



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

## **A Eficiência da Utilização de Capiteis em Lajes Planas – Um estudo de caso**

**Alex Fonseca Vila Nova Junior <sup>1</sup>, Glauco José de Oliveira Rodrigues <sup>2</sup>, Danielle Malvaris Ribeiro <sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Veiga de Almeida / alexfonsecaeng@hotmail.com

<sup>2</sup> UERJ (FEN – Departamento de Estruturas e Fundações) - PUC-Rio (Departamento de Engenharia Civil e Ambiental) -  
Universidade Veiga de Almeida / glauco.grengenharia@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Veiga de Almeida / daniellemr.ieea@gmail.com

### **Resumo**

É comum a observação de efeito de punção de pilares em lajes planas (também chamadas lajes cogumelo) de edificações em concreto armado. Este efeito pode ser atenuado com a introdução de armadura de cisalhamento em lajes, engrossamento da espessura das lajes planas na região do perímetro ocupado pelo cone de punção (popularmente conhecida como capitel), ou até mesmo, em casos extremos, de ambos.

Os fatores mais comuns determinantes para sua ocorrência são, em termos gerais: a espessura da laje plana, a carga no pilar e a resistência característica à compressão do concreto ( $f_{ck}$ ) na idade de retirada de escoramentos (e formas), comumente aos 28 dias. É possível, portanto, mitigar os efeitos do punção, adotando-se valores ideais para tais fatores.

O presente trabalho tem por objetivo demonstrar, utilizando-se para isso um caso real de uma edificação a ser construída (com severa limitação arquitetônica de pé direito útil), os efeitos e vantagens da utilização da alternativa referente à inserção de capitéis na região dos pilares,

Para tais resultados do estudo, foram realizadas modelagem e análise estrutural nos *Software* CypeCAD e TQS e avaliados resultados de deslocamentos (flechas), bem como quantitativos de aço consumidos em ambos os modelos estruturais, comparando-os nas seguintes condições: com e sem os capiteis.

### **Palavras-chave**

Punção; Lajes Lisas; Capiteis, Punção, Edifícios em Concreto Armado.

## Introdução

Algum tempo atrás, os projetos eram integralmente feitos de forma manual, o que demandava muito tempo devido aos cálculos, análises e detalhamentos que deviam ser realizados.

Nos dias atuais com os avanços na construção civil, os projetos estão cada vez mais complexos e imponentes. Novas tecnologias vêm sendo de suma importância e, com a utilização de métodos matemáticos avançados em seus códigos fontes é possível mitigar tempo de elaboração de projeto e eventuais erros de cálculo. As diversas ferramentas computacionais existentes hoje no mercado, viabilizam a redução drástica de quantitativos, devido metodologias numéricas para análise estrutural utilizadas por tais ferramentas, que reproduzem com maior fidedignidade o comportamento da estrutura.

A elaboração de um projeto estrutural é sequenciada da seguinte forma: **Concepção estrutural**, que alinha o projeto estrutural às demandas arquitetônicas e metodologias construtivas; **Dimensionamento estrutural**, que depende das formulações numéricas e códigos normativos considerados pela ferramenta computacional adotada e; **Adequação das armaduras e detalhamento estrutural**, que compreende a etapa de personalização da disposição das mesmas pelo projetista, que adequa o cálculo exato proposto pela ferramenta computacional ao que possa ser de execução mais fácil.

## Caso de estudo

Trata-se um empreendimento imobiliário real e consiste em um edifício Multifamiliar com 4 pavimentos (térreo, dois pavimentos tipo mais pavimento de cobertura duplex) e pé-direito de 2,70 metros.

Devido à limitação referente ao baixo pé direito, devido ao gabarito vertical baixo imposto pelo plano de zoneamento na região de implantação, houve a necessidade de, durante a etapa de Concepção estrutural, adotar-se a solução estrutural em laje plana com capitéis, em todos os pavimentos pois, a utilização do modelo típico de lajes retangulares apoiadas em vigas (principalmente no interior da edificação), tornariam menor ainda o pé direito arquitetônico.

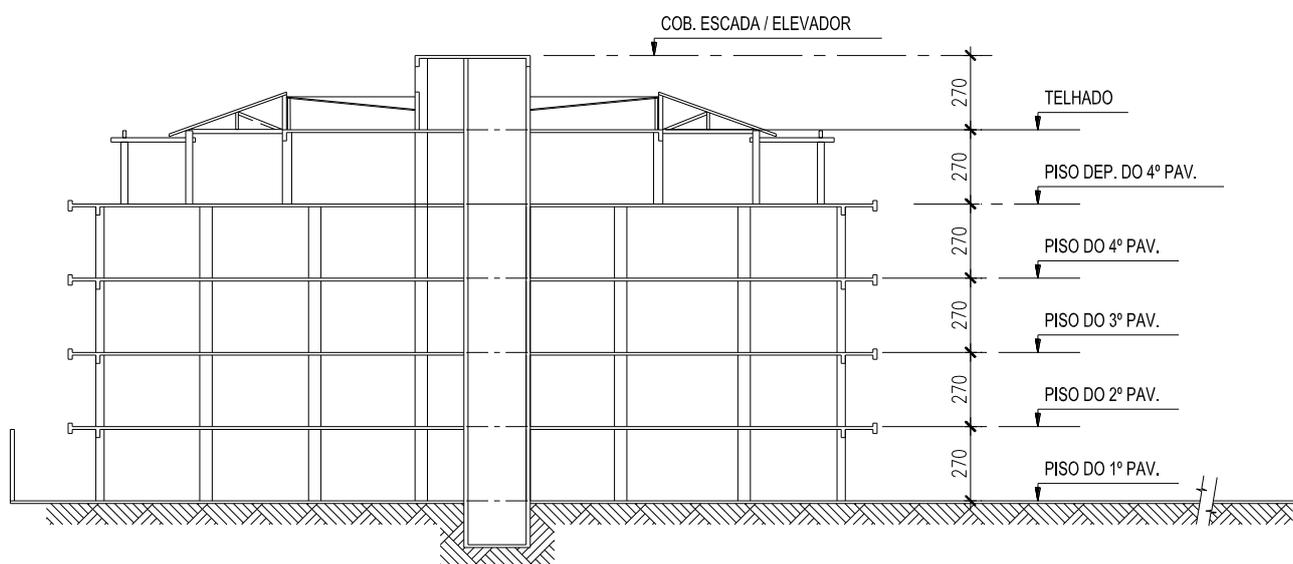


Figura 1 – Corte Esquemático



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

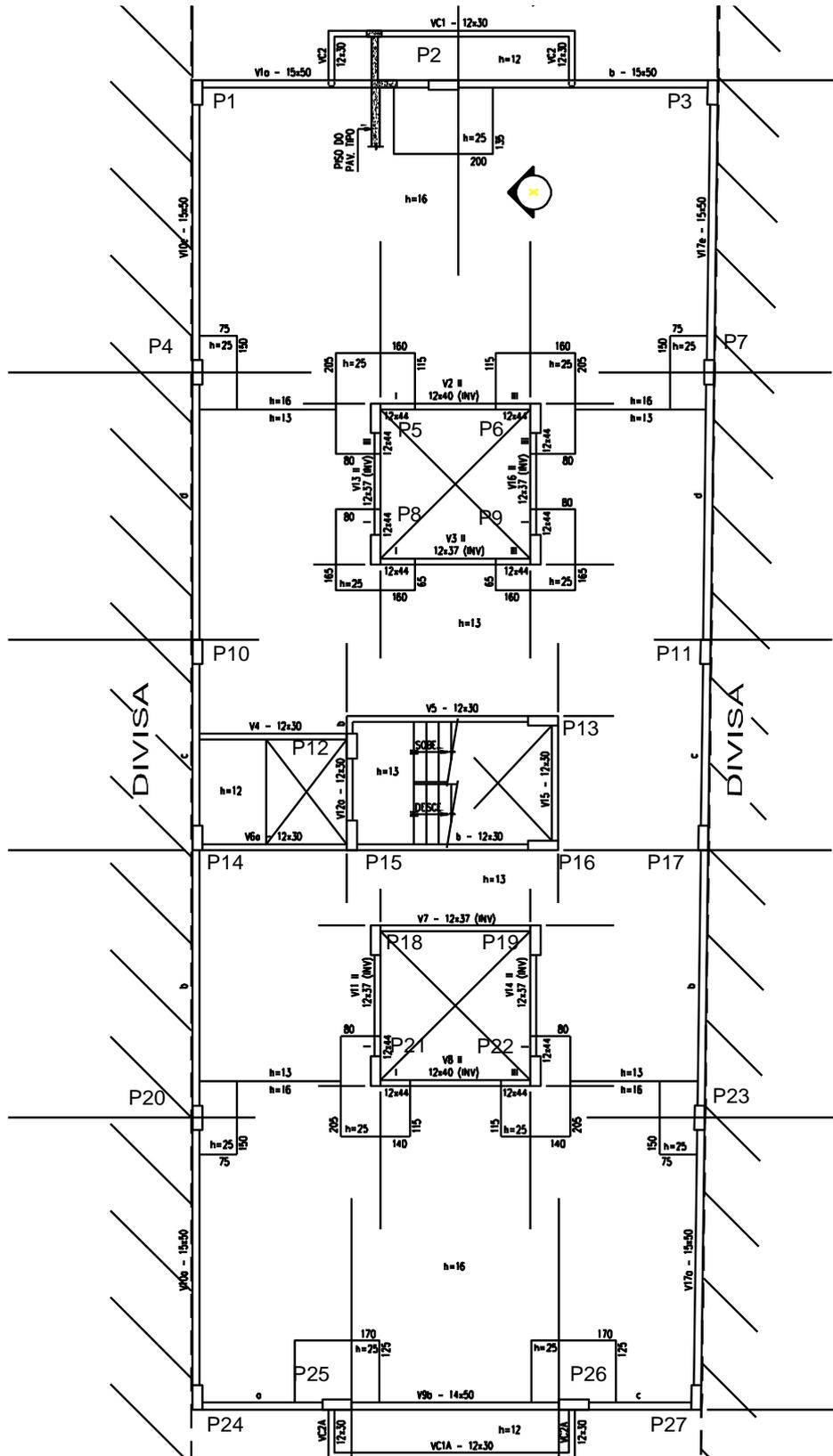


Figura 2 – Fôrma Piso do 2º PAV



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

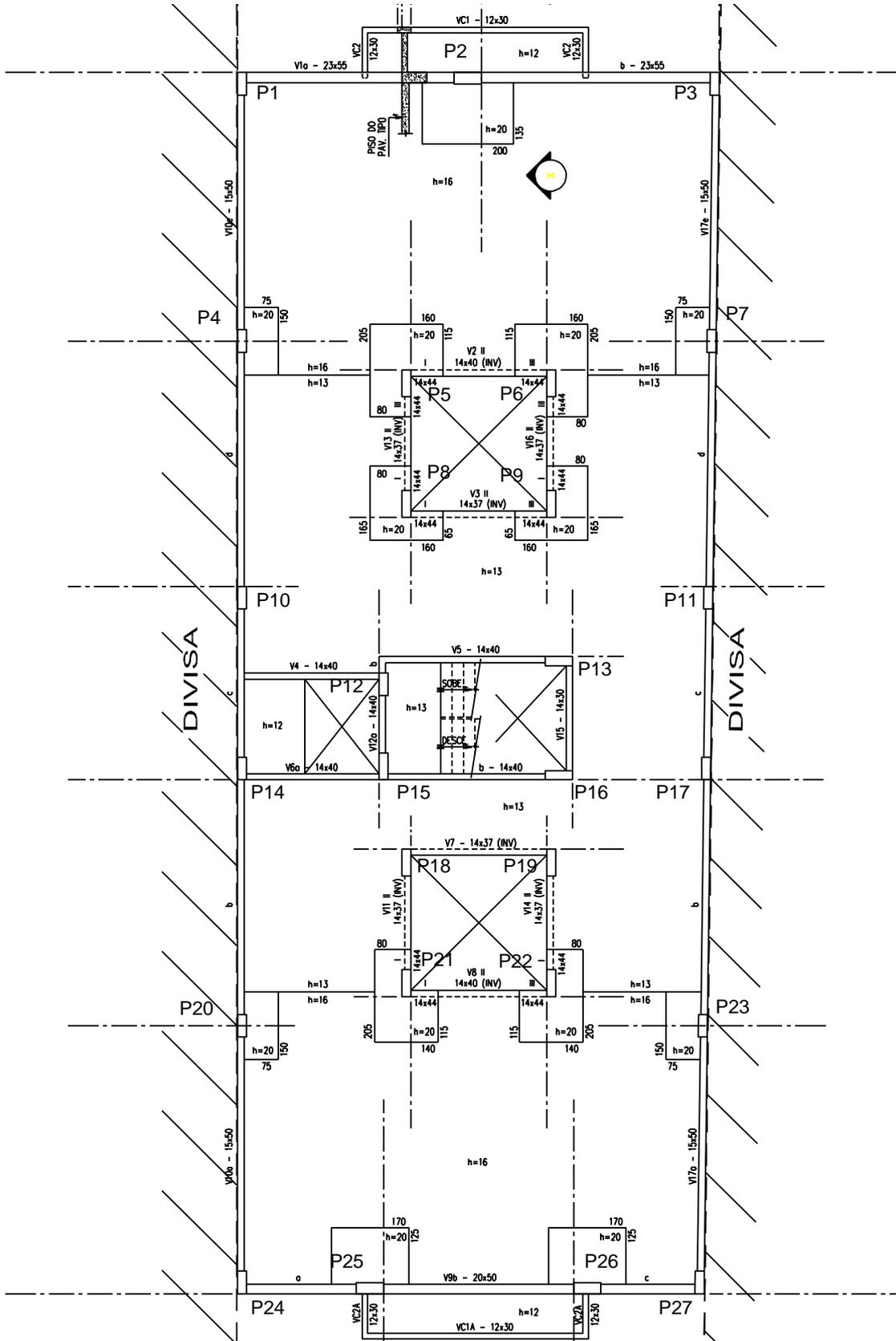
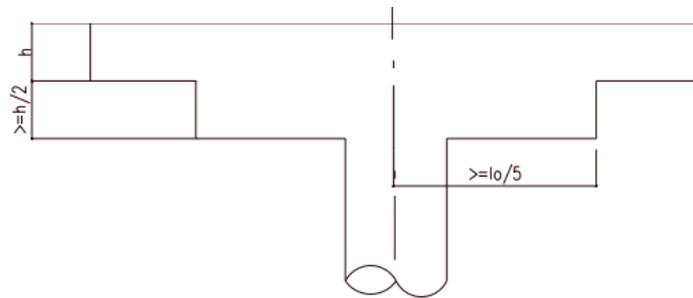


Figura 3 – Piso do 3º PAV

## Pré-dimensionamento das lajes planas e estudo comparativo entre ferramentas computacionais

Foi adotado o critério para determinação do pré-dimensionamento de capiteis conforme SOUZA, V.C.M & CUNHA A.J.P (Figura 4).

Neste critério, a área ocupada pelos capitéis deve estar contida em um perímetro em torno de cada pilar considerado, não menor a  $l_0/5$ , considerando-se que  $l_0$  corresponde à distância entre o pilar analisado e o pilar mais próximo em qualquer direção. A espessura adotada para o capitel, corresponde a uma fração da espessura da laje, ou seja  $1,5 \cdot h$ .



**Figura 4 – Critério de pré-dimensionamento de capiteis**

São objeto de estudo neste trabalho os seguintes pavimentos: Piso do 2º PAV e Piso do 3º PAV, e os capiteis foram lançados nas Lajes L1, L2 e L3.

A primeira análise, foi realizada a partir da modelagem estrutural em duas ferramentas computacionais (TQS V22 e CYPECAD 2021) e analisando seus resultados de deslocamentos das lajes e os comparando.

**Tabela 1 – Deslocamentos das Lajes – Piso do 2º PAV**

Lajes	TQS (mm)	CypeCAD (mm)	Diferença TQS x CypeCAD (%)	Flecha Limite (mm)
L1	29,9	21,86	37	26,4
L2	29,5	22,83	29	26,4
L3	6,68	5,85	14	14,72
L4	6,45	3,14	105	5,84
L5	7,58	4,04	88	5,44
L6	4,10	3,91	5	4,04
L7	3,15	5,05	38	4,04

Obs.: valores já acrescidos de efeitos devidos ao comportamento não linear das placas de concreto armado



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

**Tabela 2 – Deslocamentos das Lajes – Piso do 3º PAV**

Lajes	TQS (mm)	CypeCAD (mm)	Diferença TQS x CypeCAD (%)	Flecha Limite (mm)
L1	30,78	14,80	108	26,4
L2	29,53	15,80	87	26,4
L3	6,50	4,15	57	14,72
L4	6,60	3,27	102	5,84
L5	7,78	5,81	34	5,44
L6	4,35	1,81	140	4,04
L7	3,18	1,01	214	4,04

Obs.: valores já acrescidos de efeitos devidos ao comportamento não linear das placas de concreto armado

Conforme mostrado nas tabelas 1 e 2, o software CYPECAD, devido ao modelo matemático adotado para obtenção de deslocamentos em lajes, apresenta os valores mais fidedignos para lajes planas. Por este motivo, optou-se por considerá-los como parâmetro para as comparações que serão apresentadas no presente trabalho.

#### **Avaliação da redução de deslocamentos nas lajes planas com o uso dos capitéis**

As comparações de deslocamentos e a sua diminuição com o uso de capitéis aqui apresentadas, já consideram todas as adequações de armadura realizadas para a elaboração do projeto estrutural executivo.

**Tabela 3 – Deslocamentos das Lajes – Piso do 2º PAV (CypeCAD)**

Lajes	Sem Capitel (mm)	Com Capitel (mm)	Diferença Com x Sem (%)	Flecha Limite (mm)
L1	23,96	15,82	34	26,4
L2	24,32	16,3	33	26,4
L3	5,53	4,25	23	14,72
L4	2,04	2,03	0	5,84
L5	5,23	5,2	1	5,44
L6	0,3	0,3	0	4,04
L7	4,53	2,35	48	4,04

Obs.: valores já acrescidos de efeitos devidos ao comportamento não linear das placas de concreto armado

**Tabela 4 – Deslocamentos das Lajes – Piso do 3º PAV (CypeCAD)**

Lajes	Sem Capitel (mm)	Com Capitel (mm)	Diferença Com x Sem (%)	Flecha Limite (mm)
L1	23,93	15,61	35	26,4
L2	24,32	16,10	34	26,4
L3	5,9	4,6	22	14,72
L4	2,47	2,43	2	5,84
L5	5,67	5,72	1	5,44
L6	1,47	1,41	4	4,04
L7	4,00	1,74	57	4,04

Obs.: valores já acrescidos de efeitos devidos ao comportamento não linear das placas de concreto armado

### Isovalores de deslocamentos

O presente estudo considerou sete combinações de carregamentos, conforme prescrito pela NBR 6118:2014, realizadas de modo automático pela ferramenta computacional adotada. Entretanto, para efeito comparativo, serão plotados os isovalores da seguinte combinação em ELS:

- COMB 2: PP + CP + CP1 + CP2 + 0,3Qa + 0,3SCU1 + 0,3SCU2.

A hipótese PP é referente ao peso próprio da estrutura, no qual o software calcula automaticamente.

CP é a carga permanente inicialmente indicada ao criar o projeto, na qual contempla o peso de revestimentos estimados em 1 kN/m<sup>2</sup>.

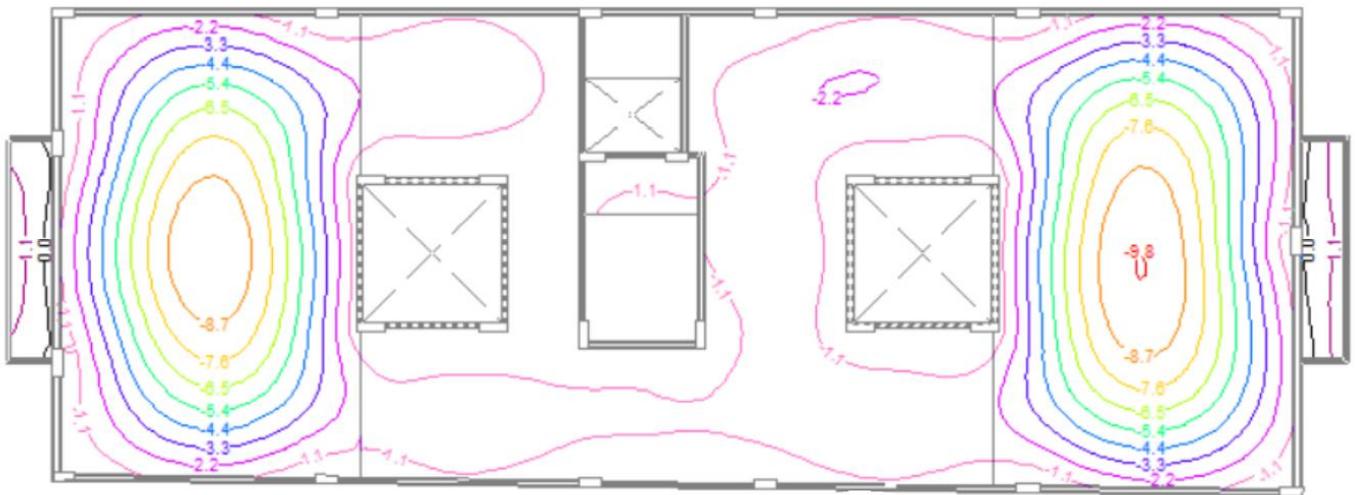
Qa é a carga acidental seguindo as prescrições da NBR 6120:2019, foram considerados 1,5 kN/m<sup>2</sup>.

As hipóteses de CP1, CP2, SCU1 e SCU2, tem maiores relevâncias quando analisados no Piso DEP. do 4º PAV, pois são as cargas que foram aplicadas na cobertura de madeira.

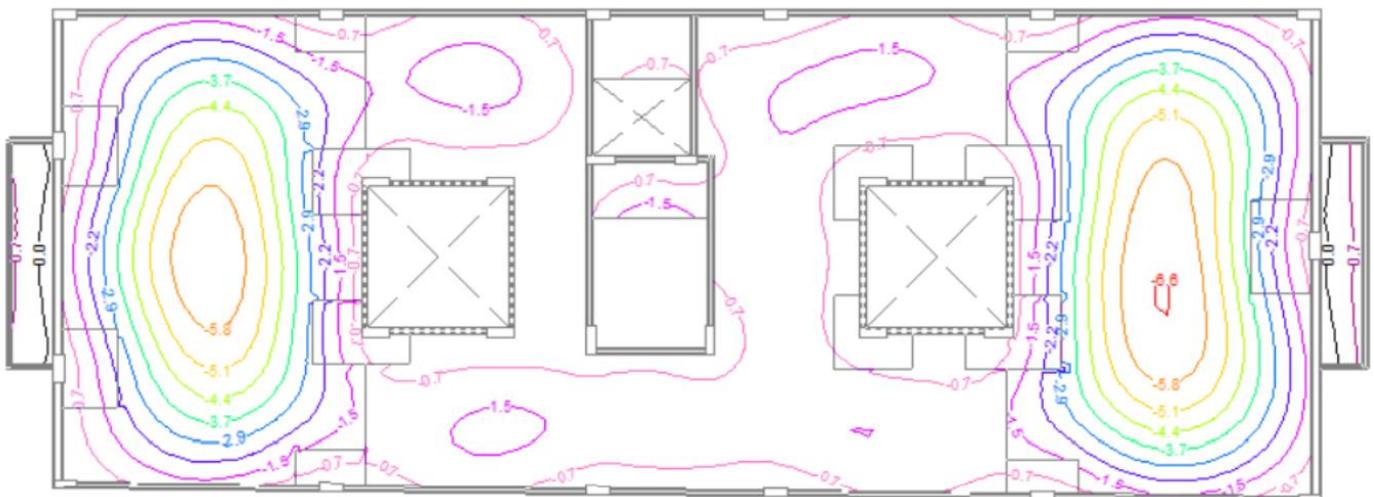
Os isovalores ora apresentados, não consideram efeitos devidos ao comportamento não linear das placas em concreto armado, que são comuns à ambas as situações consideradas, quais sejam: Com ou sem os capitéis.



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



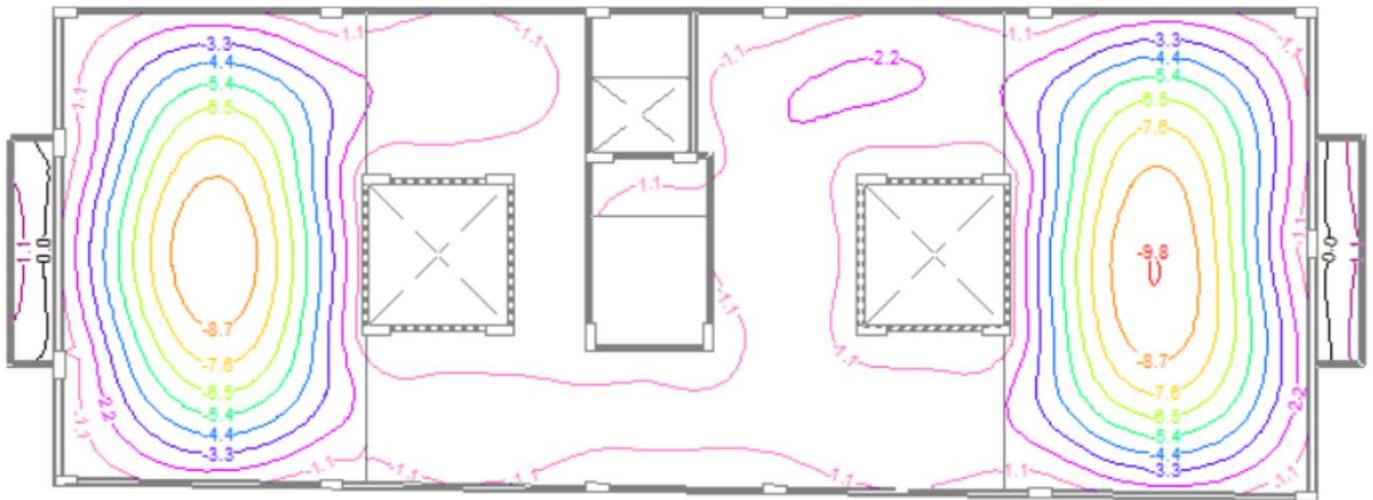
**Figura 5 – COMB 1: Isovalores Piso do 2º PAV (Sem Capitel)**



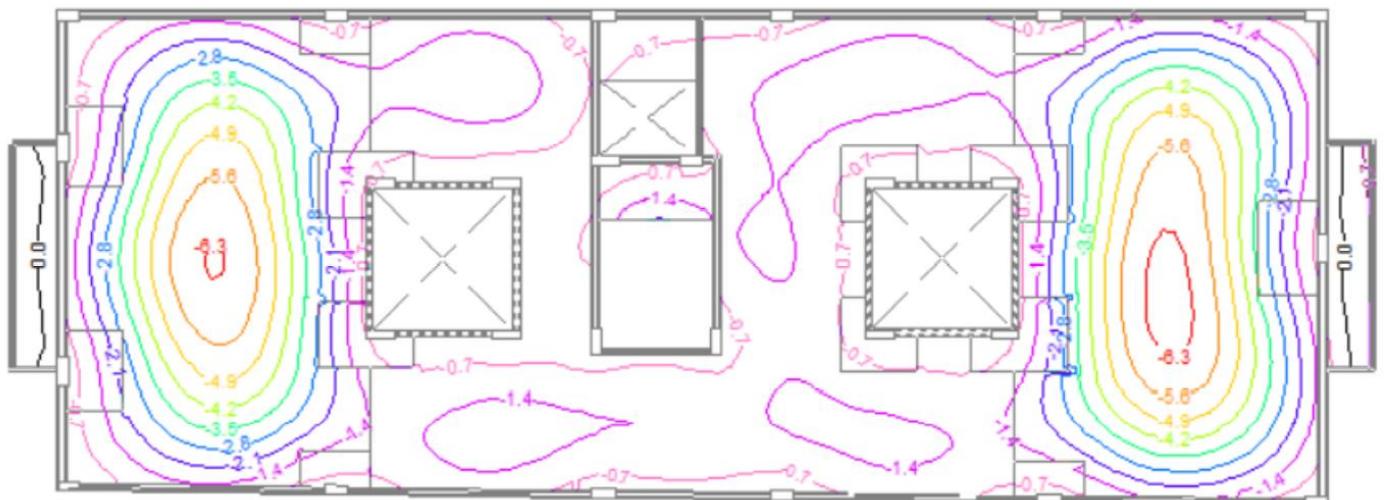
**Figura 6 – COMB 1: Isovalores Piso do 2º PAV (Com Capitel)**



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



**Figura 7 – COMB 1: Isovalores Piso do 3º PAV (Sem Capital)**



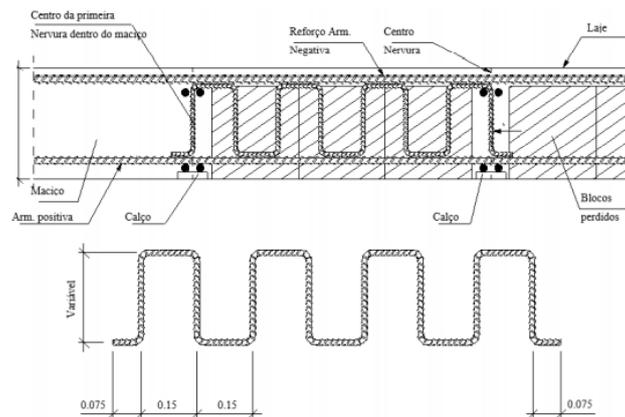
**Figura 8 – COMB 1: Isovalores Piso do 3º PAV (Com Capital)**



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

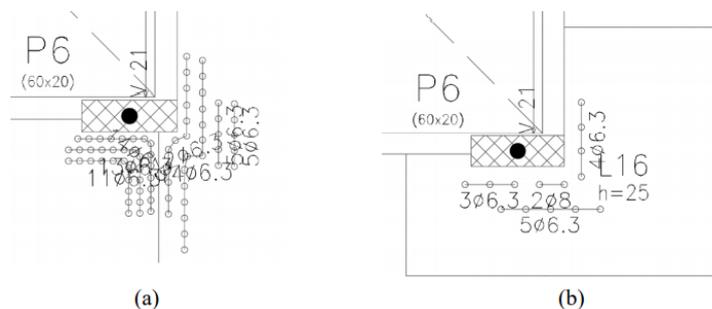
## Taxa de armadura puncionamento

Se por um lado, conforme anteriormente observado, a introdução dos capitéis reduz os deslocamentos nas lajes planas, por outro lado, reduz também o efeito do puncionamento e consequentemente as taxas de armadura adotadas para o combate à esse efeito, conforme mostra a Figura 9.



**Figura 9 – Armação padrão para combate a punção**

Ainda que as tensões de cisalhamento no concreto sejam satisfatórias mesmo sem a adoção do capitel conforme mostra a Figura 10 para o pilar P6, percebe-se a redução drástica da taxa de armadura de puncionamento (em torno de 51%) que, além da redução no custo de fornecimento de aço, reduz também o custo da mão de obra para preparação desta armadura, custos estes normalmente maiores que os de volume de concreto e área de formas e seus eventuais desníveis e recortes na fôrma para a montagem dos capitéis.



**Figura 10 – Disposição das armações (Com x Sem Capitais)**



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

**Tabela 5 – Consumo de aço de combate a punção**

Pavimento	Sem Capitel (kg)	Com Capitel (kg)	Diferença Com x Sem (%)
Piso do 2º PAV	27	13	52
Piso do 3º PAV	28	14	50
Piso do 4º PAV	19	8	58
Piso DEP. do 4º PAV	10	6	40
<b>TOTAL</b>	<b>84</b>	<b>41</b>	<b>51</b>

## Conclusões

Conforme o estudo realizado sobre a utilização dos capiteis e suas consequências tanto nos deslocamentos quanto na taxa de armadura de punção, foi possível ver que todas as lajes que foram inseridas capiteis tiveram uma redução em seus deslocamentos máximos na ordem de 30% a 35%, refletindo-se em menores flechas nas lajes.

As armaduras de punção, mostram uma promissora redução (em entorno de 51%) quando se utiliza de capitéis. Cabe aqui ressaltar que, no caso em estudo, foram considerados os resultados de deslocamentos e armaduras definitivos, conforme se disponibilizaria no projeto estrutural executivo.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123 - Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT. 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro: ABNT. 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro: ABNT. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT. 2019.
- CYPECAD. CypeCAD - Memória de Cálculo. 1ª. ed. Alicante: Cype Ingenieros, S.A, 2003.
- MELGES, J. L. P. Punção em lajes - exemplos de cálculo e análise teórico experimental: Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo: São Carlos, 1995.
- SOUZA, V.C.M & CUNHA A.J.P. – Lajes em concreto armado e Protendido – Universidade Federal Fluminense: EDUF, 1998.
- TAKEYA, T. Estudo experimental da ruína de ligações laje-pilar em bordas de lajes-Cogumelo: Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo: São Carlos, 1981.
- TQS V22. TQS Docs, TQS Informatica, 2021.