

ESTUDO TEÓRICO-COMPUTACIONAL DA PUNÇÃO EM LAJES LISAS DE CONCRETO ARMADO

**Autores: Samilly Medeiros Araújo¹; Isa Mara Isaías Sousa²; Ricardo José
Carvalho Silva³**

¹ Engenharia Civil, CCET, UVA; E-mail: samillymedeiros12@gmail.com,

² Engenharia Civil, CCET, UVA; E-mail: isamaraisaiassousa@gmail.com,

³ Docente/Pesquisador, CCET, UVA. E-mail: ricardo.carvalho222@gmail.com.

Resumo: Lajes lisas são caracterizadas pela ligação direta entre laje e pilar sem a presença de vigas. Porém um fenômeno pode ocorrer nesse sistema construtivo, que é a punção. A ruptura por punção causa uma perfuração do pilar na laje, sendo ocasionada por cisalhamento frágil, sem aviso prévio. Observando-se a necessidade de se fazer um estudo da resistência de lajes lisas quanto ao seu punçoamento, este trabalho analisou a influência da taxa de armadura e as dimensões do pilar no Estado Limite Último. O estudo foi feito utilizando o Método dos Elementos Finitos através do *software ANSYS*. A análise de deu através da modelagem de 14 lajes lisas, comparando os resultados da resistência obtida computacionalmente com as normas NBR6118:2014, ACI318 e Eurocode2. O modelo foi validado através de uma comparação com resultados de lajes experimentais de outros autores.

Palavras-chave: Punção. Lajes lisas. Elementos Finitos. *ANSYS*.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Considerando que a região de Sobral possui um clima semiárido, faz-se necessário desenvolver métodos construtivos cada vez mais sustentáveis e econômicos. Na construção de uma laje lisa, a ligação entre o pilar e a laje é direta, dispensando o uso de capiteis e vigas, o que reduz o consumo final de concreto, que é composto por água, recurso não renovável, e cimento, insumo proveniente de uma indústria com elevado potencial poluidor, mediante disso, reduzindo o volume de resíduos gerados na construção.

Além das vantagens ambientais citadas, esse método construtivo quando comparado aos tradicionais, possui inúmeros benefícios econômicos, pois a ausência de elementos como capiteis e vigas acarreta a redução de matérias-primas utilizadas na obra, no tempo de execução, na mão de obra presente no canteiro.

Apesar das diversas vantagens construtivas desse método há uma desvantagem significativa a ser observada, a punção, que é um tipo de ruptura frágil que ocorre em lajes lisas. Devido a ligação laje-pilar ser direta há uma maior concentração de esforços na região do pilar que leva a formação de um cone de ruptura seguido de uma ruptura brusca. Por isso, faz-se necessário estudar a resistência desse tipo de laje quanto a este fenômeno, para tornar sua execução cada vez mais segura.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente realizou-se uma validação, onde foi modelada uma laje experimental de Ramos (2003), na qual as configurações do *software Ansys* foram calibradas para que se aproximasse o máximo do valor experimental, assim, as lajes deste estudo foram modeladas seguindo configurações previamente validadas.

Este trabalho utilizou o Método dos Elementos Finitos para fazer a modelagem e simulação de 14 lajes divididas em dois grupos, variando a taxa de armadura (ρ) e dimensões do pilar (c), no *software Ansys Workbench*. No primeiro grupo, foram variados a taxa de



armadura entre 0,52% e 8,18%. No grupo B, alterou-se as dimensões do pilar entre 50mm e 350mm. Os demais parâmetros utilizados foram: resistência à compressão (f_c) com o valor de 39MPa, resistência ao escoamento do aço (f_y) de 613MPa, módulo de elasticidade (E) de 210GPa, largura da laje de 2280x2280mm, altura da laje de 100mm e altura útil de 80mm, estes dados foram padronizados nos dois grupos. Com o intuito de validar os parâmetros utilizados, foi modelada uma laje experimental de Ramos(2003).

No grupo A as lajes tiveram taxa de armadura de 0,52%, 0,84%, 1,31%, 2,05%, 3,35%, 5,24% e 8,18%, com pilar de 200mm. No grupo B os modelos tiveram taxa de armadura constante de 1,31% e o pilar variando de 50x50mm, 100x100mm, 150x150mm, 200x200mm, 250x250mm, 300x300mm e 350x350mm.

Tabela 1 – Valores dos parâmetros variáveis.

LAJE	TAXA DE ARMADURA MÉDIA (%)	DIMENSÃO DO PILAR (mm x mm)
A1	0,52%	200x200
A2	0,84%	200x200
A3	1,31%	200x200
A4	2,05%	200x200
A5	3,35%	200x200
A6	5,24%	200x200
A7	8,18%	200x200
B1	1,31%	50x50
B2	1,31%	100x100
B3	1,31%	150x150
B4	1,31%	200x200
B5	1,31%	250x250
B6	1,31%	300x300
B7	1,31%	350x350

Fonte: Autor, 2023.

As configurações adotadas na análise estrutural no ANSYS, foram o valor de 200 substeps e utilizado o critério de convergência de deslocamentos adotando uma tolerância de 5%. Na modelagem e simulação feita para analisar a resistência das lajes à punção, cada laje foi modelada engastada no apoio da face superior da laje e o carregamento é aplicado por uma força localizada na seção do pilar. A força é colocada na laje até a sua ruptura, onde o aço escoou ou o concreto esmaga e então é formado o cone de ruptura.

Após a obtenção da carga imediatamente antes da ruptura em cada laje, esse valor é comparado com o calculado a partir de cada equação normativa com os mesmos valores da geometria modelada no software e aplicado os mesmos materiais, nas normas ACI318, Eurocode2 e NBR6118. As fórmulas para o cálculo da resistência à punção de cada norma são as seguintes:

- ACI318

$$V_{ACI} = 0,33 \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot u_1 \cdot d \quad (1)$$

$$V_{ACI} = \left(0,17 + \frac{0,33}{\beta_c}\right) \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot u_1 \cdot d \quad (2)$$

$$V_{ACI} = 0,083 \cdot \left(2 + \frac{0,083 \cdot a_s \cdot d}{u_1}\right) \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot u_1 \cdot d \quad (3)$$

Onde:

V_{ACI} é a resistência à punção segundo a norma ACI 318;

β_c é a razão entre a maior e menor dimensão do pilar;

α_s é a constante que assume valor igual a 40 para o caso de pilares internos, 30 para pilar de borda e 20 para pilar de canto;

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1+0,004d}} \leq 1;$$

$\lambda = 1$ para concretos normais e valor ente 0.75 e 0.85 para concretos leves;

d é a altura útil da seção;

u_1 é o perímetro de controle.

- Eurocode2(EC2)

$$V_{EC2} = 0,18 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_c)^{\frac{1}{3}} \cdot u_1 \cdot d \quad (4)$$

Onde:

V_{EC} é a resistência à punção segundo Eurocode 2;

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2;$$

ρ_1 é a taxa de armadura;

u_1 é o perímetro de controle 2d da borda do pilar.

- NBR6118:2014

$$V_{NBR} = 0,18 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_c)^{\frac{1}{3}} \cdot u_1 \cdot d \quad (5)$$

V_{NBR} é a resistência à punção segundo NBR 6118:2014;

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}};$$

Os resultados obtidos computacionalmente foram comparados com os valores obtidos através das equações normativas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tabela 2 – Resultados computacionais e comparação com os normativos.

LAJE	Vcomp (kN)	VNBR (kN)	VEC2 (kN)	VACI (kN)	VNBR/ Vcomp	VEC2/ Vcomp	VACI/ Vcomp
A1	192	182,93	141,74	297,64	0,95	0,74	1,55
A2	232	214,51	166,22	297,64	0,92	0,72	1,28
A3	248	248,92	192,88	297,64	1,00	0,78	1,20
A4	280	288,85	223,81	297,64	1,03	0,80	1,06

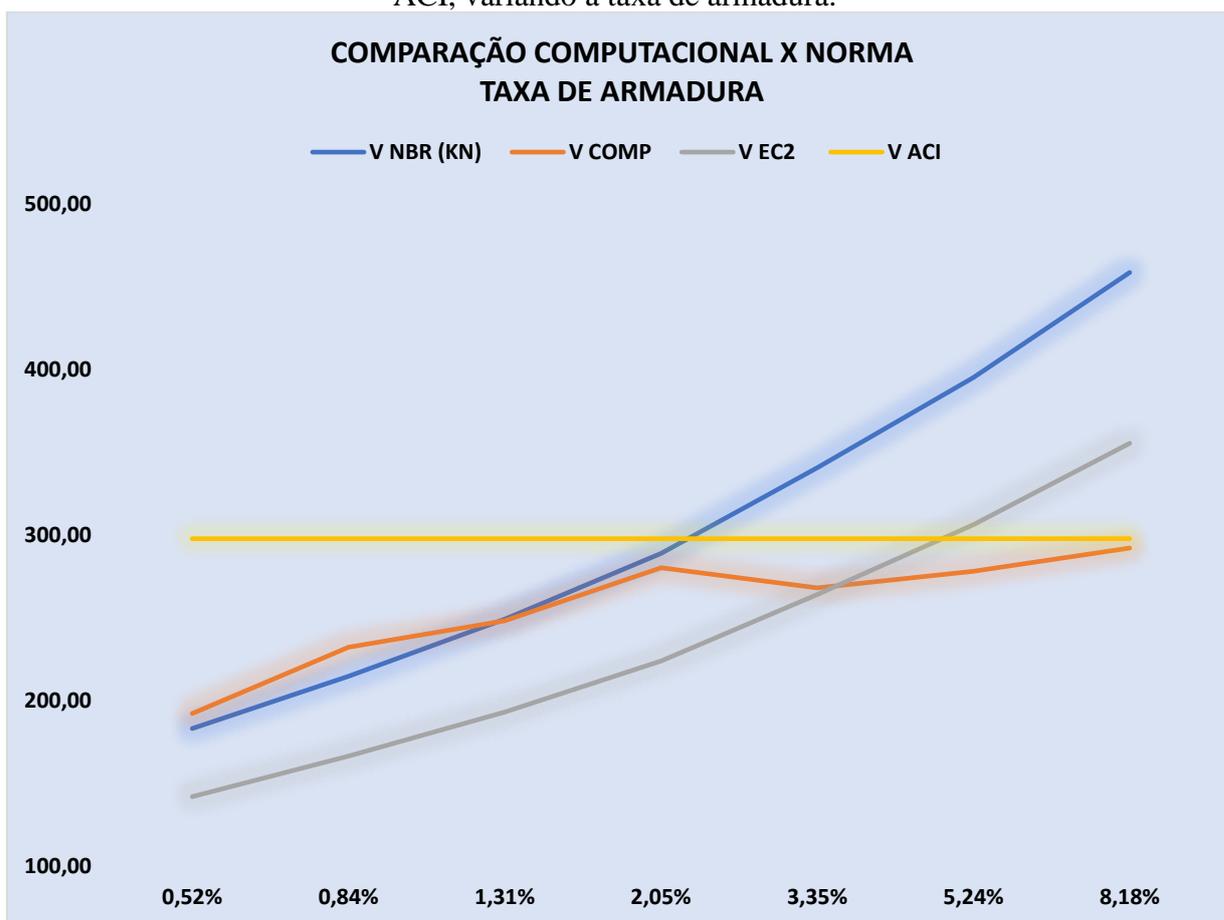


UNIVERSIDADE ESTADUAL
VALE DO ACARAÚ

A5	268	340,52	263,85	297,64	1,27	0,98	1,11
A6	278	395,14	306,17	297,64	1,42	1,10	1,07
A7	292	458,51	355,28	297,64	1,57	1,22	1,02
B1	160	166,19	128,77	198,72	1,04	0,80	1,24
B2	220	193,77	150,14	231,69	0,88	0,68	1,05
B3	206	221,34	171,51	264,66	1,07	0,83	1,28
B4	240	248,92	192,88	297,64	1,04	0,80	1,24
B5	280	276,50	214,24	330,61	0,99	0,77	1,18
B6	320	304,07	235,61	363,58	0,95	0,74	1,14
B7	316	331,65	256,98	396,56	1,05	0,81	1,25
MÉDIA GRUPO A					1,03	0,80	1,11
DESVIO PADRÃO GRUPO A					0,22	0,17	0,14
MÉDIA GRUPO B					1,00	0,78	1,20
DESVIO PADRÃO GRUPO B					0,05	0,04	0,06

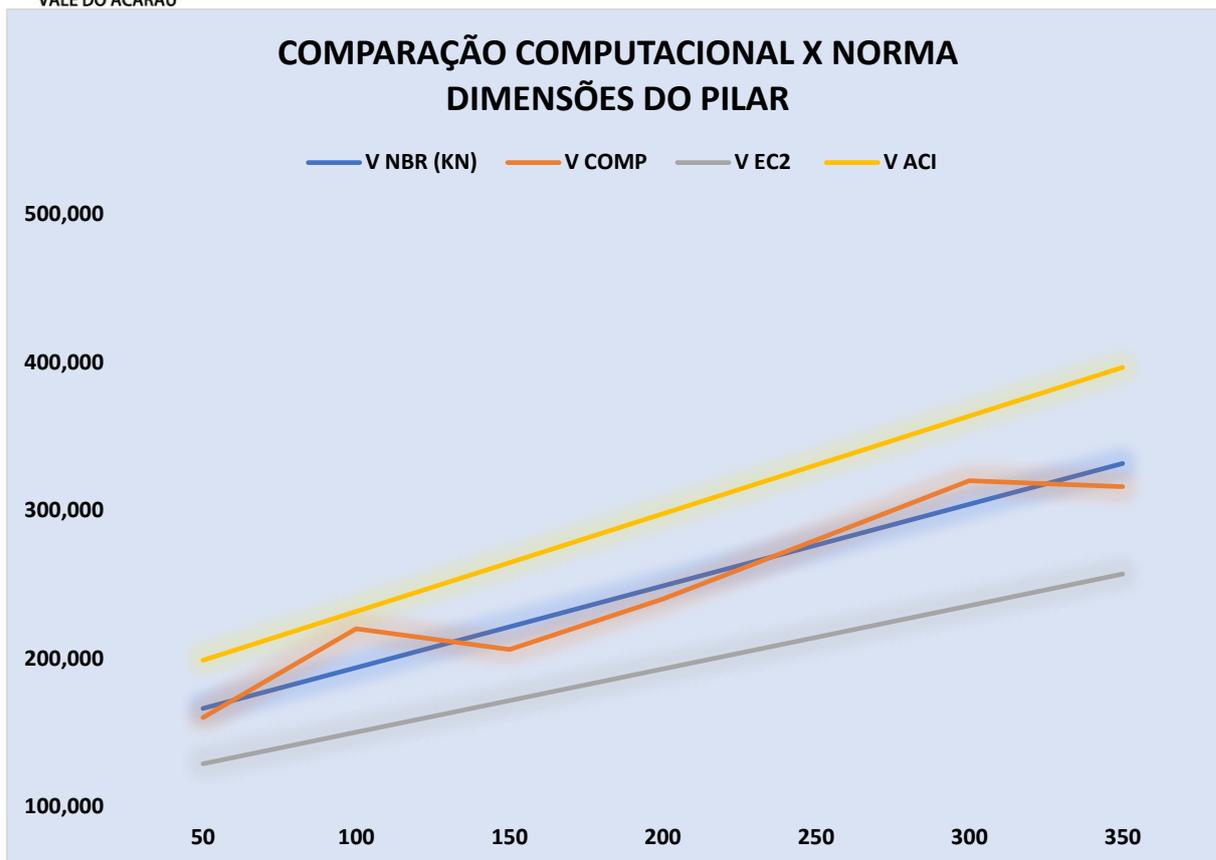
Fonte: Autor (2023).

Gráfico 1: Comparação entre o valor computacional e as normas NBR6118, Eurocode2 e ACI, variando a taxa de armadura.



Fonte: Autor (2023).

Gráfico 1: Comparação entre o valor computacional e as normas NBR6118, Eurocode2 e ACI, variando a taxa de armadura.



Fonte: Autor (2023).

Observando os resultados obtidos através da simulação computacional e comparando-os com os valores através das equações normativas, no grupo A é possível notar que a norma NBR6118 tem valores próximos aos dos computacionais até a taxa de armadura de 2,05%, quando há o aumento da taxa a partir desse valor a norma começa a se mostrar mais distante, indo contra a segurança, visto que considera um crescente aumento na resistência à punção que não é vista nos valores computacionais. Vale ressaltar que a norma prever o valor máximo da taxa de armadura de 4%. Também é possível notar a partir do valor da média, que a NBR6118 obteve resultados mais próximos, porém um desvio padrão maior, que se dá pela maior variação dos resultados.

Quando houve a variação nas dimensões do pilar, a NBR6118 mostrou ótimos resultados tanto na média quanto de desvio padrão, devido aos resultados mais próximos e com menos variações nos resultados.

Já a norma Eurocode2 apresentou valores distantes quando a taxa de armadura é menor que 2,05% e maior que 8,18% e piores quando comparadas com a média da NBR6118, porém com menor desvio padrão, variando menos os seus resultados. Na variação do pilar, teve resultados ruins quando comparados com as demais normas e os computacionais, mas teve menos variações que quando a taxa de armadura foi variada.

Na comparação com a norma ACI os valores mostraram-se constantes independente da taxa de armadura, devido à ausência desse fator em sua equação, considerando que a resistências de lajes lisas não sofrem alteração quando varia-se a taxa de armadura. Quando comparada com os valores computacionais mostrou valores distantes quando a taxa de armadura é menor que 2,05%.

Na variação do pilar, a norma ACI teve uma média ruim, mas uma variação pequena, tendo como resultado mais próximo quando o pilar é de 100x100mm.



UNIVERSIDADE ESTADUAL
VALE DO ACARAÚ

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG



CEARÁ
GOVERNO DO ESTADO
SECRETARIA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E EDUCAÇÃO SUPERIOR

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises numéricas mostraram-se bem consistentes quando comparadas aos resultados experimental de Ramos (2003) e ficou evidenciado que elas conseguem reproduzir uma situação real de carregamento em lajes lisas.

As análises feitas e validadas a partir de um modelo experimental, mostraram a importância da taxa de armadura no cálculo da resistência de lajes à punção, as normas que têm o parâmetro na sua equação têm valores próximos aos computacionais, mas com um valor limitante na taxa de armadura e a norma que não tem apresenta valores mais distantes e conservadores.

No aumento das dimensões do pilar os valores numéricos mostraram aumento considerável na resistência à punção

Por fim, ressalta-se que as conclusões aqui obtidas referem-se exclusivamente às lajes ensaiadas neste trabalho. Ensaio experimentais precisam ser realizados e comparados com o estudo numérico.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual Vale do Acaraú, a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo fomento e apoio à iniciação científica e tecnológica, ao grupo de pesquisa GEM e a todos que contribuíram diretamente e indiretamente para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI318M-19: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary**. Farmington Hills, Michigan, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6118 - Projeto de estruturas de concreto armado e protendido – procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

EUROCODE2. **Design of Concrete Structures, Part 1, General codes and codes for buildings**, DD ENV, British Codes Institution, London, 2010

KINNUNEN, S., AND NYLANDER, H. 1960. “**Punching of Concrete Slabs without Shear Reinforcement**,” Meddelande Nr 38, Institute for Byggnadsstatik, Kungliga Tekniska Hogskolan, Stockholm.

RAMOS A.M.P. (2003). **Punçamento em lajes fungiformes pré-esforçadas**. Tese de Doutorado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.