

Análise numérica do ensaio de cisalhamento em lajes maciças

Numerical analysis of shear test on slabs massive

Rodrigo Gustavo Delalibera(1); Márcio Alves de Oliveira Filho(2); Antonio de Paulo Peruzzi(3)

1 Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

E-mail: delalibera@ufu.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4730-6018>

2 Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

E-mail: marcio_alves_5@hotmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6804-0127>

3 Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.

E-mail: aperuzzi@ufu.br | ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0948-7930>

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 8, n. 1, p. 1-22, janeiro-junho, 2021 - ISSN 2358-6508

[Recebido: maio 07, 2019; Aceito: setembro 4, 2020; Publicado: setembro 6, 2021]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2021.v8i1.3310>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora: Aline Zanchet

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui!/click here!](#)

Resumo

Este artigo apresenta uma análise numérica de lajes submetidas à ação preponderante de força cortante. Realizou-se uma modelagem numérica usando o método dos elementos finitos, tendo como referência ensaios experimentais de lajes maciças. Na modelagem numérica foram considerados os efeitos da não linearidade plástica do concreto por meio dos modelos *Concrete* e *Drucker-Prager*, utilizando-se o módulo de elasticidade do concreto corrigido conforme a seção transversal homogeneizada. As barras de aço também foram modeladas considerando a plasticidade do material, sendo considerado modelo elasto-plástico perfeito. Os modelos numéricos apresentaram boa correspondência com o comportamento observado experimentalmente.

Palavras-chave: Lajes maciças. Análise numérica. ANSYS®. Cisalhamento.

Abstract

This paper presents a numerical analysis of slabs submitted to the prevailing action of shear force. Firstly, an introduction was made on massive slabs, numerical modeling using the finite element method and on experimental tests of slabs subjected to shear force. With values obtained from experimental results a numerical modeling of slabs was performed considering the plastic non-linearity of the concrete through the *Concrete* and *Drucker-Prager* models, using the modulus of elasticity of concrete corrected according to the homogenized section, based on experimental data. The steel bars were also modeled considering the plasticity of the material. Numerical models showed good correspondence with experimental behavior.

Keywords: Massive slabs. Numerical analysis. ANSYS®. Shear.

1 Introdução

A modelagem computacional por permite que seja economizado otimizado tempo para a definição de parâmetros a serem investigados experimentalmente. Para que isso ocorra é necessário definir critérios que se aproximem do comportamento mais próximo do real. Por meio da modelagem numérica dos elementos estruturais, permite-se obter dados relativos ao comportamento mecânico, como: forças, deslocamentos, fissuras, tensões, deformações, entre outros.

Neste artigo foi realizada uma revisão bibliográfica referente a assuntos inerentes à modelagem computacional de lajes maciças de concreto armado, submetidas à força cortante, entre os trabalhos analisados, citam-se: Cavalcanti (2011) e Jiang e Wu (2012). Por meio do trabalho de Cavalcanti (2011) obteve-se dados experimentais que foram utilizados na entrada de dados para a modelagem computacional e que, os resultados foram comparados com os resultados do ensaio experimental. Utilizou-se o trabalho de Jiang e Wu (2012), pois o mesmo apresentou parâmetros acerca do modelo de falhar de Drucker-Prager.

Neste trabalho, foram desenvolvidos três modelos numéricos de lajes maciças, utilizando-se o programa computacional Ansys®, baseado no método dos elementos finitos. Os resultados numéricos obtidos foram comparados com os resultados experimentais. Cada laje foi modelada de três formas, variando-se os módulos de elasticidade longitudinal do concreto, sendo considerados dos valores dos módulos experimental e o “corrigido”, e, também por dois critérios de falha plásticos (critérios ou critério ruptura), denominados: *Concrete* e Drucker-Prager.

2 Objetivos

O artigo teve como objetivo a análise numérica de três lajes maciças de concreto armado por meio do programa computacional Ansys®.

Também for elaborado um roteiro de modelagem por meio de arquivo de texto que possa servir para outras modelagens de lajes em concreto armado.

3 Contextualização

3.1 Lajes maciças

Lajes são elementos planos, em que a espessura é muito menor que as dimensões do plano e são solicitadas por ações normais (cargas) e paralelas (diafragmas rígidos) ao plano médio. Seu comportamento estrutural é definido por meio de relações geométricas, sendo armadas em duas direções ou em uma direção. Num projeto, a primeira etapa

consiste na definição do vão efetivo (distância entre os apoios), após determinam-se as vinculações, a espessura da laje e por fim, a definição dos carregamentos.

3.2 ANSYS®

O ANSYS® é um programa computacional genérico para análise pelo método dos elementos finitos, desenvolvido pela empresa americana Swason Analysis Systems Inc. Trata-se de um programa “rico” quanto à biblioteca dos elementos finitos, tipos de análises possíveis e recursos numéricos. Permite a análise de problemas estruturais, fenômenos eletromagnéticos, transferência de calor, escoamento de fluidos, acústica e ainda dispõem de módulos para otimização de projetos.

Já na área de estruturas é possível realizar análises dinâmicas, estáticas e de estabilidade. Análises não lineares de naturezas tanto físicas quanto geométricas, levando-se em consideração deslocamentos, deformações, plasticidade, viscosidade, fluência, entre outros fenômenos. O programa computacional possui uma interface gráfica dotada de recursos para modelagem. Dentre as várias opções de modelos constitutivos duas são mais adequadas para o concreto: modelo elasto-plástico (baseado no critério de Drucker-Prager) e materiais frágeis: *Concrete* (critério William-Warnke).

A análise numérica tem como objetivo apresentar tendências de comportamento dos modelos analisados. Dividiu-se a força normal em incrementos de carregamentos com valores iguais aos obtidos aos valores da força de ruptura obtida experimentalmente. Para a modelagem do material concreto, utilizou-se o elemento finito *Solid 65*, *Solid 185* e *Link 180*.

- *Solid 65*: esse elemento possui oito nós, com três graus de liberdade por nó – translações nas direções x, y e z e apresenta deformações plásticas, fissuração e esmagamento em três direções ortogonais. A fissuração ocorre quando a tensão principal de tração em qualquer direção atinge a superfície de ruptura. Após a fissuração, o módulo de elasticidade do concreto tem valor igual a zero na direção considerada. O esmagamento ocorre quando todas as tensões de compressão atingem a superfície de ruptura, subsequentemente, o módulo de elasticidade tem valor igual a zero em todas as direções. (ANSYS®, 2017)

- *Solid 185*: os pontos de apoio e o ponto de aplicação das cargas foram modelados com o elemento finito do tipo SOLID185. Ele é definido por oito nós com três graus de liberdade em cada nó: translações nas direções x, y e z e permite a consideração da plasticidade e grandes deformações. Este elemento foi utilizado para simbolizar as taliscas de madeira utilizadas nos ensaios experimentais, conforme item 4.

- *Link 180*: este elemento foi utilizado para discretização das barras de aço. Todas as propriedades mecânicas e geométricas adotadas na análise comparativa foram iguais às usadas nos ensaios experimentais: módulo de elasticidade e tensão de escoamento.

As condições de contorno empregadas nos modelos numéricos e o carregamento também buscaram representar, de maneira fiel, os ensaios experimentais.

3.3 Cisalhamento em lajes

O cisalhamento é resistido em maior parte pelo próprio concreto nas peças não fissuradas, enquanto as tensões principais de tração dos estados múltiplos de tensões existentes na alma da peça não provocam a ruptura do concreto por tração.

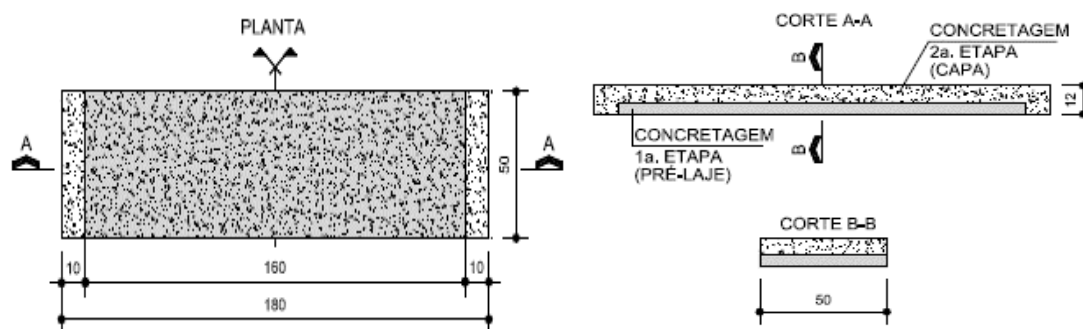
Diab & Naggar (2015) afirmam que o cisalhamento pode ser transferido por meio de sete princípios básicos: tensões de cisalhamento no concreto (V_c); cisalhamento da interface concreto-aço (V_{ci}); tensões de tração residual no concreto (V_{tc}), efeito arco (V_{ea}), efeito de pino (V_{ep}), compressão axial (V_{ca}) e a armadura transversal (V_{sc}). Em uma viga sem esforços axiais, no geral, antes das fissuras de flexão, todas as forças de cisalhamento são resistidas pelo concreto; após a formação de fissuras de flexão e antes da formação de fissuras de força cortante, o cisalhamento externo é resistido pelo concreto não fissurado, efeito de pino e pela coesão dos agregados. Neste momento a tensão no concreto é igual à tensão nos estribos devido à compatibilidade de deformação (quando as deformações de aço são maiores que 2‰ de tensão). Assim, os estribos não impedirão que as fissuras diagonais se formem e não contribuirão para a capacidade de cisalhamento da viga antes da fissuração.

3.4 Cavalcanti (2011)

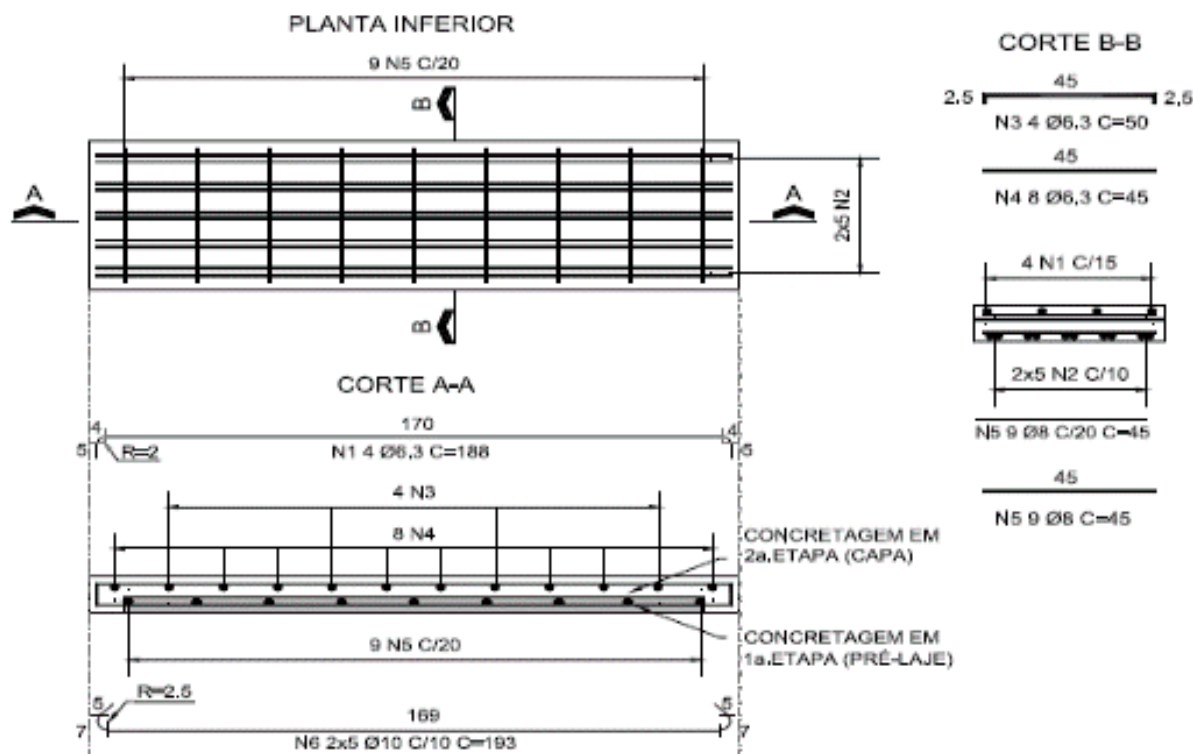
Cavalcanti (2011) analisou o comportamento à fadiga ao cisalhamento em lajes executadas com pré-lajes armadas com barras e telas soldadas. A pesquisa experimental dividiu em duas etapas: ensaios estáticos com controle de deslocamento medindo-se as forças de fissuração e última; ensaios de fadiga com carregamentos cíclicos com controle de força, ambos em lajes de concreto com pré-lajes em concreto armado. A armadura longitudinal utilizada com barras de aço de categoria CA-50, com diâmetro de 10 mm. A Figura 1 mostra a geometria das lajes ensaiadas, sendo que as pré-lajes possuem 5 cm de espessura.

A distribuição das armaduras das 9 lajes montadas possui armadura positiva principal de 8cm^2 ($2 \times 5 \phi 10$ mm, cada 10 cm) e armadura de distribuição de $\phi 8$ mm, cada 20 cm. A armadura negativa é de $\phi 6,3$ mm, c/ 15 cm, as lajes possuem cobrimento de 2,5 cm. A Figura 2 ilustra a configuração das armaduras.

Figura 1. Geometria das lajes, dimensões em centímetros



Fonte: Cavalcanti, 2011.

Figura 2. Distribuição das armaduras – distâncias em centímetro

Fonte: Cavalcanti, 2011.

A Tabela 1 apresenta o resumo geral dos grupos de lajes estudados.

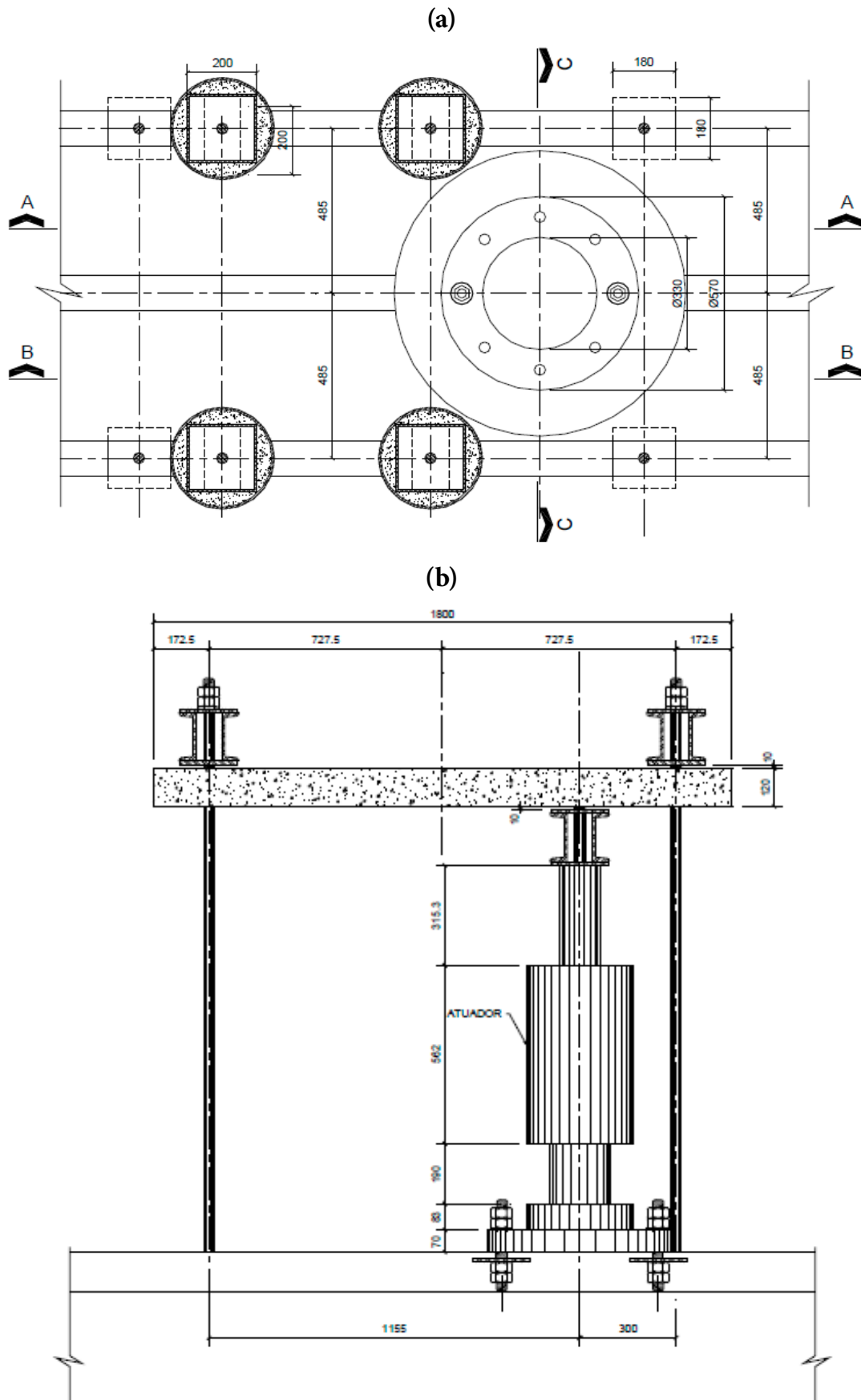
Tabela 1. Grupos de ensaio

Grupos	Dimensões	Superfície	Quantidade	Aço	A_s (cm ²)
1	1,80 X 0,50 X 0,12	Rugosa	3	CA-50	8,00
2	1,80 X 0,50 X 0,12	Rugosa	3	CA-50	8,00
3	1,80 X 0,50 X 0,12	Lisa	3	CA-50	8,00

Fonte: Cavalcanti, 2011. (Adaptada)

O ponto de aplicação da carga foi a uma distância de 30 cm dos apoios, configurando ruptura por cisalhamento, já que a laje possuía “alta” taxa de armadura longitudinal de flexão. O arranjo estrutural escolhido foi o de laje simplesmente apoiada e o esquema de ensaio foi um pórtico fixado a uma laje de reação. Entre a laje e os apoios e os carregamentos existiam taliscas de madeira para que a carga seja distribuída uniformemente em uma faixa da laje. Estas taliscas possuíam 2 cm de largura e 1 cm de espessura e se estendem por toda extensão da laje. A Figura 3(a) mostra a vista frontal do pórtico de reação utilizado no ensaio de cisalhamento e a Figura 3(b) a vista superior.

Figura 3. Ensaio de cisalhamento – Modelo do pórtico (a) Corte; (b) Vista frontal; cotas em milímetros



Fonte: Cavalcanti, 2011.

Cavalcanti (2011) realizou a caracterização dos materiais por meio de ensaios complementares e para o concreto, estes ensaios foram realizados aos 28 dias de idade e no mesmo dia do ensaio das lajes. Sendo: f_c é a resistência à compressão do concreto, obtida experimentalmente pela média das resistências; $f_{ct,sp}$ é a resistência a tração indireta (compressão diametral); f_{ct} é a resistência a tração direta do concreto, considerada igual a $0,9 \times f_{ct,sp}$ conforme a NBR 6118 (2014); E_{ci} é o módulo de elasticidade tangente inicial cordal a 30% de f_c , obtido conforme ensaio descrito na ABNT 8522 (2008). A Tabela 2 apresenta estes valores para os 3 grupos, além do $E_{corrigido}$ que é o módulo de elasticidade longitudinal do concreto da seção transversal homogeneizada (considerando a correlação entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto). Já na caracterização do aço, as barras de aço categoria CA-50, foram ensaiadas por meio de tração direta para barras isoladas. A Tabela 3 mostra os valores obtidos de acordo com o diâmetro.

Tabela 2. Características do concreto utilizado

Lajes	f_c (MPa)	f_c (MPa)	$F_{ct,sp,exp}$	Módulo de elasticidade	
	28 (dias)	J (dias)	(MPa)	(MPa)	E - experimental (GPa) E - corrigido (GPa)
GRUPO 1					
1	-	278	38,43	5,03	30,60 3,013
GRUPO 2					
5	33,92	74	32,62	3,72	30,33 6,632
GRUPO 3					
7	23,19	69	29,07	3,62	27,36 6,335

Fonte: Cavalcanti, 2011. (Adaptada)

Tabela 3. Características do aço utilizado

Φ (mm)	$A_{s,ef}$ (cm ²)	f_y (MPa)	ϵ_y (‰)	E (GPa)
8,00	0,503	603	3,03	198,80
10,00	0,785	592	3,10	191,08

Fonte: Cavalcanti, 2011. (Adaptada)

O modelo desenvolvido nesse trabalho é uma aproximação do trabalho de Cavalcanti (2011) na qual foram comparados os resultados experimentais obtidos pelo autor com os dados obtidos pelo programa computacional. Foram realizadas duas análises, uma utilizando o módulo de elasticidade experimental fornecido por Cavalcanti (2011) e outra com o módulo de elasticidade da seção homogeneizada, chamado módulo de elasticidade corrigido. Considerou-se o módulo de elasticidade corrigido, com intuito de se obter uma correção próxima em relação aos ensaios experimentais das lajes. O quadro 2 apresenta os módulos de elasticidade corrigidos, de acordo com o deslocamento experimental, inércia da seção homogeneizada e a área de aço efetiva, conforme a Equação 1 que representa a flecha para viga biapoiada.

$$E_{\text{corrigido}} = \frac{P \times b}{3 \times L \times I \times \delta} \times \sqrt{\left(\frac{L^2 - b^2}{3}\right)^3} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

P = carga aplicada em cada passo de carga (kN);

b = distância do apoio esquerdo (cm);

L = vão efetivo da laje (cm);

I = inércia da seção homogeneizada (cm⁴);

δ = deslocamento experimental (cm);

Os valores de ruptura das lajes à força cortante foram aferidos nos ensaios, imediatamente após a ruptura. No grupo 1, a laje 1 foi submetida ao ensaio de ruptura, já as lajes 2 e 3 foram submetidas ao ensaio de fadiga antes da ruptura, logo apenas a laje 1 foi de interesse deste trabalho. O mesmo ocorre para o grupo 2, em que apenas a laje 5 foi submetida ao ensaio de ruptura, e completando, no grupo 3 apenas a laje 7. Logo, as lajes modeladas numericamente foram: lajes 1, 5 e 7.

3.5 Jiang & Wu (2012)

O artigo desenvolvido por Jiang & Wu (2012) identificou parâmetros importantes para o modelo de plasticidade de Drucker-Prager. Tais parâmetros foram importantes para as modelagens que utilizar o critério de falha de Drucker-Prager. Os parâmetros necessários foram: coesão, ângulo de atrito e ângulo de dilatação. Os autores apresentaram equações e maneiras de calcular estes parâmetros. A Equação 2 apresenta uma relação do ângulo de atrito com a resistência a compressão do concreto.

$$\phi = 36,65 - 1,1 \times \left(\frac{f_c}{1000} \right) \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

ϕ = é o ângulo de fricção interna (°);

f_c = é a resistência do concreto não confinado à compressão (MPa);

A equação 3 apresenta a relação da coesão com o ângulo interno de fricção.

$$\text{tg}(\phi) = 3 \times \left(\frac{K_e - 1}{2 + K_e} \right) \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

ϕ = é o ângulo de fricção interna (°);

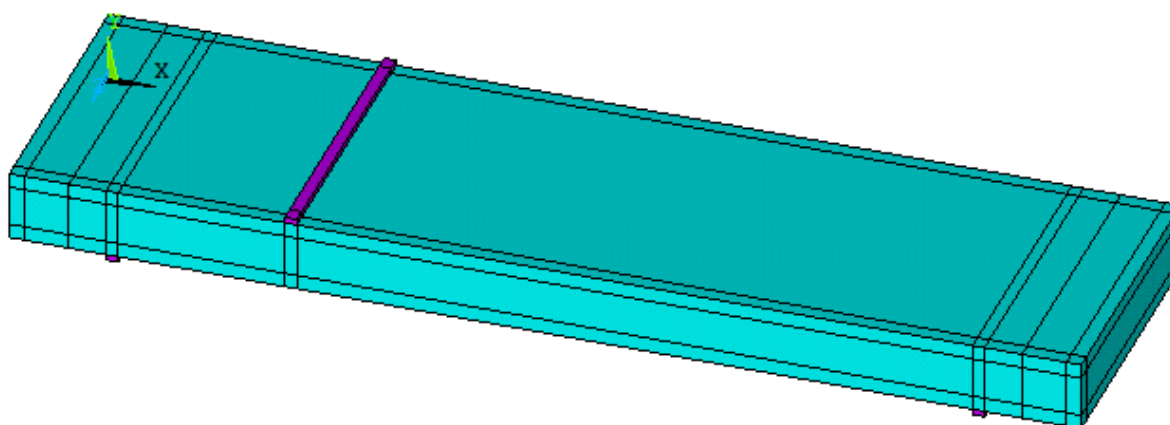
K_e = é a coesão do concreto (MPa);

4 Modelagem numérica

O desenvolvimento da modelagem computacional pelo foi realizada por meio de arquivo de texto, sendo construídos os: volumes; apoios; ponto de aplicação da força; propriedades dos materiais; definição da malha; definição das condições de contorno; aplicação do carregamento. O anexo A contém o algoritmo utilizado para modelagem via texto, com observações em todas as linhas para melhor compreensão de leitor. O arquivo de texto não traz o desenvolvimento das barras de aço discretas, sendo que esta etapa foi realizada pelo internamento no programa computacional.

A rede de elementos finitos utilizadas para a discretização dos elementos de volume é apresentada na Figura 4: em azul as taliscas de madeira tanto no ponto de aplicação da força quanto nos apoios direito e esquerdo, e os elementos de barra que não são visíveis (barras de aço das armaduras). A força normal é perpendicular ao eixo longitudinal da laje e foi aplicada por meio de pressão no topo da chapa a uma distância de 30 centímetros do apoio esquerdo.

Figura 4. Modelo desenvolvido - Volumes



Fonte: Autores, 2018.

Para modelar o material concreto por meio do modelo plástico *Concrete*, baseado no modelo de Willian & Warcke, foram necessários os seguintes dados de entrada: módulo de elasticidade longitudinal do concreto; resistência última do concreto à compressão e tração; coeficiente de Poisson; e coeficientes de transferência de cisalhamento (Alpha A e Alpha F, conforme o anexo). O módulo de elasticidade longitudinal do concreto, E_{ci} , a resistência característica à tração, f_{tk} , de acordo com os dados experimentais de Cavalcanti (2011). O coeficiente de Poisson, ν , adotado para o concreto foi igual a 0,2 e os coeficientes de transferência cisalhamento, Alpha A e F, foram iguais a 1 para fissuras abertas e 1 para fechadas.

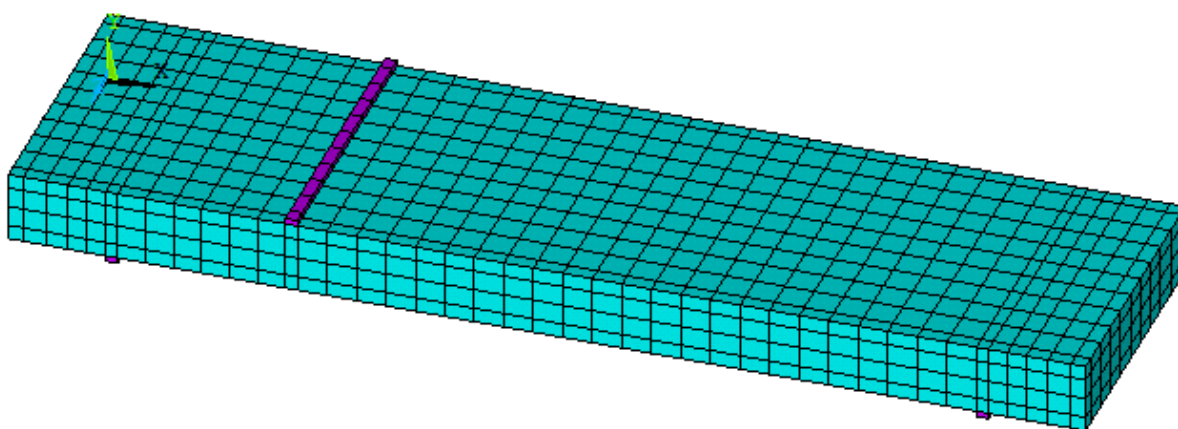
Para modelar o material concreto com o critério de Drucker-Prager, foram necessários os seguintes dados de entrada: módulo de elasticidade longitudinal do concreto, utilizado o “corrigido” conforme mostrado no item 3.4; e coeficiente de

Poisson, ν , igual a 0,2. Os parâmetros coesão do concreto e ângulo de atrito foram calculados conforme equações do item 3.5.

Para a modelagem do concreto utilizou-se o elemento finito *SOLID65*; para as taliscas (ponto de aplicação da força e nos apoios foi utilizado), utilizou-se o elemento finito *SOLID185*; e para as armaduras foi utilizado o *LINK180*. Os dados dos Quadros do item 2.4 referentes ao concreto e ao aço foram inseridos no arquivo de texto, possibilitando a melhor aproximação possível em relação aos resultados experimentais.

Na criação dos volumes uma observação importante é que os volumes devem ser seccionados nos pontos de apoio e aplicação da carga, pois os nós da malha precisam ficar nos vértices dos volumes. A Figura 5 mostra a malha aplicada ao modelo, com distância entre nós iguais a 5 cm.

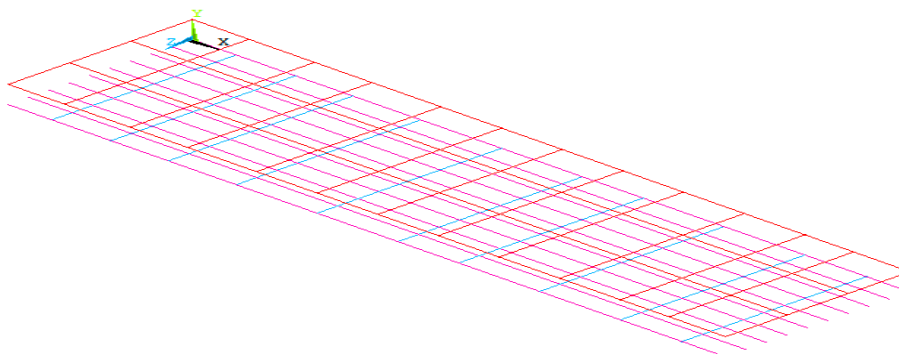
Figura 5. Modelo desenvolvido com malha

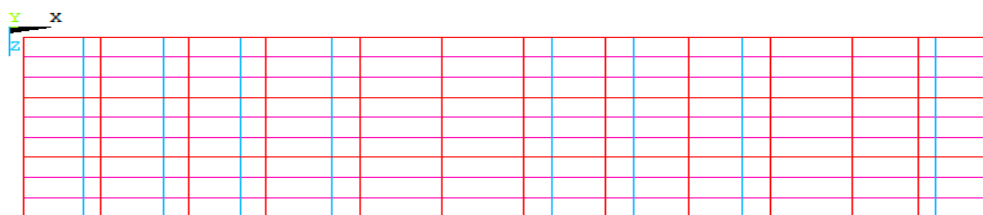


Fonte: Autores, 2018.

Após as malhas, foi realizada a inserção dos elementos das armaduras, com elemento *LINK180*. Esta etapa está relacionada com a malha escolhida, pois é necessário conectar nó por nó, em todos os elementos finitos que representam as barras de aço. A Figura 6 apresenta as armaduras criadas na modelagem.

Figura 6. Armaduras





Fonte: Autores, 2018.

5 Resultados

Foi realizada uma análise da ruptura das lajes desconsiderando as armaduras. As forças de ruptura foram: 59,85 kN; 44,09 kN e 43,25 kN, respectivamente. Estes valores estão adequados, pois quanto menor a resistência à compressão do concreto, menor a parcela resistente do concreto.

A Tabela 4 apresenta a quantidade de passos de carga, deslocamentos máximos no nó central, abaixo do ponto de aplicação da carga e a força de ruptura.

Observa-se que as forças de ruptura experimental e numérica, com módulo de elasticidade experimental, para as lajes 1 e 5 ficaram próximos, com menos de 5% de variação. A laje 7 apresentou uma resistência do modelo numérico menor, o que já era esperado já que possui menor valor de resistência a compressão do concreto. Porém o modelo experimental se manteve próximo o que é uma contradição.

Tabela 4. Análise dos resultados

Lajes	Passos de carga (nº)			Deslocamento máximo (mm)			Fe (kN)		
	L1	L5	L7	L1	L5	L7	L1	L5	L7
Experimental	28	17	22	6,65	3,72	3,19	135,58	115,87	134,28
E (experimental)	61	53	27	1,06	0,86	0,62	139,27	111,97	81,26
E (corrigido) - Concrete	32	43	28	7,644	3,678	3,103	166,48	138,18	121,79
E (corrigido) - Drucker Prager	23	19	21	7,212	3,990	3,955	109,03	107,13	106,55

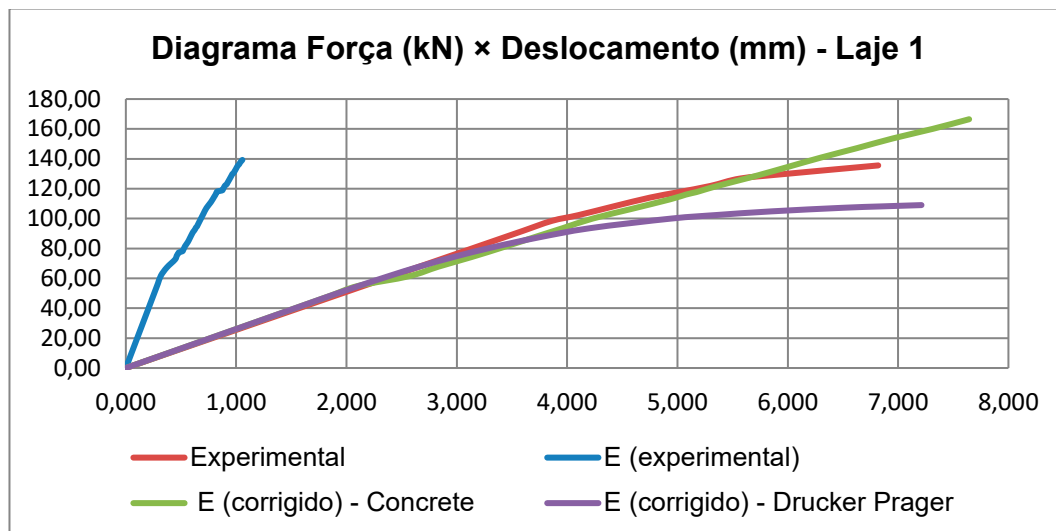
Fonte: Autores, 2018.

Os deslocamentos obtidos numericamente por meio do módulo experimental ficaram distantes dos deslocamentos experimentais, porém as forças de ruptura foram próximas. O modelo *Concrete* com módulo de elasticidade corrigido é o mais adequado, pois obteve um comportamento estrutural mais próximo do experimental, apresentando-se variações nos deslocamentos de: 13%, 1,14% e 2,9%, respectivamente.

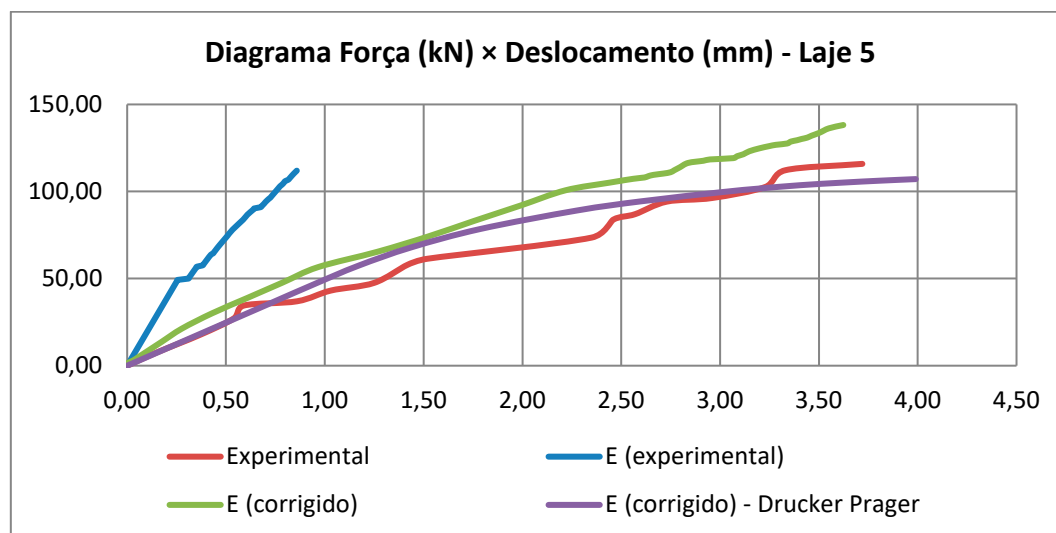
As parcelas resistentes do concreto sem armadura correspondem a: 42,97%, 39,4% e 53,2%, respectivamente.

Figura 7. Diagramas Força (kN) × Deslocamento (mm). (a) Laje 1; (b) Laje 5; (c) Laje 7

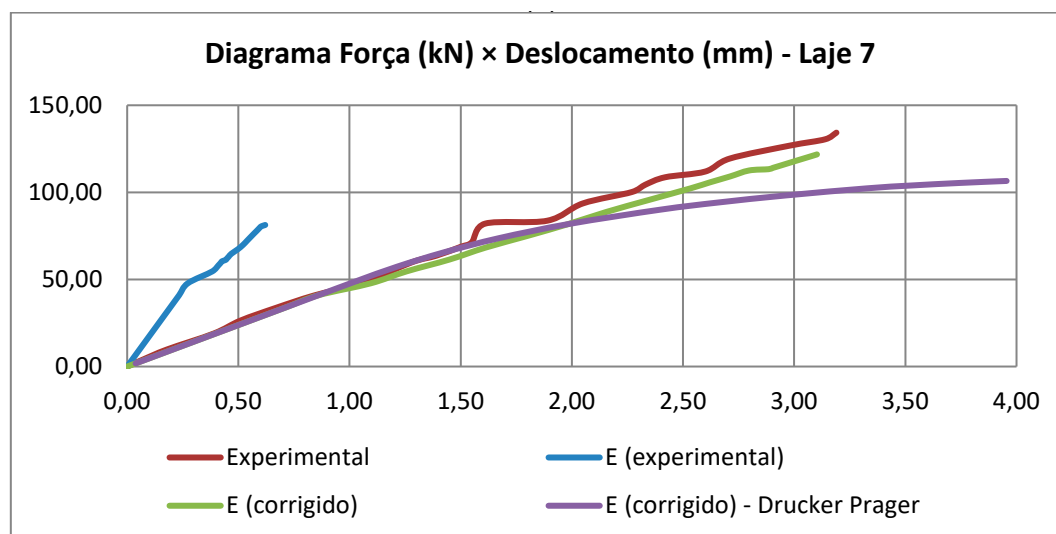
(a)



(b)



(c)



Fonte: Autores, 2018.

Os diagramas: força (kN) versus deslocamento (mm), para os quatro casos estão na Figura 7. Sendo que a curva experimental é referente aos dados experimentais fornecidos por Cavalcanti (2011), a curva 2 é referente ao modelo numérico desenvolvimento com módulo de elasticidade experimental, a curva 3 é referente ao módulo de elasticidade corrigido pelo modelo de ruptura *Concrete*, e a curva 4 pelo modelo de ruptura de Drucker-Prager.

As Figura 7(a), 7(b) e 7(c) apresentaram resultados satisfatórios, em que as forças de ruptura e os deslocamentos ficaram muito próximos para os três casos (experimental, módulo corrigido para *Concrete* e Drucker-Prager), além dos comportamentos das curvas 2 e 3, que também se assemelharam, trazendo confiabilidade ao modelo desenvolvido, pois as três lajes modeladas apresentaram resultados praticamente idênticos. O modelo de Drucker-Prager tem uma curva acentuada no final dos passos de carga. Já o modelo *Concrete* não apresentou a curva pós-pico e teve curvas mais parecidas com o ensaio experimental.

O modelo numérico com o módulo experimental trouxe dados de ruptura coerentes, porém os deslocamentos numéricos ficaram distantes do experimental. O módulo corrigido atingiu um comportamento interessante e com variações pequenas com relação ao experimental tanto para os deslocamentos quanto para a ruptura. O módulo de elasticidade corrigido foi fundamental para aproximação dos deslocamentos, tanto para o modelo plástico *Concrete* quanto para o modelo de Drucker-Prager.

6 Conclusão

A partir das avaliações realizadas no presente artigo, percebeu-se o quanto o módulo de elasticidade longitudinal do concreto e o critério de ruptura influenciaram no comportamento das estruturas. As utilizações destes elementos modificaram a análise, principalmente quando se utiliza o módulo de elasticidade corrigido, considerando a seção homogeneizada. O critério de ruptura plástico *Concrete* apresentou-se mais adequado do que o critério de Drucker-Prager, pois os diagramas de Força (kN) $\times$ Deslocamento (mm) aproximaram-se dos resultados experimentais.

Uma parcela significativa do cisalhamento é resistida pelo concreto, entre 40 e 55 % da força última do elemento estrutural.

Em relação à análise numérica realizada no presente trabalho, para os exemplos estudados, verifica-se que o programa computacional ANSYS® apresentou soluções confiáveis para a análise estrutural.

Referências bibliográficas

ANSYS MECHANICAL APDL. Version 18.1. ANSYS INC.2017.

CAVALCANTI, P. S. P. *Investigação experimental da fadiga ao cisalhamento em lajes de pontes com pré lajes*. Dissertação, 226 páginas, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2011.

DIAB, M. A. M.; NAGGAR, M. H. E. *Behaviour of Helical Pile connectors for New Foundations*. Electronic Thesis and Dissertation Repository. 638 p. Tese - The University of Western Ontario community (hereinafter called Western). Oct. 2015.

JIANG, J. F.; WU, Y. F. Identification of material parameters for Drucker-Prager plasticity model FRP confined circular concrete columns. *International Journal of Solids and Structures*, v. 49, p. 445-456, 2012.

Anexo I – Modelagem (arquivo de texto)

!INÍCIO	
/PREP7	!Inicia o módulo pré-processamento
h = 12	! Altura da laje
bw = 50	! Largura da laje
L = 180	! Comprimento total da laje
Lef = 145.5	! vão efetivo (distância entre o centro dos apoios)
espchapa = 1.0	! Espessura das chapas de apoio e carregamento
Lchapa = 2.0	! Largura da taliscas nos apoios e carregamento
Lf = 30	! Aplicação da carga
c= 2.5	! Cobrimento
!CRIAÇÃO DOS VOLUMES	
BLOCK, 0, c, 0, c, 0, c	! Desenha a laje (Parte 0 - cobrimento)
BLOCK, 0, c, c, (h-c), 0, c	! Desenha a laje (Parte 0 - cobrimento)
BLOCK, 0, c, (h-c), h, 0, c	! Desenha a laje (Parte 0 - cobrimento)
BLOCK, 0, c, 0, c, c, (bw-c)	! Desenha a laje (Parte 0 - cobrimento)
BLOCK, 0, c, c, (h-c), c, (bw-c)	! Desenha a laje (Parte 0 - cobrimento)
BLOCK, 0, c, (h-c), h, c, (bw-c)	! Desenha a laje (Parte 0 - cobrimento)
BLOCK, 0, c, 0, c, (bw-c), bw	! Desenha a laje (Parte 0 - cobrimento)
BLOCK, 0, c, c, (h-c), (bw-c), bw	! Desenha a laje (Parte 0 - cobrimento)
BLOCK, 0, c, (h-c), h, (bw-c), bw	! Desenha a laje (Parte 0 - cobrimento)
BLOCK, c, 10, 0, c, 0, c	! Desenha a laje (Parte 1 - inicio)
BLOCK, c, 10, c, (h-c), 0, c	! Desenha a laje (Parte 1 - inicio)
BLOCK, c, 10, (h-c), h, 0, c	! Desenha a laje (Parte 1 - inicio)
BLOCK, c, 10, 0, c, c, (bw-c)	! Desenha a laje (Parte 1 - inicio)
BLOCK, c, 10, c, (h-c), c, (bw-c)	! Desenha a laje (Parte 1 - inicio)
BLOCK, c, 10, (h-c), h, c, (bw-c)	! Desenha a laje (Parte 1 - inicio)
BLOCK, c, 10, 0, c, (bw-c), bw	! Desenha a laje (Parte 1 - inicio)
BLOCK, c, 10, c, (h-c), (bw-c), bw	! Desenha a laje (Parte 1 - inicio)
BLOCK, c, 10, (h-c), h, (bw-c), bw	! Desenha a laje (Parte 1 - inicio)
BLOCK, 10, ((L-Lef-Lchapa)/2), 0, c, 0, c	! Desenha a laje (Parte 2 - até ponto do apoio)
BLOCK, 10, ((L-Lef-Lchapa)/2), c, (h-c), 0, c	! Desenha a laje (Parte 2 - até ponto do apoio)
BLOCK, 10, ((L-Lef-Lchapa)/2), (h-c), h, 0, c	! Desenha a laje (Parte 2 - até ponto do apoio)
BLOCK, 10, ((L-Lef-Lchapa)/2), 0, c, c, (bw-c)	! Desenha a laje (Parte 2 - até ponto do apoio)
BLOCK, 10, ((L-Lef-Lchapa)/2), c, (h-c), c, (bw-c)	! Desenha a laje (Parte 2 - até ponto do apoio)
BLOCK, 10, ((L-Lef-Lchapa)/2), (h-c), h, c, (bw-c)	! Desenha a laje (Parte 2 - até ponto do apoio)
BLOCK, 10, ((L-Lef-Lchapa)/2), 0, c, (bw-c), bw	! Desenha a laje (Parte 2 - até ponto do apoio)
BLOCK, 10, ((L-Lef-Lchapa)/2), c, (h-c), (bw-c), bw	! Desenha a laje (Parte 2 - até ponto do apoio)
BLOCK, 10, ((L-Lef-Lchapa)/2), (h-c), h, (bw-c), bw	! Desenha a laje (Parte 2 - até ponto do apoio)
BLOCK, ((L-Lef-Lchapa)/2), ((L-Lef+Lchapa)/2), 0, c, 0, c	! Desenha a laje (Parte 3 - no ponto de apoio)
BLOCK, ((L-Lef-Lchapa)/2), ((L-Lef+Lchapa)/2), c, (h-c), 0, c	! Desenha a laje (Parte 3 - no ponto de apoio)
BLOCK, ((L-Lef-Lchapa)/2), ((L-Lef+Lchapa)/2), (h-c), h, 0, c	! Desenha a laje (Parte 3 - no ponto de apoio)
BLOCK, ((L-Lef-Lchapa)/2), ((L-Lef+Lchapa)/2), 0, c, c, (bw-c)	! Desenha a laje (Parte 3 - no ponto de apoio)

BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2), ((L-Lef+Lchapa)/2), c, (h-c), c, (bw-c)$	! Desenha a laje (Parte 3 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2), ((L-Lef+Lchapa)/2), (h-c), h, c, (bw-c)$	! Desenha a laje (Parte 3 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2), ((L-Lef+Lchapa)/2), 0, c, (bw-c), bw$	! Desenha a laje (Parte 3 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2), ((L-Lef+Lchapa)/2), c, (h-c), (bw-c), bw$	! Desenha a laje (Parte 3 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2), ((L-Lef+Lchapa)/2), (h-c), h, (bw-c), bw$	! Desenha a laje (Parte 3 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2), ((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, 0, c, 0, c$	! Desenha a laje (Parte 4 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2), ((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, c, (h-c), 0, c$	! Desenha a laje (Parte 4 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2), ((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, (h-c), h, 0, c$	! Desenha a laje (Parte 4 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2), ((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, 0, c, c, (bw-c)$	! Desenha a laje (Parte 4 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2), ((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, c, (h-c), c, (bw-c)$	! Desenha a laje (Parte 4 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2), ((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, (h-c), h, c, (bw-c)$	! Desenha a laje (Parte 4 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2), ((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, 0, c, (bw-c), bw$	! Desenha a laje (Parte 4 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2), ((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, c, (h-c), (bw-c), bw$	! Desenha a laje (Parte 4 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2), ((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, (h-c), h, (bw-c), bw$	! Desenha a laje (Parte 4 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, ((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, 0, c, 0, c$	! Desenha a laje (Parte 5)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, ((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, c, (h-c), 0, c$	! Desenha a laje (Parte 5)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, ((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, (h-c), h, 0, c$	! Desenha a laje (Parte 5)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, ((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, 0, c, c, (bw-c)$	! Desenha a laje (Parte 5)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, ((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, c, (h-c), c, (bw-c)$	! Desenha a laje (Parte 5)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, ((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, (h-c), h, c, (bw-c)$	! Desenha a laje (Parte 5)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, ((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, 0, c, (bw-c), bw$	! Desenha a laje (Parte 5)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, ((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, c, (h-c), (bw-c), bw$	! Desenha a laje (Parte 5)
BLOCK, $((L-Lef-Lchapa)/2)+Lf, ((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, (h-c), h, (bw-c), bw$	! Desenha a laje (Parte 5)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, ((L+Lef-Lchapa)/2), 0, c, 0, c$	!Desenha a laje (Parte 6 - depois do ponto de aplicação da carga)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, ((L+Lef-Lchapa)/2), c, (h-c), 0, c$	!Desenha a laje (Parte 6 - depois do ponto de aplicação da carga)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, ((L+Lef-Lchapa)/2), (h-c), h, 0, c$	!Desenha a laje (Parte 6 - depois do ponto de aplicação da carga)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, ((L+Lef-Lchapa)/2), 0, c, c, (bw-c)$	!Desenha a laje (Parte 6)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, ((L+Lef-Lchapa)/2), c, (h-c), c, (bw-c)$	! Desenha a laje (Parte)

BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, ((L+Lef-Lchapa)/2), (h-c), h, c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 6)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, ((L+Lef-Lchapa)/2), 0, c, (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 6)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, ((L+Lef-Lchapa)/2), c, (h-c), (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 6)
BLOCK, $((L-Lef+Lchapa)/2)+Lf, ((L+Lef-Lchapa)/2), (h-c), h, (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 6)
BLOCK, $((L+Lef-Lchapa)/2), ((L+Lef+Lchapa)/2), 0, c, 0, c$!	Desenha a laje (Parte 7 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef-Lchapa)/2), ((L+Lef+Lchapa)/2), c, (h-c), 0, c$!	Desenha a laje (Parte 7 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef-Lchapa)/2), ((L+Lef+Lchapa)/2), (h-c), h, 0, c$!	Desenha a laje (Parte 7 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef-Lchapa)/2), ((L+Lef+Lchapa)/2), 0, c, c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 7 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef-Lchapa)/2), ((L+Lef+Lchapa)/2), c, (h-c), c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 7 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef-Lchapa)/2), ((L+Lef+Lchapa)/2), (h-c), h, c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 7 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef-Lchapa)/2), ((L+Lef+Lchapa)/2), 0, c, (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 7 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef-Lchapa)/2), ((L+Lef+Lchapa)/2), c, (h-c), (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 7 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef-Lchapa)/2), ((L+Lef+Lchapa)/2), (h-c), h, (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 7 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef+Lchapa)/2), 170, 0, c, 0, c$!	Desenha a laje (Parte 8 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef+Lchapa)/2), 170, c, (h-c), 0, c$!	Desenha a laje (Parte 8 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef+Lchapa)/2), 170, (h-c), h, 0, c$!	Desenha a laje (Parte 8 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef+Lchapa)/2), 170, 0, c, c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 8 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef+Lchapa)/2), 170, c, (h-c), c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 8 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef+Lchapa)/2), 170, (h-c), h, c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 8 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef+Lchapa)/2), 170, 0, c, (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 8 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef+Lchapa)/2), 170, c, (h-c), (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 8 - no ponto de apoio)
BLOCK, $((L+Lef+Lchapa)/2), 170, (h-c), h, (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 8 - no ponto de apoio)
BLOCK, $170, (L-c), 0, c, 0, c$!	Desenha a laje (Parte 9 - fim)
BLOCK, $170, (L-c), c, (h-c), 0, c$!	Desenha a laje (Parte 9 - fim)
BLOCK, $170, (L-c), (h-c), h, 0, c$!	Desenha a laje (Parte 9 - fim)
BLOCK, $170, (L-c), 0, c, c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 9 - fim)
BLOCK, $170, (L-c), c, (h-c), c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 9 - fim)
BLOCK, $170, (L-c), (h-c), h, c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 9 - fim)
BLOCK, $170, (L-c), 0, c, (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 9 - fim)
BLOCK, $170, (L-c), c, (h-c), (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 9 - fim)
BLOCK, $170, (L-c), (h-c), h, (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 9 - fim)
BLOCK, $(L-c), L, 0, c, 0, c$!	Desenha a laje (Parte 10 - cobrimento)
BLOCK, $(L-c), L, c, (h-c), 0, c$!	Desenha a laje (Parte 10 - cobrimento)
BLOCK, $(L-c), L, (h-c), h, 0, c$!	Desenha a laje (Parte 10 - cobrimento)
BLOCK, $(L-c), L, 0, c, c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 10 - cobrimento)
BLOCK, $(L-c), L, c, (h-c), c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 10 - cobrimento)
BLOCK, $(L-c), L, (h-c), h, c, (bw-c)$!	Desenha a laje (Parte 10 - cobrimento)
BLOCK, $(L-c), L, 0, c, (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 10 - cobrimento)
BLOCK, $(L-c), L, c, (h-c), (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 10 - cobrimento)
BLOCK, $(L-c), L, (h-c), h, (bw-c), bw$!	Desenha a laje (Parte 10 - cobrimento)
BLOCK, $(L/2 - Lef/2 - Lchapa/2), (L/2 - Lef/2 + Lchapa/2), 0, -espchapa, 0, c$!	Desenha a chapa de apoio esquerda

BLOCK, (L/2 - Lef/2 - Lchapa/2), (L/2 - Lef/2 + Lchapa/2), 0, -espchapa, c, (bw-c)	! Desenha a chapa de apoio esquerda
BLOCK, (L/2 - Lef/2 - Lchapa/2), (L/2 - Lef/2 + Lchapa/2), 0, -espchapa, (bw-c), bw	! Desenha a chapa de apoio esquerda
BLOCK, (L/2 + Lef/2 - Lchapa/2), (L/2 + Lef/2 + Lchapa/2), 0, -espchapa, 0, c	! Desenha a chapa de apoio direita
BLOCK, (L/2 + Lef/2 - Lchapa/2), (L/2 + Lef/2 + Lchapa/2), 0, -espchapa, c, (bw-c)	! Desenha a chapa de apoio direita
BLOCK, (L/2 + Lef/2 - Lchapa/2), (L/2 + Lef/2 + Lchapa/2), 0, -espchapa, (bw-c), bw	! Desenha a chapa de apoio direita
BLOCK, (L/2 - Lef/2 + Lf - Lchapa/2), (L/2 - Lef/2 + Lf + Lchapa/2), h, (h + espchapa), 0, c	!chapa de aplicação da carga
BLOCK, (L/2 - Lef/2 + Lf - Lchapa/2), (L/2 - Lef/2 + Lf + Lchapa/2), h, (h + espchapa), c, (bw-c)	! chapa de aplicação da carga
BLOCK, (L/2 - Lef/2 + Lf - Lchapa/2), (L/2 - Lef/2 + Lf + Lchapa/2), h, (h + espchapa), (bw-c), bw	!chapa de aplicação da carga
ALLSEL,ALL	
VGLUE,ALL	! Unir os volumes
! PROPRIEDADE DOS MATERIAIS	! Tipo de elemento ANSYS
ET,1,SOLID65	!Concreto da laje
ET,2,SOLID185	!Apoios e aplicação da força
ET,3,LINK180	!Armaduras para aço
fck_laje = 3.843	! Resistência do concreto da laje em kN/cm ²
fct_laje = 0.503	! Resistência à tração do concreto da laje em kN/cm ²
BetaA = 1	! Transferência de cisalhamento fissura aberta
BetaF = 1	! Transferência cisalhamento fissura fechada
!Material 1 - concreto da pré-laje	
Eci1 = 3060	
MP, EX, 1, Eci1	! Módulo de Elasticidade do concreto da laje
MP, PRXY, 1, 0.2	! Coeficiente de Poison
TB, CONC, 1, 1,	! Concreto
TBDATA, ,BetaA, BetaF, fct_laje, fck_laje	! fissura aberta, fissura fechada, fct, fck
R, 1, 1,	! Constante Real
!Material 2 - Apoio e Aplicação da força	
MP, EX, 2, 20000	! Módulo de Elasticidade do aço da chapa (kN/cm ²)
MP, PRXY, 2, 0.3	! Coeficiente de Poison
TB, BISO, 2	! Modelo constitutivo bilinear segundo Von-Mises
TBDATA, ,50,0	! Tensão de escoamento e Módulo tangente (kN/cm ²)
R, 2, 2,	! Constante Real
!Material 3 - armaduras 6.3	

MP, EX, 3, 20000	! Módulo de Elasticidade do aço da chapa (kN/cm ²)
MP, PRXY, 3, 0.3	! Coeficiente de Poison
TB, BISO, 3	! Modelo constitutivo bilinear segundo Von-Mises
TBDATA, ,50,0	! Tensão de escoamento e Módulo tangente (kN/cm ²)
R, 3, 3,	! Constante Real
SECTYPE,1,LINK, ,1	! Cria a seção 1 para o elemento link
SECDATA, 0.311,	! Atribui área da barra de 6,3 mm
SECCONTROL,0,0	
!Material 4 - armaduras 8.0	
MP, EX, 4, 19880	! Módulo de Elasticidade do aço da chapa (kN/cm ²)
MP, PRXY, 4, 0.3	! Coeficiente de Poison
TB, BISO, 4	! Modelo constitutivo bilinear segundo Von-Mises
TBDATA, ,60.3,0	! Tensão de escoamento e Módulo tangente (kN/cm ²)
R, 4, 4,	! Constante Real
SECTYPE,2,LINK, ,2	! Cria a seção 2 para o elemento link
SECDATA, 0.502,	! Atribui área da barra de 8,0 mm
SECCONTROL,0,0	
!Material 5 - armaduras 10.0	
MP, EX, 5, 19108	! Módulo de Elasticidade do aço da chapa (kN/cm ²)
MP, PRXY, 5, 0.3	! Coeficiente de Poison
TB, BISO, 5	! Modelo constitutivo bilinear segundo Von-Mises
TBDATA, ,59.2,0	! Tensão de escoamento e Módulo tangente (kN/cm ²)
R, 5, 5,	! Constante Real
SECTYPE,3,LINK, ,3	! Cria a seção 2 para o elemento link
SECDATA, 0.785,	! Atribui área da barra de 8,0 mm
SECCONTROL,0,0	
! CRIAÇÃO DE COMPONENTES	
VSEL, S, LOC, Y, h, (h + espchapa)	
VSEL, A, LOC, Y, 0, -espchapa	
CM,VOLUME_CHAPAS,VOLU	
! Seleciona a laje de concreto	
VSEL, S, LOC, Y, 0, h	
CM,VOLUME_LAJE,VOLU	
! DEFINIÇÃO DA MALHA	
ALLSEL,ALL	! Seleciona TUDO

LESIZE,ALL,5	! Divide todas as linhas do modelo com base no valor adotado
TYPE,1	! Seleciona o elemento 1 como o corrente (SOLID65)
MAT,1	! Seleciona o material 1 como o corrente
REAL,1	! Seleciona a constante real 1 como corrente
CMSEL,S, VOLUME_LAJE	! Seleciona o volume da laje
MSHKEY,1	! Malha mapeada
VMESH,ALL	! Aplica a malha na laje
TYPE,2	! Seleciona o elemento 2 como o corrente (SOLID185)
MAT,2	! Seleciona o material 2 como o corrente
REAL,2	! Seleciona a constante real 2 como corrente
CMSEL,S, VOLUME_CHAPAS	! Seleciona do volume das chapas
MSHKEY,1	! Malha mapeada
VMESH,ALL	! Aplica a malha nas chapas
/NUMBER,1	! Organizar o modelo conforme a cor, de acordo com material
/PNUM,MAT,1	
NUMMRG,ALL,0.001	! Unir tudo, para evitar deslocamento de corpo rígido
! CARREGAMENTO	
ASEL,S,LOC,Y, (h+espchapa)	! Seleciona a área da chapa, na qual será aplicada a pressão
SFA, ALL,, PRES, 1.5	! Carga de 150 kN (já que a força de ruptura é de 135,58 kN)
! Condições de contorno	
! Apoio esquerdo (2º gênero)	
NSEL, S, LOC, Y, -espchapa	! Seleciona nós do apoio esquerdo
NSEL, R, LOC, X, 16.25D,ALL, Uy	! Restrições nos nós selecionados
D,ALL, Ux	
D,ALL, Uz	
! Apoio Direito (2º gênero)	
NSEL, S, LOC, Y, -espchapa	! Seleciona nós do apoio direito
NSEL, R, LOC, X, 163.5	
D,ALL, Uy	
D,ALL, Ux	
D,ALL, Uz	
ALLSEL,ALL	! Restrições nos nós selecionados
! SOLUÇÃO	
/SOLU	! Entra no módulo solução

ANTYPE, Static	! Análise estática
NROPT, MODI	!Modelo de Newton Raphson (MODI: modificado) (FULL: completo)
TIME,1	
AUTOTS, ON	! Passos de carga automáticos (ON ou OFF)
NSUBST, 100, 200, 28	! Número total de passos de carga, máximo de passos de carga, passos de carga experimental
NEQIT, 35	
RATE,1	! Creep
OUTRES,ERASE	! Resetar os resultados da lista
OUTRES,ALL,ALL	! Escrever o resultado para cada incremento de carga
CNVTOL,U, ,0.05, 2	! Critério de convergência
SOLVE	! Calcula o modelo