

ESTUDO DO EFEITO DE PUNÇÃO EM LAJES SOBRE PILARES: Modelagem Numérica em MEF

STUDY OF THE PUNISHMENT EFFECT IN SLABS ON PILLARS: Numerical Modeling in FEM

Raquel Lima Ferreira¹, Hildo Santiago¹

¹Faculdade de Integração do Sertão – FIS, Serra Talhada-PE, Brasil.

Resumo

O presente trabalho trata a respeito das lajes lisas e lajes cogumelo, mostrando o que são, quais são as suas vantagens, suas desvantagens, além de tratar a respeito da patologia que mais é comum acomete-las, que nesse caso é a punção, analisando assim o seu comportamento, quais fatores que afetam a resistência da laje para combater a punção e suas superfícies de ruínas. Tudo isso a fim de mostrar a eficiência do uso de chapas metálicas para se combater esse efeito nas lajes tidas como lisas. Sendo assim, o estudo foi realizado utilizando o método dos elementos finitos por meio do programa SAP, no qual foi modelada uma estrutura e nela foram aplicadas reforços em aço no intuito de combater à punção, aos quais ofereceram resultados que deixaram satisfatórios perante o objetivo proposto pelo trabalho, além de abrir os horizontes para futuras pesquisas pertinentes envolvendo esse tema, englobando mais áreas relacionadas ao cálculo estrutural e novas formas de abordagem do mesmo, além de permitir a utilização de outros programas que trabalham com o MEF.

Palavras-chave: Chapa Metálica. Punção. Lajes Lisas.

Abstract

The present work deals with smooth slabs and mushroom slabs, showing what they are, what are their advantages, their disadvantages, in addition to dealing with the pathology that most commonly affects them, which in this case is the puncture, thus analyzing its behavior, which factors affect the strength of the slab to combat the punch and its ruin surfaces. All of this in order to show the efficiency of the use of metal sheets to combat this effect in the slabs considered as smooth. Therefore, the study was carried out using the finite element method through the SAP program, in which a structure was modeled and steel reinforcements were applied in order to combat the puncture, which offered results that were satisfactory in view of the proposed objective for the work, in addition to opening the horizons for future research involving this theme, encompassing more areas related to structural calculations and new ways of approaching it, besides allowing the use of other programs that develop with the FEM.

Key words: Sheet Metal. Puncture. Flat Slabs.

Introdução

Nas edificações de concreto armado, comumente, seus elementos estruturais básicos apresentam uma disposição na qual os esforços, tanto os externos como os ocasionados pelo peso próprio da estrutura, são transmitidos das lajes para as vigas e destas para os pilares, porém uma alternativa construtiva bastante utilizada, que foge a essa regra, são as lajes lisas, ou como também são conhecidas, lajes cogumelos, que é um modelo estrutural que não conta com a presença de vigas na sua constituição, sendo todos os esforços transferidos da laje diretamente para os pilares.

Apesar de ser um modelo muito utilizado devido a possibilidade de simplificação de todo o processo construtivo através da maior agilidade que o modelo estrutural permite, reduzindo o custo da mão de obra, as lajes lisas não possuem uma metodologia teórica que venha a explicar de forma satisfatória e completa como alguns fenômenos dessa estrutura trabalham, o que acaba atribuindo a mesma pontos negativos para a sua execução.

Dentre os fenômenos que acometem esse tipo de laje, um que se apresenta como um ponto crucial no dimensionamento da estrutura é o efeito da punção, que se dá devido à grande acumulação de cargas nos locais onde a laje se apoia nos pilares gerando a concentração de tensões originadoras de cisalhamento, o que acaba por fazer com que a laje ceda sobre o(s) pilar(es), podendo, em casos mais críticos, levar a edificação a ruína.

Afim de evitar a ocorrência ou diminuir a atuação de tal fenômeno, será analisado, por meio do programa de método dos elementos finitos (MEF) SAP, a manifestação e o comportamento apresentado pelo efeito da punção em uma estrutura de laje-pilar simples, e em seguida mostrar a eficiência na utilização de uma chapa metálica instalada na região mais afetada, garantindo a segurança e a viabilidade da estrutura.

Com esse estudo percebe-se a importância que tem-se em realizar toda uma análise a respeito do comportamento que será apresentado pelas estruturas submetidas ao efeito da punção, permitindo assim conhecer os pontos críticos do elemento que, caso não tenham uma atenção redobrada, podem vir a gerar patologias na laje e resultar na ruína da edificação. Além de agregar mais conhecimento teórico para o estudo desse tipo de laje.

Considerações Iniciais

No presente estudo será tratado o efeito da punção, ocasionado por lajes apoiadas diretamente sobre pilares, que são conhecidas por lajes lisas ou lajes cogumelos, as vantagens e desvantagens atribuídas a esse modelo estrutural, os mais variados comportamentos que as mesmas podem apresentar, além dos fatores que influenciam tal efeito, para que assim, posteriormente, serem realizados os testes por meios computacionais a fim de comprovar a eficiência no uso de chapas metálicas no combate ao efeito da punção.

LAJES LISAS E LAJES COGUMELOS

De acordo com ABNT NBR 6118 (2014, p. 97), "lajes-cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares com capitéis, enquanto lajes lisas são apoiadas nos pilares sem capitéis" (vide figura 1). Complementando tal definição, como expresso por Carvalho (2008, p.1), "as lajes lisas, também denominadas de laje planas, são estruturas laminares horizontais, em concreto armado ou protendido, que se apoiam rígida e diretamente em pilares; não existindo vigas para transferência dos esforços", figura 2. Partindo de tais definições é perceptível que os pontos que apresentarem uma maior tensão, devido as cargas aplicadas, serão nas regiões de contato entre a laje e os pilares, e em seu entorno, essas tensões acabam por gerar esforços, que podem vir a causar rupturas no elemento estrutural.

Figura 1 – Laje Cogumelo

Fonte: Neo Ipsum (2020)

Figura 2 – Laje Lisa

Fonte: Carluc (2020)

VANTAGENS DAS LAJES LISAS

Em todo elemento construtivo, antes da sua execução, são elaborados os projetos, nos quais constam as informações necessárias para execução do modelo desejado, e são nessas etapas que são avaliadas as vantagens e desvantagens dos tipos de elementos estruturais existentes e, a partir disto, é decidida qual proposta melhor adequa-se na situação em questão e a mesma é utilizada. Não diferente dos demais modelos construtivos as lajes lisas e cogumelos possuem diversas vantagens para sua utilização e dentre elas temos, como foi apresentado por Figueiredo (1989), a adaptabilidade as mais variadas formas, permitindo uma liberdade para futuras reformas ou modificações; redução no número de fôrmas e facilidade na sua execução; devido à ausência de vigas ocorre uma simplificação na elaboração das armaduras e, conseqüentemente, da concretagem e diminuição no uso de revestimento; ocorre também uma redução no uso de cimento, pois o concreto poderá ser mais fluído, da altura total da edificação e do tempo de execução, além de facilitar o processo de instalações, tudo isso gerando uma melhoria das condições habitacionais. Ou seja, esse modelo construtivo, unindo a grande maioria das suas vantagens acaba por trazer mais uma vantagem, que é a redução do custo total da obra.

DESVANTAGENS DAS LAJES LISAS

Como falado anteriormente, as vantagens do elemento estrutural trabalhado são inúmeras, mas como qualquer outro elemento, as lajes lisas e de cogumelo também vem com uma série de desvantagens, que podem acabar por sobressair diante de seus pontos positivos e inviabilizar a sua execução. Os pontos negativos que acometem essas lajes são, segundo Figueiredo (1989), os deslocamentos transversais que ocorrem na laje; a instabilidade, que é maior na edificação como um todo, quando comparada a uma edificação com presença de vigas, devido as ações de tensões horizontais; e a punção das lajes sobre os pilares, sendo o principal problema que acomete esse modelo construtivo.

PUNÇÃO EM LAJES LISAS E SEU COMPORTAMENTO

O efeito da punção é ocasionado quando se realiza um subdimensionamento da laje e/ou dos pilares, ou ainda quando há um carregamento superior àquele ao qual foi projetado os elementos receptores das cargas, gerando uma ruptura da laje, em outras palavras, como dito por Carvalho (2008, p. 2) "O que se convencionou em chamar de "punção" nessas peças estruturais é o efeito de ruptura transversal, por cisalhamento, em torno de regiões relativamente pequenas submetidas a carregamentos localizados." O comportamento das lajes lisas e cogumelos, quando sob efeito da punção, se dá, segundo Trautwein (2006), quando ocorre uma concentração de forças que atuam nas lajes, gerando tensões de cisalhamentos elevadas em seu entorno, quando essas lajes são lisas, e ainda, quando se tratando de lajes cogumelo, essas tensões são geradas pelas forças aplicadas pelos pilares, essas duas situações podendo ocasionar a ruptura do elemento estrutural de forma abrupta, o que acaba por tornar esse modelo estrutural mais perigoso ainda quando não projetado e executado da forma correta.

FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTÊNCIA À PUNÇÃO

São diversos os fatores que podem vir a influenciar o efeito, fatores esses que podem ser corrigidos para se resistir as consequências provenientes da punção. Dentre os causadores/impedidores, os de importância para este estudo apresentados por Rabello (2010), são: a espessura da laje, podendo-se aumentar a espessura total da mesma ou somente nas regiões propícias ao efeito, para assim evita-lo; pode-se também alterar as dimensões e formato dos pilares, a fim de se obter o mesmo resultado; realizar a instalação de armadura de punção na ligação entre a laje e o pilar, aumentando assim a resistência; entre muitos outros fatores. Complementando, ainda, com o trabalho de Melges (1995), pode-se levar como parâmetros envolvidos no efeito da punção a resistência do concreto, a taxa de armadura de flexão da laje e a relação momento fletor/força cortante na ligação laje-pilar.

SUPERFÍCIE DE RUÍNA E ARMADURAS DE COMBATE À PUNÇÃO

De acordo com Melges (1995) levando-se em consideração a superfície de ruína, está pode apresentar formas que variam de acordo com dois parâmetros, sendo o primeiro deles a posição do pilar, que pode ser de borda, de canto ou ainda interno, interferindo assim em alterações na forma da ruína de acordo com as bordas do pilar que se apresentam livres, o que se dá devido à presença de momentos torçores e fletores na ligação laje-pilar. O segundo fator está relacionado com a presença de armadura transversal no entorno do pilar, que é responsável pelo combate ao efeito da punção quando dimensionada de forma satisfatória para aquela função, sendo válido ressaltar a existência de diversos tipos de armaduras ou até mesmo reforços que são utilizados para combater esse efeito, como é o caso da chapa metálica.

Materiais e Métodos

Com o intuito de trabalhar utilizando o método dos elementos finitos, optou-se pelo uso do programa SAP para realizar a modelagem das estruturas que se fazia necessário a análise para, posteriormente, fazer o comparativo, visando comprovar a eficiência na escolha da chapa metálica para combater o efeito da punção. Esse método foi escolhido devido a possibilidade de dividir os elementos em partes finitas que funcionam como uma espécie de malha que acaba por trazer uma maior precisão na disposição dos resultados ofertados.

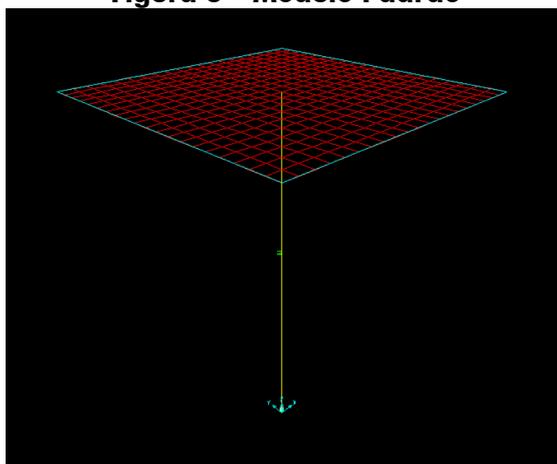
MODELO PADRÃO

Inicialmente, como modelo-padrão, foi modelada uma laje quadrada simples, com dois (2) metros de lado e com uma espessura de dez (10) centímetros, que encontrava-se apoiada, de forma centralizada, em um pilar interno quadrado que se encontra engastado na parte inferior, possuindo vinte (20) centímetros de lado e uma altura de três (3) metros, como é mostrado na Figura 3. Além do peso próprio da estrutura foi atribuída a ela uma sobrecarga de dois mil (2000) kN para efeito de cálculo, lembrando que foi utilizado como unidade de medida no SAP o Newton, Metro e o Celsius.

Realizado todo o processo de modelagem da estrutura, a área correspondente a laje foi colocada para se subdividir no máximo de partes possuindo dez (10) centímetros nas duas direções e, logo após, foi feita a simulação dos apoios, na qual a base do pilar se encontrava engastado, com um apoio do terceiro (3º) gênero, e as vigas presentes no entorno da laje restringidas por apoios do primeiro (1º) gênero. Em seguida, foram definidas as seções do pilar, com as dimensões apresentadas acima, com duas ferragens longitudinais em cada direção e possuindo bitola de dez (10) milímetros, e a da laje, que em continuidade foram atribuídas a modelagem que já se encontrava pronta (vide figura 3). Depois realizou-se a definição dos materiais, que nesse caso foi um concreto de vinte e cinco (25) MPa, para, por fim, criar a sobrecarga e coloca-la para realizar a ação sobre a laje, considerando a atuação do peso próprio da estrutura. Com a conclusão dessa etapa o programa pode enfim ser colocado para

rodar e ser realizada a colheita inicial dos dados, referente ao comportamento da punção quando a laje se apresentava sem nenhum tipo de reforço.

Figura 3 – Modelo Padrão



Fonte: Próprio autor (2020)

MODELOS REFORÇADOS COM CHAPAS METÁLICAS

Após obter os dados do modelo padrão foi a vez de elaborar o primeiro modelo de reforço para o combate à punção, sendo encontrada o ponto crítico da laje, foi modelado uma seção de área com vinte (20) centímetros de lado na região da laje que ficava acima do pilar. Em seguida foi criado um novomaterial, sendo dessa vez um aço, o que fez necessário colocar um módulo de elasticidade de duzentos e dez (210) GPa, para que assim fosse criada uma nova seção de área de chapa grossa com cinco (5) centímetros de espessura e a mesma fosse atribuída a modelagem feita inicialmente, sendo ela subdividida no máximo de partes possuindo cinco (5) centímetros cada, nas duas direções. Finalizado essas etapas, levando-se em consideração o peso próprio associado a sobrecarga, que continuava a mesma, foi rodado o programa e colhido os dados.

Além do primeiro modelo de reforço de chapa metálica, foram feitos mais cinco, aos quais dois possuíam a mesma largura e o mesmo comprimento do modelo anterior, porém um com espessura de dez (10) centímetros e outro com quinze (15) centímetros, o outro apresentando quarenta (40) centímetros de largura, quarenta (40) de comprimento e cinco (5) de espessura, e os dois últimos com os mesmos quarenta (40) centímetros de lado, porém um com dez (10) centímetros de espessura e o outro com quinze (15) centímetros.

Resultados e Discussões

Concluída a modelagem no SAP e rodada a estrutura no mesmo, foram obtidos os resultados referentes ao comportamento da laje quando acometida pela ação do efeito da punção, que são apresentados na tabela 1, mostrada a seguir:

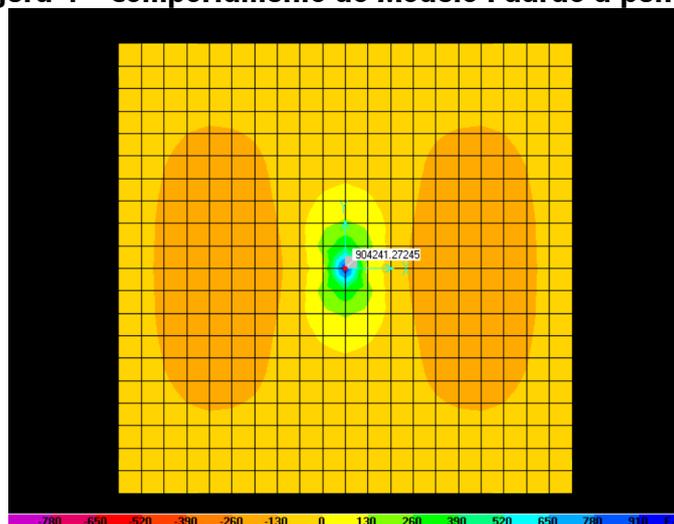
Tabela 1 - Tensões oriundas do efeito da punção.

Estruturas	Área (m ²)	Espessura (m)	Tensão (Mpa)
Modelo Padrão	4	0,1	0,90
Reforço 1	0,04	0,05	1,26
Reforço 2	0,04	0,1	0,64
Reforço 3	0,04	0,15	0,36
Reforço 4	0,16	0,05	1,34
Reforço 5	0,16	0,1	0,72
Reforço 6	0,16	0,15	0,43

De início foi encontrada uma pequena dificuldade para se ajustar o programa SAP para rodar a estrutura de forma que satisfizesse todas condições exigidas e permitisse a atribuição de uma chapa de aço na parte superior da laje de concreto, sanada tal objeção, deu-se continuidade a todo o processo de modelagem encontrando resultados que satisfizeram os objetivos do presente trabalho, mas também alguns que abriam as portas para futuras pesquisas envolvendo esse material.

Observando os resultados encontrados, fica perceptível a forma que as tensões, referentes ao efeito da punção, se distribuem ao longo da laje que está em contato com o pilar. Percebe-se que no caso do modelo padrão o seu ponto de maior concentração fica localizado no eixo central da estrutura, sendo que, ao longo da direção "X" ocorre uma variação de tensão decrescente em uma menor área da malha, ao passo que no eixo "Y" essa variação ocorre em uma região maior, tendo suas menores tensões mais próximas das bordas verticais, como apresentado na figura 4.

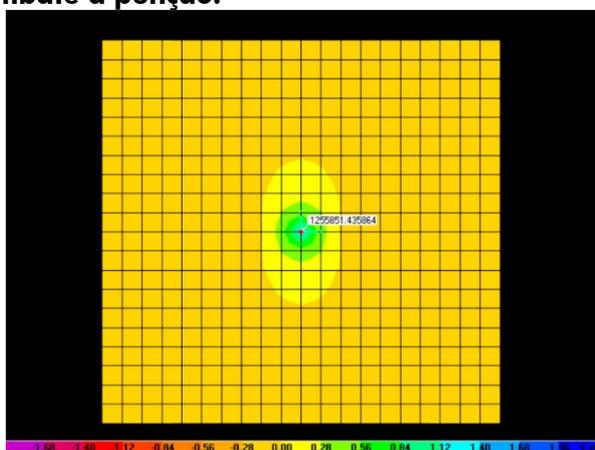
Figura 4 – Comportamento do Modelo Padrão à punção.



Fonte: Próprio autor (2020)

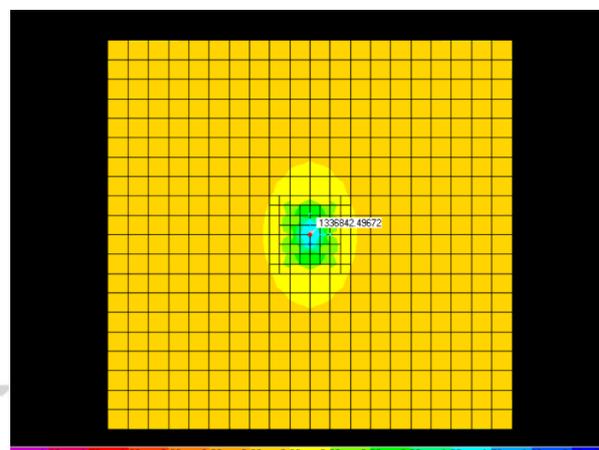
Dando continuidade ao estudo, na modelagem das duas chapas de reforço com cinco (5) centímetros de espessura, foi observado uma elevada absorção da tensão pela placa metálica, aliviando assim o esforço causado pelo pilar na laje, contribuindo assim no combate ao efeito de punção, como é mostrado nas figuras 5 e 6.

Figura 5 – Laje com chapa metálica de 20x20 e 0,5 de espessura, sendo a chapa ideal para o combate a punção.



Fonte: Próprio autor (2020)

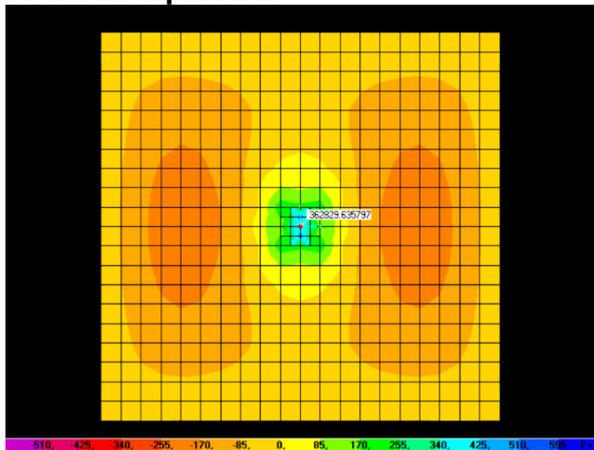
Figura 6 – Laje com chapa metálica de 40x40 e 0,5 de espessura



Fonte: Próprio autor (2020)

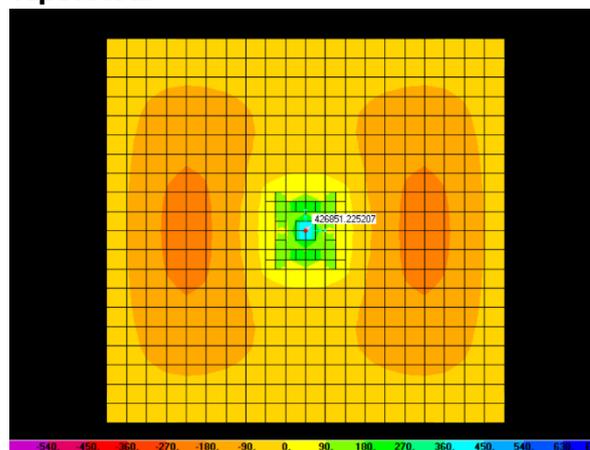
As chapas metálicas quetinham como espessura dez (10) centímetros obtiveram, também, resultado satisfatório, tendo a tensão absorvida pela chapa reduzida quando comparada a laje do modelo padrão, o que abre horizontes para identificar o porquê dessa absorção ser tão inferior com relação as chapas menos espessas. Por fim, foram apresentadas as chapas com quinze (15) centímetros de espessura (vide figuras 7 e 8), que possuindo valores menores de absorção das tensões quando relacionadas com as placas com espessura de dez (10) centímetros.

Figura 7 - Laje com chapa metálica de 20x20 e 15 cm de espessura.



Fonte: Próprio autor (2020)

Figura 8 - Chapa Metálica de 40x40 e 15 cm de espessura.



Fonte: Próprio autor (2020)

Considerações Finais

Como era de se esperar, os objetivos do presente trabalho foram atingidos, ou seja, foi comprovado a eficiência da chapa metálica para se combater o efeito da punção, como também foi propiciado a representação do comportamento das lajes quando submetidas as tensões oriundas da ação direta do pilar, além de permitir que outros trabalhos sejam iniciados com base em situações que aqui foram expostas, o que abre novos horizontes para a pesquisa na área estrutural da Engenharia Civil.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6118: Projeto de Estruturas de Concreto Armado**. Rio de Janeiro, 2014.

CARVALHO, Clauderson Basileu. **Análise Crítica dos Critérios normativos de Dimensionamento à Punção em Lajes Lisas**. 2008. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal De Minas Gerais - Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2008.

FIGUEIREDO FILHO, Jason Rodrigues. **Sistemas Estruturais de Lajes sem Vigas: Subsídios para o projeto e execução**. 1989. Dissertação (Doutorado) – Programa de Doutorado em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia, São Carlos, 1989.

HEINEN, SABRINA KALISE, **Punção em lajes lisas de concreto armado- Dimensionamento de um pavimento**, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MELGES, JOSÉ LUIZ PINHEIRO, **Punção em lajes: Exemplos de cálculo e análise teórico-experimental**, 1995. Dissertação-Universidade de São Paulo, 1995.

RABELLO, Fernando Toppan. **Análise Comparativa de Normas para a Punção em Lajes de Concreto Armado**. 2010. Dissertação (Pós-graduação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

TAKAHASHI, J. A.; FILET, N. B.; GARDIM, S. M.a; SAHEKI, Y. **Guia prático para elaboração de dissertação, tese, monografia e projeto de pesquisa**. São Paulo, 2017.

TRAUTWEIN, Leandro Moura. **Punção em Lages Cogumelo de Concreto Armado: Análise Experimental e Numérica**. 2006. 329 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Recebido em: 10/05/2021

Aprovado em: 20/06/2021