



AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE PUNÇÃO EM LAJES SEM ARMADURA DE CISALHAMENTO VIA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE

João C. Pantoja

joaocpantoja@gmail.com

Universidade de Brasília – UnB – FAU (Departamento de Tecnologia)

Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP 70910-900, Brasília, Brasil.

Thayane S. da Silva

thayane.santana.s@hotmail.com

Centro Universitário de Brasília – UniCEUB

SEPN 707/907, Asa Norte, CEP 70790-075, Brasília, Brasil.

Nathaly S. Narvaez

natalysarasty@gmail.com

Centro Universitário de Brasília – UniCEUB (Departamento de Engenharia)

SEPN 707/907, Asa Norte, CEP 70790-075, Brasília, Brasil.

Abstract. *O objetivo deste artigo é avaliar os índices de segurança de punção em lajes cogumelo sem armadura de cisalhamento via análise de confiabilidade. As variáveis aleatórias consideradas no problema serão geradas randomicamente considerando cada tipo de distribuição de probabilidade envolvida no problema e parâmetros consagrados na literatura. Foram feitas variações de perímetro crítico, taxa de armadura da laje, perímetro crítico e coeficiente de resistência do concreto à compressão a fim de se avaliar o índice de segurança para tais oscilações. Foram analisadas as seguintes formulações NBR 6118:2002, ACI 318:2002, CEB FIP MC 90 E EUROCODE 2:1992.*

Keywords: *punção, análise de confiabilidade, índice de segurança, laje cogumelo.*

1 INTRODUÇÃO

A estrutura de uma edificação deve ter garantia de segurança, funcionalidade e durabilidade durante toda sua vida útil, mantendo suas características de projeto a um custo razoável de execução e manutenção.

Na realização dos projetos estruturais o projetista convive com a existência de incertezas. Diversas vezes os dados existentes são incompletos ou insuficientes e de certo contém variabilidades. A consequência de tais incertezas é a existência de uma probabilidade de falha da estrutura (Lima, E. C. P.; Sagrilo, L. V. S., 2002). O risco de falha da estrutura deve estar dentro de margens aceitáveis de segurança. A análise de confiabilidade estrutural tem como objetivo a avaliação da probabilidade de que a mesma não ultrapasse tais limites. Neste trabalho a análise da confiabilidade será utilizada como ferramenta para a avaliação de segurança de punção em lajes.

As lajes são elementos estruturais laminares horizontais com superfície média plana, submetida a solicitações predominantemente perpendiculares à sua superfície média, destinada a receber as cargas verticais que atuam na estrutura, transmitindo-as para os respectivos apoios. Quando a laje é apoiada diretamente nos pilares ela é denominada de laje cogumelo ou lisa.

Nos últimos anos o uso do sistema de lajes lisas tem se tornado bastante habitual, principalmente em edificações comerciais, pois pela ausência de vigas este sistema permite uma grande flexibilidade no layout da edificação, como também na distribuição das instalações elétricas e hidráulicas. É possível citar outras diversas vantagens no uso deste tipo de laje, como simplificação na execução das formas e menor desperdício, redução da altura total do edifício e maior facilidade no lançamento, adensamento e desforma do concreto.

Porém este sistema também apresenta certas desvantagens, dentre as quais, pode-se destacar a possibilidade de uma ruptura por punção na região de ligação laje-pilar, por uma carga menor que do que seria a ruína por flexão.

A punção está associada a esforços de cisalhamento e provoca uma separação completa entre a laje e o pilar. Ela ocorre repentinamente, com pequeno ou sem nenhum aviso prévio, podendo levar a ruína de toda a estrutura, por colapso progressivo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial teórico

Segurança Estrutural

O conceito de segurança estrutural está vinculado à capacidade de uma determinada estrutura suportar as diversas ações a ela impostas, durante sua vida útil, satisfazendo também às condições funcionais destinadas à sua construção. É possível observar uma estreita relação entre a confiabilidade e a segurança de uma estrutura.

A questão da segurança estrutural está baseada nos estados limites, os quais representam as diversas interfaces existentes entre um desempenho admissível ou não admissível da estrutura (Beck, A. T., 2010).

Regras que limitem os valores das ações, deslocamentos e deformações presentes numa estrutura representam o nível de segurança associados a ela. Limites dessa natureza existem em decorrência da evolução do conhecimento na engenharia e são modificados constantemente. O grau de incerteza presente nas variáveis pode causar imprevistos que as hipóteses determinísticas, mesmo convenientemente utilizadas, não são capazes de detectar.

Análise de Confiabilidade

É nesse contexto que o estudo da confiabilidade é inserido, na tentativa de prever incertezas e flutuações nas várias estruturas. Seu objetivo maior é a determinação de uma possibilidade de falha em um cenário generalizado. Assim a confiabilidade pode então ser definida como a probabilidade da estrutura em desempenhar a função pra a qual foi projetada durante toda sua vida útil, medindo as suas chances de violar um estado limite por falha ou por não satisfazer a um desempenho esperado (Neves, 2004). Estatisticamente podemos definir a confiabilidade como um evento complementar da possibilidade de falho, na forma: (1)

$$C = 1 - P_f \quad (1)$$

Onde P_f é a probabilidade de falha da estrutura durante sua vida útil, ou seja, a probabilidade de ocorrência de uma situação de falha nesse período C a confiabilidade. No caso de obras civis, valores de probabilidade de falha na ordem de 10^{-7} a 10^{-3} são utilizados.

A confiabilidade permite obter os diversos modos de falha da estrutura por meio do cálculo da probabilidade de falha (P_f), dessa forma se mostra essencial para uma tomada de decisão a respeito da segurança estrutural e da viabilidade econômica.

Para o cálculo da P_f é necessário determinar os estados limites da interface de falha/segurança a partir da função $g(X)$, equação do estado limite, e das diversas variáveis de projeto X , de acordo com a fórmula a seguir (Beck, A. T., 2010):

$$g(x) = g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (2)$$

Por meio dessa equação pode-se obter um conjunto com todos os pontos do espaço amostral $X(n)$ denominado domínio de falha D_f , onde $g(x)=0$ e domínio de segurança D_s , onde $g(x) \leq 0$ que representa justamente esse limite entre a região de falha e a região de segurança (Figura 1).

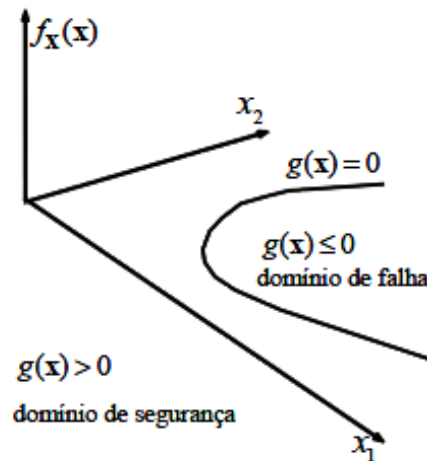


Figura 1. Equação de estado limite e domínios de falha e não-falha (Beck, A. T., 2010).

Assim, através da equação do estado limite, pode-se chegar à equação da probabilidade de falha (P_f), descrita a seguir:

$$P_f = P[\min g(x, t) < 0] = \int_{D_f} f_x(x) dx \quad (3)$$

Onde a função da integral representa a distribuição de probabilidade cumulativa das variáveis aleatórias X e a função de probabilidade de falha é a probabilidade da função de falha admitir valores pertencentes ao domínio de falha.

Os problemas de confiabilidade podem ser resolvidos por diversas técnicas. Serão abordadas nesse trabalho as definidas a seguir.

Método Monte Carlo

O Método Monte Carlo é utilizado em problemas com variáveis aleatórias com distribuição de frequência já bem definidas. Para isso um número muito grande de repetições do processo de simulação deverá ser executado para cada realização particular das variáveis aleatórias do problema. Assim, a simulação de Monte Carlo é um método estatístico, utilizado na solução de experimentos aleatórios com uso da geração de amostras e da distribuição das probabilidades permitindo a observação do desempenho de uma variável de interesse.

Nesse caso, a simulação é utilizada para analisar uma situação de risco. É considerada apenas uma aproximação, porém quanto maior o número de amostras obtidas melhor o comportamento estimado.

Esse procedimento simples para geração de valores de qualquer distribuição de probabilidade pode ser obtido da seguinte maneira: primeiramente gera-se uma amostra de valores N de probabilidades que obedecem a uma distribuição uniforme com valores entre zero e um. A seguir, obtêm-se a respectiva variável física mediante uma transformação para o espaço físico. Assim, através dessa realização no espaço físico

são obtidos os resultados de todas as variáveis aleatórias existente no processo, podendo então determinar a resposta do problema considerado.

Punção

Segundo a NBR 6118/2003, a punção é um Estado Limite Último, determinado por cisalhamento no entorno de forças concentradas. É decorrente da grande concentração de tensões na região da ligação laje-pilar, a qual esta submetida tanto ao esforço cortante como ao momento fletor negativo.

A superfície de ruína para pilares internos, com lajes e carregamentos simétricos, apresenta uma forma troncônica ou tronco-piramidal, partindo do contorno da área carregada e estendendo até a outra face, com uma inclinação entre 30° a 35°, em relação ao plano médio da laje. Para pilares de canto e de borda, a superfície de ruína se altera junto às bordas livres, permanecendo, no entanto com a mesma forma dos casos simétricos, junto ao canto interno dos pilares de canto e junto à face interna dos pilares de borda.

A carga de ruptura em lajes lisas e cogumelo podem ser previstas através do cálculo da tensão nominal de cisalhamento atuando em uma das superfícies de controle e comparando-se esta tensão com a resistência do concreto ao cisalhamento. A base das normas e modelos de cálculo é a superfície de controle (também chamada de superfície crítica). Basicamente a diferença entre os modelos é a superfície que é considerada de controle por cada um. A seguir serão apresentados, respectivamente, alguns critérios de dimensionamento desenvolvidos empiricamente apresentados em algumas normas.

NBR 6118:2003

O modelo de cálculo da NBR 6118 corresponde à verificação do cisalhamento em duas ou mais superfícies críticas definidas no entorno de forças concentradas. Na primeira superfície crítica (contorno C), do pilar ou da carga concentrada deve ser verificada indiretamente a tensão de compressão diagonal do concreto, através da tensão de cisalhamento.

Na segunda superfície crítica (contorno C') afastado 2d do pilar ou carga concentrada, deve ser verificada a capacidade de ligação à punção, associada à resistência à tração diagonal. Esta verificação também se faz através de uma tensão de cisalhamento, no contorno C'. Caso haja necessidade, a ligação deve ser reforçada por armadura transversal. A terceira superfície crítica (contorno C'') apenas deve ser verificada quando for necessário colocar armadura transversal (Figura 3).

Quando se trata de um caso de pilar interno com carregamento simétrico a tensão de cisalhamento de solicitação é dada pela Eq. 6

$$\tau_{rd} = \frac{P_{sd}}{u d} \quad (4)$$

Onde:

d = altura útil da laje ao longo do contorno crítico C', externo ao contorno C da área de aplicação da força e deste distante 2d no plano da laje. Deve ser calculado como a média da soma das alturas úteis nas duas direções ortogonais (dx e dy);

u = perímetro do contorno crítico C';

ud = área da superfície crítica;

P_{sd} = força ou a reação concentrada de cálculo.

A força de punção P_{sd} pode ser reduzida da força distribuída aplicada na face oposta da laje, dentro do contorno considerado na verificação, C ou C' , como mostra a Figura 3.

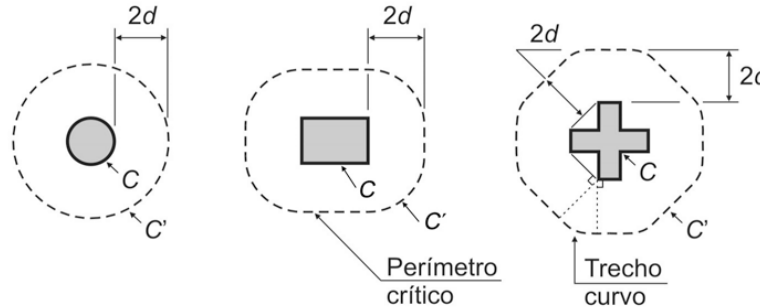


Figura 2: perímetro crítico em pilares internos (TRAUTWEIN MOUTA, LEANDRO, 2006).

A tensão resistente no contorno C' deve ser calculada para o caso de laje sem armadura de cisalhamento conforme a Eq. 7:

$$\tau_{sd} \leq \tau_{rd1} = 0,13 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) \cdot (100\rho f_{ck})^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

A tensão resistente no contorno C' deve ser calculada para o caso de laje com armadura de cisalhamento conforme a Eq. 8:

$$\tau_{sd} \leq \tau_{rd3} = 0,10 \left(1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \right) \cdot (100\rho f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 1,5 \frac{d}{S_r} \frac{A_{sw} f_{ywd} \sin \alpha}{ud} \quad (6)$$

Quando for necessário utilizar armadura transversal ela deve ser estendida em contornos paralelos a C' até que, num contorno afastado $2d$ do último contorno armadura, a mesma não seja mais necessária, ou seja, $\tau_{sd} \leq \tau_{rd1}$.

ACI – 318:2002

Segundo o American Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI – 318/02) o perímetro crítico deve estar a uma distância da face do pilar de metade da altura útil da laje ($0,5d$) ou metade da face do pilar, como mostra a Figura 4.

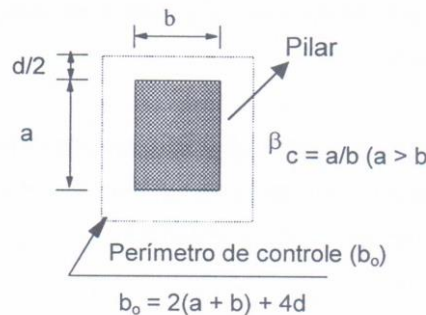


Figura 3: perímetro crítico de acordo com o ACI – 318/02 (TRAUTWEIN MOUTA, LEANDRO, 2006).

Esta Norma considera também que o cálculo da força cortante resistente dependerá da existência ou não de armadura de cisalhamento. A seguir serão detalhados os modelos para os dois casos de laje sob o efeito de punção.

Quando se está considerando uma laje sem armadura de cisalhamento, o valor da força cortante resistente (τ_{rd}) é dado pelo menor valor das três equações a seguir:

$$\tau_{rd} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot u_0 d \quad (7)$$

$$\tau_{rd} = \left(2 + \frac{as_d}{u_0}\right) \cdot \frac{1}{12} \sqrt{f_c'} \cdot u_0 d \quad (8)$$

$$\tau_{rd} = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot u_0 d \quad (9)$$

Onde:

β_c = razão entre o comprimento do maior lado sobre o menor lado do pilar;

as_d = constante que assume os seguintes valores: 40 para pilares internos, 30 para pilares de borda e 20 para pilares de canto;

f_c' = resistência à compressão do concreto (MPa);

d = altura útil da laje (mm);

u_0 = perímetro de controle a “0,5d” da face do pilar (mm);

Para lajes com armadura de cisalhamento, a contribuição do concreto e da armadura de cisalhamento são dadas, respectivamente, pelas Eq. 12 e 13:

$$\tau_{rd} = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot u_0 d \quad (10)$$

$$\tau_{rd} = \frac{A_{sw} \cdot f_y \cdot d}{sr} \quad (11)$$

Onde:

A_{sw} = área da armadura de cisalhamento (mm²);

sr = espaçamento radial da armadura de cisalhamento (mm);

f_y = tensão específica de escoamento do aço ≤ 420 (MPa).

CEB-FIP MC90

Segundo o Comité Euro-International du Beton – Model Code 1990 (CEB-FIP MC90) o perímetro crítico deve estar a uma distância 2d da face do pilar ou da área carregada, como mostra a Figura 5.

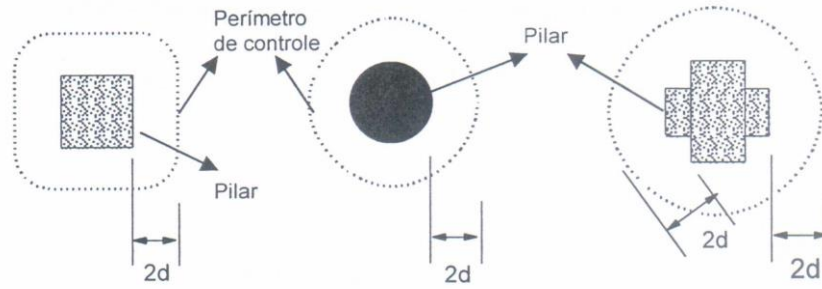


Figura 4: perímetro crítico de acordo com o CEB-FIP MC90 (TRAUTWEIN MOUTA, LEANDRO, 2006).

A tensão de cisalhamento atuante é determinada pela Eq. 14:

$$\tau_{sd} = \frac{P_{sd}}{ud} \quad (12)$$

Onde:

τ_{sd} = tensão de cisalhamento

u = perímetro de controle (mm);

d = altura útil da laje (mm);

P_{sd} = carga concentrada de cálculo aplicada no perímetro de controle.

Para lajes sem armadura de cisalhamento a tensão atuante (τ_{sd}) deve ser menor ou igual a tensão resistente (τ_{rd}), sendo τ_{rd} dado pela Eq. 15:

$$\tau_{rd} = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \quad (13)$$

Sendo que:

$$\rho = \sqrt{\rho_x \rho_y} \quad (14)$$

Onde:

ρ = taxa de armadura de flexão;

ρ_x e ρ_y = taxas nas duas direções ortogonais;

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão (limitada em até 50 MPa);

E:

$$\varepsilon = 1 + \sqrt{200/d} \quad (d \text{ em mm}) \quad (15)$$

Em cada direção (x e y), a taxa de armadura deve ser calculada para uma seção da laje com largura igual à dimensão do pilar ou área carregada (c), mais 3d para cada

lado, como mostra a Eq. 18, ou até atingir a borda se esta estiver situada a uma distância menor :

$$\rho = \frac{A_{sw}}{(3d+c+3d)d} \quad (16)$$

Para o caso de laje com armadura de cisalhamento, a punção deve ser verificada em três zonas: adjacente à área carregada, com armadura de cisalhamento e fora da armadura de cisalhamento.

EUROCODE 2:1992

O perímetro de controle do EC2/92 é tomado a $1,5d$ da face do pilar ou da área carregada, mostrado na Figura 6.

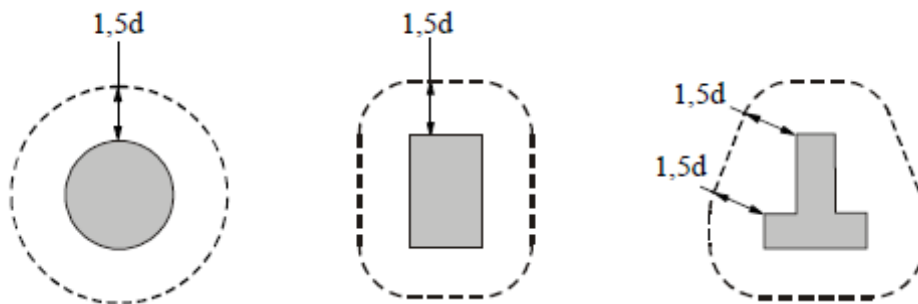


Figura 5: Perímetro de controle conforme o EUROCODE2:1992 (TRAUTWEIN MOUTA, LEANDRO, 2006).

O esforço cortante por comprimento (V_{sd}), devido à aplicação de uma carga concentrada, é dado pela Eq. 19.

$$V_{sd} = \frac{V_{sd}\beta}{u} \quad (17)$$

Onde:

V_{sd} : valor da carga concentrada;

β : coeficiente que leva em conta os efeitos da excentricidade da carga, no caso de não haver excentricidade pode ser tomado igual a um ($\beta = 1,00$);

u : perímetro de controle.

Nas lajes sem armadura de cisalhamento o esforço resistente de cálculo é dado pela Eq. 20 .

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \rho_1) d \quad (18)$$

Onde:

$k = |1,6 - d| > 1$, (d em metros);

τ_{Rd} = valores fornecidos pela tabela mostrada na Figura 7.

f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
τ_{Rd} (MPa)	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,48

Figura 6: Valores de τ_{Rd} (TRAUTWEIN MOUTA, LEANDRO, 2006).

a. Metodologia

Por ser um projeto baseado em confiabilidade, toda variável aleatória envolvida no problema, se possível, deverá ser representada por uma distribuição de probabilidade correspondente, seu valor médio e coeficiente de variação. No intuito de descrever corretamente os parâmetros envolvidos, foram utilizadas as orientações e recomendações disponibilizadas pelo JCSS (Join Committee on Structural Safety) para execução de códigos cuja natureza seja probabilística (JCSS, 2001).

b. Parâmetros e métodos para execução da análise de confiabilidade

Para realizar tal avaliação de segurança via análise de confiabilidade foi considerada uma situação problema, conforme será descrito a seguir.

A laje cogumelo é submetida à punção por uma carga total aplicada ao pilar em que está apoiada. A ruptura da peça pode ocorrer na face C, localizada junto a pilar, ou na face C' localizada a uma distância $2d$ do pilar, como pode ser visto na Figura 8 abaixo.

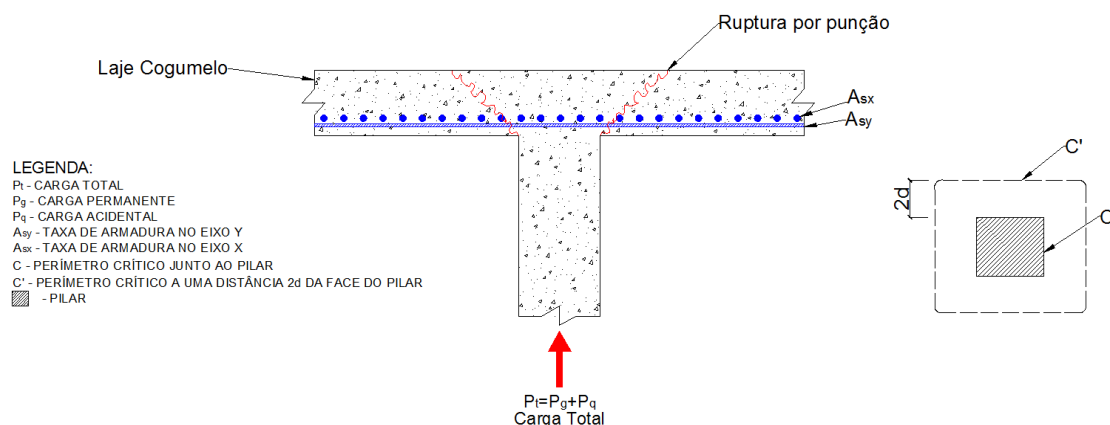


Figura 7: Esquema do problema a ser avaliado via análise de confiabilidade.

No exemplo são consideradas como variáveis aleatórias a resistência média à compressão (f_c), o perímetro crítico (d_m), cargas acidentais (P_g) e permanentes (P_q). A Tabela 1 mostra os valores adotados para as variáveis aleatórias do problema durante a análise de confiabilidade.

Variável Aleatória	Valor Médio	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)	Tipo de Distribuição
f_c (Mpa)	20*	20*0,17	17	Lognormal
d (cm)	0,075*	variou	variou	Normal
P_g (KN)	105*	0,5	5	Normal
P_q (KN)	120*	0,25	25	Gumbel

* Os valores médios foram variados para obtenção do comportamento da laje para as formulações consideradas.

Tabela 1: Modelos probabilísticos das variáveis aleatórias do exemplo.

DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Uma implementação numérica foi feita, cuja finalidade seria avaliar o nível de segurança do modelo com relação às várias formulações existentes na literatura técnica. Inicialmente foi realizada uma variação percentual da carga acidental com relação ao carregamento total aplicado, de modo a verificar a sensibilidade das formulações existentes com relação a essa perturbação. O nível de segurança foi obtido via índice de confiabilidade (β) para as formulações: NBR 6118:2003, CEB 90, ACI 318:2002 e EUROCODE 2 :1992. Tal variação foi realizada da seguinte maneira: à medida que a carga permanente fosse aumentada, a carga acidental era diminuída, tal que a soma das duas fosse sempre igual a 100%.

De forma a avaliar comparativamente as formulações empregadas nesse trabalho, um mesmo problema foi resolvido via análise de confiabilidade determinando o nível de segurança que cada uma das formulações apresentaria. A Figura 9 mostra os resultados obtidos. Na comparação entre formulações podemos observar que a formulação da NBR 6118:2003 é mais conservadora, uma vez que apresenta valores de nível de segurança, ou seja, índice de confiabilidade, menor que as outras formulações para um mesmo problema. Já a formulação que apresentou os maiores valores de índice de confiabilidade foi a formulação do ACI 318:2002. O comportamento das formulações com o aumento da porcentagem carga acidental sobre a total mostra que a formulação do ACI 318:2002 se assemelha a formulação do CEB – FIP MC 90, enquanto que, a formulação da NBR 6118:2003 tem um comportamento similar a formulação do EUROCODE 2:1992.

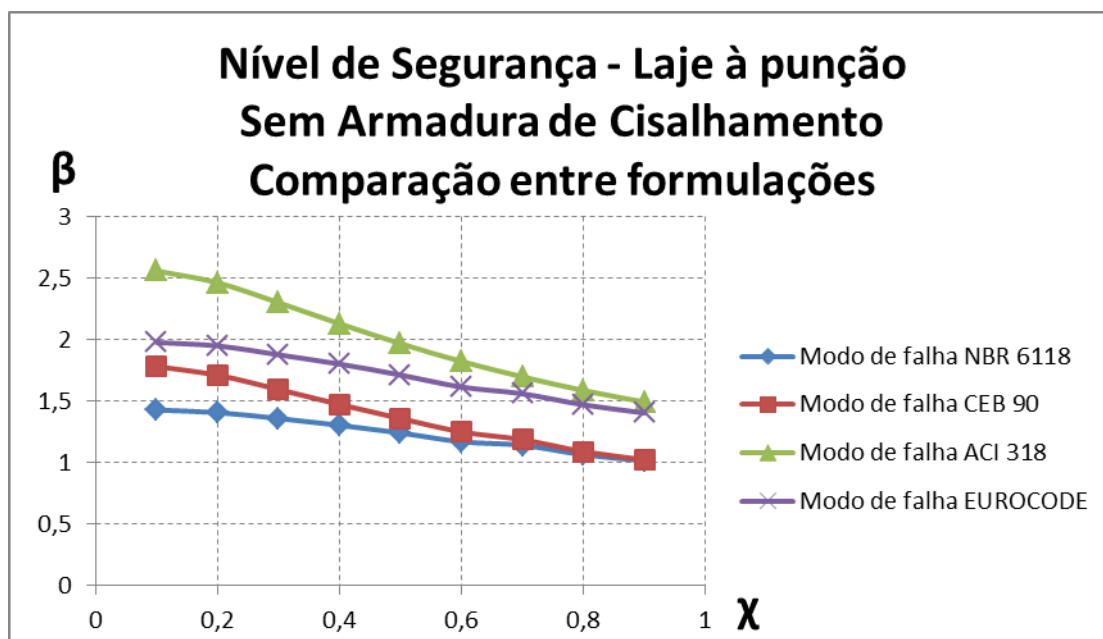


Figura 8: Variação do nível de segurança para alteração das cargas permanentes e acidentais.

Em seguida, foram realizadas simulações para verificar a sensibilidade das formulações à variação da resistência à compressão média do concreto. A Figura 10 mostra a variação do índice de confiabilidade em função da alteração da resistência média à compressão para um mesmo problema.

Na Comparação entre formulações podemos observar que a NBR 6118:2003, CEB – FIP MC 90 e ACI 318:2002 são mais conservadoras, pois se comportam de maneira similar diante da variação da resistência média à compressão do concreto. Já a formulação do EUROCODE 2:1992 apresenta uma maior diferença na variação do índice de confiabilidade diante da variação da resistência média do concreto.

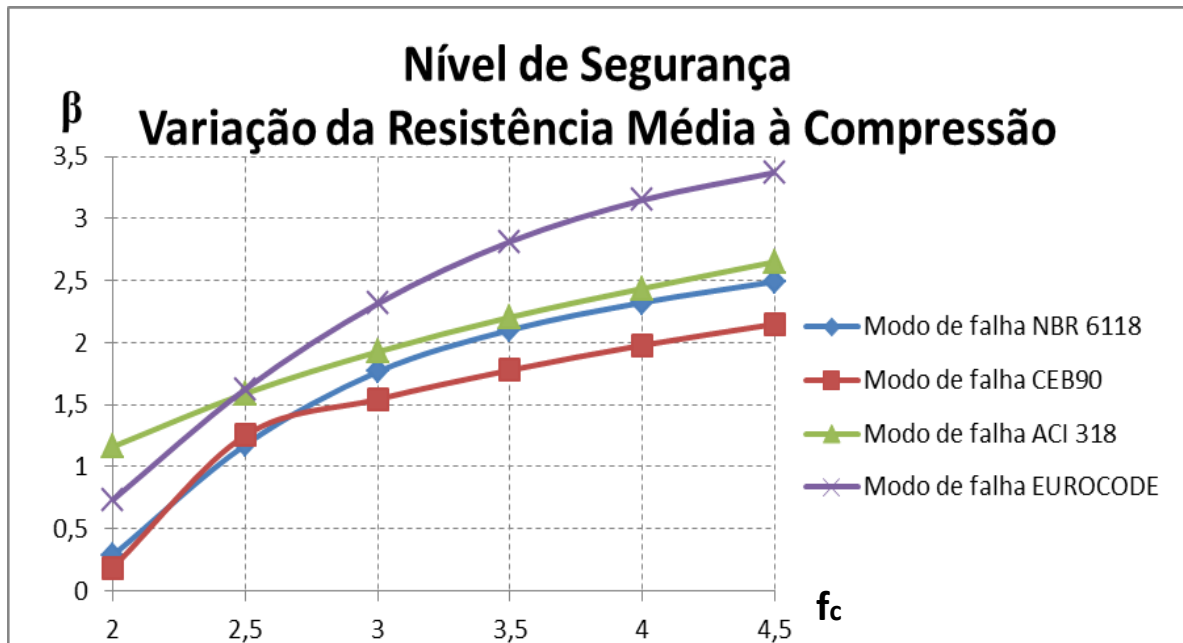


Figura 9: Variação do nível de segurança para alteração da resistência média à compressão.

Em seguida foi realizada a variação do perímetro crítico a fim de se observar o que ocorre com o nível de segurança de cada uma das formulações avaliadas no problema.

Na comparação entre formulações, observa-se que a NBR 6118:2003 e a CEB – FIP MC 90, novamente possuem uma variação bem próxima, sendo ambas mais conservadoras que as demais, pois apresentam os menores valores de níveis de segurança que as demais formulações para uma mesma variação de perímetro crítico. Já a formulação ACI 318:2002 foi a que mais se distanciou das demais, apresentando um nível de segurança bem mais alto para a mesma variação de perímetro crítico. Apesar de as formulações apresentarem índices de confiabilidade diferentes para um mesmo problema, nota-se pela Figura 11 mostrada abaixo, que todas as formulações possuem comportamento similar, já que nenhuma delas apresentou grande declínio de níveis de segurança para a variação do perímetro crítico.

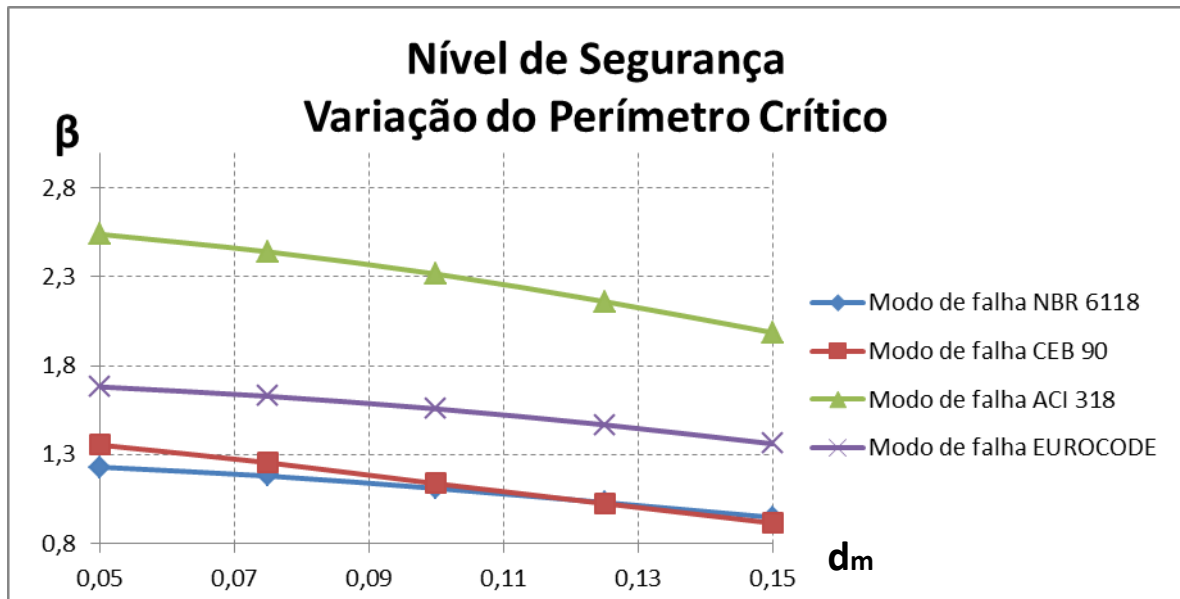


Figura 10: Variação do nível de segurança para alteração do perímetro crítico.

Para variação da área de armadura da laje, podemos observar na comparação entre as formulações, mostrada na Figura 12, que as formulações NBR 6118:2003 e EUROCODE 2:1992 apresentaram pouca variação do nível de segurança na medida em que a área de armadura da laje é majorada. Para a formulação do ACI 318:2002 nota-se que o nível de segurança é o mais constante com a variação da área de armadura da laje e também o alto de todos. Já a formulação do CEB – FIP MC 90 possui a maior variação de nível de segurança para a mesma alteração de área de armadura da laje.

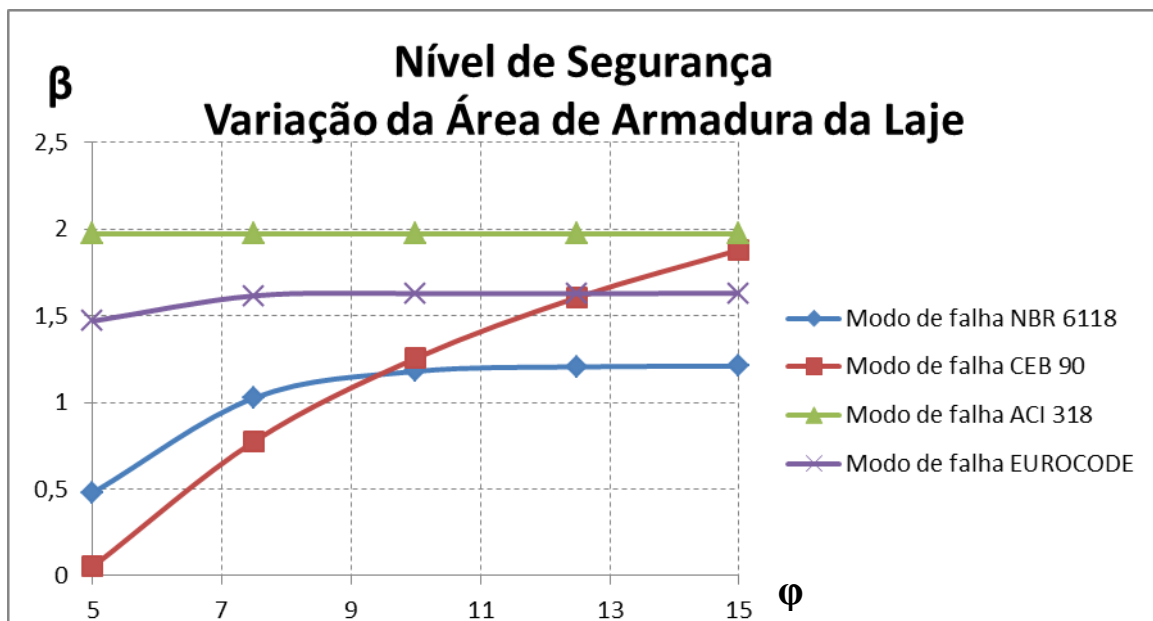


Figura 11: Variação do nível de segurança para alteração da área de armadura da laje.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

Através deste trabalho conseguimos mostrar que é possível verificar, avaliar e comparar os resultados para punção em lajes cogumelo via análise de confiabilidade para as diversas formulações apresentadas.

O estudo analisou e comparou como os diferentes modelos normativos de verificação de punção em lajes, via análise de confiabilidade, reagiram diante da variação dos seguintes parâmetros: variação das cargas permanentes e acidentais, da resistência média à compressão do concreto, do perímetro crítico e, por fim, da área de armadura da laje. Tal estudo foi feito a fim de identificar qual das formulações apresenta menor probabilidade de falha, mostrando também quais as variáveis que mais influenciam na segurança da estrutura de acordo com cada método e qual das formulações apresenta o maior índice de confiabilidade para cada uma das variações.

A aplicação de análise de confiabilidade na verificação da resistência da laje à punção proporciona parâmetros para uma avaliação mais precisa de seu comportamento, o que pode subsidiar projetos mais seguros e econômicos.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute. ACI 318-02. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318R-02). Farmington Hills, Michigan (2002).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, Brasil (2003)
- BECK, A.. – Curso de Confiabilidade Estrutural, Apostila USP/São Carlos, 2010.
- COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON, CEB - FIP. CEB – FIP Model Code Design Code 1990: Final Draft. Bulletin d'Information, CEB, Lousanne, Switzerland (1991).
- CORDOVIL, F. A. B. e Fusco, P. B. – Ensaios de Placas de Concreto Armado- Punção Excêntrica. In: XXVII Jornadas Subamericanas de Ingeniería Estructural, Tucumán (1995).
- FERREIRA, M. P. - Punção em Lajes de Concreto Armado com Armaduras de Cisalhamento e Momentos Desbalanceados. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD – 007 A/10 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental de Brasília, Brasília, DF, Brasil(2012)
- GOMES, W. J. S. – Estudo do Efeito das Incertezas na Otimização Estrutural. Dissertação de Mestrado. USP. Escola de Engenharia de São Carlos, SP, Brasil (2010).
- HALDAR, A. & MAHADEVAN, S. – Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering Design, John Wiley & Sons (1999).
- HENRIQUES, A. A. R. – Aplicação de Novos Conceitos de Segurança no Dimensionamento do Betão Estrutural. Doutorado, Universidade do Porto, Portugal, (1998).

JCSS – JOINT COMMITTEE ON STRUCTURAL SAFETY, The Probabilistic Model Code, disponível no site www.jcss.ethz.ch.

LIMA, E. C. P.; SAGRILO, L. V. S. - Programa de Engenharia Civil. Laboratório de Confiabilidade, Risco e Análise Aleatória. Fundação COPPETEC COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil (2002).

LOPES, P. A. M.; REAL, M. V. – Aplicação dos Métodos FORM e Monte Carlo na Avaliação da Confiabilidade de Vigas de Concreto Armado Recuperadas com PRFC. 4º Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, FURG, Rio Grande do Sul, RS, Brasil (2010).

MADSEN, H. O; TVEDT, L. - Methods for Time-Dependent Reliability and Sensitivity Analysis. *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 116, Nº 10, p. 2118-2135 (1990).

MURTEIRA, B. - Introdução à Estatística. Mc Graw-Hill (2007).

NEVES, R. A. – Desenvolvimento de Modelos Mecânicos-Probabilísticos Para Estruturas de Pavimentos de Edifícios. Tese de Doutorado. USP. Escola de Engenharia de São Carlos, SP, Brasil (2004).

PANTOJA, J. C. - Geração Automática Via Otimização Topológica e Avaliação de Segurança de Modelos de Bielas e Tirantes. Tese de Doutorado, Engenharia Civil, PUC-RIO, Brasil (2012).

SAGRILO, L. V. S. – Apostila do curso de confiabilidade estrutural, PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

SOUZA, L. P. - Avaliação de Confiabilidade Estrutural com Monte Carlo e Redes Neurais em um Ambiente de Software Integrado. Mestrado, Engenharia Civil, UFF, Niterói, Brasil, 2005.

SOUZA, L. P. - Avaliação de Confiabilidade Estrutural com Monte Carlo e Redes Neurais em um Ambiente de Software Integrado. Mestrado, Engenharia Civil, UFF, Niterói, Brasil (2005).

SQUARCIO, R. M. F. (2009a). Análise da Confiabilidade de Oleodutos Corroídos Utilizando o método de Monte Carlo: Um Estudo de Caso. Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil (2009a).

SQUARCIO, R. M. F.; NETO, A. C. (2009b). Análise da Confiabilidade de Oleodutos Corroídos Utilizando o método de Monte Carlo. *Anais do CNMAC*, vol. 2, Curitiba, PR, Brasil (2009).

TRAUTWEIN MOUTA, LEANDRO – Punção em Lajes Cogumelo de Concreto Armado: Análise Experimental e Numérica. Tese Doutorado, Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil (2006).