

ANÁLISE NUMÉRICA E ANALÍTICA DE LAJES LISAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS À PUNÇÃO

Luana Junko Ashihara (PIBIC/CNPq/FA/Uem), Elyson Andrew Pozo Liberati (Orientador), e-mail: ra102514@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá/Centro de Tecnologia/Departamento de Engenharia Civil/Maringá, PR.

Engenharia Civil / Estruturas de Concreto

Palavras-chave: concreto armado, lajes lisas, punção, análise de parâmetros

Resumo:

As lajes lisas de concreto armado, por serem uma estrutura que dispensa as vigas, podem causar um colapso conhecido como punção da ligação laje-pilar, visto que uma carga gera tensões significativas na região da laje em torno do pilar. Para evitar que esse fenômeno ocorra, diversos pesquisadores estudam o comportamento de lajes com diferentes características físicas e geométricas afim de analisar a influência de cada parâmetro (armadura de cisalhamento, taxa de armadura, resistência do concreto, altura útil e perímetro crítico) em relação à carga de ruptura. Neste estudo, foram analisadas 262 lajes de experimentos de autores distintos para analisar as correlações dos parâmetros e comparou-se com os resultados previstos a partir de normas estruturais.

Introdução

As lajes planas, também chamadas de lisas, são estruturas laminares horizontais (maciças ou nervuradas) em concreto armado ou protendido que se apoiam rígida e diretamente em pilares, não existindo vigas para transferência dos esforços, conforme demonstrado na Figura 1 (ABNT NBR 6118, 2014; FERREIRA, 2010).

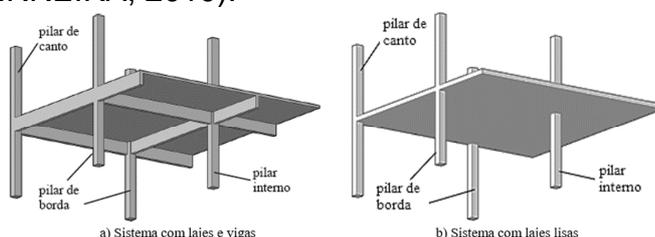


Figura 1 - Sistema de lajes de concreto armado

Fonte: Lima Neto, 2012.

Dentre as principais vantagens desse sistema estrutural estão: flexibilização do layout, diminuição da altura total do edifício, simplificação das armaduras e formas, diminuição da quantidade de formas e escoramento; maior facilidade no lançamento do concreto e menor carga na fundação, devido a diminuição do peso próprio.

Entretanto, algumas desvantagens podem ser observadas, fazendo com que o uso das lajes lisas tenha que ser bem estudado e comparado com outros tipos de lajes antes de sua adoção. As principais desvantagens das lajes lisas são: deslocamentos verticais maiores que do sistema estrutural convencional (considerando o mesmo vão) maiores momentos fletores na ligação laje-pilar, menor estabilidade global em relação a forças horizontais e risco de ruptura por punção na ligação laje-pilar, que pode levar ao colapso progressivo da estrutura no momento da redistribuição dos esforços após a ruptura por punção.

O fenômeno da punção é um modo de falha que ocorre por cisalhamento em elementos delgados submetidos à carga ou reação concentrada. Essa carga ou reação, aplicada transversalmente, provoca elevadas tensões de cisalhamento em torno de regiões relativamente pequenas podendo resultar na ruptura brusca do elemento estrutural (ALBUQUERQUE, 2010; OLIVEIRA, 2013). Brantschen (2016) afirma que esse fenômeno pode ocorrer em diferentes regiões de uma estrutura, dependendo das condições de carregamento e contorno (Figura 2).

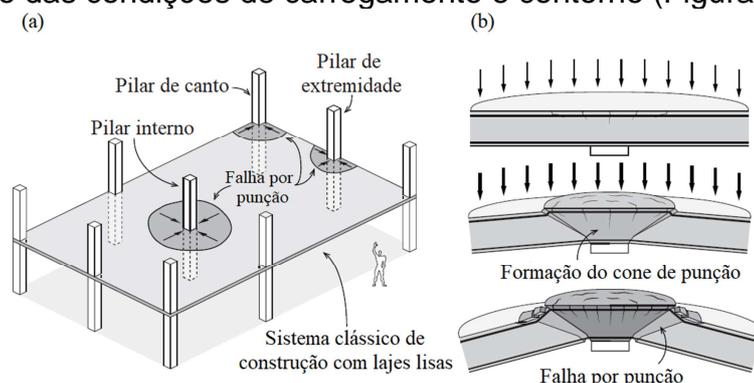


Figura 2 - Fenômeno de punção: (a) tipos de falha em uma laje lisa; (b) fases consecutivas para solicitação axissimétrica (pilar interno)
Fonte: Brantschen, 2016 - adaptado.

Ruiz, Mirzaei e Muttoni (2013) afirmam que a ruptura por punção pode levar a danos desproporcionais à severidade dos eventos causadores dos danos na estrutura. Esses autores afirmam ainda que, a robustez de uma estrutura garante que as falhas locais devido a ações inesperadas ou deficiências durante as etapas de projeto ou construção não se propaguem para outros elementos, levando ao colapso progressivo da estrutura.

Dentre os problemas que podem diminuir a resistência ao puncionamento de lajes lisas está a existência de aberturas nas regiões próximas ao pilar. Isso ocorre devido à diminuição da resistência ao cisalhamento provocada pela retirada de concreto e de armadura na abertura, reduzindo o perímetro crítico da laje (KOPPITZ, KENEL e KELLER, 2013; LIBERATI et al., 2019; SOUZA, 2008).

As normas de projeto, em geral, apresentam modelos de cálculo contra a punção, apresentando verificações que devem ser feitas nas ligações das lajes lisas para evitar esse fenômeno.

Materiais e métodos

Foi elaborado um Banco de Dados contendo as características físicas e geométricas de lajes lisas, assim como os valores experimentais de carga de ruptura obtidos por diversos pesquisadores. Esse Banco de Dados contempla informações de lajes ensaiadas com ou sem armaduras de cisalhamento, como também de lajes com ou sem aberturas, sendo que todas foram submetidas a carregamento centrado. No total foram coletadas informações de 262 lajes.

A partir das informações obtidas, foi feita a análise de diferentes parâmetros, sendo eles: taxa de armadura, resistência do concreto e altura útil, em relação a carga normalizada. Ainda, analisou-se a precisão dos diferentes modelos de cálculo para estimativa da resistência ao cisalhamento de lajes das seguintes normas: ABNT NBR 6118 (2014), ACI 318 (2019) e EUROCODE 2 (2004).

Seguindo o critério de penalidade proposto por Collins (2001), o *Demerit Points Classification* (DPC), foi possível comparar os diferentes modelos de cada norma. Além disso, fez-se comparações entre as normas citadas.

Resultados e Discussão

De acordo com a Tabela 1, percebe-se que, apesar da norma ACI 318-19 apresentar valores mais conservadores, possuindo uma média mais alta, a NBR 6118-14 possui uma consistência maior visto uma variância menor nos resultados e uma maior confiabilidade em relação a segurança. Sendo assim, a norma brasileira obteve resultado mais satisfatório. Além disso, analisando pelo critério DPC, observou-se que o modelo segundo o EUROCODE 2 (2004) obteve resultado mais satisfatório em relação às demais normas.

A partir da análise dos parâmetros, observou-se que para as lajes lisas sem armaduras tem uma correlação significativa com a altura útil, o perímetro crítico e a taxa de armadura longitudinal. Já os ensaios com armadura de cisalhamento implicaram em uma correlação maior apenas com a altura útil e o perímetro crítico. A figura 1 é uma síntese das correlações obtidas para cada norma.

Tabela 1 - Análises dos modelos

Norma	ABNT 6118 (2014)	ACI 318 (2019)	EUROCODE 2 (2004)
Média	1,36	1,42	1,21
Variância	13,84%	31,94%	14,34
Desvio padrão	0,37	0,57	0,38
Coef. de Variação	27,34%	39,90%	31,42%
Contra segurança	11,07%	18,70%	27,48%
Penalidade total – Critério de Collins (2001)	237	332	189

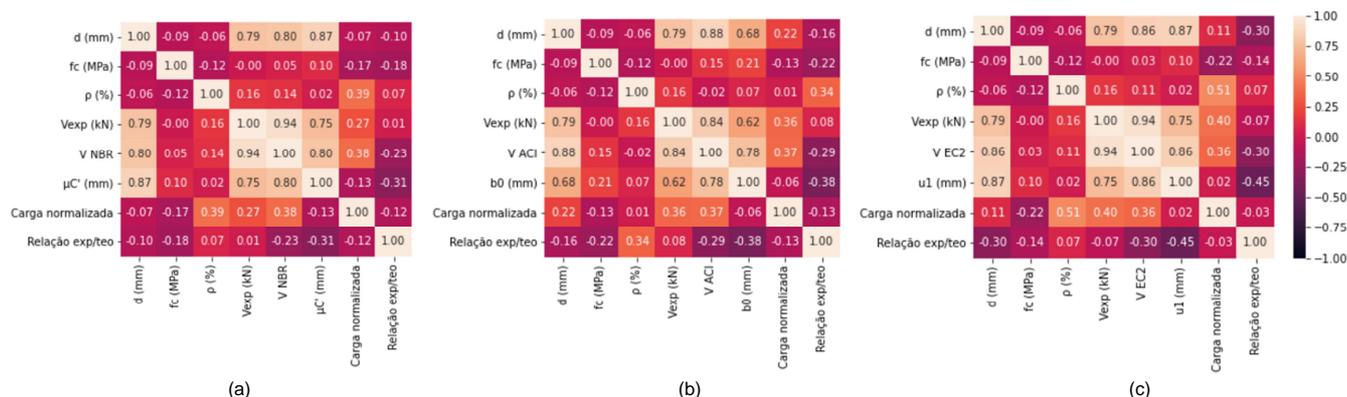


Figura 2 – Matriz de correlação: (a) NBR 6118-14; (b) ACI 318-19 (c) EUROCODE 2-04

Conclusões

A partir dos resultados do estudo, pode-se perceber uma falta de padronização entre as diferentes normas, na qual a norma NBR 6118-14 apresentou resultados mais satisfatórios em relação à confiabilidade, enquanto a norma europeia se destacou no critério de Collins. Deve-se atentar que as análises dos parâmetros, apesar de identificar uma baixa correlação quanto a resistência do concreto e a taxa da armadura longitudinal, não pode ser descartada, visto que não há muitas pesquisas variando esses parâmetros. Já para os parâmetros de altura útil e perímetro crítico, pode-se considerar que ambos possuem uma correlação forte e positiva para a carga de ruptura.

Agradecimentos

Primeiramente à Deus, que me dá forças para progredir. Aos meus pais, à minha irmã e minha prima pelo incentivo, exemplo de vida, compreensão e confiança em todos os momentos. Ao meu orientador, professor Elyson Andrew Pozo Liberati, pela colaboração, compreensão e contribuição durante todo o período de pesquisa.

Referências

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318**. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318R-19). Farmington Hills, Michigan, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto Armado. Rio de Janeiro, 2014.
- EUROCODE 2**, Design of Concrete Structures—Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, CEN, EN 1992-1-1, Brussels, Belgium, 2004.
- RABELLO, F. T. **Análise comparativa de normas para a punção em lajes de concreto armado**. 2010. 250f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.