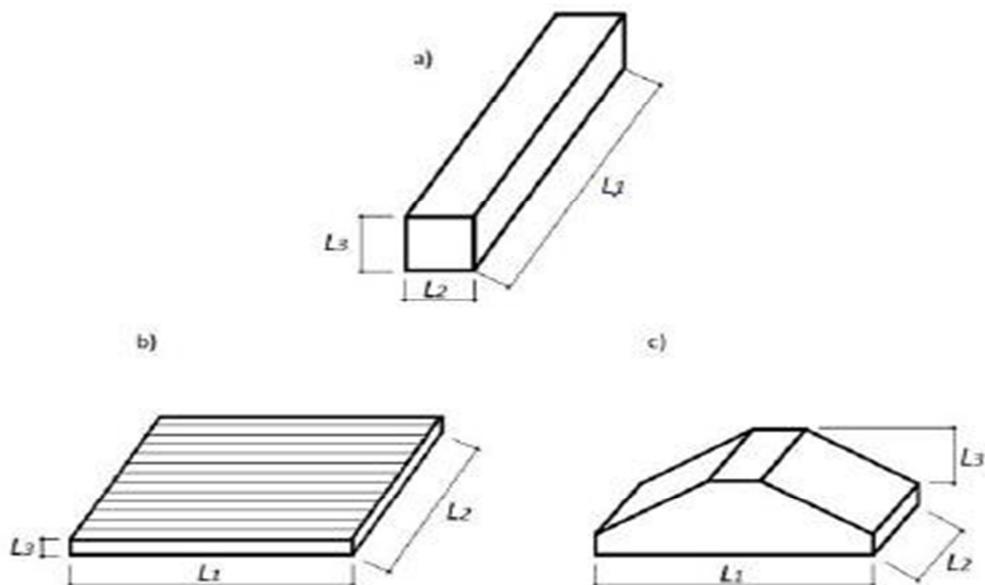
Elementos lineares ou de barras são os que apresentam comprimento longitudinal com ordem de grandeza de pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal. (NBR 6118, 2014, item 14.4.1).

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 (item 14.4.1.1, p.83) vigas são “elementos lineares em que a flexão é preponderante”. Vencer vãos e transmitir cargas geralmente perpendiculares ao seu eixo longitudinal oriundas de lajes, alvenaria, vigas, etc., é sua função básicas. Os esforços solicitantes preponderantes são flexões e cortantes. (PINHEIRO, L. M. 2003).

Os elementos cuja espessura é muito menor que suas outras dimensões são classificadas como elementos bidimensionais ou de superfície plana. Estes estão sujeitos principalmente a ações normais ao seu plano. Como exemplos têm-se placas, chapas e cascas. (NBR 6118, 2014, item 14.4.2).

Já os elementos tridimensionais ou de volume são os que apresentam as três dimensões com a mesma ordem de grandeza. (BASTOS, P.S. S. 2019).

Figura 01 - Classificação geométrica dos elementos estruturais.



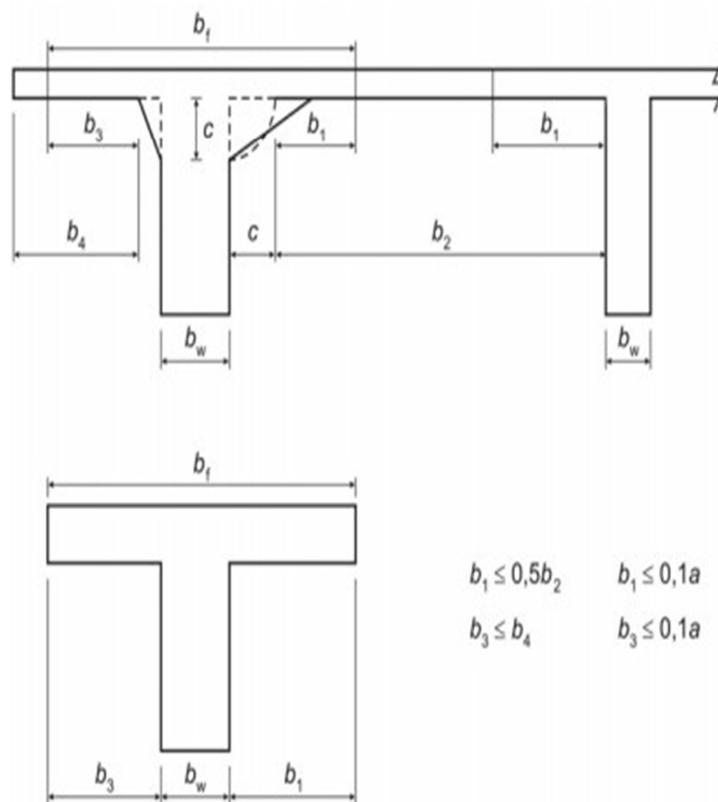
Fonte: FUSCO (1976 apud BASTOS, 2019) Adaptado.

Os elementos estruturais trabalham em conjunto e a influência é mútua. Em lajes maciças e vigas, há uma interação entre os elementos, levando-os a trabalhar em conjunto, característica muitas vezes não levada em conta.

Quando a viga sofre uma deformação, parte da laje adjacente a ela também se deforma, comportando-se como se fosse parte da viga, colaborando em sua resistência. Dessa forma, a viga incorpora parte da laje, e sua seção deixa de ser retangular, passando a ter forma de T ou L invertido. (CARVALHO, 2014, p.147).

Segundo a NBR 6118:2014, esse efeito pode ser considerado desde que atenda certos requisitos, este é percebido através da adoção de uma largura colaborante da laje associada à viga, criando uma seção transversal T, esta consideração pode ser feita com intuito de analisar os esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos na estrutura de forma mais próxima da realidade do comportamento destes elementos. Os critérios para definição das dimensões que compõem o sistema de laje com mesa colaborante estão representados na figura a seguir.

Figura 02 – Largura da mesa colaborante.



Fonte: (NBR6118, 2014). Adaptado.

A largura colaborante (b_f) é definida como à soma entre a largura da viga (b_w) com 10% de “a” para os dois lados da viga, onde “a” é a distancia entre pontos de momentos fletores nulos. Estes são obtidos mediante análise dos diagramas de momento fletor da estrutura, como também estimados conforme:

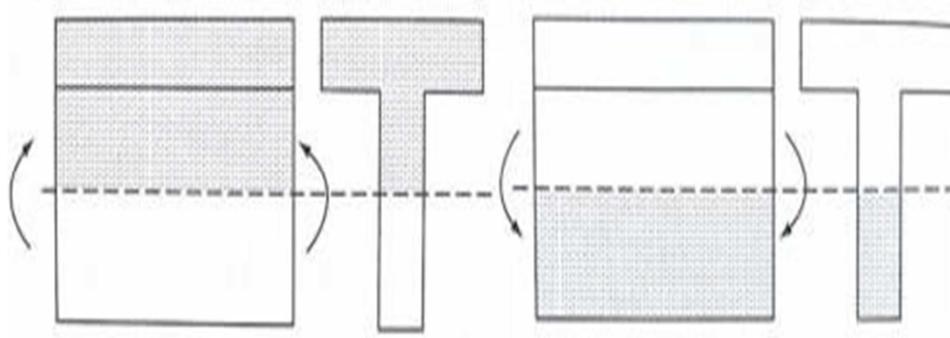
- viga simplesmente apoiada: $a = 1,00xL$.
- tramo com momento em uma só extremidade: $a = 0,75xL$.
- tramo com momentos nas duas extremidades: $a = 0,60xL$.

– tramo em balanço: $a = 2,00xL$.

Para vigas contínuas é permitido à adoção de uma largura colaborante única para todo comprimento, inclusive para apoios sob momentos negativos, na qual a situação que resulte no menor comprimento b_f da mesa é a que deve ser considerada. Isto para o levantamento de esforços da estrutura, porém, para o dimensionamento é válido apenas em regiões de momento positivo. (NBR 6118/2014 – item 14.6.2.2)

Carvalho (2014) faz considerações sobre o dimensionamento de tal elemento, onde para o autor uma viga só pode ser considerada de seção T quando a mesa e parte da alma estiverem comprimidas, caso contrário deve ser calculada como seção retangular, conforme a figura abaixo.

Figura 03 – Viga seção t e seção retangular.



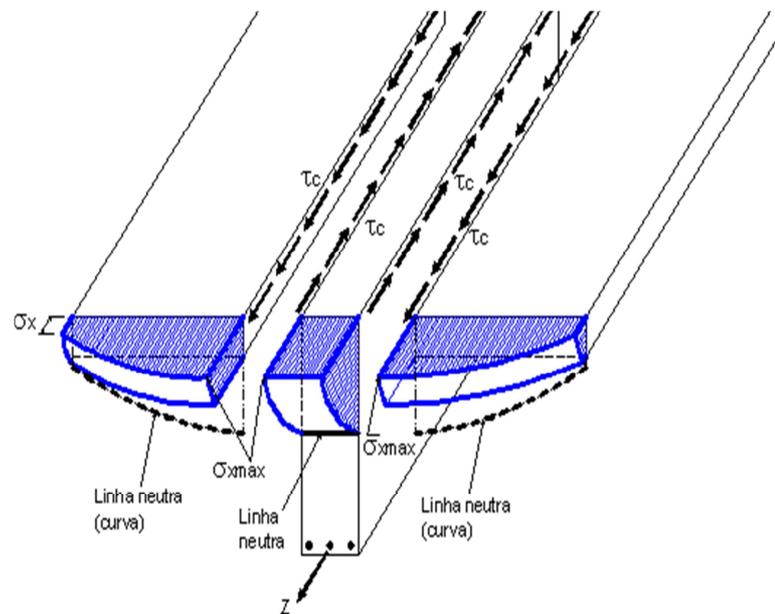
Fonte: (Carvalho, 2014, p148).

Uma viga de seção T tem a mesa atuando como banzo comprimido, a viga como alma e a armadura longitudinal inferior como banzo traçado. Por se tratar de uma estrutura monolítica na ligação entre alma e mesa, têm-se iguais deformações longitudinais, analisando na flexão, o que acaba fazendo com que surjam tensões de cisalhamento entre os pontos de compressão e tração. Estas são as responsáveis por transmitir parte dos esforços de compressão da alma para laje, evidenciando o comportamento de mesa colaborante do elemento, de modo a reduzir as tensões de compressão na região da alma. (AltoQi, 2010)

Para que tal comportamento seja mantido, a ligação entre a laje e viga deve ser capaz de resistir a estas tensões de cisalhamento, sendo necessária armadura para tal esforço na alma e na seção transversal da mesa conhecida como armadura de costura. (AltoQi, 2010)

Segundo a norma (NBR6118/2003 – Item 18.3.7), têm-se para as armaduras de costura. “As armaduras de flexão da laje, existentes no plano de ligação, podem ser consideradas como parte da armadura de ligação, complementando-se a diferença entre ambas, se necessário. A seção transversal mínima dessa armadura, estendendo-se por toda a largura útil e ancorada na alma, deve ser de 1,5 cm² por metro”.

Figura 04 – Tensões de cisalhamento.



Fonte: disponível em: <<http://faq.altoqi.com.br/content/268/652/pt-br/largura-da-mesa-colaborante.html>>. Acesso em 20 Agosto 2019

Devido às diferenças de deformações longitudinais entre laje e alma a linha neutra se torna curvada, gerando uma variação na distribuição de tensões longitudinais de compressão. A partir de certa distância a laje deixa de contribuir como banzo comprimido para alma. Devido à elevada complexidade de análise deste comportamento da linha neutra, são realizados cálculos simplificados que fornecem de maneira aproximada os valores de tensões e deformações na viga em estudo. (ALTOQI, 2010)

Visto a grande necessidade de uma estrutura que cada vez mais se aproxime da realidade, critérios e teorias de dimensionamento como o de mesa de colaborante são necessários. Nesta metodologia de cálculo há uma mudança no comportamento da estrutura. Com a redistribuição de tensões, há um enrijecimento da ligação laje e viga, ocorrendo por sua vez uma mudança na distribuição de tensões. Permitindo

assim uma avaliação mais precisa da estrutura, e na maioria das vezes apresentando resultados diferentes e melhores comparados à metodologia tradicional.

Considerando um projeto executivo, com auxílio de uma plataforma amplamente utilizada para cálculo no Brasil, a presente pesquisa buscou demonstrar as diferenças no comportamento da estrutura, comparando os resultados das análises.

MATERIAL E MÉTODOS

Uma estrutura de quatro andares foi criada como modelo. Pilares com seções retangulares, lajes maciças e vigas retangulares são os elementos que a compõe.

Para o desenvolvimento do estudo, utilizou-se software de análise estrutural, Eberick 2019 versão demonstrativa. Segundo a definição da própria equipe AltoQi (2014):

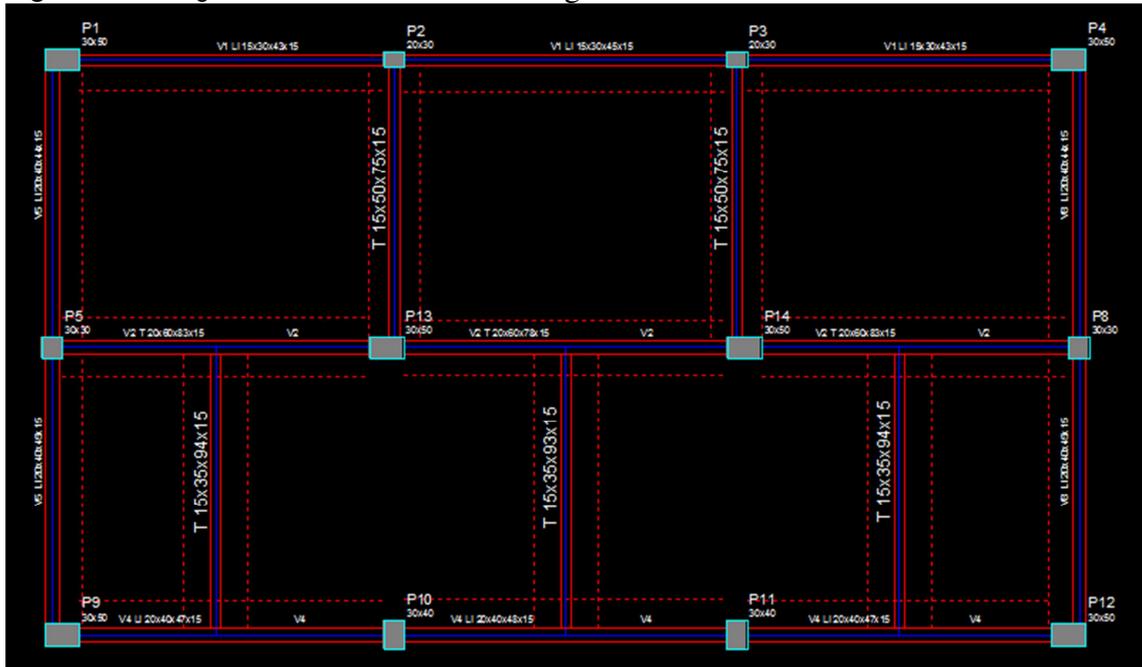
O Eberick [...] que engloba as etapas de lançamento, análise da estrutura, dimensionamento e o detalhamento final dos elementos. Possui um poderoso sistema gráfico de entrada de dados, associado à análise da estrutura em um modelo de pórtico espacial, e a diversos recursos de dimensionamento e detalhamento dos elementos, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014, além de visualização tridimensional da estrutura modelada.

Com o auxílio do programa, calculou-se a estrutura e analisaram-se os resultados. Primeiramente com os apoios das lajes sendo vigas retangulares, em seguida, com apoios sendo vigas de seção T. Buscando simular precisamente a colaboração entre laje e viga.

Podem-se escolher várias tipologias de vigas para adoção de mesa. Porém, pela simetria se optou pela seção T para que o esforço seja de flexão reta.

Os critérios para determinação das dimensões da viga T para atuação da laje como mesa de compressão são definidos pela NBR 6118. Levando em consideração esses critérios o software gera uma prancha com as dimensões, como demonstra a figura abaixo.

Figura 05 – Diagrama de Momento fletor na viga 5 e 7 com mesa colaborante.



Fonte: Do próprio autor.

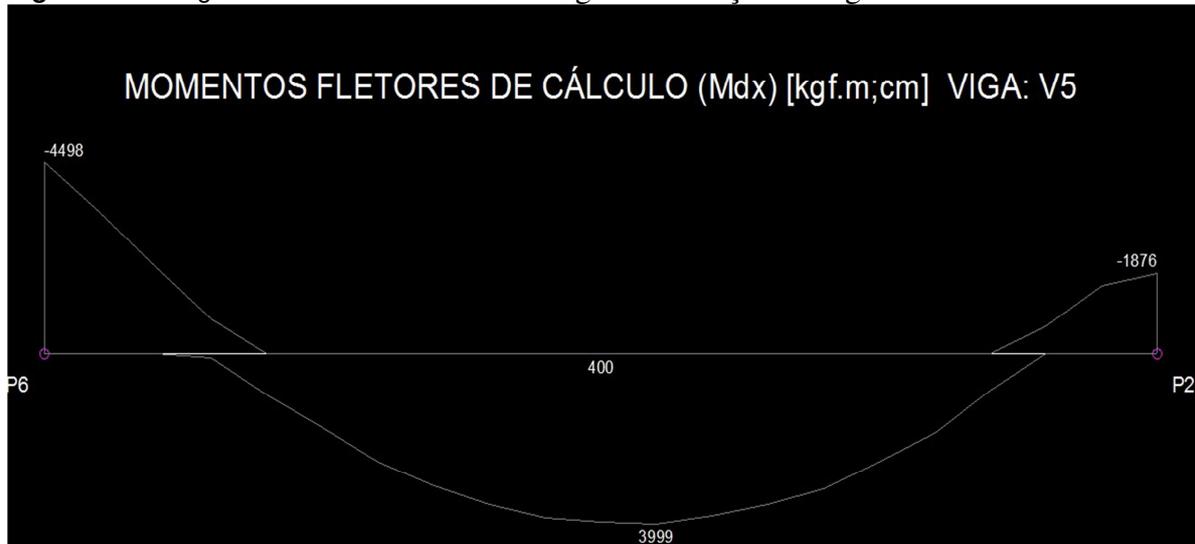
RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro dimensionamento, o apoio para as lajes foram vigas com seção retangular. No segundo, foi considerada mesa colaborante para as vigas, ou seja vigas com seção T. Nos dois casos, analisou-se o comportamento, a distribuição de esforços e o dimensionamento dos elementos estruturais.

Segue abaixo os resultados e dados para análise comparativa. Estes foram calculados e obtidos pelos recursos oferecidos pelo programa.

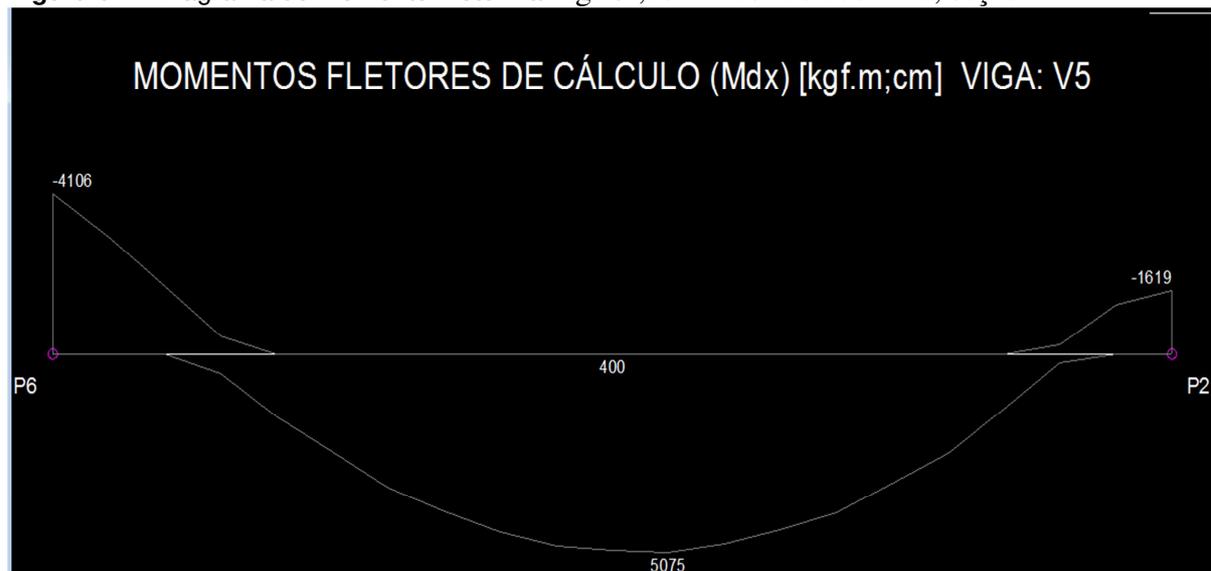
A Figura 06 demonstra o diagrama de momento fletor para a viga 5 do projeto, adotando para o cálculo o método com viga de seção retangular. Já a Figura 07 demonstra o diagrama de momento fletor para a mesma viga, porém adotando mesa colaborante.

Figura 06 – Diagrama de Momento Fletor na viga 5 com seção retangular.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 07 – Diagrama de Momento Fletor na viga 5 ,com mesa colaborante, seção T.



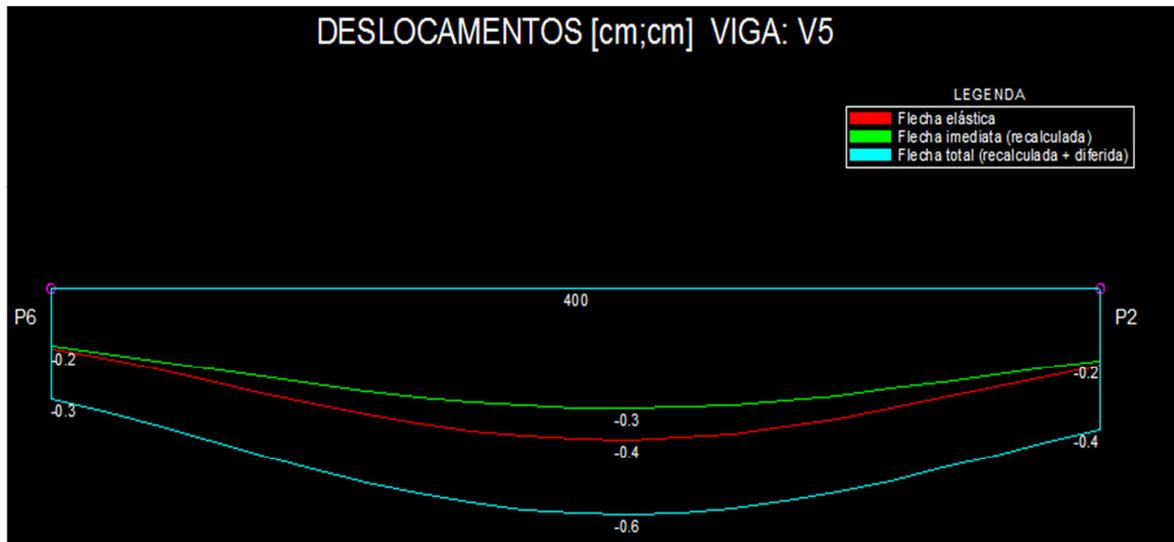
Fonte: Do próprio autor.

Segundo os diagramas, podem-se notar diferenças na distribuição de momentos na viga. Quando o cálculo feito com seção T, os momentos positivos são maiores e os negativos menores comparados com seção retangular.

A colaboração da laje para a viga faz com que ela se torne mais rígida, possibilitando maior absorção dos esforços, logo, menor transmissão de momentos para os pilares.

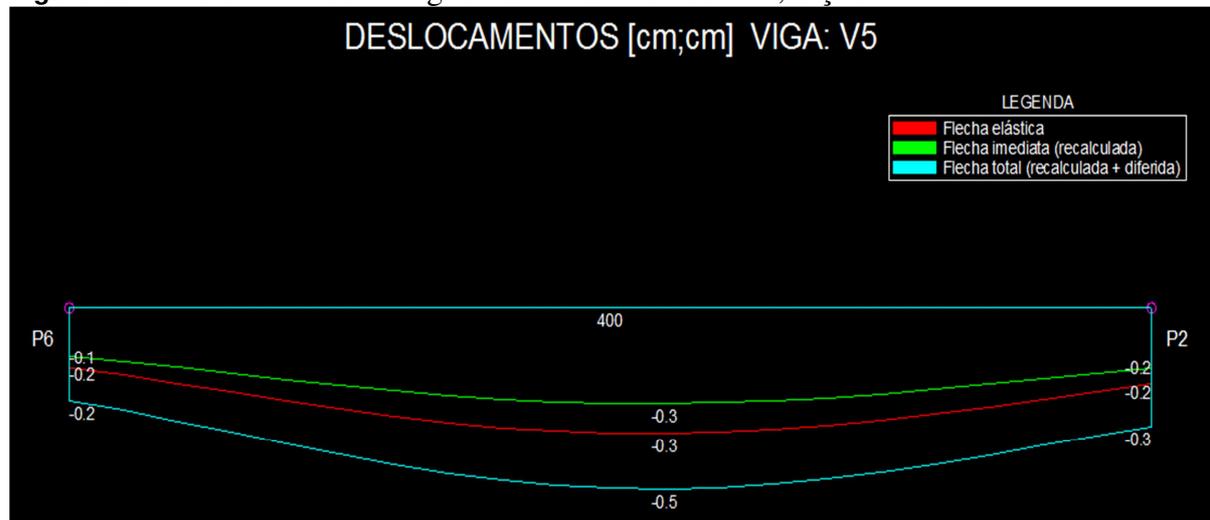
Outro ponto importante na análise de vigas são os deslocamentos. Nas figuras abaixo, têm-se os diagramas que fornecem as flechas na viga 5.

Figura 08 – Deslocamentos na viga 5 com seção retangular.



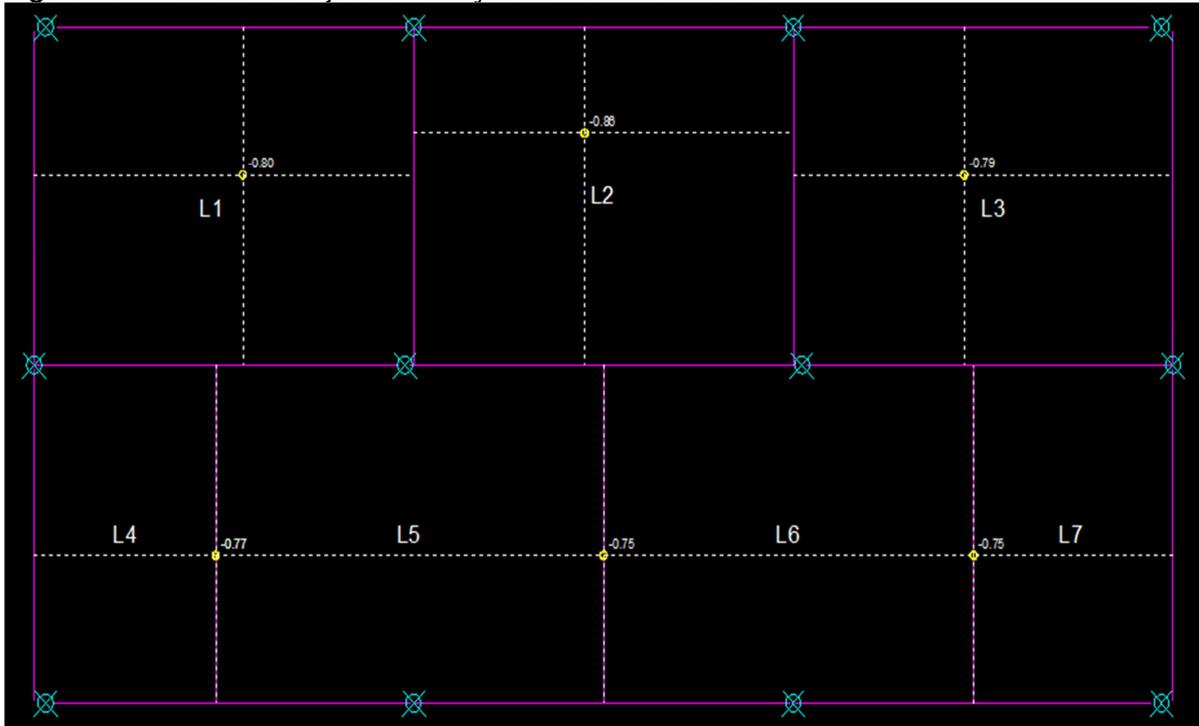
Fonte: Do próprio autor.

Figura 09 – Deslocamentos na viga 5 com mesa colaborante, seção T.

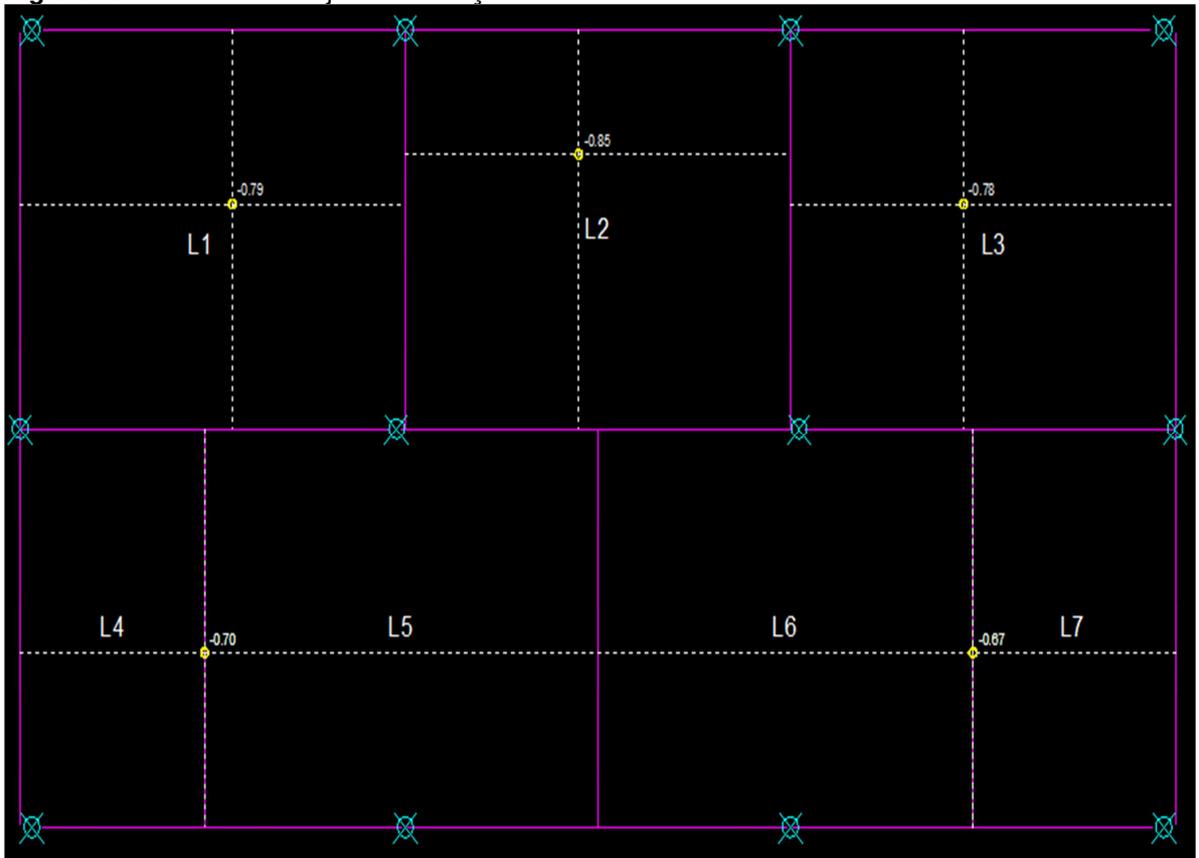


Fonte: Do próprio autor.

Com mesa colaborante a viga apresentou, em módulo, flecha total de 0,5 cm. Já no método com seção retangular a flecha total foi de 0,6 cm, em módulo. As figuras a seguir fornecem os deslocamentos totais em cada pano de laje.

Figura 10 – Flechas nas lajes sem adoção de mesa colaborante.

Fonte: Do próprio autor.

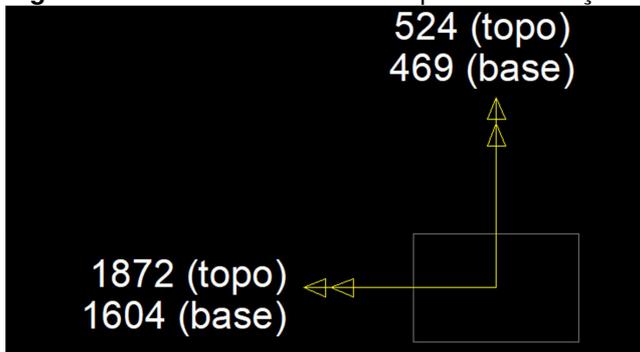
Figura 11 – Flechas nas lajes com adoção de mesa colaborante.

Fonte: Do próprio autor.

Através dos resultados mostrados nas figuras, conclui-se que as lajes também tiveram mudanças em seu comportamento. A comparação entre os deslocamentos apresentou variações consideráveis. A flecha da laje L4-L5 passou de -0,77 cm para -0,70 cm.

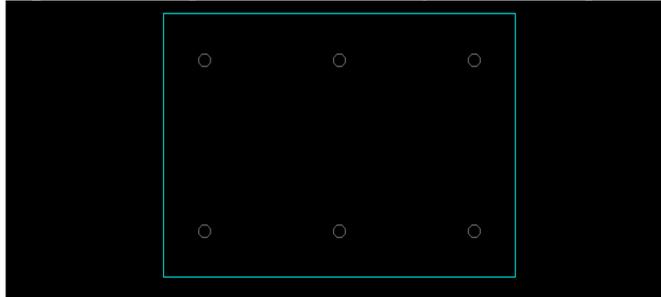
Os pilares, devido a colaboração entre laje e viga e esta tornar-se mais rígida, passam a ter menores momentos. Nas figuras em sequência, têm-se o esforços de momento fletor e também a representação da seção transversal para as duas condições de cálculo.

Figura 12 – Momentos fletores no pilar sem adoção de mesa colaborante para as vigas.



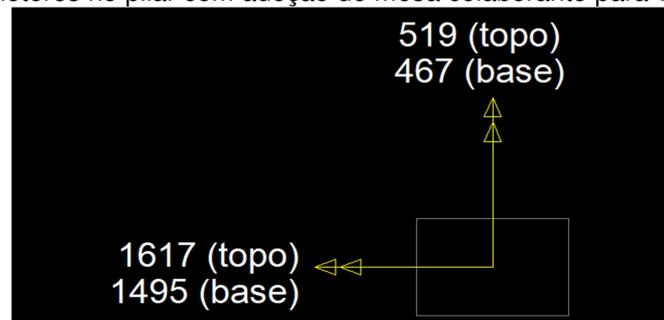
Fonte: Do próprio autor.

Figura 13 – Seção Transversal do pilar sem adoção de mesa colaborante para as vigas.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 14 – Momentos fletores no pilar com adoção de mesa colaborante para vigas.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 15 – Seção Transversal do pilar sem adoção de mesa colaborante para as vigas.

Fonte: Do próprio autor.

Como na consideração de vigas com seção T houve redução nos momentos atuantes dos pilares, logo a área de aço foi reduzida.

Para visualizar e comparar os resultados dos elementos estruturais, como demonstrado individualmente acima, foi criado um quadro com um resumo, no qual estão especificados os momentos em pilares e vigas, flechas em lajes e vigas, e os resultados do dimensionamento. O quadro 1 é resultante do cálculo feito com a viga de seção quadrada e o quadro 2 com a viga de seção T.

Quadro 1: Tabela com os resultados da análise com seção quadrada.

Viga com Seção Quadrada					
Elemento	Número	Momento Negat/Posit (Kgf.m)	Flecha total (cm)	Aço	
				positivo	negativo
Vigas	5=7	-4498,3999	-0,60	4 \varnothing 5/16"	3 \varnothing 3/8"
	11=8	2700	-0,80	3 \varnothing 3/8"	2 \varnothing 5/16"
	6	2925	-0,90	3 \varnothing 3/8"	2 \varnothing 5/16"
Elemento	Número	Flecha Elástica (cm)	Flecha Imediata (cm)	Flecha Total (cm)	
Lajes	L1=L3	0,64	0,44	0,8	
	L4=L7	0,51	0,42	0,77	
	L5=L6	0,57	0,42	0,77	
	L2	0,66	0,67	0,88	
Elemento	Número	Momento de topo em y (Kgf.m)	Momento de topo em x (Kgf.m)	Aço	
Pilares	P2=P3	1872	524	6 \varnothing 3/8"	

Fonte: Do próprio autor.

Quadro 2 : Tabela com os resultados do elementos na análise com seção T.

Viga com Seção T					
Elemento	Número	Momento Negat/Posit (Kgf.m)	Flecha total (cm)	Aço	
				positivo	negativo
Vigas	5=7	-4106,5075	-0,50	4 ϕ 5/16"	3 ϕ 3/8"
	11=8	3646	-0,70	4 ϕ 3/8"	2 ϕ 1/2"
	6	3937	-0,70	4 ϕ 3/8"	2 ϕ 1/2"
Elemento	Número	Flecha Elástica (cm)	Flecha Imediata (cm)	Flecha Total (cm)	
Lajes	L1=L3	0,62	0,44	0,79	
	L4=L7	0,42	0,38	0,70	
	L5=L6	0,54	0,38	0,70	
	L2	0,64	0,47	0,85	
Elemento	Número	Momento de topo em y (Kgf.m)	Momento de topo em x (Kgf.m)	Aço	
Pilares	P2=P3	1617	519	4 ϕ 3/8"	

Fonte: Do próprio autor.

Conforme os dados acima se percebe que houve uma redução nas flechas de lajes e vigas, quando a análise feita considerando a mesa colaborante. Nas vigas, por esse enrijecimento, a zona comprimida teve aumento na área de aço. Porém, nos pilares a área de aço diminuiu, pois com o aumento da rigidez da viga a transmissão de momento (momento de engastamento) para o pilar foi menor, resultando na redução, neste caso, de 2 barras de 10 mm.

CONCLUSÃO

O comportamento estrutural com a adoção da seção em T foi alterado, não só nas vigas e lajes, mas também em todos os elementos da estrutura. Devido ao aumento de rigidez da ligação entre viga e laje, houve mudanças nos deslocamentos, na distribuição de esforços e tensões da estrutura. Analisando a viga, nota-se uma mudança nos valores de momentos negativos e positivos, no qual a tendência é um aumento dos momentos positivos e diminuição dos momentos negativos. Portanto, a viga se torna mais rígida e absorve mais esforços, fazendo com que a área de aço seja maior. Já na ligação viga-pilar, devido ao aumento de rigidez da viga, o pilar absorve menos momentos, logo, têm-se uma redução na área de aço. E para as lajes, notou-se redução nos valores das flechas. Portanto, os resultados apresentados apontam

que a adoção da metodologia com seção T gera uma otimização da estrutura e se aproxima mais do comportamento real.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

BASTOS, P. S. S. **Notas de Aula – Estruturas de Concreto**. I. São Paulo: UNESP, 2014. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos/pag_concreto1.htm>. Acesso em: 8 set. 2019.

PINHEIRO, L. M. **Notas de Aula – Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**.

São Carlos: USP, 2007. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/>>. Acesso em: 8 set. 2019.

CARVALHO, R. Chust; FILHO, J.R. Figueiredo. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. 4ªed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

MATTOS, Nilson. Largura da mesa colaborante. **AltoQi – Base do Conhecimento**. Janeiro, 2010.