

Influência da Protensão nos Pilares

Introdução

Este texto destina-se àqueles que, experientes no projeto de lajes cogumelo em concreto armado, estão nos primeiros projetos de lajes cogumelo protendidas para edifícios e carregam sobre si a pressão, normal no mercado, de ter um prazo exíguo para a entrega do mesmo e ainda menor para liberar as cargas nas fundações. Os primeiros projetos com qualquer novo material normalmente são lentos, devido à insegurança do projetista em realizar as definições necessárias pela falta de experiência no assunto, o que consome, normalmente, a análise de várias e várias hipóteses, testes, soluções, etc. A primeira vez que este projetista trabalhou com este tipo de material, em 1998, consumiu 04 meses de trabalho em uma obra de apenas 2.000 m², com 03 pavimentos e lajes cogumelo maciças protendidas.

Nesta época, foi grande a dúvida em relação à oportunidade da entrega antecipada da planta de locação e cargas, como é praxe, porque não se tinha certeza das alterações que a protensão acarretaria na distribuição das cargas entre os pilares da obra nem da ordem de grandeza dessas mudanças. As quantidades, posicionamento e traçado dos cabos estavam sendo lançados, testados, conferidos à mão livre tanto quanto possível (o software é ótimo mas a responsabilidade do projeto é nossa) e ainda não se sabia se a forma final seria muito diferente destes estudos ou não.

Este trabalho pretende fornecer alguns elementos para que o projetista possa julgar por si se deve fornecer plantas com as cargas dos pilares antes do término das análises e, conseqüentemente, a completa definição da protensão, ou não; lembrando sempre que, caso sejam fornecidas as cargas em questão, elas serão preliminares, servindo para orçamentos, análises, estudo de fundações etc, mas nunca liberadas para execução, pois ainda devem ser validadas após o término do projeto, quando então tornar-se-ão executivas.

Resulta este texto das análises dos processamentos finais dos projetos das várias obras deste tipo já elaborados por este projetista, objetivando responder à seguinte pergunta: Qual a diferença, nas reações de apoio dos pilares de uma laje cogumelo, maciça ou nervurada, discretizada em grelha, após a definição e aplicação da protensão em relação ao processamento sem a mesma?

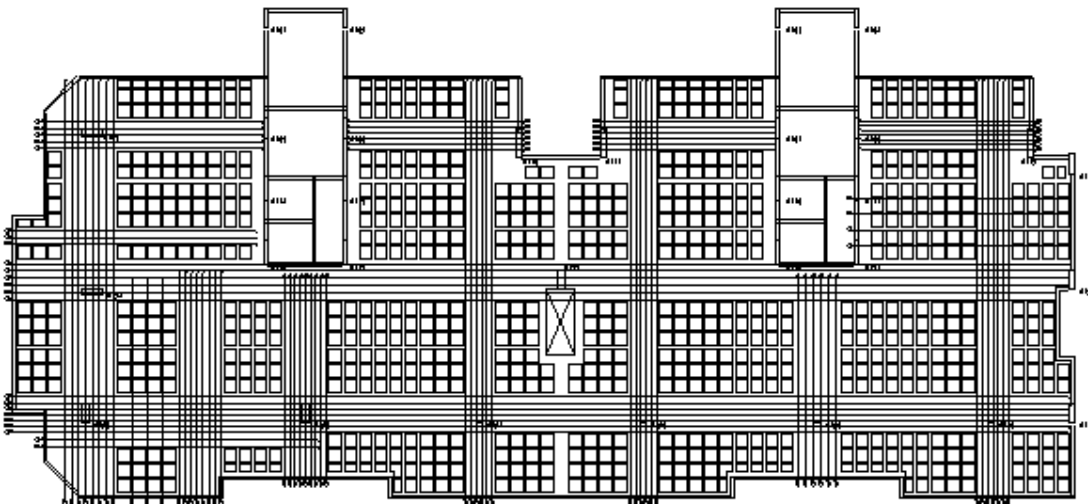
Metodologia

Foram escolhidas algumas obras para análise, a maioria em lajes cogumelo nervuradas, onde se aplicou a protensão com cordoalhas engraxadas. Utilizaram-se os sistemas TQS para análise do pavimento, discretizado em grelha, e foram comparadas as reações de apoio finais dos casos com e sem protensão, obviamente, com o mesmo carregamento - casos padrões 1 (Carga total sem protensão) e 15 (Carga total mais os efeitos da protensão) no programa de Lajes Protendidas. Foram escolhidas 04 obras para serem aqui apresentadas.

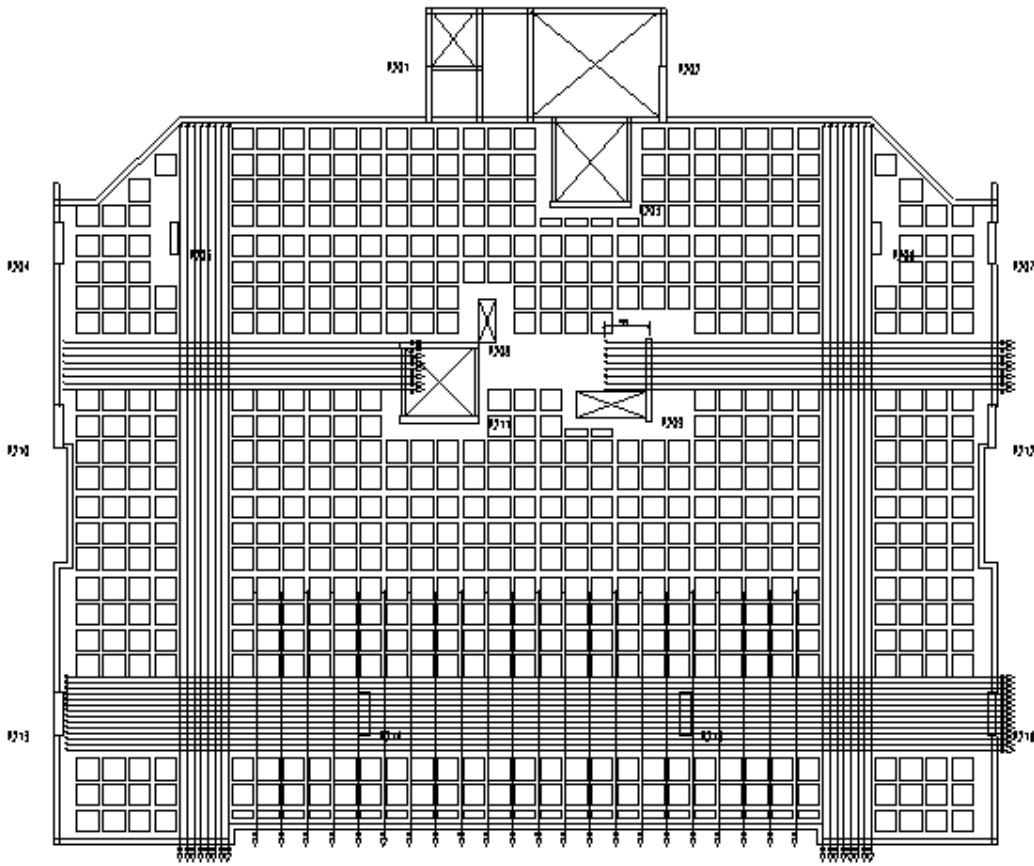
Resultados

Apresentam-se abaixo 04 plantas de formas, esquemáticas, apenas para posicionar os pilares e mostrar a localização dos cabos protendidos. Cada uma delas vem acompanhada de uma planilha indicando as reações nos pilares antes e após a protensão, bem como a variação percentual entre elas, tomando-se por base a laje ainda não protendida.

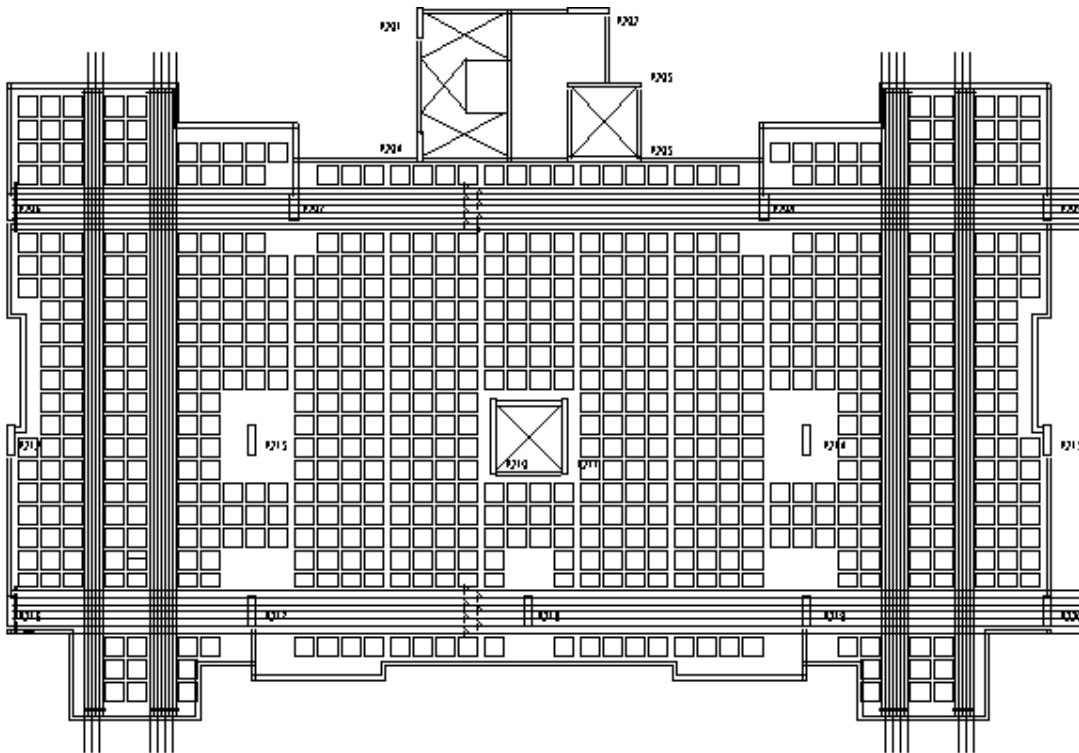
Distribuição dos Cabos - Esquemático - OBRA 1:



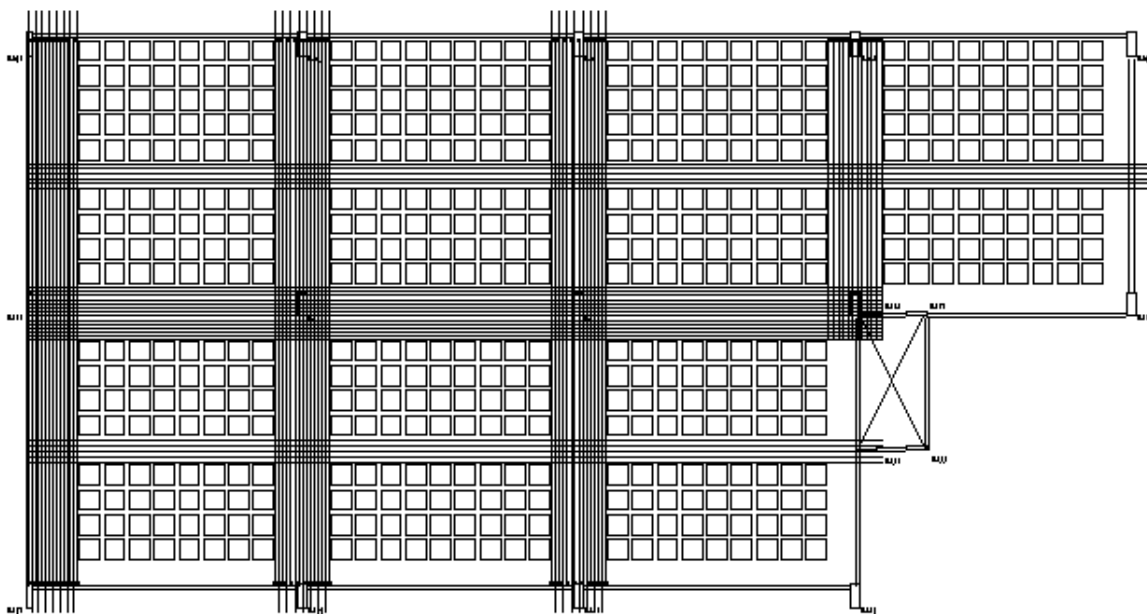
Distribuição dos Cabos - Esquemático - OBRA 2:



Distribuição dos Cabos - Esquemático - OBRA 3:



Distribuição dos Cabos - Esquemático - OBRA 4:



Planilha Resumo:

| OBRA 1 - SQSW 306 | | | | OBRA 2 - SQN 310 | | | | OBRA 3 - SQS 310 | | | | OBRA 4 - CAMARA | | | |
|-------------------|-------|--------|--------|------------------|-------|--------|--------|------------------|-------|--------|--------|-----------------|-------|--------|-------|
| | Caso1 | Caso15 | | | Caso1 | Caso15 | | | Caso1 | Caso15 | | | Caso1 | Caso15 | |
| Pilar | Carga | Carga | Dif | Pilar | Carga | Carga | Dif | Pilar | Carga | Carga | Dif | Pilar | Carga | Carga | Dif |
| | t | t | | | t | t | | | t | t | | | t | t | |
| P101 | 4,7 | 4,5 | -4,3% | P201 | 24,1 | 24,1 | 0,0% | P201 | 3,4 | 3,4 | 0,0% | P401 | 36,0 | 34,0 | -5,3% |
| P102 | 4,9 | 4,6 | -6,1% | P202 | 14,3 | 14,5 | 1,4% | P202 | 7,9 | 7,3 | -7,6% | P402 | 70,0 | 70,0 | -0,9% |
| P103 | 4,9 | 4,6 | -6,1% | P203 | 13,4 | 12,8 | -4,5% | P203 | -4 | -2,8 | 30,0% | P403 | 58,0 | 58,0 | -0,2% |
| P104 | 4,9 | 4,6 | -6,1% | P204 | 4,7 | 5,2 | 10,6% | P204 | 9,5 | 7,9 | -16,8% | P404 | 73,0 | 73,0 | -0,1% |
| P105 | 20,3 | 21,4 | 5,4% | P205 | 29,4 | 30 | 2,0% | P205 | 30,6 | 25,3 | -17,3% | P405 | 40,0 | 40,0 | 0,0% |
| P106 | 22,7 | 24,6 | 8,4% | P206 | 27 | 27,3 | 1,1% | P206 | 29,5 | 29 | -1,7% | P411 | 85,0 | 87,0 | 1,9% |
| P107 | 22,4 | 24,4 | 8,9% | P207 | 5,3 | 5,6 | 5,7% | P207 | 45,8 | 54,8 | 19,7% | P412 | 168,0 | 168,0 | 0,4% |
| P108 | 23,5 | 24,9 | 6,0% | P208 | 23,4 | 25,7 | 9,8% | P208 | 45 | 55,3 | 22,9% | P413 | 153,0 | 157,0 | 2,5% |
| P109 | 41,7 | 41,6 | -0,2% | P209 | 4,4 | 10,1 | 129,5% | P209 | 29,6 | 30,8 | 4,1% | P414 | 82,0 | 79,0 | -3,3% |
| P110 | 34,2 | 35,3 | 3,2% | P210 | 16,7 | 16 | -4,2% | P210 | 21,5 | 20,2 | -6,0% | P415 | 32,0 | 32,0 | 1,3% |
| P111 | 33,9 | 35,1 | 3,5% | P211 | 28,2 | 23,9 | -15,2% | P211 | 20,6 | 19,7 | -4,4% | P417 | 27,0 | 26,0 | -2,2% |
| P112 | 30,0 | 30,6 | 2,0% | P212 | 16,7 | 15,6 | -6,6% | P212 | 13,3 | 12 | -9,8% | P421 | 34,0 | 36,0 | 6,5% |
| P113 | 2,2 | 3,3 | 50,0% | P213 | 28,2 | 29,1 | 3,2% | P213 | 31,7 | 26,2 | -17,4% | P422 | 3,0 | 3,0 | 0,0% |
| P114 | 7,8 | 6,1 | -21,8% | P214 | 48,5 | 49,4 | 1,9% | P214 | 31,4 | 26,2 | -16,6% | P437 | 36,0 | 37,0 | 0,8% |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|--------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| P115 | 9,2 | 8,3 | -9,8% | P215 | 48,4 | 49,3 | 1,9% | P215 | 13,3 | 12,1 | -9,0% | P439 | 88,0 | 86,0 | -1,6% |
| P116 | 9,4 | 8,0 | -14,9% | P216 | 28,1 | 29,1 | 3,6% | P216 | 18,3 | 16,6 | -9,3% | P441 | 86,0 | 85,0 | -0,5% |
| P117 | 9,3 | 9,0 | -3,2% | | | | | P217 | 38,2 | 43,9 | 14,9% | P443 | 31,0 | 30,0 | -2,9% |
| P118 | 24,4 | 25,9 | 6,1% | P218 | 29,1 | 32,4 | 11,3% | | | | | | | | |
| P119 | 27,3 | 25,4 | -7,0% | P219 | 38,3 | 43,9 | 14,6% | | | | | | | | |
| P120 | 24,5 | 26,2 | 6,9% | P220 | 18,3 | 16,6 | -9,3% | | | | | | | | |
| P121 | 30,2 | 26,4 | -12,6% | | | | | | | | | | | | |
| P122 | 42,6 | 35,8 | -16,0% | | | | | | | | | | | | |
| P123 | 18,9 | 16,0 | -15,3% | | | | | | | | | | | | |
| P124 | 50,6 | 49,5 | -2,2% | | | | | | | | | | | | |
| P125 | 49,2 | 50,8 | 3,3% | | | | | | | | | | | | |
| P126 | 61,4 | 62,5 | 1,8% | | | | | | | | | | | | |
| P127 | 48,2 | 51,0 | 5,8% | | | | | | | | | | | | |
| P128 | 51,8 | 53,7 | 3,7% | | | | | | | | | | | | |
| P129 | 48,1 | 47,5 | -1,2% | | | | | | | | | | | | |
| P130 | 45,5 | 49,3 | 8,4% | | | | | | | | | | | | |
| P131 | 8,8 | 8,3 | -5,7% | | | | | | | | | | | | |
| SOMA | 818 | 819 | | SOMA | 361 | 368 | | SOMA | 471 | 481 | | SOMA | 1.102 | 1.101 | |

Análise

Quanto aos pavimentos apresentados, vale observar:

Obra 1 - Bastante protensão, utilizada para resolver flechas nos balanços e interiores à laje.

Obra 2 - Média protensão, principalmente para resolver as deformações do balanço inferior.

Obra 3 - Pouca protensão, com clara introdução de cargas concentradas nos vãos extremos das faixas protendidas longitudinais.

Obra 4 - Boa modularidade, com vãos em torno dos 10m.

A planilha resumo indica a reação vertical em cada pilar, para cada obra. Vale observar que este trabalho tem o foco nas reações e deseja equacionar variações de carga vertical; os pilares são submetidos tanto a seu carregamento vertical quanto à momentos fletores e a variação destes últimos depende de vários fatores de projeto, como por exemplo, da consideração ou não destes juntamente com a grelha (Apoios elásticos), da redução desejada em suas inércias (reductor de mola) etc. As variações nos momentos fletores, não apresentadas na planilha, poderiam variar bastante caso as hipóteses adotadas para análise fossem outras. Não é objetivo discutir as variações nestes momentos, por isto não foram incluídas na planilha resumo, o que poderá vir a ser feito em outra oportunidade, até por uma questão de espaço.

Verifica-se que as variações no carregamento vertical são, em geral, pequenas; tanto menores quanto mais uniforme for a distribuição de pilares nas duas direções (Vide obra n. 04). Para distribuições com vãos entre apoios muito diferentes, verifica-se que acontecem maiores variações naqueles pilares em que seus vãos contíguos são pequenos e, em seguida, acontecem vãos maiores que aliviam sua carga, como no pilar P113 da obra 1 - o que era de se esperar, pois a protensão em muito reduziu as deformações do vão que causava um maior alívio de carga no mesmo.

Vale observar que o carregamento total vertical se mantém praticamente inalterado (pequenas variações decorrem, com certeza, de aproximações no arredondamento das cargas em cada pilar), como não poderia deixar de ser, pois os carregamentos oriundos dos cabos protendidos são auto-equilibrados, não alterando o somatório total de cargas.

Conclusões

Entendendo como pouco representativa uma variação de cargas inferior a 10%, os números acima mostram a pequena influência da protensão nas cargas verticais dos pilares, tanto menor quanto mais uniforme for sua distribuição. Estes resultados estão de acordo com as informações obtidas com outros colegas, na época de nossos primeiros projetos protendidos. Embora os casos aqui apresentados sejam em pequeno número, essas conclusões baseiam-se em uma quantidade maior de pavimentos analisados, mas, obviamente, não devem ser tomadas como verdade mas sim, apenas como indicativos, na falta de melhores informações. Um maior número de situações deve ser avaliado, com maiores variações no arranjo estrutural, vãos e distribuição de cabos mas, para estruturas semelhantes às aqui avaliadas, entendemos:

Uma majoração de 5% a 10% das cargas nas fundações permitiriam ao projetista entregar a planta de locação e cargas ao cliente apenas com o processamento inicial da grelha, em estruturas com vãos semelhantes e distribuição de pilares aproximadamente uniforme.

Uma majoração de 5% a 20% nas cargas das fundações seriam razoáveis para estruturas com menos uniformidade de vãos. Nestas, deve-se observar pontos em que as faixas protendidas concentram cargas ou situações como a de P113 da Obra 1 - nestes locais podem ocorrer aumentos maiores. Nestas obras, será exigido do projetista maior cuidado e experiência ao analisar a estrutura objetivando a entrega antecipada das cargas. Obviamente que a responsabilidade de nossa profissão nos obriga a sempre verificar estas cargas quando da entrega definitiva do projeto e, se necessário, alterá-las, tornando executiva nossa planta de cargas. As alterações para maior, provavelmente serão em apenas alguns pilares e os novos valores, provavelmente, não alterarão o dimensionamento das fundações, o que, mesmo ocorrendo, por pequena, com certeza não terá influência significativa em seus custos.

Eng. civil Alexandre Domingues Campos,

www.adcprojetos.com.br