

ANÁLISE COMPARATIVA DOS DESLOCAMENTOS EM DIFERENTES TIPOLOGIAS DE LAJES PRÉ-FABRICADAS

Joel Warnier Kruger (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)joel-kruger@hotmail.com, (2) avargas@unesc.net

RESUMO

Este estudo tem por objetivo, demonstrar o sistema construtivo mais adequado em função dos deslocamentos, entre dois tipos de lajes pré-moldadas, considerando a laje duplo “T” com armadura passiva, e a laje alveolar com armadura ativa, uma vez que, as empresas buscam por um sistema com menor custo, maior velocidade e qualidade de produção, com o intuito de manter-se no mercado competitivo. O trabalho baseia-se em, calcular as armaduras de flexão para cada combinação entre os vãos e sobrecargas dos dois tipos de lajes citadas acima, e com isso, analisar os deslocamentos imediatos, diferidos no tempo e totais, e avalia-los com os deslocamentos limites descritos na NBR 9062/2006. Com a finalidade de tornar prática a decisão de qual sistema construtivo se encaixa a cada tipo de obra e situação de projeto.

Palavras-Chave: Deslocamentos. Laje Duplo “T”. Laje Alveolar.

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil encontram-se diversos tipos de sistemas construtivos, com o intuito de buscar a economia, segurança e qualidade no produto oferecido aos clientes. Em um sistema estrutural que visa atender às condições estabelecidas em projetos, deverá ser indispensável atenção especial ao atendimento dos deslocamentos máximos. Segundo CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO (2014, p185);

“Os valores dos deslocamentos e rotações deverão ser determinados por meio de modelos que considerem a rigidez efetiva das seções da peça estrutural, ou seja, levem em consideração a presença da armadura, a existência de fissuras no concreto ao longo dessa armadura e as deformações diferidas no tempo.”

Dentre os elementos estruturais que compõem o sistema adotado, as lajes são, na maioria, a primeira definição e, a partir dela será estabelecido o arranjo estrutural.

Várias são as tipologias de lajes no mercado, todavia, algumas pré-fabricadas destacam-se pela sua versatilidade e possibilidade de grandes vãos com

sobrecargas elevadas. Dentre essas, encontramos as lajes de duplo "T" e alveolar, utilizadas na região de Criciúma, SC.

Para, MUNTE (2006, p. 395) "as lajes duplo "T" apresentam nervuras esbeltas, que necessitam de armadura resistente ao cisalhamento. Essas armações são de difícil execução, fato que justifica a utilização de muitos armadores para fazer uma única peça".

Na Era tecnológica que todos vivem atualmente, cada vez mais se faz necessário o aumento do processo construtivo, a fim de, diminuir o trabalho manual nas fabricas. Conforme MUNTE (2006, p. 245) "a grande eficiência estrutural das lajes alveolares e, conseqüentemente, seu menor custo, são alcançadas quanto maior a padronização e racionalização do projeto. O produto é totalmente industrializado e envolve baixo número de homens-horas na sua produção".

"Estruturas de pisos ou de coberturas que utilizam lajes alveolares podem ser utilizadas considerando seu efeito diafragma, ou seja, a sua rigidez no plano e funcionamento como chapa, transferindo as cargas horizontais atuantes para os demais sistemas estruturais estabilizantes da edificação." NBR 14861:2011 p.23. Assim como as lajes alveolares descritas anteriormente, as lajes de seção TT também possuem a função de transferir as cargas para outros elementos estruturais por meio da capa de concreto que une todos os elementos do conjunto estrutural. Segundo CARVALHO (2012, Cap. 12 p2) "A ação da protensão controla ou evita a fissuração do concreto na flexão e a protensão (com cabos excêntricos) cria momentos fletores contrários aos das ações. Na verdade em alguns casos indica-se a protensão exatamente porque comparada a uma peça similar de concreto armado apresenta menor deformação". Em contra partida, PETRUCCELLI (2013, p32) afirma que "Um dos maiores problemas em obras é a variação excessiva da contra-flecha, sendo que algumas vezes não se consegue chegar a um nivelamento adequado, pois as peças não podem ser forçadas a tal ponto que comecem a surgir fissuras." Deste modo, há necessidade do controle rigoroso do concreto, que deve apresentar a mínima diferença na deformação, para que, os painéis atinjam valores de contra-flecha muito próximos, minimizando a dificuldade da equalização.

Dentro desse contexto, o objetivo desse trabalho é estabelecer parâmetros comparativos entre lajes pré-fabricadas alveolares com armadura ativa e lajes pré-fabricadas nervuradas em duplo "T" com armadura passiva, quanto aos

deslocamentos máximos, para algumas situações de carregamento e vãos a fim de auxiliar na definição do sistema estrutural que venha atender as condições de segurança e economia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi dividido em duas etapas, a primeira etapa, consisti em determinar os deslocamentos imediatos considerados no tempo 0 (zero), deslocamentos diferidos no tempo sendo esse maior que 70 meses e deslocamentos totais, que é determinada por meio da soma entre os deslocamentos imediatos e os diferidos no tempo da laje de duplo “T” com armadura passiva. Na segunda etapa, foram obtidos valores de deslocamentos para laje alveolar de armadura ativa, sendo que, este cálculo comparou-se com limites de contra-flecha para deslocamentos imediatos já no diferido no tempo, considera-se a perda de protensão, fato esse que ocorre com a fluência do concreto e relaxação da armadura, e na sequência, determinou-se os deslocamentos totais, assim como na etapa anterior.

2.1. DADOS PARA OS CÁLCULOS

Para os cálculos dos dois modelos de laje, utilizou-se os seguintes dados:

- Capa de concreto solidarizada de 5cm.
- Concreto C30.
- Aço;
Cordoalhas de protensão CP-190.
Vergalhões CA-50.
- Coeficiente de majoração da carga = 1,4.
- Coeficiente de minoração do aço = 1,15.
- Coeficiente de minoração do concreto = 1,4.
- Laje bi apoiada.
- Carga de Revestimento de 120kgf/m².
- Área da seção;
Laje duplo “T” largura 2,50m com área de 0.356m².

Laje alveolar largura 1,25m com área de 0,192m².

- Vãos;

Os vãos adotados foram de 5m, 6m, 7m, 8m, 9m e 10m.

- Sobrecargas;

Os valores das sobrecargas utilizadas foram coletados na NBR 6120/1980, conforme tabela na figura 01.

Figura 01: Valores das sobrecargas verticais

Local		Carga kN/m ²
13 – Escolas	Corredor e sala de aula	3
14 - Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2
19 - Ginásios de esportes		5
23 - Lojas		4

Fonte: NBR 6120/1980

- Limites de deslocamentos;

Os limites de deslocamentos e contra-flecha utilizados como referência, são apresentado na tabela da figura 02.

Figura 02: Limites de deslocamentos segundo NBR-9062/2006.

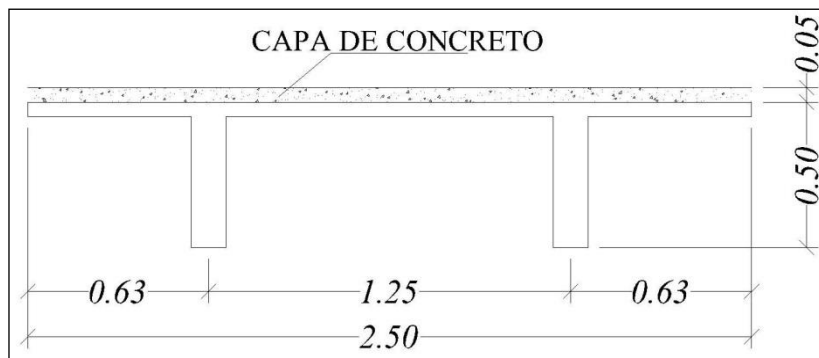
Tabela 04 - Limites para deslocamentos verticais de elementos de cobertura	
Caso	Limite
Flecha inicial positiva	$a_0 \leq L / 500$
Flecha diferida no tempo	$a_\infty \leq L / 300$
Contra-flecha inicial	$ a \leq L / 300$
Variação da flecha Δa proveniente de ações diferidas no tempo e carga accidental	$ \Delta a \leq L / 250$

Fonte: NBR 9062/2006

2.2 CÁLCULO DA LAJE DUPLO “T”

A figura 03 apresenta a seção transversal da laje duplo “T”, objeto de estudo desse trabalho.

Figura 03: Seção transversal da laje duplo “T” de 50 cm de altura com 5 cm de capa



Fonte: Do autor, 2016.

Para equiparar os dois tipos de lajes estudada, o cálculo da laje de duplo “T” foi realizado apenas com a metade da largura total, sendo considerada para cálculo as teorias de seção “T”, e porque a largura da laje alveolar é de 1,25m. Sendo assim, realizados os cálculos de momento solicitante de cálculo (M_d) de todas as peças, considerando além do peso próprio, diferentes vãos e sobrecargas, utilizando a equação (1).

$$M_d = q \cdot l^2 / 8 \quad \text{Equação (1)}$$

A tabela expressa na figura 04 apresenta vãos e sobrecargas consideradas no dimensionamento, além dos respectivos valores de “ M_d ” obtidos.

Figura 04: Momentos solicitantes de cálculo na laje de duplo “T”

VÃO(m)	Md (kgf.m)			
	SC(kgf/m²)			
	200	300	400	500
5	4197	4744	5291	5838
6	6044	6832	7619	8407
7	8227	9299	10370	11442
8	10745	12145	13545	14945
9	13599	15371	17143	18915
10	16789	18977	21164	23352

Fonte: Do autor, 2016.

Com os resultados de momento solicitante, foi determinada a posição da linha neutra (x) equação (2). Em seguida, calculou-se os valores da Área de Aço (A_s) equação (3), necessária para combate a flexão.

$$x = 1,25 d \left(1 - \sqrt{1 - \frac{M_d}{0,425 \cdot b_w \cdot d^2 f_{cd}}} \right)$$

Equação (2)

d – distância entre o centro de gravidade da armadura longitudinal até a fibra mais comprimida do concreto.

M_d – Momento solicitante de cálculo

b_w – largura da base da viga

f_{cd} – Resistência do concreto

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd}(d - 0,4x)}$$

Equação (3)

f_{yd} – Resistência do aço

Para a armadura de compressão foi adotado uma tela soldada Q92(conforme tabela Gerdau).

Para o cálculo dos deslocamentos foram utilizadas as equações (4), (5), (6), (7) e (8).

Deslocamento imediato

$$a_{t,0} = \frac{\alpha_c \cdot p \cdot \ell^4}{(E \cdot I)_{eq}}$$

Equação (4)

Onde:

P – carga definida por certa combinação (por exemplo, frequente);

ℓ – vão da viga;

(E.I)_{eq} – rigidez equivalente no estagio 2;

α_c – coeficiente que depende da condição estática do sistema considerado (simplesmente apoiado, contínuo) e do tipo de ações atuantes; é encontrado em livros de resistência dos materiais e de teoria das estruturas; no caso de vigas simplesmente apoiadas e carga uniformemente distribuída, α_c = (5/384).

Deslocamento diferido no tempo

$$a_{t,\infty} = a_{t,0} \cdot (1 + \alpha_f)$$

Equação (5)

Onde,

$$\alpha_f = \frac{\Delta \xi}{1 + 50 \cdot \rho'}$$

Equação (6)

$$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d}$$

Equação (7)

A'_s – área da armadura de compressão no trecho considerado;

b – Base da viga.

ξ – coeficiente função do tempo, sendo $\Delta \xi = \xi(t) - \xi(t)_0$;

$$\xi(t) = \begin{cases} 0,68 \cdot 0,996^t \cdot t^{0,32} & \text{para } t \leq 70 \text{ meses} \\ 2 & \text{para } t \geq 70 \text{ meses} \end{cases}$$

t – tempo, em meses, quando se deseja o valor da flecha diferida;

t_0 – idade, em meses, relativa à data de aplicação da carga de longa duração;

Deslocamento total

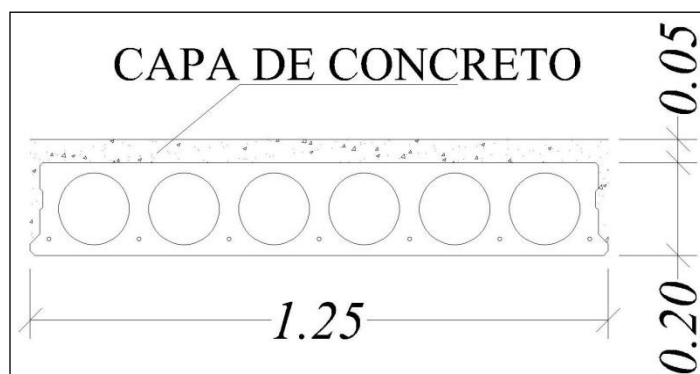
$$a_{\text{total}} = a_{t,\infty} + a_{t,0}$$

Equação (8)

2.2. CALCULO DA LAJE ALVEOLAR

A figura 05 ilustra a seção transversal da laje alveolar de 20cm utilizada nesse trabalho.

Figura 05: Laje alveolar de 20cm.



Fonte: Do autor, 2016.

De maneira análoga à laje anterior, foram realizados os cálculos de momento solicitante de cálculo (M_d) de todas as peças, considerando além do peso próprio, diferentes vãos e sobrecargas, valores representados na figura 06.

Figura 06: Momentos solicitantes (M_d) na laje alveolar

M_d (kgf.m)				
VÃO(m)	SC(kgf/m²)			
	200	300	400	500
5	3767	4314	4861	5408
6	5425	6212	7000	7787
7	7384	8455	9527	10599
8	9644	11044	12444	13844
9	12205	13977	15749	17521
10	15068	17256	19448	21631

Fonte: Do autor, 2016.

Em seguida, com os resultados dos momentos fletores, foram obtidos os valores de área de protensão (A_p) equação (9). Observa-se que esse processo utiliza armadura ativa, ou seja, cordoalhas protendidas e, neste caso, calculou-se apenas armaduras longitudinais inferiores.

$$A_p = \frac{M_d}{(1 - 0,4 \cdot \frac{x}{d}) \cdot \sigma_{pi}} \quad \text{Equação (9)}$$

M_d – Momento solicitante de cálculo

d – distância entre o centro de gravidade da armadura longitudinal até a fibra mais comprimida do concreto.

x – Posição da linha neutra

M_d – Momento solicitante de cálculo

σ_{pi} – Tensão de pré-tração

Deslocamento imediato

$$a_{t,0} = (a_p + a_1) \cdot (1 + \varphi_{(1,\infty)}) \quad \text{Equação (10)}$$

$$a_p = \frac{M_p \cdot l^2}{8 \cdot E \cdot I} \quad \text{Equação (11)}$$

φ – coeficiente de fluência

Deslocamento diferido no tempo

$$a_{t,\infty} = a_{g2} \cdot (1 + \varphi_{(15,\infty)}) + a_{g3} \cdot (1 + \varphi_{(45,\infty)}) + a_{0,4q} \cdot (1 + \varphi_{(60,\infty)}) + a_{\Delta p} \cdot \left(1 + \frac{\varphi_{(15,\infty)}}{2}\right) \quad \text{Equação (12)}$$

Deslocamento total

$$a_{\text{total}} = a_{t,\infty} + a_{t,0} \quad \text{Equação (13)}$$

Na sequência, foram determinados os valores de deslocamentos imediatos, considerando as ações do peso próprio da peça e tração das cordoalhas de protensão, nos deslocamentos diferidos no tempo para este artefato foram consideradas as perdas de protensão, ou seja, retração do concreto, fluência do concreto e relaxação da armadura de protensão e também as sobrecargas e carga de revestimento, esses valores são provenientes da planilha computacional disponibilizada por uma empresa de pré-moldados da região de Criciúma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As armaduras passivas das lajes duplo “T” e ativas das alveolares estão indicadas respectivamente nas figuras 07 e 08.

Figura 07: Área de Aço "As" adotado para laje de duplo "T"

"As" adot. (cm²)				
VÃO(m)	SC(kgf/m²)			
	200	300	400	500
5	3,14	3,14	3,68	4,02
6	4,02	4,91	4,91	6,28
7	6,03	6,03	7,07	8,04
8	7,07	8,04	8,04	8,74
9	8,04	8,74	9,82	11,04
10	9,82	11,04	12,57	14,73

Fonte: Do autor, 2016.

Figura 08: Armadura "Ap" adotado na laje alveolar

"Ap" adot. (cm²)				
VÃO(m)	SC(kgf/m²)			
	200	300	400	500
5	1,64	1,64	1,64	2,19
6	2,19	2,19	2,74	2,74
7	2,74	2,74	3,29	3,84
8	3,29	3,84	4,94	4,94
9	3,95	4,94	5,92	5,92
10	5,60	5,92	6,91	7,32

Fonte: Do autor, 2016.

Os valores de "As" das lajes duplo "T" grifados foram calculados considerando uma viga "T" com a linha neutra na nervura. Os outros cálculos foram realizados de acordo com uma viga retangular com $b_w = b_f$, pois, a linha neutra se manteve na mesa.

3.1. DESLOCAMENTOS IMEDIATOS

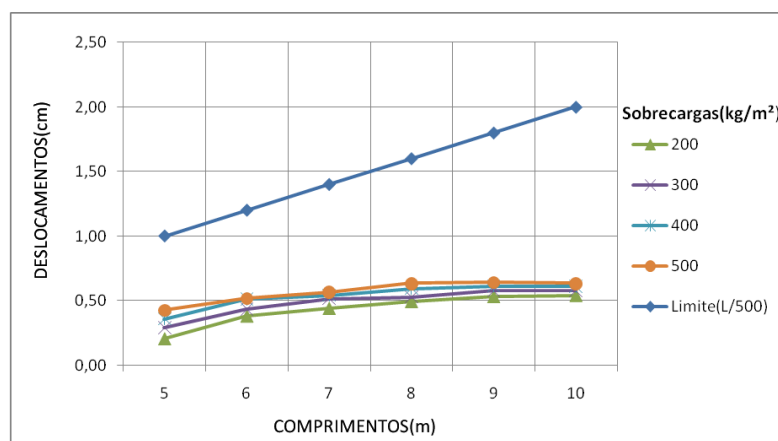
Os deslocamentos imediatos são, todas as deformações que ocorrem até o momento da montagem da peça na obra, deste momento em diante, passa a ocorrer as deformações diferidas no tempo. Nas figuras 09 e 10 estão listados os resultados obtidos para os deslocamentos imediatos nas lajes duplo "T". Pode-se observar que todos os valores ficaram abaixo do limite prescrito pela NBR 9062/2006 que indica $L/500$ para flecha inicial positiva (a_0).

Figura 09: Valores dos deslocamento imediato nas lajes de duplo “T”

DESLOCAMENTO IMEDIATO					
VÃO(m)	Deslocamento de Calculo (cm)				Desl. Limite (cm)
	SC(kgf/m ²)				Limite(L/500)
200	300	400	500		
5	0,21	0,29	0,36	0,43	1,00
6	0,38	0,43	0,51	0,52	1,20
7	0,44	0,52	0,54	0,57	1,40
8	0,49	0,53	0,60	0,63	1,60
9	0,53	0,58	0,61	0,64	1,80
10	0,54	0,58	0,61	0,63	2,00

Fonte: Do autor, 2016.

Figura 10: Deslocamentos imediatos lajes duplo “T” comparados ao limite (L/500)



Fonte: Do autor, 2016.

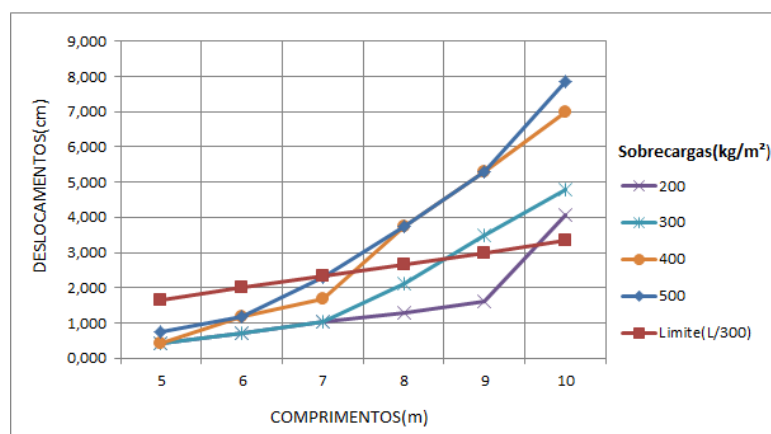
No caso da laje alveolar, os valores de deslocamentos imediatos tornaram negativos, devido ao esforço das cordoalhas de protensão e, quanto mais armadura inferior ativa for adicionada para combater a flexão, mais aumenta a contra-flecha da peça, chegando a pontos onde inviabiliza a sua utilização. Na figura 11 estão representados os valores dos deslocamentos imediatos, sendo que, os valores grifados de deslocamentos superaram o limite descrito na NBR 9062/2006 que é de L/300 para contra-flecha inicial (Ial), e na figura 12 os resultados são ilustrados por meio de gráfico.

Figura 11: Deslocamentos imediatos laje alveolares

DESLOCAMENTOS IMEDIATOS					
	Deslocamento de Calculo (cm)				Desl. Limite (cm)
	SC(kgf/m²)				
VÃO(m)	200	300	400	500	Limite(L/300)
5	-0,427	-0,427	-0,427	-0,759	-1,67
6	-0,723	-0,723	-1,196	-1,196	-2,00
7	-1,035	-1,035	-1,673	-2,303	-2,33
8	-1,293	-2,119	-3,744	-3,744	-2,67
9	-1,619	-3,471	-5,280	-5,280	-3,00
10	-4.054	-4,780	-6.973	-7,870	-3.33

Fonte: Do autor, 2016.

Figura 12: Deslocamentos Imediatos nas lajes alveolares comparados ao limite (L/300)



Fonte: Do autor, 2016.

3.2. DESLOCAMENTOS DIFERIDOS NO TEMPO

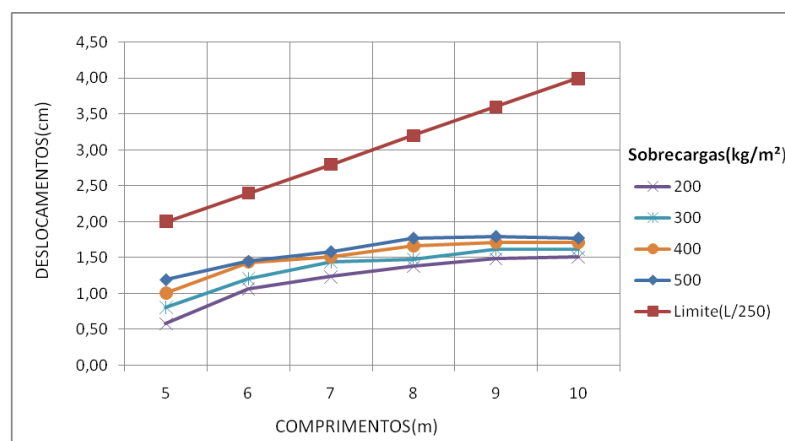
Os deslocamentos diferidos no tempo são, valores que ocorrem a partir da montagem da peça de concreto no local da obra, considerando um tempo maior que 70 meses. Analisando as Figura 13 e 14, verifica-se que nenhuma das combinações superou o limite prescrito pela NBR 9062/2006, portanto qualquer uma das convenções pode ser utilizada.

Figura 13: Valores dos deslocamento diferidos no tempo nas lajes de duplo “T”

DESLOCAMENTO DIFERIDO NO TEMPO					
	Deslocamento de Calculo (cm)				Desl.
	SC(kgf/m²)				Limite (cm)
VÃO(m)	200	300	400	500	Limite(L/250)
5	0,58	0,81	1,00	1,20	2,00
6	1,07	1,21	1,43	1,45	2,40
7	1,23	1,44	1,51	1,58	2,80
8	1,38	1,48	1,66	1,77	3,20
9	1,49	1,62	1,71	1,79	3,60
10	1,51	1,62	1,71	1,77	4,00

Fonte: Do autor, 2016.

Figura 14: Gráfico de deslocamentos diferidos no tempo na laje de duplo “T”



Fonte: Do autor, 2016.

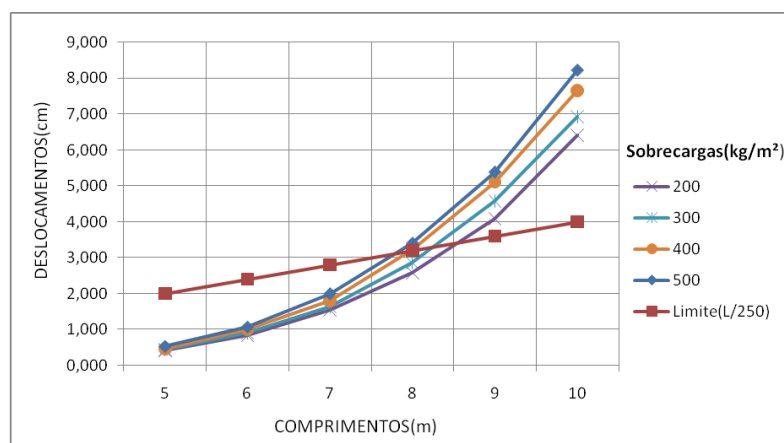
Já para as lajes alveolares, considerando os carregamentos e perdas de protensão, obtêm-se valores positivos expressos nas figuras 15 e 16, que comparados com os valores limites L/250. Assim como no artefato anterior, para limites de variações em módulo, os carregamentos grifados são valores que excederam o limite.

Figura 15: Valores dos deslocamentos diferidos no tempo nas lajes alveolares

DESLOCAMENTOS DIFERIDOS NO TEMPO					
	Deslocamento de Calculo (cm)				Desl. Limite (cm)
	SC(kgf/m²)				
VÃO(m)	200	300	400	500	Limite(L/250)
5	0,415	0,443	0,471	0,530	2,00
6	0,848	0,906	1,010	1,067	2,40
7	1,544	1,650	1,821	1,998	2,80
8	2,585	2,853	3,232	3,407	3,20
9	4,086	4,584	5,111	5,388	3,60
10	6,408	6,928	7,667	8,225	4,00

Fonte: Do autor, 2016.

Figura 16: Deslocamentos diferidos no tempo nas lajes alveolares



Fonte: Do autor, 2016.

3.3. DESLOCAMENTOS TOTAIS

Os deslocamentos totais consistem, na somatória dos valores dos deslocamentos imediatos com os diferidos no tempo.

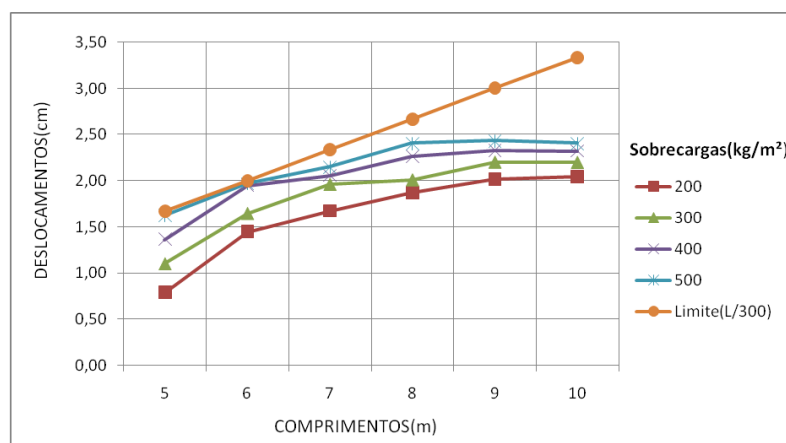
Na laje de duplo "T", pode-se observar que nenhum dos elementos estudados nesse trabalho supera os limites da NBR 9062/2006 que é de L/300 para flecha diferida no tempo, sendo assim, é possível a utilização em qualquer situação de vão e carregamento. Os resultados obtidos podem ser visualizados nas figuras 17 e 18.

Figura 17: Valores dos deslocamentos totais nas lajes de duplo "T"

DESLOCAMENTO TOTAIS (IMEDIATO+FLUENCIA)					
	Deslocamento de Calculo (cm)				Desl.
	SC(kgf/m²)				Limite (cm)
VÃO(m)	200	300	400	500	Limite(L/300)
5	0,79	1,10	1,36	1,62	1,67
6	1,45	1,65	1,95	1,97	2,00
7	1,67	1,96	2,06	2,15	2,33
8	1,87	2,01	2,26	2,40	2,67
9	2,02	2,20	2,33	2,44	3,00
10	2,05	2,20	2,32	2,41	3,33

Fonte: Do autor, 2016.

Figura 18: Deslocamentos totais nas lajes de duplo "T"



Fonte: Do autor, 2016.

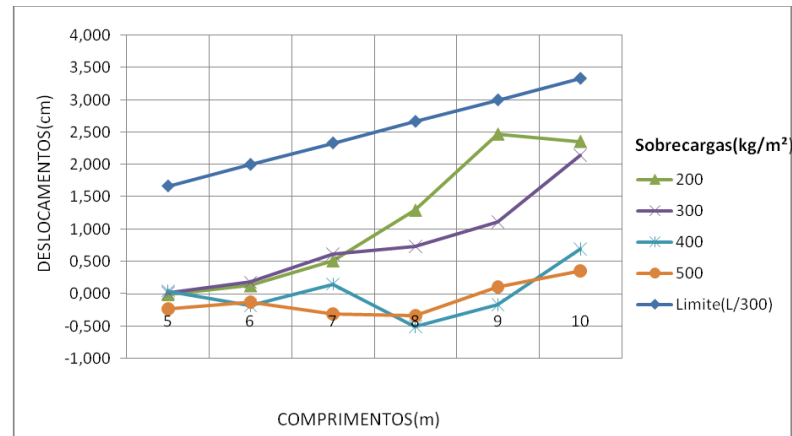
Por fim, os deslocamentos totais das lajes alveolares, apresentados nas figuras 19 e 20 com todos os valores dentro do limite de L/300.

Figura 19: Valores dos deslocamento totais nas lajes alveolares

DESLOCAMENTOS TOTAIS (IMEDIATO+FLUENCIA)					
	Deslocamento de Calculo (cm)				Desl. Limite (cm)
	SC(kgf/m²)				
VÃO(m)	200	300	400	500	Limite(L/300)
5	-0,012	0,016	0,044	-0,229	1,67
6	0,125	0,183	-0,186	-0,129	2,00
7	0,509	0,615	0,148	-0,305	2,33
8	1,292	0,734	-0,512	-0,337	2,67
9	2,467	1,113	-0,169	0,108	3,00
10	2.354	2.148	0.694	0.355	3.33

Fonte: Do autor, 2016.

Figura 20: Deslocamentos totais nas lajes alveolares (Limite $L/300$)



Fonte: Do autor, 2016.

Os valores muito irregulares se dão por conta das diversas variáveis que influenciam nos deslocamentos diferidos no tempo e também por serem adotadas bitolas usuais de mercado para as cordoalhas de protensão.

4. CONCLUSÃO

- Na laje duplo "T" de 50 cm, os resultados em todas as combinações de vãos e sobrecargas apresentaram deslocamentos imediatos, diferidos no tempo e totais dentro dos limites determinados pela NBR 9062/2006, sendo assim, possível de ser utilizado em qualquer das situações estudadas nesse trabalho.
- Para a laje alveolar de 20 cm, observa-se que, por utilizar armadura ativa, os valores de contra-flecha ultrapassam os limites prescritos na NBR 9062/2006, com mais amplitude nos deslocamentos diferidos no tempo, tornando inviável a utilização deste elemento para determinados arranjos como mostrado na figura 21.
- Com os resultados obtidos e, considerando que o custo de produção das lajes alveolares são mais baixos que os da laje duplo "T", embora esse fator não seja objeto de estudo desse trabalho, foi elaborada a tabela da figura 21 indicando a tipologia de laje mais indicada para cada vão e sobrecarga adotado.

Figura 21: Tipologia de laje mais indicada para diferentes vãos e sobrecargas

VÃO(m)	SC(kgf/m²)			
	200	300	400	500
5	ALVEOLAR 20cm	ALVEOLAR 20cm	ALVEOLAR 20cm	ALVEOLAR 20cm
6	ALVEOLAR 20cm	ALVEOLAR 20cm	ALVEOLAR 20cm	ALVEOLAR 20cm
7	ALVEOLAR 20cm	ALVEOLAR 20cm	ALVEOLAR 20cm	ALVEOLAR 20cm
8	ALVEOLAR 20cm	ALVEOLAR 20cm	DUPLO "T" 50cm	DUPLO "T" 50cm
9	DUPLO "T" 50cm	DUPLO "T" 50cm	DUPLO "T" 50cm	DUPLO "T" 50cm
10	DUPLO "T" 50cm	DUPLO "T" 50cm	DUPLO "T" 50cm	DUPLO "T" 50cm

Fonte: do autor, 2016.

5. REFERENCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14861: Lajes Alveolares Pré-moldadas de Concreto Protendido – Requisitos e Procedimento**. Rio de Janeiro, 2011.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto**: segundo a NBR 6118:2014. 4ed. São Carlos, SP: EDUFSCAR, 2014. 416p.

CARVALHO, Roberto Chust; **Estruturas em concreto protendido – pré-tração, pós-tração, calculo e detalhamento**. São Paulo: PINI, 2012. 431p.

MELO, C. E. E. **Manual Munte de Projetos em Pré-Fabricados de Concreto**. 2a ed. São Paulo: PINI, 2006. 540 p.

PETRUCELLI, Natalia Savietto. **Considerações sobre projeto e fabricação de lajes alveolares protendidas**: São Carlos, SP, 2009. 106p.