



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFRSA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CONSELHO DE CENTRO

CONVOCAÇÃO

O Presidente do CONSELHO DE CENTRO no Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros convoca todos os conselheiros a se fazerem presentes à **10ª Reunião Ordinária de 2019**, com data, horário e local, abaixo discriminados, para cumprir a seguinte pauta:

1. Apreciação e deliberação sobre pedido de reconsideração, anexada ao processo de afastamento de *Jarbele Cássia da Silva Coutinho*;
2. Apreciação e deliberação sobre processo de renovação de afastamento de *Leonardo Henrique Borges de Oliveira*;
3. Apreciação da pauta da 10ª Reunião Ordinária de 2019 do CONSEPE;
4. Comunicações, informes e outras ocorrências.

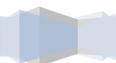
Data: 21 de outubro de 2019 (segunda-feira)

Horário: 14h30min às 16h30min

Local: Miniauditório da Biblioteca

Pau dos Ferros-RN, 17 de outubro de 2019.

Ricardo Paulo Fonseca Melo
Presidente





Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação <proppg@ufersa.edu.br>



Renovação de Afastamento - Leonardo Oliveira

2 mensagens

Leonardo Henrique Borges de Oliveira <leonardo.oliveira@ufersa.edu.br>
Para: Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação <proppg@ufersa.edu.br>

2 de outubro de 2019 14:47

Boa tarde,

Eu sou professor lotado no Departamento de Engenharias e Tecnologia do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros.

Eu estou enviando em anexo a e-mail a documentação referente a renovação do meu afastamento.

Por favor, gostaria de receber a confirmação do recebimento deste e-mail.

Atenciosamente,
Leonardo Oliveira

 **Renovação de afastamento_ Leonardo Oliveira.pdf**
6883K

Leonardo Henrique Borges de Oliveira <leonardo.oliveira@ufersa.edu.br>
Para: Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação <proppg@ufersa.edu.br>

4 de outubro de 2019 14:41

Boa tarde,

Enviei uma mensagem referente a minha renovação de afastamento.

Gostaria de saber se vocês receberam.

Atenciosamente,
Leonardo

[Texto das mensagens anteriores oculto]



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - Ufersa
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E-mail: proppg@ufersa.edu.br

REQUERIMENTO E ANEXOS PARA RENOVAÇÃO DE AFASTAMENTOS DE SERVIDORES DOCENTES DA Ufersa PARA QUALIFICAÇÃO EM INSTITUIÇÕES NACIONAIS OU ESTRANGEIRAS EM NÍVEL DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU

1. PREENCHIDO PELO REQUERENTE

Nome (completo sem abreviaturas): Leonardo Henrique Borges de Oliveira
Identidade: 002.387.050 **Órgão Emissor:** SSP **UF:** RN **Data de emissão:** 23/12/2014
CPF: 082.193.164-46 **Data de Nascimento:** 26/10/1988 **Tel.:** (84) 99957-3723
E-mail: leonardo.oliveira@ufersa.edu.br **Departamento/Setor:** DETEC/CMPF
Tipo de Afastamento: Integral: (x) Parcial: ()
Tempo de Serviço Averbado para Aposentadoria: () Anos
Início de Exercício no Cargo: 29/10/2014 **Total:** 04 ano(s) 11 mês(es) (Anexar Declaração do PRORH).

2. PREENCHIDO PELO REQUERENTE

CURSO: Pós-Graduação em Engenharia Civil
Nível: Mestrado () Doutorado (x)
Área de concentração: Estruturas
Liberação inicial: Início 12/12/2016 Término: 11/12/2020
Período solicitado para (renovação): Início 11/12/2019 Término: 12/12/2020
Previsão para término do curso: Início 12/12/2016 Término: 11/12/2020

ANEXAR (Obrigatório)

- I.** Lista de verificação própria disponibilizada pela PROPPG (**Check-List**); (**Anexo I**)
- II** – Justificativa de seu requerimento; (**Anexo II**)
- III- Relatório de atividades acadêmicas (Anexo III)** (quando se tratar do relatório referente ao 3º semestre (mestrado) e 5º semestre (doutorado), deverá ser acompanhado do **projeto de dissertação/Tese**)
- IV- Relatório de avaliação de desempenho, feito pelo/a orientador/a (Anexo IV)**
- V - Declaração de matrícula (Local da pós-graduação) (Anexo V)**
- VI- Histórico Escolar (Anexo VII)** (Disponível na Página da PROPPG)
- VII-** Termo de Compromisso dos docentes que assumirão os componentes curriculares do docente afastado, durante o período de renovação do afastamento, restrito aos casos de indisponibilidade de vaga para contratação de professor substituto; (**Anexo VII**)
- VIII** – Termo de Compromisso, devidamente preenchido e assinado com testemunhas; (**Anexo VIII**)
- IX** - Parecer da chefia imediata (Departamento acadêmico de lotação do requerente); (**Anexo IX**)
- X** - Parecer do Conselho do Centro ao qual o requerente faz parte. (**Anexo X**).

*Obs. A renovação de afastamento para qualificação em nível de pós-graduação stricto sensu dar-se-á nos termos da legislação em vigor, devendo a manifestação de intenção de renovação do afastamento ser protocolada em **até 60 (sessenta) dias antes do término do afastamento**. Conforme Art. 19. da RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA Nº 003/2018, de 25/06/2018*



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - Ufersa
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP. 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E.mail: proppg@ufersa.edu.br

Data: 30/09/2019

Leonardo Henrique Borges de Oliveira
Requerente - SIAPE: 1044665

Dúvidas? Leia a: *RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA Nº 003/2018, de 25 de junho de 2018.*

PROPPG



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GESTÃO DE PESSOAS
DIVISÃO DE ADMINISTRAÇÃO DE PESSOAL



DECLARAÇÃO

Declaramos, para os fins que se fizerem necessários, que **LEONARDO HENRIQUE BORGES DE OLIVEIRA**, portador(a) do CPF nº 082.193.164-46, matrícula Siape nº 1044665, é servidor(a) do Quadro Permanente desta Universidade, admitido(a) em 29 de outubro de 2014, ocupante do cargo de Professor do Magistério Superior, com lotação no(a) Departamento de Engenharias e Tecnologia do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros.

Eu, Laura Maria Araújo Mendes Pereira, ocupante do cargo de Assistente em Administração, digitei e conferi a presente declaração, conforme dados extraídos do Sistema Integrado de Administração de Recursos Humanos – SIAPE, nesta data.

Pau dos Ferros/RN, 02 de outubro de 2019.


Ricardo Paulo Fonseca Melo
Diretor do Campus Pau dos Ferros

Ricardo Paulo Fonseca Melo
Diretor
UFERSA Campus Pau dos Ferros
Mat. SIAPE 1991824



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP. 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E-mail: proppg@ufersa.edu.br



(Anexo I)

Check-List – Renovação de Afastamento para qualificação
(obrigatório)

Nome do solicitante: Leonardo Henrique Borges de Oliveira	
Local da Qualificação:	
<input checked="" type="checkbox"/> No País <input type="checkbox"/> No exterior	
Período solicitado para renovação do afastamento: 11/12/2019 a 12/12/2020	
Documentos Anexados – Processo de Renovação:	Número da página (Preenchido pela PROPPG):
I. Lista de verificação própria disponibilizada pela PROPPG (Check-List); (Anexo I)	
II. Justificativa de seu requerimento; (Anexo II)	
III. Relatório de atividades acadêmicas (Anexo III)	
IV. Relatório de avaliação de desempenho, feito pelo orientador (Anexo IV)	
V. Declaração de Matrícula (Anexo V)	
VI. Histórico Escolar – Atualizado (Anexo VI)	
VII – Termo de Compromisso, devidamente preenchido e assinado com testemunhas; (Anexo VIII)	
VIII. Documentação que formalize a substituição do(a) interessado: (Anexo VIII) <input type="checkbox"/> Utilização de vaga ou disponibilidade de professor substituto a ser contratado(a) <input type="checkbox"/> Termo de Compromisso dos docentes que assumirão as disciplinas	
IX. Parecer da chefia imediata (Departamento acadêmico de lotação do requerente); (Anexo IX)	
X. Parecer do Conselho do Centro ao qual o requerente faz parte. (Anexo X).	



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 - C. Postal 137 - Bairro Pres. Costa e Silva - Mossoró - RN - CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 - E.mail: proppg@ufersa.edu.br



(Anexo II)

JUSTIFICATIVA PARA O AFASTAMENTO (Obrigatório)

Eu, Leonardo Henrique Borges de Oliveira, CPF 082.193.164-46, RG 002.387.050, Matrícula Siape 1044665, professor do curso de Engenharia Civil, lotado no Departamento de Engenharia e Tecnologia (DETEC) do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros (CMPF) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), venho através deste solicitar renovação do afastamento integral das minhas atividades, com remuneração, para continuação do Doutorado em Engenharia Civil na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), do qual sou aluno regular sob número de registro acadêmico - RA 190655.

Durante o período do meu afastamento foram cursados as disciplinas de "Estruturas de Concreto I", "Estruturas de Concreto II", "Mecânica das Estruturas I", "Tópico Especiais em Engenharia de Estruturas VIII: Modelagem Numérica de Estruturas de Concreto Armado", "Fundamentos de Mecânica da Fratura", "Placas e Cascas" e "Tópicos Especiais em Engenharia de Estruturas VII: Complementos de Teoria das Estruturas", cumprindo assim a quantidade de créditos exigido pelo programa de pós graduação para o nível de doutorado. Fiz a publicação de sete artigos científicos, abrangendo artigos de congressos nacionais, internacionais e artigo de revista. Os artigos publicados em congressos nacionais e internacionais foram apresentados para discussão de etapas da pesquisa diante de outros pesquisadores da área específica. A publicação do artigo em revista cumpre exigência do programa necessária para aptidão na defesa de tese. Além disso, fui aprovado na minha banca de qualificação de doutorado.

Sobre a pesquisa, a primeira série de ensaios experimentais, que se trata de um total de onze lajes de concreto armado foi realizada e está sendo analisado os resultados obtidos. Os modelos numéricos da primeira série de ensaios, para simular o comportamento estrutural das lajes, está em fase de conclusão. A segunda série de ensaios trata-se de um concreto com adição de fibras e deve ser realizada em uma proporção de materiais atípica das convencionais. Dessa forma, foi realizada uma série de testes para verificar a melhor proporção de materiais para realizar a segunda séries de ensaios, atingindo uma proporção ideal para a concretagem da segunda série de ensaios.



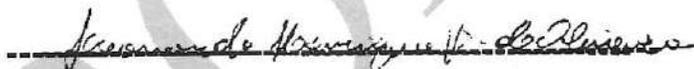
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 - C. Postal 137 - Bairro Pres. Costa e Silva - Mossoró - RN - CEP. 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 - E.mail: proppg@ufersa.edu.br

Cumprindo o cronograma apresentado no texto da minha qualificação e apresentado em relatório de atividades anteriores, a segunda série está atualmente com armadura, instrumentação e formas devidamente realizados e posicionados e os ensaios experimentais serão realizadas no mês de outubro deste ano no Laboratório de Estruturas (LES) da UNICAMP. Os modelos numéricos e modelo analítico serão complementados com os novos ensaios experimentais e fornecerão resultados que subsidiarão a defesa da tese, prevista para o ano de 2020.

Diante do exposto e, considerando que meu afastamento utiliza um código de vagas para professor substituto (conforme edital de qualificação docente 2016, anexado ao meu processo de afastamento N23091.009541/2016-33), necessito permanecer afastado para finalização das atividades da minha pesquisa, sendo esta justificativa de renovação do meu afastamento para mais 1 ano.

Data: 30 de setembro de 2019



Leonardo Henrique Borges de Oliveira
Requerente - Matrícula SIAPE: 1044665
(Obrigatória)

Dúvidas: RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA Nº 003/2018, de 25 de junho de 2018.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Moita, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E.mail: proppg@ufersa.edu.br

(Anexo III)

RELATÓRIO DE ATIVIDADES ACADÊMICAS (Realizadas nos últimos 2 semestres de afastamento)

Quando se tratar do relatório referente ao 3º semestre (mestrado) e 5º semestre (doutorado), deverá ser acompanhado do **projeto de dissertação/Tese**
(Obrigatória)

Semestre 2018.2:

- Publicação do artigo "Aspects of finite Element Analysis of Punching Shear Behavior of Reinforced Concrete Flat Slab", na Revista Latin American Journal of Solids and Structures;
- Publicação do artigo "Estudo Numérico de Lajes de Concreto Armado Moldadas em Concreto Convencional e com Adição de Fibras com Ruptura à Punção", submetido ao 60º Congresso Brasileiro do Concreto;
- Publicação do artigo "Análise Numérica da Resistência à Punção de Lajes de Concreto Protendido com Cabos Não Aderentes sem Armadura de Cisalhamento", submetido ao 60º Congresso Brasileiro do Concreto;
- Elaboração e publicação do artigo "Estudo comparativo da Teoria de Placas Elástica Linear com Abordagem de Carregamento Incremental em Lajes de Concreto Armado para Consideração da Perda de Rigidez Devido à Fissuração", submetido ao 60º Congresso Brasileiro do Concreto;
- Elaboração e publicação do artigo "Estudo Paramétrico de Reservatórios de Concreto Armado para Armazenamento de Água Utilizando a Teoria de Cascas", submetido ao 60º Congresso Brasileiro do Concreto;
- Participação do 60º Congresso Brasileiro do Concreto com apresentação dos trabalhos elaborados em 2018.1 e 2018.2;
- Realização dos ensaios experimentais da 1ª Série de lajes (lajes 2,40m x 2,40m) e análise dos resultados;
- Preparação da série complementar de ensaios experimentais (laje 1,80 x 1,80) – Montagem das armaduras e posicionamento dos instrumentos;
- Prestação do exame de qualificação com aprovação;
- Continuação do estudo dos modelos analíticos para previsão de capacidade resistente de lajes de concreto armado com adição de fibras;

Semestre 2019.1

- Realização dos ensaios experimentais da série complementar de lajes (Lajes



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - Ufersa
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 – C. Postal 137 – Bairro Pres. Costa e Silva – Mossoró – RN – CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 – E.mail: proppg@ufersa.edu.br



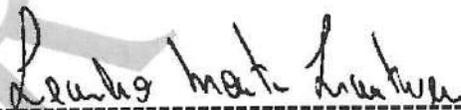
1,80m x 1,80m) e análise dos resultados;

- Realização de ensaios para estudo de traço da 2ª série de ensaios;
- Elaboração e publicação do artigo "Nonlinear Modeling of SFRC bem using Multilinear Softening Function Obtained by Inverse Analysis", no 10th international conference Fibre Concrete 2019;
- Preparação da segunda série de ensaios experimentais: montagem de formas, montagem de esquema de concretagem, montagem de armaduras, instrumentação das armaduras;
- Continuação das simulações numéricas para previsão do comportamento de lajes de concreto armado;
- Continuação do estudo dos modelos analíticos para previsão de capacidade de carga resistente de lajes de concreto armado com adição de fibras.

Data: 30 de setembro de 2019



Leonardo Henrique Borges de Oliveira
Requerente – Matrícula SIAPE: 1044665
(Obrigatória)



Leandro Mouta Trautwein
Professor orientador – FEC/UNICAMP
(Obrigatória)



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC
Departamento de Estruturas – DES

LEONARDO HENRIQUE BORGES DE OLIVEIRA

ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE LAJES
LISAS DE CONCRETO ARMADO COM ADIÇÃO DE
FIBRAS DE AÇO

CAMPINAS
2018



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC
Departamento de Estruturas – DES

LEONARDO HENRIQUE BORGES DE OLIVEIRA

**ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE LAJES
LISAS DE CONCRETO ARMADO COM ADIÇÃO DE
FIBRAS DE AÇO**

Projeto de tese apresentado à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Estruturas.

Orientador: Leandro Mouta Trautwein

CAMPINAS
2018



Resumo

O esforço de punção tem se tornado objeto de estudo de vários pesquisadores no meio técnico principalmente devido a crescente utilização de lajes planas na construção civil. O estudo da forma geométrica do pilar, presença de furos e adição de fibras para medir o desempenho de lajes planas tem sido pesquisado por diversos autores nacionais e internacionais, buscando sempre um ganho na resistência do elemento estrutural à punção. Diante disso, este trabalho tem como objetivo investigar experimentalmente e numericamente a resistência à punção de lajes planas de concreto armado com furos adjacentes ao pilar e adição de fibras. Serão consideradas como variáveis no estudo: existência de furos adjacentes ao pilar e o melhoramento do desempenho do pilar através da adição de fibras. Os resultados obtidos nos ensaios experimentais serão comparados com os estimados por códigos e métodos analíticos verificados na literatura, assim como por meio de resultados de simulação numéricos baseada no método de elementos finitos obtidos através do *software* comercial TNO Diana v9.4.4. Pretende-se com este estudo, contribuir para a literatura com o desenvolvimento de um modelo analítico que possa prever o comportamento de lajes sujeitas à ruptura por punção com adição de fibras.

Palavras-chave: lajes planas, punção, concreto armado, aberturas, concreto reforçado com Fibras.



Abstract

The punching shear has become the object of study of several researchers in the technical environment due to the increasing use of flat slabs in the civil engineering. The study of the geometric shape of the columns, presence of openings and addition of fibers to measure the performance of flat slabs has been researched by several national and international authors, always seeking a gain in the load capacity of the structural element to punching shear. Therefore, this work aims to investigate experimentally and numerically the punching shear load capacity of flat slabs of reinforced concrete with openings adjacent to the columns and investigate its performance with the addition of steel fibers. The following variables will be considered in the study: the existence of openings adjacent to the columns and the improvement of the performance through the addition of steel fibers in the reinforced concrete. The results obtained in the experimental tests will be compared with those estimated by codes and analytical methods verified in the literature, as well as by numerical simulation results based on the finite element method obtained through commercial software TNO Diana v9.4.4. The aim of this study is to contribute to the literature with the development of an analytical model that can predict the behavior of slabs subjected to a load leading the system to collapse by punching shear with addition of fibers in the reinforced concrete.

Keywords: flat slabs, punching shear, reinforced concrete, openings, steel fiber reinforcement concrete



Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Objetivo	2
1.2.1 Objetivos Específicos	2
1.3 Organização da tese	2
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 Considerações gerais	4
2.2 Comportamento Estrutural do Concreto Reforçado com Fibras	4
2.2.1 Relações Constitutivas do Concreto Reforçado com Fibras	4
2.2.2 Lim et al (1987)	7
2.2.3 Vanderwalle et al(2003): RILEM	8
2.2.4 di Prisco et al (2001)	10
2.2.5 Barragán (2002)	12
2.2.6 Sousa e Gettu (2006)	13
2.3 Ensaios experimentais em lajes com adição de fibras de aço	15
2.3.1 Vargas (1997)	15
2.3.2 Holanda (2002)	17
2.3.3 Musse (2004)	19
2.3.4 Moraes Neto (2013)	22



2.3.5	Gouveia et al (2014)	25
2.3.6	Bartolac et al (2016)	26
2.3.7	Abdel-Rahman et al (2016)	28
2.3.8	Considerações sobre os estudos experimentais apresentados	31
2.4	Modelos Analíticos	40
2.4.1	Narayanan e Darwish (1987)	40
2.4.2	Harajli et al (1995)	41
2.4.3	Holanda e Hanai (2005)	44
2.4.4	Choi et al (2007)	45
2.4.5	Higashiyama et al (2011)	49
2.4.6	Maya et al (2012)	52
2.4.7	Moares Neto (2013)	54
2.5	Simulações Numéricas	57
2.5.1	Karv (2017)	58
3	Metodologia	60
3.1	Generalidades	60
3.2	Procedimento Metodológico	60
3.3	Descrição do Procedimento Experimental	61
3.3.1	Descrição de Geometria e Materiais	61
3.3.2	Descrição do Procedimento para Concretagem	64
3.4	Descrição do Modelo Numérico	67
4	Plano de Trabalho	71
4.1	Considerações gerais	71
4.2	Forma e análise dos resultados	71



4.3 Cronograma de Atividades	72
4.4 Disciplinas Cursadas	73
4.5 Trabalhos Publicados ou em Publicação	73



Lista de Ilustrações

2.1	Modelo Constitutivo na Tração e Compressão proposto por Lim et al. (1987)	5
2.2	Modelo Constitutivo na Tração e Compressão proposto por Lim et al. (1987)	8
2.3	Curva esperada do ensaio de três pontos em prisma. (VANDEWALLE et al., 2003) .	9
2.4	Modelo Constitutivo proposto por Vandewalle et al. (2003)	9
2.5	Modelo Constitutivo proposto por di Prisco et al. (2001)	11
2.6	Modelo Constitutivo proposto por Barragán (2002)	12
2.7	Modelos Constitutivos apresentados em Sousa e Gettu (2006)	13
2.8	Esquema de ensaio estudado pela autora. (MUSSE, 2004)	21
2.9	Laje enasaiada no trabalho de Moraes Neto (2013).	23
2.10	Laje enasaiada no trabalho de Abdel-Rahman et al. (2016).	29
2.11	Relação Capacidade Resistente e Curva Solicitante. (CHOI et al., 2007).	46
2.12	Superfície de ruptura adotada por Choi et al. (2007).	47
2.13	Modelo proposto por Fraser (1983). (CHOI et al., 2007).	50
2.14	Curva esquemática de uma curva resistente e solicitante obtida pelo CSCT (adaptada). (MAYA et al., 2012)	52
2.15	Parâmetros utilizados na Equação 2.4.41. (MORAES NETO, 2013)	56
2.16	Modelo de laje Estudado por Barros et al. (2015) e modelado por Karv (2017). (KARV, 2017)	59
3.1	Representação do esquema do ensaio experimental.	62
3.2	Armadura utilizada nos ensaios experimentais	63



3.3	Posição dos extensômetros nas barras	64
3.4	Posição dos extensômetros nas barras	65
3.5	a) Posicionamento das lajes; b) Moldagem da camada de Regularização; c) Posicionamento da camada de proteção; d) Posicionamento da armadura e forma laterais de madeira	66
3.6	a) Armadura Montada; b) Extensômetro devidamente protegido;	67
3.7	Representação do Modelo numérico na Laje estudado	68
3.8	Modelo Numérico	69



Lista de Tabelas

2.1	Séries estudadas por Vargas (1997)	15
2.2	Resultados obtidos por Abdel-Rahman et al. (2016)	31
2.3	Resumo das principais conclusões obtidas nos ensaios experimentais.	33
2.4	Ensaio realizado por Harajli et al. (1995)	42
2.5	Impacto dos principais parâmetros do modelo numérico.	58
4.1	Cronograma de Atividades.	72



Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

Os materiais cimentícios são largamente utilizados na construção civil, sendo o concreto mais utilizado nesta categoria. A sua principal finalidade é constituir a estrutura de edificações. Isso se deve ao fato de sua trabalhabilidade e, no Brasil, pela sua alta mão de obra especializada em comparação com os demais materiais utilizados nas estruturas. Além disso, apresenta um bom desempenho na compressão, porém deve ser auxiliado por outros materiais para o caso em que a tração é predominante. Em virtude disso, os sistemas estruturais que utilizam o concreto geralmente são, além do próprio concreto, composto por outros materiais que o auxiliam nas regiões de tração, que é o caso do concreto armado, concreto protendido ou o concreto com adição de fibras.

Nas estruturas, o sistema mais comum utilizado em edificações é o sistema composto por lajes, pilares e vigas. Neste sistema, os carregamentos de utilização solicitam primeiramente as lajes, que se apoiam em vigas, que transferem seus esforços para os pilares e por fim para a fundação. Uma alternativa a este tipo, é o sistema que substitui o painel de lajes e vigas por lajes lisas, cujas ações provenientes do carregamento das lajes são transferidas diretamente para os pilares, isto é com ausência de vigas. A principal vantagem deste sistema é a redução das formas, redução do pé direito, redução do tempo para o processo de execução da estrutura e flexibilização do projeto arquitetônico.

Em consequência, este sistema deve ser rigorosamente estudado, devido ao seu complexo comportamento estrutural. Fenômenos que no sistema convencional de lajes, pilares e vigas são mínimos e não apresentam um risco considerável para a segurança da estrutura passam a ser uma incógnita importante na concepção e planejamento do projeto, quando se utiliza o sistema de lajes lisas. Em meio a estes está o fenômeno de punção, que se caracteriza pelos altas tensões de



cisalhamento nas regiões próximas da conexão laje-pilar. Além disso, por se tratar de um sistema que favorece a redução do pé direito, os elementos necessários para compor as instalações de água fria, cabeamento e tubulações de esgoto são transferidos entre pavimentos passando em furos nas lajes posicionados nas regiões próximas aos pilares. Desta forma, fragilizando ainda mais as regiões críticas quanto ao cisalhamento.

Sobre tal problemática, este trabalho tem a proposta de apresentar um estudo da região fragilizada das lajes lisas pela inserção de aberturas. Será estudado o comportamento dessa região da laje com a incorporação de fibras de aço. Existe um consenso de que a adição de fibras na mistura do concreto melhora o desempenho de estruturas no cisalhamento (Yao et al. (2018); Belletti et al. (2012); Walraven et al. (2012); Soetens e Matthys (2017)). No entanto, essa adição não é levada em consideração na norma brasileira vigente. O que leva a este estudo buscar uma solução analítica para a estimativa da carga resistente que leva o sistema a ruptura por punção.

1.2 Objetivo

O objetivo dessa pesquisa é estudar o desempenho de lajes lisas reforçadas com adição de fibras na região próximas do pilar, fragilizadas por posicionamento de aberturas.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver um estudo experimental de lajes lisas com e sem presença de aberturas moldadas em concreto convencional e reforçado com fibras de aço;
- Realizar um estudo numérico, com a utilização do código computacional do *software* DIANA v9.4.4 com base nas lajes ensaiadas experimentalmente;
- Propor uma metodologia que possa estimar a capacidade de carga na punção de lajes lisas com aberturas;

1.3 Organização da tese

A presente tese está dividida em 7 capítulos. No presente Capítulo 1 está apresentada uma introdução ao tema proposto e os objetivos principal e específicos almejados.



No capítulo 2 foi realizada uma fundamentação teórica ao tema, composta pelos principais trabalhos experimentais, numéricos e analíticos de lajes lisas, moldadas em concreto armado com adição de fibras de aço, com ruptura na punção.

No capítulo 3 está apresentada um estudo numérico baseado em ensaios experimentais obtidos na literatura, afim de comparação do procedimento numérico de simulação de lajes lisas em concreto convencional e com adição de fibras;

No capítulo 4 será apresentado o procedimento experimental e os resultados obtidos a partir do ensaio realizado e comparação com modelos analíticos e recomendações normativas.

No capítulo 5 será apresentado a simulação numérica do ensaio experimental e a proposta do modelo analítico a partir dos resultados obtidos.

No capítulo 6 será apresentado a validação do modelo analítico e comparação dos seus resultados com outros modelos teóricos e a sua utilização em ensaios experimentais obtidos da literatura.

No capítulo 7 será apresentada as principais conclusões obtidas nesta pesquisa a partir dos resultados dos ensaios experimental, simulações numéricas e o modelo analítico proposto.

No entanto, o presente documento, trata-se de um projeto de tese que será apresentado na seguinte sequência: Introdução, Fundamentação Teórica, Metodologia e Plano de Trabalho.



Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Considerações gerais

Neste capítulo serão apresentados os principais trabalhos relacionados com o tema proposto, apresentando os estudos realizados sobre ensaios experimentais, modelagem numérica e modelos analíticos do fenômeno de punção em lajes lisas de concreto armado com adição de fibras de aço.

2.2 Comportamento Estrutural do Concreto Reforçado com Fibras

Neste item serão apresentados os principais trabalhos que tratam sobre a previsão do comportamento estrutural do concreto reforçado com fibras. O principal objetivo é apresentar os modelos constitutivos para tração e compressão (principalmente, o comportamento após a tensão atingir o valor máximo), critérios de resistências utilizados pelos autores que estudam modelos analíticos de previsão de comportamento e os principais parâmetros inerentes a tais modelos.

2.2.1 Relações Constitutivas do Concreto Reforçado com Fibras

Diversos modelos constitutivos podem ser encontrados na literatura para estimar o comportamento do concreto reforçado com fibras. De fato, o comportamento da fibra no concreto armado é influenciado por sua microestrutura e relação entre os seus componentes, como a matriz e os agregados, conforme tratado em Li et al. (1993). Em virtude disso, e se tratando de um problema microestrutural para prescrever um comportamento macroestrutural, os modelos constitutivos normalmente abordam parâmetros que são calibrados conforme ajuste de resultados em ensaios experimentais. Diante disso, neste item serão relacionados os principais modelos

constitutivos para prever o comportamento do concreto armado reforçado com fibras.

Conforme Choi et al. (2007), a Figura 2.1 ilustra a comparação do comportamento do concreto armado reforçado com fibras na compressão e tração.

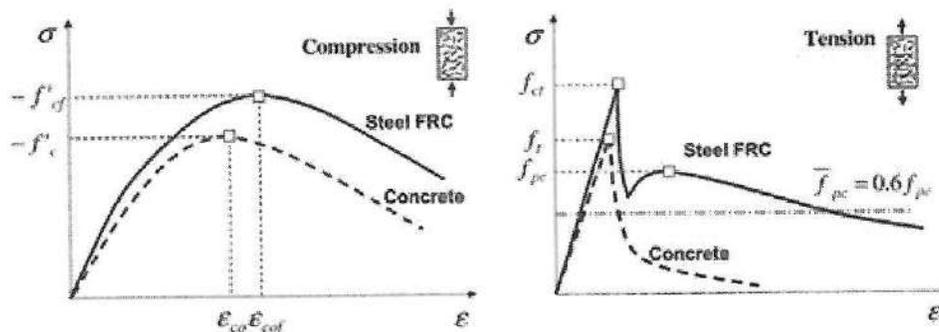


Figura 2.1: Modelo Constitutivo na Tração e Compressão proposto por Lim et al. (1987)

Na Figura 2.1a, f'_{cf} é a resistência à compressão do concreto convencional, f'_{cf} é a resistência à compressão do concreto com adição de fibras, ϵ_{co} é a deformação correspondente a resistência à compressão do concreto convencional e ϵ_{cof} é a deformação correspondente à resistência à compressão do concreto com adição de fibras. Na Figura 2.1b, f_t é a resistência à tração do concreto convencional, f_{ct} é a resistência à tração do concreto reforçado com fibras e f_{pc} é a resistência à tração pós-fissuração do concreto reforçado com fibras.

Na Figura 2.1 é possível observar que o comportamento, tanto de compressão como de tração, apresenta uma maior ductilidade para o caso do concreto reforçado com fibras. De uma forma geral, a adição de fibras aumenta a resistência e deformação, apresentando um comportamento mais evidente na tração. Isso ocorre devido a características das fibras de transferir tensões entre as faces de microfissuras e fissuras, conforme Cox e Marshall (1994) e Bentur e Mindess (2006).

Naaman e Reinhardt (2003a) e Fanella e Naaman (1985) realizaram diversos ensaios experimentais e por relações probabilísticas propuseram expressões para estimar as resistências apresentadas na Figura 1. As Equações 2.2.1 a 2.2.3 apresentam tais relações.

$$f'_{cf} = 1,9v_f\left(\frac{L_f}{d_f}\right)\beta + f'_c \quad (2.2.1)$$

$$f_{cf} = f_t(1 - v_f) + \alpha_1\alpha_2(\tau)v_f\left(\frac{L_f}{d_f}\right) \quad (2.2.2)$$



$$f_{pc} = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 v_f \left(\frac{L_f}{d_f} \right) \tau \beta \quad (2.2.3)$$

Nas Equações 2.2.1 a 2.2.3, v_f é o volume de fibras; L_f é o comprimento das fibras, d_f é o diâmetro das fibras; f'_c é a resistência à compressão do concreto convencional equivalente; f_t é a resistência à tração; α_1 é o coeficiente que representa a fração de escorregamento da fibra na matriz mobilizado na primeira fissura; α_2 é o fator de eficiência da orientação das fibras; τ é a resistência interfacial ao escorregamento da fibra na matriz; λ_1 é a relação esperada de comprimento das fibras arrancadas da matriz; λ_2 é o fator de eficiência de orientação no estado fissurado; λ_3 é o fator de redução associado ao grupo de fibras arrancadas por unidade de área. O fator β leva em consideração o tipo de fibra e pode ser assumido como 1,0 para Hooked e Crimped em concreto convencional; 2/3 para plain e round; e 3/4 para Hooked e Crimped em concreto leve.

Choi et al. (2007) recomenda valores pequenos para os coeficientes α_1 e α_2 (0,5 e 0,1, respectivamente), de modo que f_{ct} seja aproximadamente igual a f_t na Equação 2.2.2. Segundo Naaman e Najm (1991), os valores para os coeficientes na Equação 2.2.3, podem ser adotados como $\lambda_1 = 0,25$; $\lambda_2 = 1,2$ e $\lambda_3 = 1,0$. Quanto a tensão resistente de escorregamento (τ), os autores, baseados nos trabalhos de Naaman e Najm (1991), recomendam $\tau = 2f_t$.

A relação tensão e deformação apresentada no Trabalho de Choi et al. (2007) se configura na Equação 2.2.4. Tal Equação é válida para o caso de compressão. O valor de ε_{cof} pode ser obtido conforme Equação 2.2.5.

$$\sigma(\varepsilon) = f'_{cf} \left[2 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cof}} \right) - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cof}} \right)^2 \right] \quad (2.2.4)$$

$$\varepsilon_{cof} = 0,00079 v_f \left(\frac{L_f}{d_f} \right) + 0,0041 \left(\frac{f'_{cf}}{f_c} \right) \quad (2.2.5)$$

Quanto ao comportamento na tração, segundo Choi et al. (2007), a maior diferença para o concreto convencional é que no concreto com adição de fibras existe transferência de tensões de tração após fissuração através das pontes de fibras formadas entre as faces da fissura. Dessa forma, pode ser observado tal comportamento mais dúctil em comparação com o concreto convencional.

O modelo constitutivo para o comportamento na tração (apresentado na Figura 2.1) inicia com comportamento elástico linear até atingir a resistência à tração (f_{ct}). Após atingir o valor



máximo, as tensões tendem a diminuir na medida que as deformações aumentam. Isso ocorre devido à formação das fissuras. No entanto, após uma determinada deformação, as fibras começam a contribuir para a resistência através das pontes formadas entre as faces das fissuras mencionadas, retomando uma parcela de tensão. Em consequência, com a contribuição das fibras, é possível observar um aumento da ductilidade do sistema.

Alternativamente, os modelos constitutivos de amolecimento do concreto reforçado com fibras na tração foram simplificados para facilitar utilização das fibras em projetos. Conforme Vandewalle et al. (2003), os modelos constitutivos simplificados podem ser classificados, de acordo com sua forma, em Drop-Constant, Bilineares, Multilineares e de Forma Livre. Com base nessa classificação, nas seções seguintes serão apresentados alguns das principais relações constitutivas obtidas da literatura para estimar o comportamento do concreto armado com adição de fibras de aço.

2.2.2 Lim et al (1987)

Uma das relações do tipo Drop-constant mais utilizadas na literatura é a proposta por Lim et al. (1987). Tal relação constitutiva estima o comportamento das fibras na tração e compressão. Sendo composta por dois parâmetros relacionados ao material: O módulo de elasticidade (E) e a deformação relativa a primeira fissura (ε_{cr}); e dois parâmetros adimensionais: resistência normalizada à tração pós-pico (μ); e razão entre resistência à compressão e tração (ω). As Equações 2.2.6 e 2.2.7 expressam, respectivamente, as relações na tração e compressão do modelo proposto por Lim et al. (1987).

$$\sigma_t(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon & [0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{cr}] \\ \mu\varepsilon_{cr}E & [\varepsilon_{cr} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{tu}] \\ 0 & [\varepsilon > \varepsilon_{tu}] \end{cases} \quad (2.2.6)$$

$$\sigma_c(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon & [0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{cy}] \\ \omega\varepsilon_{cy}E & [\varepsilon_{cy} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{cu}] \\ 0 & [\varepsilon > \varepsilon_{cu}] \end{cases} \quad (2.2.7)$$

Nas equações 2.2.6 e 2.2.7, o parâmetro μ representa a relação entre a resistência pós pico

na tração e a tensão relativa à fissuração. Segundo Soranakom e Mobasher (2009), o parâmetro μ está relacionado com o volume de fibras, geometria, rigidez e aderência das fibras. O Parâmetro ω define o início de um patamar no comportamento à compressão. Os autores ainda propuseram dois parâmetros que descrevem relações para as deformações última na tração e compressão, sendo β e λ , respectivamente. O modelo proposto por Lim et al. (1987) está representado na Figura 2.2. A Figura 2.2a ilustra a relação constitutiva na tração e a Figura 2.2b ilustra a relação constitutiva na compressão.

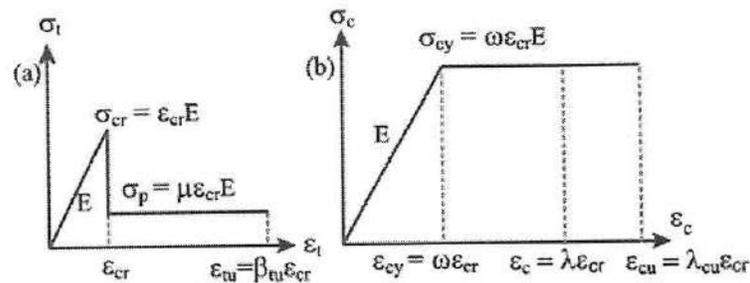


Figura 2.2: Modelo Constitutivo na Tração e Compressão proposto por Lim et al. (1987)

2.2.3 Vanderwalle et al(2003): RILEM

Vandewalle et al. (2003) propôs um modelo constitutivo bilinear obtido a partir de um ensaio padrão de três pontos em um prisma com um entalhe. O entalhe, posicionado no centro na face inferior, representa uma fissura na posição mais tracionada do prisma. Durante o ensaio, são medidos a carga e o *Crack Mouth Opening Displacement (CMOD)*. O *CMOD* é a abertura na face mais tracionada do entalhe com o carregamento do prisma durante o ensaio. Através da relação carga aplicada e *CMOD* é possível obter a relação na forma de tensão-deformação a partir de equações matemáticas propostas. A Figura 2.3 ilustra, esquematicamente, o resultado esperado de um ensaio de prisma mencionado.

Na Figura 2.3, os autores estabelecem alguns valores de *CMOD* padrão para medição da força como parâmetros para se obter a relação constitutiva proposta (i.e. $F_{R,i}$ é a força medida relativa ao $CMOD_i$). Por sua vez, a Equação 2.2.8 expressa a tensão normal a partir dos valores de força medidos na Figura 2.3.

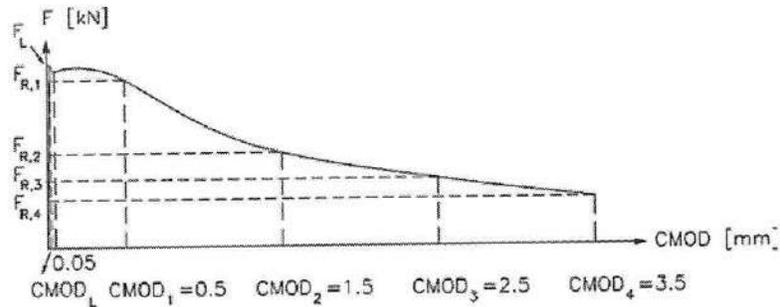


Figura 2.3: Curva esperada do ensaio de três pontos em prisma. (VANDEWALLE et al., 2003)

$$f_{R,i} = \frac{3F_{R,i}L}{2bh_{sp}^2} \quad (2.2.8)$$

Na Equação 2.2.8, $f_{R,i}$ é a tensão normal relativa a $F_{R,i}$, L é o comprimento entre os apoios do prisma, b é a largura do prisma ensaiado e h_{sp} é a distância medida entre a ponta do entalhe e o topo do prisma. A Figura 4 ilustra, esquematicamente o modelo constitutivo proposto por Vandewalle et al. (2003).

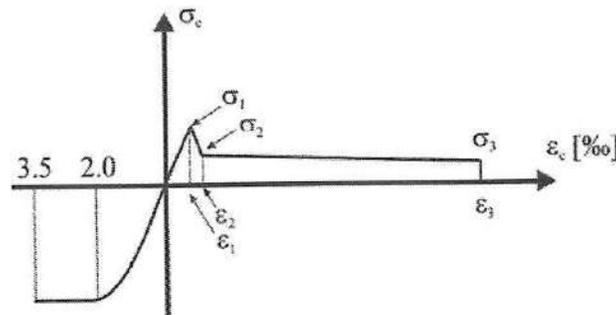


Figura 2.4: Modelo Constitutivo proposto por Vandewalle et al. (2003)

Na Figura 2.4, σ_1 é obtido a partir da resistência à tração média (ver Equação 2.2.9), σ_2 e σ_3 são obtidos a partir dos valores de $f_{R,1}$ e $f_{R,4}$ (ver Equações 2.2.8, 2.2.10 e 2.2.11), a deformação ϵ_1 é obtida a partir do Módulo de Elasticidade (ver Equação 2.2.12), a deformação ϵ_2 é obtido a partir de ϵ_1 (ver Equação 2.2.13), ϵ_3 é tomado como 2,5% e o Módulo de elasticidade é obtido a partir da Equação 2.2.14.



$$\sigma_1 = 0,7f_{ctm,fl}(1,6 - d) \quad (2.2.9)$$

$$\sigma_2 = 0,45f_{R,1}k_h \quad (2.2.10)$$

$$\sigma_3 = 0,37f_{R,1}k_h \quad (2.2.11)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E_c} \quad (2.2.12)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 + 1\% \quad (2.2.13)$$

$$E_c = 9500 (f_{ctm})^{\frac{1}{3}} \quad (2.2.14)$$

Na Equação 2.2.10 e 2.2.11, o fator k_h é o fator de escala, obtido pela Equação 2.2.15. Nas Equações 2.2.9 a 2.2.14, os valores devem estar nas unidades do SI. Na Equação 2.2.9 a unidade de d deve estar em metros.

$$k_h = \begin{cases} 1,0 & [h \leq 12,5]cm \\ 1,0 - 0,6 \left(\frac{h[cm] - 12,5}{47,5} \right) & [12,5 \leq h \leq 60]cm \\ 0,4 & [h > 60]cm \end{cases} \quad (2.2.15)$$

2.2.4 di Prisco et al (2001)

di Prisco et al. (2001) propuseram um modelo constitutivo para tração como uma relação bilinear semelhante ao trabalho de Vandewalle et al. (2003). Os autores propuseram o modelo constitutivo a partir de ensaios de quatro pontos realizados em prismas de dimensões de $150 \times 150 \times 600$ mm com um entalhe no centro no qual foi medida a abertura de fissura. Os prismas foram moldados com concreto de 60 MPa e 40MPa e uma adição de fibras de $50kg/m^3$ e $35kg/m^3$.

Diferentemente dos trabalhos de Lim et al. (1987) e Vandewalle et al. (2003), o modelo

proposto por di Prisco et al. (2001) é formulado com a relação da tensão em função da abertura de fissura ($\sigma - w$). Segundo Blanco et al. (2013), tais modelos são baseados na abordagem de fissuras fictícia inicialmente proposta por Hillerborg et al. (1976). A maior vantagem de usar o modelo ($\sigma - w$) é a possibilidade de obter valores e comparar diretamente do ensaio experimental (BLANCO et al., 2013).

A Figura 2.5 ilustra o modelo constitutivo proposto por di Prisco et al. (2001). No modelo bilinear de di Prisco et al. (2001), o primeiro trecho é representado com a mesma inclinação do CEB-FIP (1993) (ver Figura 2.5). Segundo os autores, esse trecho representa a formação e aumento da abertura de fissuras na matriz do concreto e pode ser considerado como a abordagem de amolecimento de concreto convencional (também previsto por Choi et al. (2007)). Por sua vez, o segundo trecho representa a contribuição das fibras com o aumento da abertura de fissuras. O segundo trecho pode ser identificado a partir da média aritmética obtida entre as tensões de duas aberturas de fissuras diferentes.

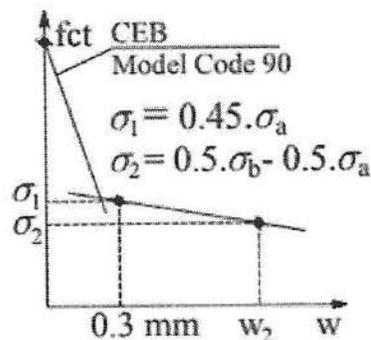


Figura 2.5: Modelo Constitutivo proposto por di Prisco et al. (2001)

Na Figura 2.5, a tensões σ_a é obtida através da média entre as tensões na faixa de fissuras entre 0mm e 0,6mm; a tensão σ_b é obtida da média entre as tensões na faixa de 0,6mm e 3mm (DI PRISCO et al., 2001).

Para validar tal modelo constitutivo, os autores fizeram de série de simulações numéricas em elementos finitos obedecendo os valores propostos. O comportamento das simulações numéricas foram comparados com os ensaios experimentais apresentando uma boa concordância entre os resultados.

Nas simulações numéricas realizadas na validação do modelo constitutivo, os autores observaram que o comportamento na tração é afetado diretamente com a altura da amostra, prin-

principalmente quando o prisma tem uma altura menor que 150mm. Os autores ainda acrescentaram que levar a altura em consideração nos cálculos (como proposto nos ensaios de Vandewalle et al. (2003), ver Equação 2.2.9) não é uma tarefa fácil, visto que está relacionado com a orientação das fibras no concreto; o processo de mistura, adensamento na moldagem do concreto e direção de vibração.

2.2.5 Barragán (2002)

Barragán (2002) estudou o comportamento de vigas de concreto retangulares e com seção transversal do tipo T produzidas com concreto reforçadas com fibras. Para o estudo, o autor fez uma série de ensaios em concreto convencional, com adição de fibras e de alta resistência com o objetivo de, além de outros fatores, estimar o comportamento do concreto na tração pós-pico. O autor propôs um modelo multilinear baseando-se na relação tensão-abertura de fissuras ($\sigma - w$). A Figura 2.6 ilustra o modelo proposto por Barragán (2002).

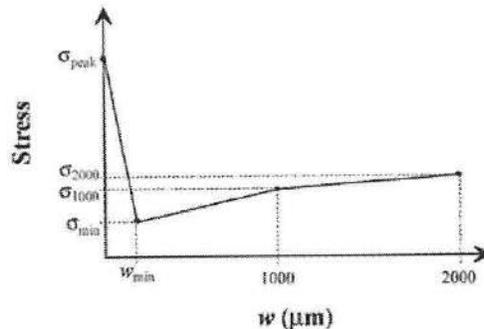


Figura 2.6: Modelo Constitutivo proposto por Barragán (2002)

Para o traçado do comportamento na tração, o autor propõe a Equação 2.2.8 que também foi utilizada no trabalho de Vandewalle et al. (2003). A Equação 2.2.8 pode ser utilizada para obtenção do σ_{1000} e σ_{2000} que representa a tensão relativa ao CMOD de $1000\mu m$ e $2000\mu m$, respectivamente. Por sua vez, a abertura de fissuras mínima pós pico (w_{min}), é obtida no ensaio e a sua tensão relativa é obtida pela Equação 2.2.8.

2.2.6 Sousa e Gettu (2006)

Sousa e Gettu (2006) apresentaram algumas curvas de amolecimento na tração a partir de análise inversa de resultados experimentais em prismas de $P - CMOD$, em que P é a carga aplicada medida e $CMOD$ é o *Crack Mouth Opening displacement*. A Figura 2.7 ilustra os modelos estudados pelos autores, que classificaram como: Sloped-Constant (Figura 2.7a), Bilinear (Figura 2.7b) e Trilinear (Figura 2.7c).

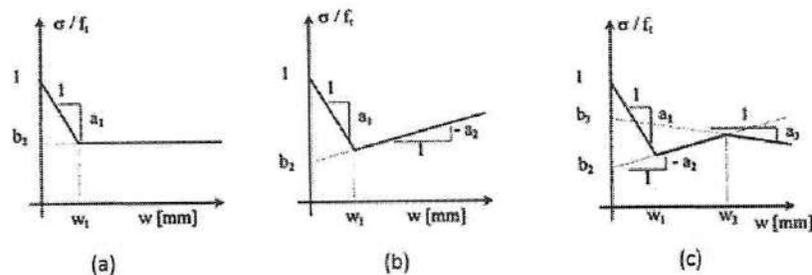


Figura 2.7: Modelos Constitutivos apresentados em Sousa e Gettu (2006)

Na Figura 2.7a está apresentado o modelo Sloped-Constant. O modelo descreve o comportamento na tração pós-pico através de um amolecimento até uma dada abertura de fissura seguido de um comportamento de tensão constante com o aumento da abertura de fissura, parecido com o modelo proposto por Lim et al. (1987). Segundo os autores, tais modelos dependem de três parâmetros básicos, sendo a resistência à tração (f_t), um parâmetro adimensional relacionado com a inclinação do primeiro trecho (a_1) e um parâmetro adimensional relacionado com a resistência à tração pós pico (b_1). A Equação 2.2.16 descreve o comportamento da relação tensão-abertura de fissura para o modelo Sloped-Constant. É importante observar que os autores normatizaram a tensão atuante pós-fissuração pela resistência à tração obtida.

$$\frac{\sigma(w)}{f_t} = \begin{cases} 1 - a_1 w & [w \leq w_1] \\ b_2 & [w > w_1] \end{cases} \quad (2.2.16)$$

A Figura 2.7b ilustra o modelo constitutivo bilinear apresentado por Sousa e Gettu (2006) para o comportamento pós-pico na tração do concreto reforçado com fibras. O modelo bilinear descreve o comportamento de tensão-abertura de fissuras através de dois trechos homogêneos com diferentes coeficientes de rigidez. O primeiro trecho geralmente é descrito como um amolecimento



com a mesma equação apresentada no modelo Sloped-Constant (Equação 2.2.16) e o segundo trecho pode ser descrito como um amolecimento ou como um endurecimento, conforme parâmetros de entrada. Para descrever tal comportamento, os autores apresentaram quatro parâmetros, sendo: a resistência à tração (f_t), coeficientes de rigidez dos trechos homogêneos (a_1 e a_2) e um par tensão-abertura de fissura relativo ao início de mudança de comportamento do modelo (b_2 e w_1 , ver Figura 2.7b). A Equação 2.2.17 apresenta a relação para o modelo bilinear apresentada por Sousa e Gettu (2006). O modelo proposto por di Prisco et al. (2001) é um modelo bilinear que também pode ser descrito através dos parâmetros apresentados por Sousa e Gettu (2006).

$$\frac{\sigma(w)}{f_t} = \begin{cases} 1 - a_1 w & [w \leq w_1] \\ b_2 - a_2 w & [w > w_1] \end{cases} \quad (2.2.17)$$

Na Figura 2.7c ilustra-se o modelo trilinear apresentado por Sousa e Gettu (2006). O modelo Trilinear é semelhante ao Bilinear, apenas com a adição de mais um trecho homogêneo. Para tanto, além dos parâmetros apresentados para o modelo bilinear, são necessários mais dois parâmetros para descrever o comportamento de tensão-abertura de fissuras do modelo trilinear. Sendo mais um coeficiente de rigidez (a_3) e mais um ponto de tensão que indica o início de mudança de comportamento do segundo trecho para o terceiro trecho (b_3 e w_2). A Equação 2.2.18 descreve a relação constitutiva trilinear apresentada por Sousa e Gettu (2006).

$$\frac{\sigma(w)}{f_t} = \begin{cases} 1 - a_1 w & [w \leq w_1] \\ b_2 - a_2 w & [w_1 \leq w \leq w_2] \\ b_3 - a_3 w & [w > w_2] \end{cases} \quad (2.2.18)$$

Por exigir uma quantidade maior de parâmetros e por tais parâmetros serem de difícil previsão, o modelo trilinear de Sousa e Gettu (2006) não é comumente utilizado na literatura. No entanto, comportamentos de casos em que o concreto se mantém reforçado com mais de um tipo de fibra pode ser previsto por tal modelo.



2.3 Ensaios experimentais em lajes com adição de fibras de aço

2.3.1 Vargas (1997)

O comportamento resistente de lajes-cogumelo de concreto armado com previsão de ruptura por punção foi investigado através da variação do emprego de concreto de alta resistência, reforço com fibras de aço e uso de armaduras transversais.

Ao total, foram ensaiadas 10 lajes com diferentes combinações de concreto de alta resistência, concreto convencional e volume de fibras adicionadas ao concreto. O autor dividiu os ensaios realizados em duas séries de seis modelos cada.

A primeira série de seis laje consistiu da utilização de concreto com resistência de 30MPa aos 7 dias com armadura de cisalhamento apenas em três delas. A segunda série utilizou-se concreto de alta-resistência com, aproximadamente, 85MPa aos 7 dias. Em ambas as séries foram adicionadas a quantidade de 0%; 0,75% e 1,5% de fibras na mistura do concreto. A Tabela 2.1 ilustra os ensaios estudados por Vargas (1997). Na Tabela 2.1, o concreto Tipo A se refere ao concreto com resistência de 30MPa e o concreto Tipo B, ao concreto com resistência de 85MPa.

Tabela 2.1: Séries estudadas por Vargas (1997)

Série	Laje	Concreto	Armadura de cisalhamento	Adição de fibras
I	L1	Tipo A	Não	0
	L2	Tipo A	Não	0,75
	L3	Tipo A	Não	1,50
	L4	Tipo A	Sim	0
	L5	Tipo A	Sim	0,75
	L6	Tipo A	Sim	1,50
II	L7	Tipo B	Não	0
	L8	Tipo B	Não	0,75
	L9	Tipo B	Não	1,50
	L10	Tipo B	Sim	0
	L11	Tipo B	Sim	0,75
	L12	Tipo B	Sim	1,50

As fibras utilizadas no estudo foram do tipo hooked com comprimento de 25mm, seção transversal circular com diâmetro da seção transversal de 0,667mm e fator de forma de 37,45. Quanto à armadura, foi utilizada uma armadura principal em malha ortogonal constituída por barras de 10mm espaçadas a 95mm e uma malha secundária de 5mm espaçadas a 190mm.



O autor classificou as fissuras observadas em principais e secundárias. As fissuras principais foram aquelas em que se prolongaram desde as faces do pilar até as bordas do modelo. As fissuras secundárias foram as que se prologaram entre as fissuras principais e apresentaram abertura visivelmente menor.

O autor observou que a quantidade de fissuras principais não apresentou uma alteração da comparação dos modelos de mesma série. Entretanto, os modelos que tiveram adição de fibras na composição do concreto tiveram uma quantidade de fissuras secundárias maiores na medida em que se aumentou a quantidade de fibras adicionada ao concreto.

Considerando a comparação entre as séries, isto é, a comparação entre as lajes moldadas com concreto de 30MPa e as lajes com concreto de 85MPa, houve um aumento significativo da quantidade de fissuras observadas.

O autor descreveu que as primeiras fissuras apareceram nos cantos do pilar na face superior da laje, prolongando-se e formando legues nas diagonais principais da laje. A abertura de fissuras foi observada sendo maior nas lajes que não continham fibras e nas lajes que continham apenas armaduras de cisalhamento, também sem fibras.

Exceto para a laje com armadura de cisalhamento e adição de 1,5% de fibras, que teve modo de ruptura identificado pelo autor como punção-flexão, todas as lajes tiveram ruptura por punção. Foi observado também que os modelos de concreto com alta resistência tiveram uma ruína frágil em comparação com o concreto convencional.

Segundo o autor, de maneira geral, o uso da armadura de cisalhamento proporcionou um afastamento do cone de punção em relação ao pilar e a adição de fibras proporcionou uma tendência de aumentar o ângulo de inclinação da superfície de ruptura. As lajes com fibras tiveram um ângulo de inclinação da superfície de ruptura entre 25,8° e 31,8° para o concreto convencional, que obteve ângulo de 22,2°, enquanto que, para o concreto de 85MPa, as fibras apresentaram ângulo de inclinação entre 17° e 34,4°, para 18,6° da referência sem adição de fibras.

Com relação a carga máxima atingida, o concreto convencional com adição de fibra e sem armadura de cisalhamento proporcionou um aumento de 5% e 21,2% em relação a laje de referência e 26% e 30% nos modelos com armadura transversal.

Para o caso do concreto de alta resistência, a carga de ruptura teve um acréscimo de 21,4% e 34,6% para o caso com adição de fibras e sem armadura de cisalhamento. As lajes com fibras e armadura de cisalhamento apresentaram um aumento de 42,7% e 54,4%.



A comparação do aumento da carga máxima atingida exclusivamente pela adição de armadura de cisalhamento foi de 25% para o concreto convencional e 8,9% para o concreto de alta resistência. Com relação a comparação da capacidade de carga obtida pelo concreto de alta resistência, houve um acréscimo de 26,2% em comparação com o concreto convencional.

O autor ainda fez algumas considerações sobre a adição de fibras, utilização de concreto de alta resistência e utilização de armadura cisalhamento, que foram:

- (a) nos casos estudados, a adição de fibras sempre aumentou a carga máxima obtida;
- (b) nas lajes sem armadura transversal o acréscimo de resistência com adição de fibras foi sempre crescente, indicando que, quantidades além das estudadas podem aumentar ainda mais a capacidade de carga à punção;
- (c) a adição de fibras se mostrou mais efetiva para lajes moldadas com concretos de alta resistência;
- (d) nas lajes com armadura transversal, as fibras proporcionaram um aumento da carga máxima obtida, porém, com tendência a se estabilizar para adições de 1,5% de fibras;
- (e) foi observado um melhor comportamento conjunto da adição de fibras com a armadura de cisalhamento, podendo ser estudada a possibilidade de diminuir a quantidade de armadura com a adição de fibras;

Com relação aos deslocamentos medidos durante os ensaios pelos transdutores, nas lajes sem fibras observou-se que as lajes de concreto de alta resistência obtiveram deslocamentos máximos menores em comparação às lajes concreto convencional. Foi constatado que a presença de armadura de cisalhamento obteve deslocamento maiores em comparação com a mesma laje sem armadura de cisalhamento.

O autor ainda observou que houve uma diminuição dos deslocamentos com o aumento da quantidade de fibras adicionada ao concreto. Constatando que o uso combinado de fibras e concreto de alta resistência melhoram o mecanismo resistente do sistema.

2.3.2 Holanda (2002)

As lajes que faziam parte dos ensaios experimentais realizados por Holanda (2002) eram de $1160 \times 1160 \times 100$ mm, armadas em malha ortogonais com armadura principal de 10mm e arma-



dura secundária de 5mm. Nenhuma das lajes continham armadura de combate ao cisalhamento.

O objetivo principal da autora era de correlacionar os resultados experimentais em vigas prismáticas com lajes para se obter indicadores de previsão do comportamento entre estes elementos. Como o objetivo principal deste item é apresentar os principais resultados e procedimentos de ensaio experimentais de laje com fibras, os ensaios com vigas realizados não serão tratados nesta descrição.

Os ensaios realizados em lajes consistiam em aplicar uma carga em uma chapa de 80 × 80 mm até que a estrutura estudada atingisse a ruptura por punção. As variáveis estudadas por Holanda (2002) foram a influência da resistência à compressão, volume de fibras adicionadas na mistura do concreto e tipo de fibra utilizada. Foram ensaiadas um total de 8 lajes em 5 séries para obter estudar a variáveis propostas.

Da análise da resistência à compressão foram utilizadas concreto dosados para obter resistência aos 14 dias de 25MPa e 60MPa. Com relação ao volume de fibras foram utilizadas as taxas de 1% e 2%. Do tipo de fibra utilizada, foram utilizadas as fibras ZP-305 DRAMIX, RL 45/40 BN DRAMIX; HSCF-25 HAREX. A Fibra ZP-305 tinha seção transversal circular, com diâmetro de 0,55mm, comprimento 30mm, fator de forma de 54,5 e tensão de escoamento de 1150MPa. A fibra do tipo RL 45/50 tinha seção transversal circular, diâmetro de 1,05mm, fator de forma de 48 e tensão de escoamento de 1000MPa. A fibra HSCF-25 tinha seção transversal retangular, comprimento de 25mm, diagonal principal de 0,667mm, fator de forma de 37,45 e tensão de escoamento de 770MPa.

Dos resultados obtidos da comparação da variação do volume de fibras em concretos de resistência de 25MPa, foi possível observar que a adição de fibras aumentou a carga última atingida pela laje para 139,55kN e 163,62kN, para a adição de 1% e 2% de fibras, respectivamente. Isto representa um aumento de 1,7% e 19,3% em relação a laje de referência sem fibras para os volumes de 1% e 2%, respectivamente.

Os deslocamentos obtidos nas lajes com fibras aumentaram em comparação das lajes sem fibra. A autora associou esse aumento a capacidade da laje atingir maiores valores de rotações, que também foram maiores na lajes com fibras.

Outra propriedade observada pela autora foi a ductilidade. Apesar dos resultados obtidos pela laje de referência sem fibra e pela adição de 1% de fibras atingirem valores praticamente iguais de carga última, a simples adição de 1% de fibras na mistura proporcionou um aumento da



ductilidade significativa.

Dos resultados da influência da adição de fibras em concretos de resistência de 60MPa aos 14 dias também se observou o aumento da carga última atingida pela laje em comparação com a referência sem fibras. A laje com adição de 1% de fibras atingiu a carga de 215,14kN (aumento de 11,5% em comparação com a referência) e a laje com adição de 2% de fibras atingiu a carga de 236,17kN (aumento de 22,4%).

As lajes com adição de fibras em concreto de alta resistência ($f_{c,14}=60\text{MPa}$) também apresentaram uma resistência residual maior em comparação com a referência sem fibras, isto é, aumento da carga obtida no patamar inicial da curva carga \times deslocamento. A autora descreve que o aumento da resistência residual normalmente está associado ao efeito pino da armadura de flexão, porém em lajes com fibras está associada a orientação das fibras e ao tipo de ancoragem das mesmas. A alta resistência da matriz do concreto também pode ter influência, pois melhora a aderência das fibras na formação de fissuras.

A autora ainda observou uma maior fragilidade com o aumento da resistência à compressão no comportamento das lajes sem adição de fibras. A mesma comparação feita para as lajes com adição de fibras resultou uma inversão deste comportamento para volume de acima de 1,5%. A autora ainda concluiu que as fibras atuam melhor em concreto de alta resistência.

Na série estudada por Holanda (2002) cujo o objetivo era analisar o tipo de fibra, foram estudados a alteração do comprimento da fibra e fator de forma das fibras estudadas. A fibra com fator de forma de 66,7 produziu uma maior ductilidade em comparação as lajes com fator de forma de 48.

2.3.3 Musse (2004)

Musse (2004) estudou a ruptura por punção em lajes reforçadas com fibras com adição e variação da armadura de cisalhamento. O objetivo do estudo era investigar o comportamento das lajes afim de se avaliar o seu desempenho até a ruptura através da inserção de fibras e armadura para cisalhamento.

Foram ensaiadas um total de 8 lajes quadradas de $1800 \times 1800 \times 130$ mm. O ensaio consistiu da aplicação de uma força concentrada no centro da laje levando-a a uma ruptura por punção. A autora dividiu o estudo em dois grupos: o primeiro grupo é caracterizado pelas lajes de referência sem adição de fibras (concreto convencional) e variação da armadura de cisalhamento;



o segundo grupo consiste pelas mesmas lajes do primeiro grupo, porém com adição de fibras em uma porcentagem em volume de 0,9%, que corresponde a $70,65\text{kg}/\text{m}^3$.

A armadura de cisalhamento utilizada foi do tipo studs, distribuída radialmente. No estudo da quantidade de armadura, as duas primeiras lajes de cada grupo não tinham armadura de cisalhamento (L1 e LF1). As lajes L2 e LF2 continham três camadas de armadura de cisalhamento (diâmetro de 10mm), espaçadas em 42mm. Para as lajes L3 e LF3, o diâmetro da armadura de cisalhamento foi mantido, a quantidade de camadas foi aumentada para cinco e o espaçamento foi aumentado para 63mm. Por fim, nas lajes L4 e LF4 a quantidade de camadas aumentou para sete de modo que o comprimento total ocupado pela armadura fosse o mesmo das lajes L3 e LF3. Todas as lajes apresentaram uma taxa de armadura longitudinal de 1,38%, que representa uma armadura de $\phi 12,5\text{mm}$ a cada 94mm.

As lajes ensaiadas que continham fibras receberam uma adição em sua mistura de $70,65\text{kg}/\text{m}^3$ ($v_f = 0,9\%$) de fibras no concreto. As fibras utilizadas foram do tipo DRAMIX RC 80/60 BN da Bekaert, com comprimento total de 60mm, diâmetro de 0,75mm e fator de forma igual a 80. As fibras eram do tipo *hooked*, isto é, com ganchos em suas extremidades.

O concreto utilizado nas lajes foi dosado para atingir uma resistência aos 28 dias de 35MPa. No entanto, ensaios realizados na data da realização dos ensaios experimentais (entre os 17 e 20 dias após a concretagem) apresentaram resultados de resistência à compressão entre 36,2MPa e 42,5MPa.

A Figura 2.8 ilustra o esquema do ensaio realizado por Musse (2004). Na Figura 2.8, a carga foi aplicada através de um atuador hidráulico em uma chapa metálica na parte inferior da laje, que foi recebida por mais oito chapas metálicas no seu topo que, por sua vez foram transferidas, através dos tirantes para uma laje de reação.

Musse (2004), em seus ensaios experimentais pode concluir que a utilização de armadura de cisalhamento nas lajes proporcionou um aumento da carga de ruptura em comparação com a laje de referência sem armadura. Com relação a comparação entre a quantidade e distribuição da armadura, a carga de ruptura obtida não apresentou mudanças significativas.

A presença de fibras aumentou a carga de ruptura em todos os casos, apresentando um aumento maior na laje sem armadura de cisalhamento (laje de referência com fibra comparada a laje de referência sem fibra), apresentando aumento entre 7% e 26% (LF4 e LF1, respectivamente).

Com relação ao modo de ruptura, todas as lajes sem fibras apresentaram ruptura por

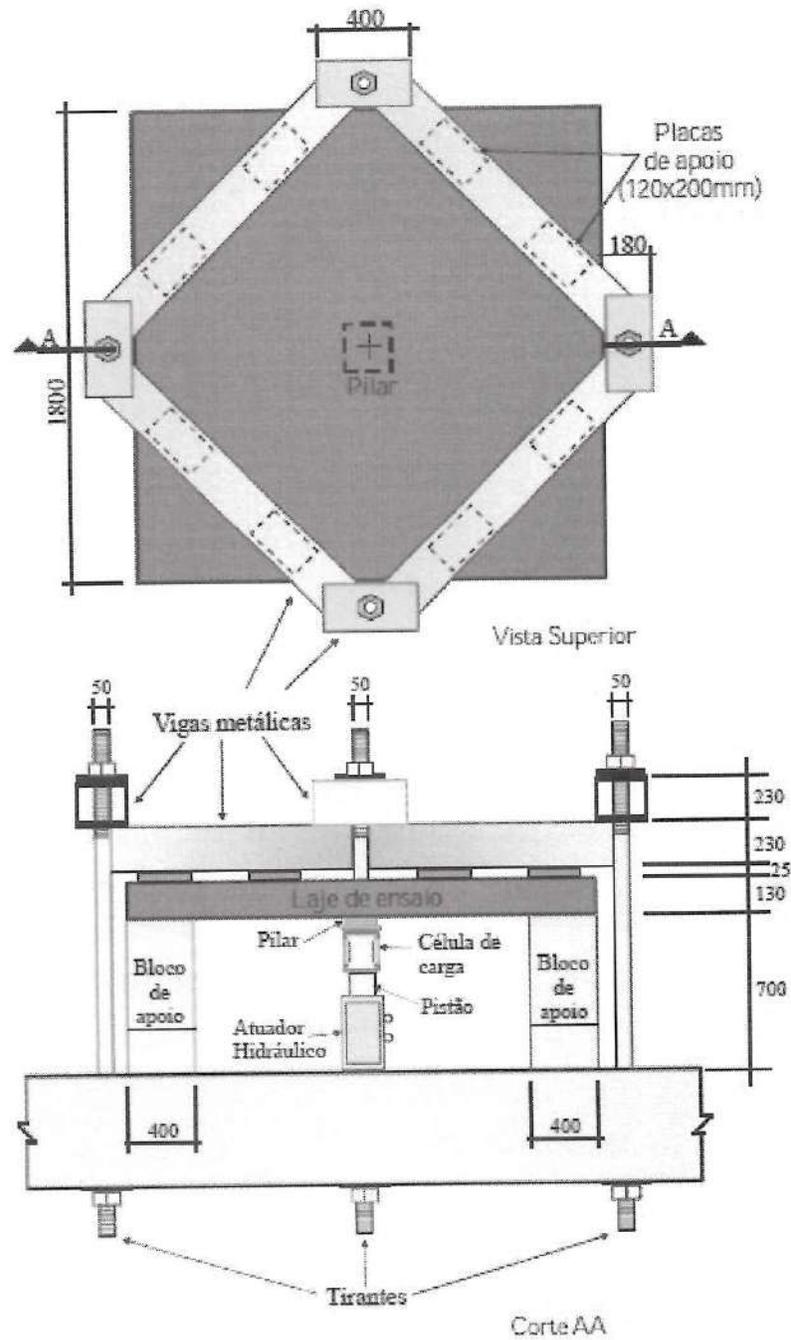


Figura 2.8: Esquema de ensaio estudado pela autora. (MUSSE, 2004)



punção. As lajes que continham armadura transversal romperam externamente. Foi observado uma mudança de modo de ruptura na laje que continha a maior quantidade de armadura e fibras, apresentando ruptura interna.

A presença de fibras aumentou significativamente o deslocamento máximo medido pela instrumentação em comparação com as respectivas sem adição de fibras. Dessa forma, pode-se concluir que a adição de fibras aumentou a ductilidade das lajes, por apresentarem, além de deslocamentos maiores, carga máximas maiores.

2.3.4 Moraes Neto (2013)

Com o objetivo de avaliar a influência da resistência à compressão do concreto e a quantidade de adição de fibras no concreto, Moraes Neto (2013) fez um estudo experimental em um total de 8 lajes, sendo duas lajes de referência sem fibras e seis com concreto reforçado com fibras de aço.

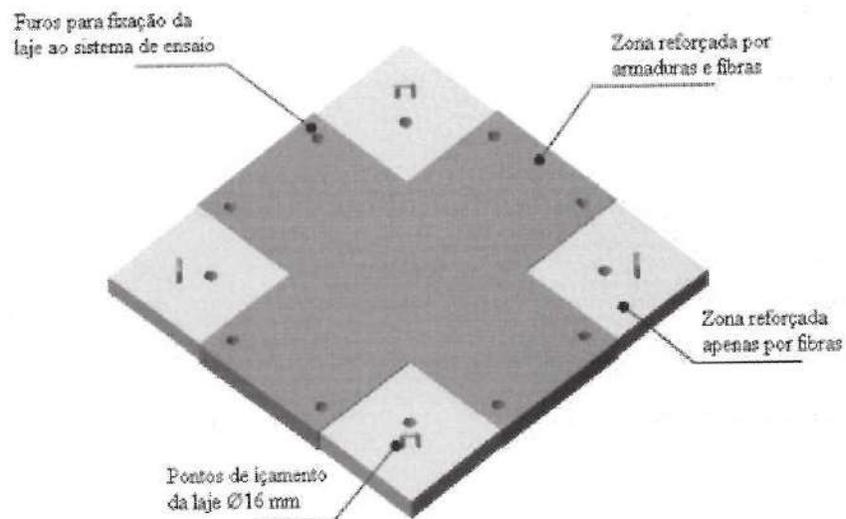
A dimensão de todas as peças estudadas pelo autor foi de $2550 \times 2550 \times 150$ mm com simulação da ligação laje-pilar através de uma placa de aço cuja dimensões foram $200 \times 200 \times 50$ mm. A Figura 2.9 ilustra um esquemas das lajes estudadas por Moraes Neto (2013).

As peças estudadas apresentaram a particularidade das armaduras de flexão estarem concentradas nas regiões destacadas pela cor mais escura na Figura 2.9, enquanto que o reforço por fibras foi aplicado uniformemente em toda a laje. A região que continha armaduras de flexão era uma faixa de 1000mm que cruzava, de forma centralizada, o centro da aplicação de carga concentrada (placa que representava o pilar).

As variáveis estudadas foram a resistência à compressão do concreto em 50 e 70 MPa e a quantidade de fibras adicionadas ao concreto com V_f de 60, 75 e 90 kg/m^3 , além da laje de referência sem fibras.

As armaduras de flexão foram compostas por uma malha de barras de aço de $\phi 12$ mm de diâmetro espaçadas a cada 100mm na região destacada da Figura 2.9 e espaçadas a cada 240mm na região adjacente à região destacada. A taxa de armadura foi calculada através da equação $\rho_s = A_s/A_c = A_s/[(r + 6d)d]$, em que r é a largura do pilar e d é a altura útil da laje.

Nos estudos de Moraes Neto (2013) as fibras de aço utilizadas foram produzidas pela MACCAFERRI. As fibras eram do tipo *Hooked*, com seção transversal circular com 0,55mm de diâme-



a) Apresentação das zonas de reforço

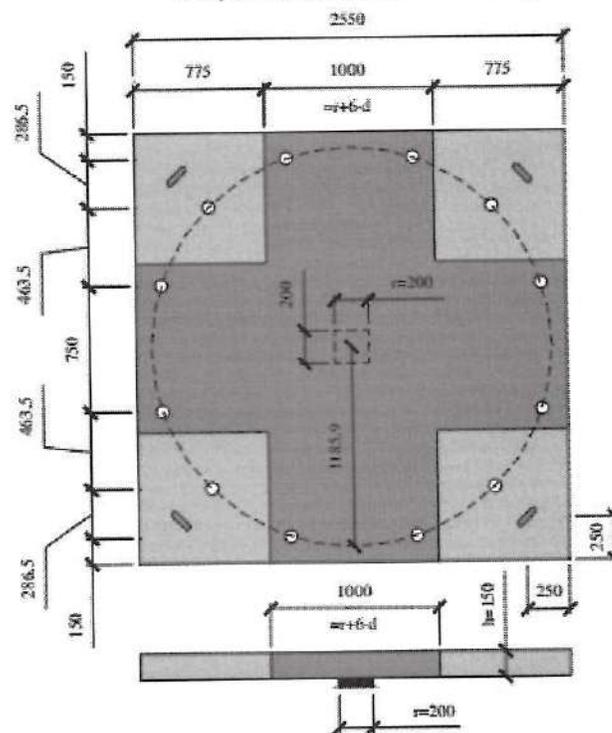


Figura 2.9: Laje ensaiada no trabalho de Moraes Neto (2013).



tro, comprimento de 37mm. A quantidade de fibras utilizadas foi de 60, 75, e $90\text{Kg}/\text{m}^3$, equivalente a 0,8%; 1,0% e 1,2% de fibras (adotando-se um peso específico de $7500\text{kg}/\text{m}^3$). A tensão de escoamento das fibras era de, aproximadamente, 1200MPa.

O autor enfatizou ainda a importância da direção da concretagem das peças que tiveram adição de fibras em sua composição, indicando sua influência na orientação das fibras.

Para caracterização do material das lajes, foram realizados ensaios de compressão em nove corpos cilíndricos de 150×300 mm (conforme ISO 1920-3, 2004); nove vigas de $150 \times 150 \times 600$ mm para ensaios de energia de fratura(VANDEWALLE et al., 2002) e 3 placas redondas com 800mm de diâmetro e espessura de 80mm (ASTM C1550, 2003).

Os resultados demonstram que a relação entre a carga máxima obtida pelas lajes reforçadas com fibras e as lajes de referência sem fibras foram de 1,00; 1,04 e 1,04, para adição de 60, 75 e $90\text{kg}/\text{m}^3$, respectivamente, nas lajes com resistência à compressão de 50MPa. Para o caso das lajes com resistência à compressão de 70MPa, essa relação foi de 1,00; 1,04 e 1,26 para 60, 75 e $90\text{kg}/\text{m}^3$, respectivamente.

As lajes com resistência de 50MPa apresentaram comportamento de carga \times deslocamento semelhante até o deslocamento diferido de 25mm. Após tal deslocamento, o comportamento em relação à capacidade de carga começou a ter variações em relação a quantidade de fibras adicionadas à mistura.

A adição de fibras não apresentou mudanças significativas na carga máxima atingidas pelas lajes com f_{cm} de 50MPa. Com relação aos deslocamentos, apenas a laje com adição de $90\text{kg}/\text{m}^3$ de fibras apresentou um aumento de 72% em relação a laje de referência sem fibras. As demais lajes, com proporções de fibras menores, não apresentaram aumento significativo dos deslocamentos finais.

Segundo o autor, dos resultados obtidos pelas lajes com f_{cm} de 70MPa, a laje com adição de $90\text{kg}/\text{m}^3$ apresentou uma capacidade de carga, ductilidade e tenacidade ligeiramente superior. As demais lajes, apresentaram comportamento semelhante apenas até o deslocamento de 25mm. Após isso, o autor indica que as fibras tiveram maior influência, apresentando uma ductilidade maior. A laje com adição de $70\text{kg}/\text{m}^3$ de fibra atingiu valores de deslocamento máximo de, aproximadamente, 50mm.

O autor ainda observou que uma resistência à compressão maior provoca uma melhor condição de aderência à matriz do concreto para as fibras. Essa aderência pode ter influenciado



nos melhores resultados de capacidade de carga e ductilidade das peças estudadas.

Foi verificado que as lajes moldadas com resistência de 50MPa aumentaram o grau de fissuração das peças estudadas. Para este grupo, não houve formação do cone de punção nas lajes com adição de $90kg/m^3$. No caso das lajes com f_{cm} de 70MPa as fibras também proporcionaram um controle melhor da fissuração nas lajes e alteraram o modo de ruína obtido ao final do ensaio, quando utilizadas as proporções adequadas.

O autor ainda fez uma análise da estimativa de carga última das lajes de referência verificando resultados mais satisfatórios obtidos pelo ACI 318, EC2 e CEB-2010 apresentando resultados de relação V_{exp}/V_{norma} entre 0,85 e 1,15. Os resultados obtidos pelo CEB e NBR-6118 obtiveram resultados entre 1,15 e 2,00, classificados pelo autor como conservadores. Com relação as previsões em lajes com adição de fibras, o resultado obtido do CEB-2010 não foi satisfatório visto que resultou em relações V_{exp}/V_{norma} de 0,5. As estimativas de cargas de ruptura em concreto com adição de fibras através de modelos analíticos apresentaram resultados entre 0,5 e 0,85 para os modelos de Haraqli et al. (1995) e Higashiyama et al. (2011), na qual o autor classificou-os como perigosos para estimativa de carga última.

2.3.5 Gouveia et al (2014)

Neste trabalho os autores apresentaram um estudo experimental de lajes lisas de concreto armado com adição de fibras de aço submetidas a cargas concentradas para se atingir uma ruptura por punção. Foi apresentado também um estudo do modelo constitutivo do concreto utilizado através de ensaios do tipo três pontos em prismas moldados com o mesmo concreto utilizado nas lajes em estudo.

A fibra utilizada no trabalho de Gouveia et al. (2014) foi do tipo hooked (Bekaert's Dramix RC 65/35 BN), com comprimento de 35mm, diâmetro de 0,55mm e uma tensão de escoamento de 1150MPa.

O estudo consistiu em comparar a carga que leva às lajes à ruptura por punção com a quantidade fibras adicionadas ao concreto. Ao total, os autores utilizaram seis tipos distintos de mistura, sendo 0%; 0,5%; 0,75%; 1,0%; e 1,25%.

As lajes estudadas eram dez $1650 \times 1650 \times 125$ mm, escolhidas para obterem a esbelteza de $l/30$, com altura útil de 105mm. O concreto utilizado nos ensaios obteve resistências entre 31,8MPa e 46,2 MPa, com densidades entre 2414 e $2333kN/m^3$. As misturas estudadas obtiveram



abatimentos de 170, 98, 83, 105, 95 e 80mm, respectivamente. As lajes foram armadas com barras de $\phi 10$ mm espaçadas entre si a cada 75mm, nas duas direções ortogonais, obtendo uma taxa de 1%. Neste estudo não foram utilizadas armaduras de cisalhamento.

No procedimento do ensaio, a carga foi aplicada por um atuador hidráulico, medida em uma célula de carga e em contato com a laje através de uma chapa metálica de 200×200 mm, posicionada no centro.

Dos resultados obtidos nos ensaios, foi constatado que a presença das fibras no concreto aumentou a capacidade de carga e a rigidez das lajes ensaiadas, em comparação com a referência sem fibras. Foi também observado pelos autores que, com o acréscimo da quantidade de fibras, a capacidade de carga e os deslocamentos máximos obtidos também aumentaram, alterando a ductilidade do sistema.

Nas proximidades da carga de ruptura, as lajes com maiores quantidades de fibras apresentaram um comportamento parecido com um patamar de escoamento. Os autores relacionaram este comportamento à aderência das fibras com a matriz do concreto após a aberturas e o aumento da quantidade de fissuras.

Com relação ao modo de ruptura, todas as lajes apresentaram superfície de ruptura em forma de tronco de pirâmide, iniciando na base onde se encontrava a chapa que simulava o pilar e continuando em direção ao topo da laje. A superfície de ruptura no topo da laje apresentou uma distância até face do pilar de, aproximadamente, 2d. Após corte transversalmente das lajes, foram obtidas a superfície de ruptura inclinadas entre 29° e 36° para as lajes com fibras e 26° para o caso em que não foi adicionado fibras.

A adição das fibras aumentou em 64% a carga última obtida no ensaio para a laje com adição de 1,25% ($98,13\text{kg}/\text{m}^3$) e 2% para uma adição de fibras de 0,5% ($39,25\text{kg}/\text{m}^3$).

2.3.6 Bartolac et al (2016)

O objetivo principal do trabalho de Bartolac et al. (2016) foi de investigar a diferença entre a capacidade carga de lajes de concreto armado reforçadas com fibras de aço convencional e fibras de aço reciclado. Para tanto, foram ensaiadas lajes de concreto armado com previsão de ruptura por punção com as seguintes misturas: concreto convencional (PC – Plain Concrete); concreto reforçado com fibras convencional (SFRC – Steel Fiber Reinforced Concrete); e concreto reforçado com fibras convencionais e recicladas (HSFRC – Hybrid Steel Fiber Reinforced Concrete).



Na composição do concreto para a laje moldada com SFRC foram utilizados a adição de $40\text{kg}/\text{m}^3$ do tipo hooked, produzido pela ArcelorMittal, com comprimento de 35mm, diâmetro da seção transversal de 0,55mm, fator de forma de 64 e tensão de escoamento de 1200MPa. Para o caso do concreto com HSFRC foram utilizadas uma adição de $10\text{kg}/\text{m}^3$ de fibras convencionais e $45\text{kg}/\text{m}^3$ de fibras recicladas. A adição foi feita por fibras do tipo irregular (*wavy*), produzida pela Twincon, com comprimento de 20mm, diâmetro de 0,15mm, fator de forma de 166 e tensão de escoamento de 2850MPa.

Ensaaios em corpos de prova cúbicos foram realizados nas misturas utilizadas nas lajes. Para a mistura de concreto convencional (PC) foram obtidos valores de resistência à compressão entre 50,4 e 54,1MPa (corpo de prova cúbico) e resistência à tração entre 3,1 e 3,5MPa. Para a mistura de SFRC foi obtido resistência à compressão entre 42,3 e 44,8MPa (corpo de prova cúbico) e resistência à tração entre 2,9 e 3,3MPa. Para o caso da HSFRC foi obtido resistência à compressão entre 43,8 e 44,3MPa e resistência à tração entre 3,2 e 3,7MPa.

Foram ensaiadas um total de 9 lajes para obter a carga que leva o sistema a romper por punção. Todas as lajes ensaiadas tinham as dimensões de $1500 \times 1500 \times 125$ mm, com armadura de flexão constituída por uma malha ortogonal de barras de 14mm espaçadas a 110mm (1,5%). A carga foi aplicada no centro da laje por uma placa metálica de $130 \times 130 \times 30$ mm.

Todas as lajes estudadas por Bartolac et al. (2016) atingiram a ruptura por punção. As lajes de concreto convencional (PC) obtiveram carga máxima média de 325,62kN com deslocamento médio de, aproximadamente, 13mm. As lajes com fibras SFRC e HSFRC obtiveram carga máxima média de 357,89 e 362,71kN, respectivamente. Com relação aos deslocamentos, a laje moldada por SFRC obteve deslocamento máximo médio de 14mm, enquanto a laje de HSFRC obteve deslocamento máximo de 15mm.

Conforme os autores, as lajes com fibras não recicladas (SFRC) aumentaram a capacidade de carga em 10% em comparação com a laje de referência sem fibras (PC). Para o caso das lajes com fibras recicladas (HSFRC), não houve mudanças significativas entre o comportamento das lajes em relação a carga última. A laje moldada com HSFRC apresentou um aumento de 11% na carga última em comparação com a referência sem fibras. Foi observada um aumento da ductilidade das lajes estudadas quando foi adicionada fibras de aço ao concreto.

Os autores enfatizaram a utilização de fibras recicladas para aumento da capacidade resistente na punção de lajes, uma vez que as lajes com fibras recicladas obtiveram, praticamente, o



mesmo comportamento das lajes com fibras não-recicladas.

O padrão de fissuração de todas as lajes foi semelhante. Após a ruptura, as lajes com adição de fibras (recicladas ou não) permaneceram íntegras, enquanto a laje de referência apresentou uma segregação de concreto em algumas partes.

Após corte transversal, as lajes com adição de fibras apresentaram uma diminuição da inclinação da superfície de ruptura da laje em comparação com a referência sem fibras. Os autores explicaram que as lajes com adição de fibras apresentaram uma tendência de levar a superfície de ruptura no topo da laje para posições mais distantes do pilar, aumentando o raio de punção no topo da laje e, conseqüentemente, o cone de punção.

2.3.7 Abdel-Rahman et al (2016)

No trabalho de Abdel-Rahman et al. (2016), foram ensaiadas até a ruptura um total de 14 conexões laje-pilar afim de se avaliar a influência do volume de fibra adicionados ao concreto. O trabalho foi realizado em duas etapas. A Primeira Etapa do trabalho consistiu em ensaiar dez lajes até a ruptura submetidas por cargas axialmente aplicada no pilar. A Segunda Etapa consistiu em ensaiar quatro lajes até a ruptura submetidas a cargas excêntricas para estudar a influência da transferência de momentos da laje para o pilar. A Figura 2.10 ilustra, esquematicamente, as lajes estudadas no trabalho de Abdel-Rahman et al. (2016).

Conforme apresentada na Figura 2.10, as lajes estudadas tinham dimensões de $1700 \times 1700 \times 150$ mm e apresentavam um pilar com dimensões de $200 \times 200 \times 200$ mm nas extremidades superior e inferior. As lajes foram divididas em 5 grupos, denominados pelos autores de A, B, C, D e E. O grupo de lajes A representavam duas lajes de referência sem adição de fibras, ensaiadas com carregamento axial e excêntrico. O grupo B foi caracterizado por adição de fibras na região distante d do pilar, em que d representa a altura útil da laje. Os Grupos C e D, eram semelhantes ao Grupo B, porém com adição de fibras até uma distância $2d$ e $3d$ do pilar, respectivamente. Todas as lajes do Grupo B, C e D foram ensaiadas com aplicação de carga de forma axial e tiveram adição de fibras em taxas de 0,5%, 1,0% e 1,5%. As lajes do Grupo E eram iguais às lajes do Grupo B, porém foram ensaiadas com carga excêntrica ao pilar.

As lajes foram armadas com uma malha ortogonal superior constituída por barras de $\phi 10$ mm e inferior por barras de 16mm. A malha superior foi classificada como uma armadura construtiva e a malha inferior como uma armadura principal apresentando taxa geométrica da

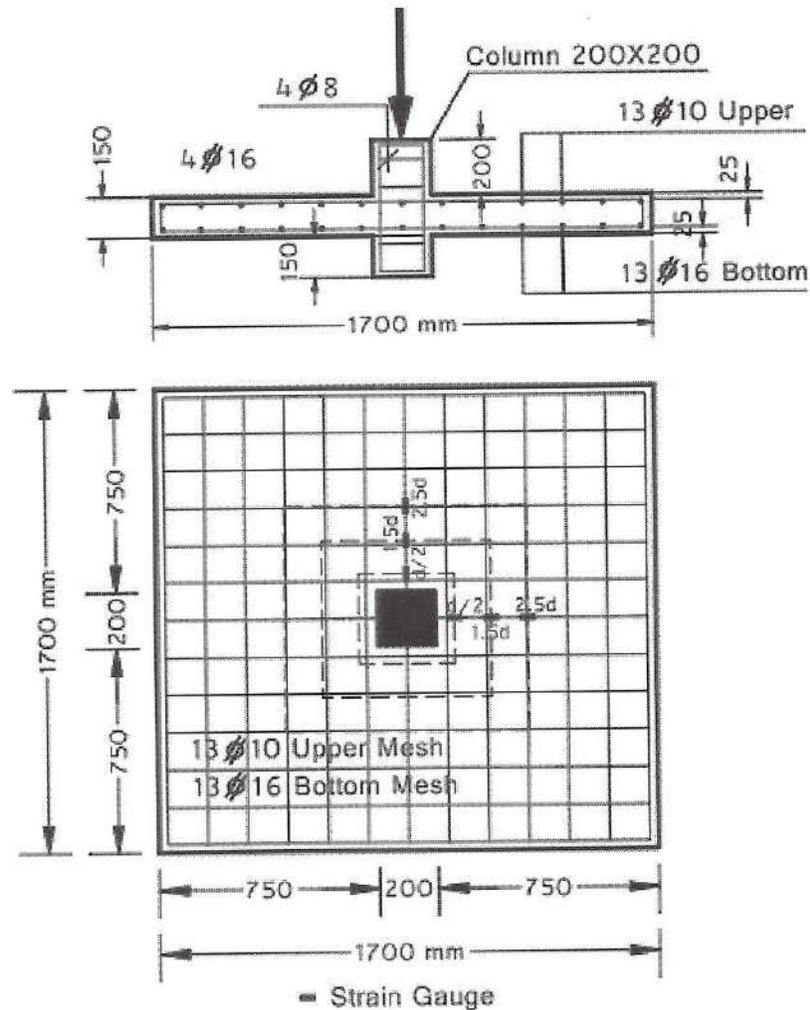


Figura 2.10: Laje ensaiada no trabalho de Abdel-Rahman et al. (2016).

armadura principal de 1,2%. O pilar central foi armado por 4 barras de $\phi 8$ mm. Os pilares das lajes do Grupo E (carga excêntrica), tiveram forma de “L”, para que o carregamento fosse aplicado de forma excêntrica ao pilar.

Durante os primeiros estágios de carga aplicada nas lajes os autores observaram microfissuras propagando-se paralelamente à malha da armadura principal. Os autores afirmaram que essas microfissuras iniciais não tiveram influência no modo de ruptura final. Na medida em que a carga aplicada foi aumentada, as fissuras se propagaram predominantemente de forma diagonal ao plano principal da laje.



O modo de ruptura apresentado pelas as lajes ensaiadas foi punção. Os autores apresentaram que em comparação com as lajes de referência, as lajes com fibras apresentaram comportamento mais dúctil. Esse comportamento se deve a contribuição das fibras no aumento do cone de punção.

Os autores demonstraram que o raio do cone de punção medido na base da laje de referência sem fibras foi de, aproximadamente $1,1d$. Essa demonstração foi de acordo com o ACI318-14, em que o cone de punção se inicia na face da coluna com o ângulo de 45° . Em comparação, o raio do cone de punção obtido pela laje B3 (fibras adicionadas na região distante d do pilar com teor de adição de 1,5%) foi de $1,7d$, que representa um aumento de, aproximadamente, 30% em relação a laje de referência.

O cone de punção foi observado sempre na região em que as fibras foram adicionadas, mesmo para as lajes do Grupo B, em que a distribuição das fibras distanciava de apenas de d a partir da face do pilar.

Nas lajes em que foi aplicada carregamento excêntrico ao pilar foi observada fissuras predominantemente radiais e tangenciais. Durante o ensaio, ao se aproximar da carga de ruptura, tais lajes apresentaram a formação do cone de punção pelas fissuras circunferenciais. O raio do cone de punção observado pelos autores foi de $1,25d$ da face do pilar. Foi observado ainda que as fissuras se concentraram na região da direção em que o momento foi aplicado, isto é, na direção da excentricidade.

Os autores ainda demonstraram, com a comparação do Grupo A com os Grupos B, C e D, que quanto menor a adição das fibras nas lajes, mais frágil foi a ruptura da laje. Ao aumentar a porcentagem de fibras adicionadas, as lajes ficaram mais dúcteis, porém ainda com ruptura por punção. Nenhuma laje do grupo B, C e D apresentaram escoamento da armadura de flexão da laje.

Da comparação das lajes do Grupo A com o Grupo E, foi possível observar que, mesmo excêntrica, quanto maior a adição de fibras, maior a capacidade de carga medida no ensaio, atingindo valores 24% maiores que a carga obtida na referência. O escoamento da armadura foi observado apenas nas regiões mais próximas ao pilar. Os autores relacionaram esse escoamento à distribuição de momentos que ocorreu na ligação pilar-laje. A Tabela 2.2 ilustra um resumo dos resultados obtidos pelos autores.



Tabela 2.2: Resultados obtidos por Abdel-Rahman et al. (2016)

Grupo	Fibras	Região com fibras	P_u (kN)	δ_u (mm)	M_u (kNm)
A1	0%	N/A	275	16,6	0
A2	0%	N/A	201,7	9,5	40,34
B1	0,5%	d x d	300	15,1	0
B2	1,0%	d x d	320	15,98	0
B3	1,5%	d x d	400	19,03	0
C1	0,5%	2d x 2d	335	17,55	0
C2	1,0%	2d x 2d	350	17,17	0
C3	1,5%	2d x 2d	375	16,57	0
D1	0,5%	3d x 3d	345	13,57	0
D2	1,0%	3d x 3d	369	11,83	0
D3	1,5%	3d x 3d	385	11,39	0
E1	0,5%	d x d	225	10,08	45
E2	1,0%	d x d	238	9,98	47,6
E3	1,5%	d x d	250	10,05	50

Em que, P_u representa a carga máxima atingida no ensaio, δ_u é o deslocamento máximo e M_u é o momento máximo devido a aplicação da carga excêntrica ao pilar.

2.3.8 Considerações sobre os estudos experimentais apresentados

A Tabela 2.3 apresenta os parâmetros estudados nos ensaios experimentais em lajes com adição de fibras de aço. Os trabalhos apresentados neste item abrangeram os parâmetros de resistência à compressão do concreto, quantidade de fibras adicionadas, presença de armadura para combater cisalhamento, tipo de fibra, distribuição de fibra nas lajes e aplicação de carregamento excêntrico no ensaio.

Apesar dos ensaios realizados apresentarem resultados para lajes de diferentes condições geométricas, as conclusões dos autores são importantes para a estimativa do comportamento de estruturas que estejam submetidas a condições semelhantes. Diante disto, neste item serão apresentadas as principais verificações que os autores abordaram dentro dos parâmetros estudados de cada estudo.

A variação da resistência do concreto à compressão foi estudada nos estudos de Vargas (1997), Holanda (2002) e Moraes Neto (2013). Os autores abrangeram situações de lajes de concreto



reforçadas com fibras de aço com a utilização de concreto com resistências de 25MPa a 85MPa.

Todos os autores observaram que a adição de fibras em concreto de alta resistência melhora a eficiência do sistema com relação a ruptura por punção, apresentando cargas de ruptura maiores. Moraes Neto (2013) ainda relacionou a essa eficiência com as melhores condições que a fibra tem com a aderência à matriz em concreto com resistências maiores.

No entanto, Holanda (2002) e Moraes Neto (2013) observaram uma ruptura mais frágil (i. e., ruptura brusca à punção) em comparação ao concreto convencional. Vargas (1997) observou um aumento significativo de fissuras secundárias em concretos de alta resistência. Esse aumento de fissuração foi relatado por Moraes Neto (2013) como um aumento no grau de fissuração.

Com relação ao estudo da quantidade de fibras adicionadas, os estudos de Vargas (1997), Holanda (2002), Musse (2004), Moraes Neto (2013), Gouveia et al. (2014) e Abdel-Rahman et al. (2016) abrangeram a adição de fibras de 0,5% a 2% em concreto convencional e de alta resistência; com presença de armadura de cisalhamento e sem armadura de cisalhamento e; distribuídos em toda a laje e em regiões menores.

Os autores verificaram que a presença de fibras sempre proporcionou um aumento na carga máxima obtida. O melhor desempenho foi com o aumento de 64% da carga máxima observada por Gouveia et al. (2014) para uma adição de 1,25% (aproximadamente, $98,13\text{kg}/\text{m}^3$) em concreto convencional com resistência à compressão entre 31,8 e 46,2 MPa.

Com exceção de Moraes Neto (2013), que obteve aumento de 4% da carga máxima com um volume de fibras de 1,2% ($94,2\text{kg}/\text{m}^3$), a adição de fibras com quantidades acima de 1% proporcionou um aumento em torno de 20% da carga máxima observada nos ensaios de Vargas (1997) e Holanda (2002), em concreto convencional sem armadura para cisalhamento. Assim, verifica-se a necessidade de utilizar uma proporção de fibras maior no sentido de aumentar a capacidade de carga de uma laje com ruptura prevista para punção.



Tabela 2.3: Resumo das principais conclusões obtidas nos ensaios experimentais.

Parâmetro	Trabalho	Principais Conclusões
Resistência do concreto	Zambrana Vargas (1997)	<ul style="list-style-type: none">- Variação de 30MPa e 85MPa aos 7 dias- Aumento significativo da quantidade de fissuras para concreto de 85MPa;- Aumento da carga de ruptura de 26,2% para o caso de concreto de 85MPa em comparação com o concreto convencional;
	Holanda (2002)	<ul style="list-style-type: none">- Variação de 25MPa e 60MPa aos 14 dias- Maior fragilidade (ruptura brusca) para concreto de alta resistência;
	Moraes Neto (2013)	<ul style="list-style-type: none">- Variação 50MPa e 70MPa- Os resultados das lajes com 50MPa apresentaram um grau de fissuração maior em comparação com as lajes de 70MPa;- Não houve formação completa do cone de punção para as lajes com 70MPa, apresentando uma fragilidade maior;
	Zambrana Vargas (1997)	<ul style="list-style-type: none">- Proporções de 0,75% e 1,5%- Sempre aumentou a carga máxima atingida pelo ensaio experimental;- Proporções acima de 1,5% podem não apresentar mudanças na carga máxima atingida;- maior eficiência em lajes com concreto de alta resistência;- Aumento da quantidade de fissuras secundárias com o aumento da quantidade de fibras adicionadas;- Diminuição da abertura de fissuras;- Aumento do ângulo de inclinação da superfície de ruptura;- Para adição de 0,75% de fibras, a carga máxima aumentou em 5% (sem armadura de cisalhamento) e 26% (com armadura de cisalhamento) para concreto convencional;



Table 2.3 Continuação...

Parâmetro	Trabalho	Principais Conclusões
		<ul style="list-style-type: none">- Para adição de 1,5% de fibras, a carga máxima aumentou em 21,2% (sem armadura de cisalhamento) e 30% (com armadura de cisalhamento) para concreto convencional;- Para adição de 0,75% de fibras, a carga máxima aumentou em 21,4% (sem armadura de cisalhamento) e 42,7% (com armadura de cisalhamento) para concreto de alta resistência;- Para adição de 1,5% de fibras, a carga máxima aumentou em 34,6% (sem armadura de cisalhamento) e 54,4% (com armadura de cisalhamento) para concreto de alta resistência;- diminuição de deslocamentos com o aumento da quantidade de fibras;
	Holanda (2002)	<ul style="list-style-type: none">- Quantidades de 1% e 2%- Aumento de 1,7% da carga máxima obtida para adição de fibras em 1% para concreto convencional;- Aumento de 19,3% da carga máxima obtida para adição de fibras em 2% para concreto convencional;- Aumento de 11,5% da carga máxima obtida para adição de fibras em 1% para concreto de alta resistência;- Aumento de 22,4% da carga máxima obtida para adição de fibras em 2% para concreto de alta resistência;- Aumento dos deslocamentos obtidos e ductilidade do sistema;- Resistência residual maior no patamar inicial;- Aumento da ductilidade com o aumento de quantidade de fibras para concreto convencional e de alta resistência;
	Musse (2004)	<ul style="list-style-type: none">- Adição de 0,9% de fibras ao concreto



Table 2.3 Continuação...

Parâmetro	Trabalho	Principais Conclusões
		<ul style="list-style-type: none">- Aumentou a carga máxima atingida em 7% com a utilização de armadura de combate ao cisalhamento;- Aumentou a carga máxima atingida em 25% sem a utilização de armadura de combate ao cisalhamento;- Alterou o modo de ruptura para a laje com maior taxa de armadura transversal e adição de fibras, de modo que a ruptura se deu internamente;- Aumentou, significativamente, os deslocamentos máximos obtidos;
	Moraes Neto (2013)	<ul style="list-style-type: none">- Quantidade de 0,8% (60kg/m³), 1,0% (75kg/m³) e 1,2% (90kg/m³)- A adição de fibras aumentou a carga em 4% para as taxas de 1,0% e 1,2% e não provocou aumento nos ensaios realizados com 0,8% para concreto convencional;- Para o concreto com alta resistência, esse aumento continuou 4% para a laje com adição de 1,0% (75kg/m³) e 26% para a adição de 1,2% (90kg/m³). Não foi observado aumento de carga máxima atingida pela laje com adição de 0,8%;- O comportamento de carga x deslocamento das lajes apresentou uma maior ductilidade com o aumento da quantidade de fibras;- O comportamento das lajes com e sem fibras foram, praticamente os mesmos até atingirem o deslocamento de 25mm, após isso, a quantidade de fibras influenciou significativamente de deslocamentos máximos, atingindo valores de até 50mm;
		<ul style="list-style-type: none">- Quantidades de 0,5%; 0,75%; 1,0% e 1,25%;

Gouveia et al (2014)



Table 2.3 Continuação...

Parâmetro	Trabalho	Principais Conclusões
		<ul style="list-style-type: none">- A adição de fibras aumentou a capacidade de carga e os deslocamentos máximos obtidos, alterando a ductilidade do sistema;- As lajes com quantidade maiores de fibras apresentaram um comportamento semelhante ao de um patamar escoamento na curva carga-deslocamento para deslocamento próximos da ruptura;- As fibras apresentaram um ângulo da superfície de ruptura maior em comparação as lajes sem fibras, alterando o perímetro crítico para zonas mais distantes da face do pilar;- A adição de fibras aumentou a carga máxima atingida pelas lajes em até 64% (1,25% de fibras, 98,13kg/m³) e de, no mínimo, 2% para uma adição de 0,5% de fibras (39,25kg/m³);
	Abdel-Rahman et al (2016)	<ul style="list-style-type: none">- Taxas de 0,5%; 1,0% e 1,5%;- As lajes com fibras apresentaram comportamento mais dúctil;- As lajes sem fibras apresentaram um raio do cone de punção de 1,1d, essa distância aumentou para 1,7d para lajes com adição de 1,5% em fibras distribuídas distantes d do pilar;- Quanto menor a adição de fibras, mais frágil foi a ruptura da laje;- O aumento da porcentagem de adição das fibras não provocou escoamento da armadura, sendo as lajes atingiram ruptura sempre por punção;
Armadura de cisalhamento	Zambrana Vargas (1997)	<ul style="list-style-type: none">- Afastamento do cone de punção em relação ao pilar- Boa eficiência do sistema observada pela presença de armadura de cisalhamento e adição de fibras ao concreto;



Table 2.3 Continuação...

Parâmetro	Trabalho	Principais Conclusões
Tipo de Fibra	Musse (2004)	<ul style="list-style-type: none">- Aumento da carga máxima atingida de 25% para o concreto convencional e 8,9% para concreto de alta resistência;- A presença de armadura para cisalhamento aumentou a carga máxima obtida;- A comparação da quantidade e distribuição da armadura não apresentou mudanças significativas;
	Holanda (2002)	<ul style="list-style-type: none">- Variação do Fator de forma de 37,45; 48 e 54,5;- Maior ductilidade com a diminuição do fator de forma;
	Bartolac et al (2016)	<ul style="list-style-type: none">- Fibras de aço convencionais (40kg/m³) e recicladas (10kg/m³ convencionais e 45kg/m³ recicladas);- As lajes com fibras recicladas tiveram praticamente o mesmo comportamento de carga máxima atingida em comparação com as lajes com fibras convencionais não recicladas;- As lajes com fibras não-recicladas aumentaram a capacidade de carga do sistema em 10%, e as lajes com fibras recicladas em 11%;- Após a ruptura, as lajes com adição de fibras permaneceram íntegras, enquanto as lajes sem adição de fibras apresentaram uma segregação de concreto em algumas partes;- As lajes com adição de fibras apresentaram uma tendência de levar a superfície crítica para posições mais distantes do pilar;
Distribuição das fibras	Abdel-Rahman et al (2016)	<ul style="list-style-type: none">- Distribuição das fibras em uma região distante d, 2d e 3d da face do pilar;- O cone de punção foi formado sempre dentro da região em que foi adicionada fibras;



Table 2.3 Continuação...

Parâmetro	Trabalho	Principais Conclusões
Carregamento Excentrico	Abdel-Rahman et al (2016)	<ul style="list-style-type: none">- O raio do cone de punção em lajes com carregamento excêntrico foi de $1,25d$ da face do pilar;- As fissuras foram concentradas nas proximidades onde a excentricidade foi aplicada;- Quanto maior a adição de fibras em lajes com carga aplicada de forma excêntrica, maior a capacidade de carga, atingindo valores 24% maiores que a carga de referência sem fibras;- O escoamento da armadura foi observado apenas nas regiões mais próximas ao pilar;



Os ensaios com adições menores que 1% de fibra em concreto convencional aumentaram a carga máxima atingida pela laje em menos de 10% observada nos ensaios de Gouveia et al. (2014), Vargas (1997) e Musse (2004).

Para o caso dos autores que estudaram a adição de fibras em lajes com concreto de alta resistência com a adições de fibras acima de 1%, foi observado um aumento da carga máxima entre 22,4% e 34,5% para adições de 2% e 1,5%, respectivamente. Esses resultados foram observados nos ensaios de Vargas (1997) e Moraes Neto (2013). Apesar de não ter ensaiado, Vargas (1997) ainda verificou que uma adição de fibras acima de 1,5% apresentaria uma tendência de diminuir a carga máxima obtida, confirmada no ensaio de Moraes Neto (2013).

Holanda (2002), Moraes Neto (2013), Gouveia et al. (2014) e Abdel-Rahman et al. (2016) estudaram a adição de 1% de fibras nos seus ensaios. O menor aumento da carga máxima obtida foi observado por Holanda (2002), atingindo valores de 1,7%, seguido por Moraes Neto (2013) com 4%. Gouveia et al. (2014) e Abdel-Rahman et al. (2016) registraram valores maiores 10% e menores que 34,2%.

Vargas (1997) pode verificar que a presença de fibras diminuiu a abertura de fissuras obtida e a quantidade de fissuras secundárias. Ainda foi verificado pelo autor que as fibras proporcionaram um afastamento da superfície crítica da face do pilar, aumentando o ângulo da superfície de ruptura. Essa última conclusão foi também confirmada por Musse (2004), Gouveia et al. (2014) e Abdel-Rahman et al. (2016), observando um afastamento da superfície crítica de até 1,7d da face do pilar.

Diversos autores (Holanda (2002); Musse (2004); Moraes Neto (2013); Gouveia et al. (2014); Abdel-Rahman et al. (2016)) observaram que a adição de fibras aumentou a ductilidade do sistema, aumentando tanto a carga máxima, como os deslocamentos máximos atingidos até a ruptura. Esse aumento foi observado proporcionalmente a adição de fibras. Apenas Vargas (1997) verificou que houve uma diminuição dos deslocamentos obtidos com o aumento da quantidade de fibras adicionadas ao sistema.

Segundo Musse (2004) e Moraes Neto (2013), as lajes com fibras tiveram um comportamento semelhante nos primeiros estágios de aplicação de carga em comparação com a suas respectivas referências com fibras. Moraes Neto (2013) verificou que esse comportamento permaneceu, praticamente, o mesmo até suas lajes atingirem o deslocamento de 25mm. É possível que a laje não atingiu o estado de deformação suficiente para chegar no regime de amolecimento do concreto



e/ou de trabalho das fibras, dessa forma apresentando comportamentos semelhantes nos primeiros estágios de cargas.

Vargas (1997) e Musse (2004) estudaram a influência da armadura de cisalhamento em lajes de concreto armado com adição de fibras. De uma forma geral, ambos os autores observaram uma boa eficiência do sistema conjunto fibras-armadura de cisalhamento. Vargas (1997) verificou o aumento da carga máxima até 25% em concreto convencional. Musse (2004) verificou que a variação da distribuição e quantidade de armadura não provoca mudanças significativas na carga máxima obtida, mas foi verificado um aumento significativo em comparação com a laje de referência sem fibras e sem armadura de cisalhamento.

2.4 Modelos Analíticos

Neste item serão apresentados os principais modelos analíticos para estimativa de capacidade de carga de lajes de concreto armado com adição de fibras com ruptura por punção.

2.4.1 Narayanan e Darwish (1987)

O trabalho de Narayanan e Darwish (1987a) foi a base de muitas estimativas de carga de ruptura de lajes com ruptura por punção moldada em concreto armado reforçado com fibras. Os autores se basearam no trabalho anterior (Narayanan e Darwish (1987b)) que se tratava de um estudo com comportamento estrutural do concreto armado reforçado com fibras, apresentando um estudo de relações constitutivas na tração e compressão com base em resultados experimentais.

Em seu trabalho, os autores propuseram a Equação 2.4.1 para estimativa da carga de ruptura na punção de uma laje moldada em concreto com adição de fibras.

$$\frac{V_u}{b_{pf}d} = \lambda_s(0,24f_{spf} + 16\rho + \nu_b) \quad (2.4.1)$$

Em que, V_u é a estimativa de carga de ruptura na punção; b_{pf} é o perímetro crítico corrigido pelo efeito das fibras no ângulo da superfície crítica e, conseqüentemente, do cone de punção, expresso conforme Equação 2.4.2; λ_s é o fator que leva em consideração o efeito escala, dependente da altura total da laje, expresso pela Equação 2.4.3; f_{spf} é a resistência estimada na tração do concreto com fibras obtida em corpos de prova cilíndricos, dado pela Equação 2.4.4; ρ é a taxa



geométrica da armadura de flexão da laje em estudo; ν_b é a componente vertical da tensão resistente ao arrancamento das fibras em uma superfície de ruptura inclinada, determinada conforme Equação 2.4.5;

$$b_{pf} = b_{1,5d}(1 - 0,55F) \quad (2.4.2)$$

$$\lambda_s = 1,6 - 0,002h \quad (2.4.3)$$

$$f_{spf} = \frac{f_{cf,cub}}{20 - \sqrt{F}} + 0,7 + \sqrt{F} \quad (2.4.4)$$

$$\nu_b = 0,41\tau_b F \quad (2.4.5)$$

$$F = k_b \rho_f \frac{l_f}{d_f} \quad (2.4.6)$$

Nas Equações 2.4.2 e 2.4.3, o Parâmetro F, pode ser determinado, conforme Equação 2.4.6. Em que, k_b é um fator de escorregamento da fibras, l_f é o comprimento da fibra, ρ_f é a taxa volumétrica de fibras e d_f é o diâmetro das fibras. É importante observar que na Equação 2.4.2 o perímetro crítico $b_{1,5d}$ se refere ao perímetro localizado a uma distância 1,5 vezes a altura útil do sistema, medido a partir da face do pilar.

Na Equação 2.4.3, a $f_{cf,cub}$ é dado como a resistência do concreto com fibras obtido com corpo de prova cilíndrico, sendo equivalente a $f_c/0,8$. Na Equação 2.4.5, o τ_b é a tensão na interface fibra-matriz de concreto, assumindo como $4,15N/mm^2$. Nas Equações 2.4.1 a 2.4.6 as unidades devem estar em Newtons (N) e milímetros (mm).

2.4.2 Harajli et al (1995)

A pesquisa de Harajli et al. (1995) teve o objetivo de estudar a influência da adição de fibras no comportamento de conexões laje-pilar carregadas e dimensionadas para atingirem a ruptura por punção. Para isso, os autores estudaram o comportamento experimental de lajes com a variação do tipo de fibra, quantidade e fator de forma.



As conexões estudadas consistiam de uma laje com dimensões de 650×650 mm ligada monoliticamente a um pilar de 100×100 mm localizado no centro da laje. As conexões eram simplesmente apoiadas em chapas de 40 mm de espessura, posicionadas nos vértices da laje. As amostras continham duas espessuras de lajes distintas, sendo 55mm e 75mm. O ensaio experimental consistiu da aplicação de uma carga axial ao pilar, crescente, até a estrutura estudada atingir a ruptura por punção.

Foram executadas um total 12 tipos de conexões diferentes, dividida em duas séries de seis tipos, cada série com uma espessura de laje estudada (55mm e 75mm). Cada série continha uma laje de referência moldada com concreto convencional, quatro lajes com diferentes quantidades de fibras em suas composições (0,45%; 0,8%; 1,0%; 2,0%) e uma laje com adição de fibra de polipropileno com adição de 1,0% da quantidade. A Tabela 2.4 ilustra os tipos estudados no trabalho de Harajli et al. (1995).

Tabela 2.4: Ensaio realizados por Harajli et al. (1995)

Tipo	Espessura da laje (mm)	Tipo de Fibra	v_f	l_f/d_f
A1	55	-	0,0	-
A2	55	Aço	0,45	100
A3	55	Aço	0,8	100
A4	55	Aço	1,0	60
A5	55	Aço	2,0	60
A6	55	Polipropileno	1,0	0,5
B1	75	-	0,0	-
B2	75	Aço	0,45	100
B3	75	Aço	0,8	100
B4	75	Aço	1,0	60
B5	75	Aço	2,0	60
B6	75	Polipropileno	1,0	0,5

Na Tabela 2.4, as Séries A tinham altura útil de 39mm (espessura total da laje de 55mm) e foram armadas por 5 barras de 10mm, enquanto as Series B tinha altura útil de 55mm (espessura total da laje de 75mm) e foram armadas por 7 barras de 10mm. As conexões foram dimensionadas com concreto para atingir resistência à compressão de, aproximadamente, 28 MPa, no entanto, os autores apresentaram que as resistências obtidas para as lajes atingiram valores entre 20 e 34,1MPa.

Dos ensaios experimentais realizados, os autores observaram de uma forma geral que todas



as lajes com adição de fibras contribuíram para o aumento da capacidade de carga à punção das lajes. As conexões com adição de fibras com porcentagem em volume de 2% apresentaram os maiores valores de carga máxima atingida pela laje, atingindo um aumento de 36% em comparação com a referência sem fibras.

Assim como observados em ensaios experimentais (Holanda (2002), Musse (2004); Moraes Neto (2013); Gouveia et al. (2014); Abdel-Rahman et al. (2016)), os autores observaram um grande ganho de ductilidade do sistema com a adição de fibras, algumas vezes até modificando o modo de ruptura de punção para uma combinação de ruptura por punção e flexão.

Os autores relataram que as fibras de aço alteraram o ângulo da superfície de ruptura significativamente, alterando o cone de punção formado. O perímetro crítico, obtido após observação do modo de ruptura nas amostras, atingiu distâncias entre $2,30h$ e $2,82h$ da face do pilar, em que h é a espessura da laje. Nas lajes de referência com concreto convencional essa distância foi de $1,82h$.

A partir dos resultados experimentais e de outras referências de resultados experimentais da literatura (Swamy e Ali (1982); Theodorakopoulos e Swamy (1989); Allexander e Simmonds (1992); Theodorakopoulos e Swamy (1993)), os autores apresentaram ainda que os resultados de capacidade de carga atingida pelas lajes se ajustam a Equação 2.4.7 com fator de correlação de $R^2 = 0,41$.

$$\Delta P_u(N) = (0,033 + 0,075v_f)b_0d\sqrt{f'_c} \quad [N; mm] \quad (2.4.7)$$

Em que b_0 é o perímetro crítico da laje, d é a altura útil, f'_c é a resistência à compressão do concreto e v_f é o volume de fibras em porcentagem. Os autores, mantendo o mesmo fator de correlação, ajustaram a Equação 2.4.7 para interceptar o zero e acrescentaram um fator de redução de $\phi = 0,9$, obtendo a Equação 2.4.8.

$$\Delta P_u(N) = 0,096v_fb_0d\sqrt{f'_c} \quad [N; mm] \quad (2.4.8)$$

Segundo os autores, a capacidade de carga absoluta das lajes pode ser obtida pela soma da capacidade de carga da laje à punção calculada como uma laje convencional (sem fibras) e a contribuição das fibras dada pela Equação 2.4.8. Os autores indicam que a capacidade de carga à punção da laje pode ser obtida pela abordagem recomendada pelo ACI 318-89.



É importante observar que o perímetro crítico das lajes (b_0) é obtido pelas expressões do ACI 318-89. No entanto, conforme observado em outros trabalhos (Vargas (1997); Musse (2004); Gouveia et al. (2014) e Abdel-Rahman et al. (2016)), as fibras proporcionam um distanciamento do perímetro crítico da face do pilar em comparação com as abordagens normativas, assim, a estimativa proposta por Harajli et al. (1995) pode resultar em valores conservadores.

2.4.3 Holanda e Hanai (2005)

No trabalho de Holanda e Hanai (2005) os autores estudaram a correlação de ensaios em vigas e lajes com adição de fibras, aprimorando os resultados obtidos experimentalmente em Holanda (2002), tais ensaios estão descritos no item de ensaios experimentais de lajes de concreto armado com adição de fibras (Item 2.3).

O trabalho faz uma descrição dos ensaios realizados em Holanda (2002) e apresenta as principais conclusões obtidas. Em seguida, os autores fazem um estudo de correlação entre os resultados de lajes e vigas. Os autores partiram da equação do ACI 318 (1999) para estimativa da resistência à tração por compressão diametral e obtiveram, por regressão linear com os resultados experimentais em Holanda (2002), a Equação 2.4.9. Tal equação introduz o efeito das fibras na estimativa da resistência à tração. Em que f_{sp} é a resistência à tração, f_c é a resistência à compressão e v_f é porcentagem de adição de fibras no concreto.

$$f_{sp} = (0,19v_f + 0,53)\sqrt{f_c} \quad (2.4.9)$$

A partir da Equação 2.4.9, os autores fizeram modificações nas expressões de estimativa de capacidade de carga à punção em lajes de concreto convencional, adaptando-a para a utilização com o concreto com adição de fibras. Os autores inicialmente obtiveram a Equação 2.4.10.

$$P_u = \frac{0,6266(0,19v_f + 0,53)\sqrt{f_c}b_0d}{10} \quad (2.4.10)$$

Segundo os autores, tais equações forneceram resultados consistentes quando comparadas com os resultados experimentais de Holanda (2002), Vargas (1997) e Azevedo (1999). Os autores observaram também que a Equação 2.4.10 estima a capacidade de carga na punção de lajes com adição de fibras mais próximo dos resultados experimentais a medida em que se analisa casos com maiores quantidades de fibras.



Para aprimorar seus resultados, Holanda e Hanai (2005) ainda alteraram a Equação 2.4.10 para levar em consideração que a regressão linear se aproxima dos valores da ordenada unitária, comprometendo o nível de segurança da equação primitiva (capacidade de carga na punção de lajes de concreto armado convencional, conforme ACI 318-99). Após tal alteração, os autores obtiveram a Equação 2.4.11, chamando-a de “Equação do ACI Modificada”.

$$P_u = 0,6266(0,06v_f + 0,53)\sqrt{f_c}b_0d \quad (2.4.11)$$

2.4.4 Choi et al (2007)

Choi et al. (2007) propôs um trabalho teórico para investigar a capacidade resistente de conexões laje-pilar de concreto armado reforçado com fibras. Para tal estudo, os autores analisaram o comportamento do concreto com adição de fibras na compressão, na tração e no cisalhamento. Após tal análise, os autores propuseram um modelo de estimativa de capacidade de carga na punção validando os resultados com ensaios experimentais.

Os autores defendem que a alteração das equações inicialmente obtidas para concreto convencional não conduzem a resultados satisfatórios. A estimativa da carga de ruptura das lajes moldadas em concreto reforçado com fibras deve ser baseada em critérios de resistência do material e deve prever o modo de ruptura que o sistema terá. Além disso, algumas das equações obtidas para concreto convencional são válidas para a condição de estado limite último, que muitas vezes é conservadora em relação a estimativa do comportamento real de um ensaio experimental.

Dessa forma, os autores propõem um método de estimativa da capacidade de carga para ruptura por punção baseando-se na interseção entre a curva solicitante da estrutura estudada (Demanda de Cisalhamento) e a curva resistente do sistema ao cisalhamento (Capacidade de Cisalhamento). Ambas as curvas são funções do esforço cortante (resistente ou solicitante) e variam conforme a deformação máxima de compressão na seção crítica (ε). A Figura 2.11 ilustra a relação apresentada pelos autores. Mais detalhes sobre as curvas apresentadas podem ser previstos em Choi et al. (2007).

Na Figura 2.11, a capacidade resistente é representada pela curva com linha contínua e a curva solicitante no cisalhamento está representada pela curva tracejada. O ponto indicado pela interseção das duas curvas representa a falha por punção, em que a capacidade resistente se iguala a solicitação. Em outras palavras, tal interseção representa a última possibilidade de equilíbrio que

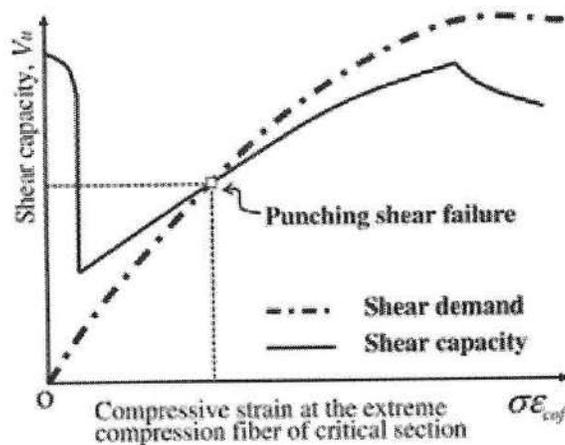


Figura 2.11: Relação Capacidade Resistente e Curva Solicitante. (CHOI et al., 2007).

o material pode estar submetido, dada uma superfície de ruptura. Para melhor entendimento do modelo analítico proposto por Choi et al. (2007) é recomendado o estudo das curvas resistente e solicitante separadamente.

Para estudar o comportamento resistente do material, os autores se basearam nas estimativas de tensões resistentes propostas nos trabalhos de Naaman e Reinhardt (2003b), Narayanan e Darwish (1987b) e Khuntia et al. (1999). Tais estudos descrevem que o comportamento do concreto com adição de fibras é influenciado principalmente pelo volume de fibras adicionadas ao concreto (v_f), fator de forma (L_f/d_f) e o tipo de fibra. Tais expressões estão apresentadas no Item de comportamento do material (ver Item 2.2.1)

A Figura 2.12 indica a superfície de ruptura utilizada no trabalho dos autores. A curva de capacidade resistente do sistema é obtida pela soma das forças que contribuem no equilíbrio da superfície de ruptura ilustrada na Figura 2.12.

Conforme Figura 2.12, a superfície de ruptura adotada tem forma de tronco de pirâmide e é baseada no critério de ruptura de Rankine. O ângulo ϕ define a superfície de ruptura, que é composta por uma zona comprimida (cuja área está representada como A_C) e zona tracionada (cuja área está representada como A_T). Os autores recomendam um ângulo de 30° para a superfície de ruptura. A zona comprimida é aproximada a uma superfície retangular através do perímetro médio b_0 . As Equações 2.4.12 e 2.4.13 expressam as áreas da zona comprimida e tracionada, respectivamente. Nas Equações 2.4.12 e 2.4.13, ϕ representa o ângulo da superfície de ruptura, c_u

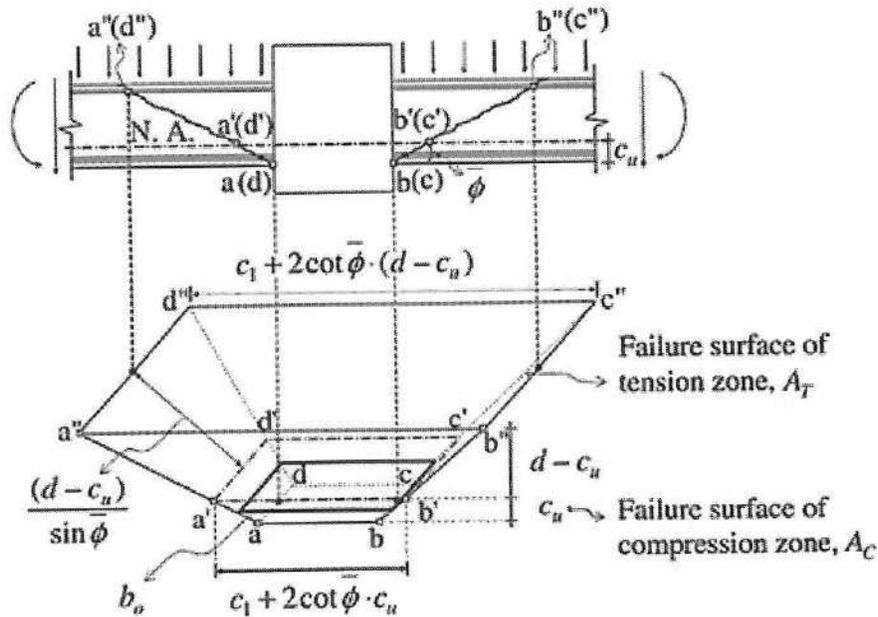


Figura 2.12: Superfície de ruptura adotada por Choi et al. (2007).

representa a posição da linha neutra.

$$A_T = \frac{(2c_1 + 2c_2 + 4 \cot(\bar{\phi})d)(d - c_u)}{\sin \bar{\phi}} \quad (2.4.12)$$

$$A_C = b_0 c_u = (2c_1 + 2c_2 + 4 \cot c_u)c_u \quad (2.4.13)$$

As forças que atuam na superfície de ruptura são compatibilizadas pelos autores através da força atuante na zona de compressão (V_c) e força atuante na zona de tração (V_{fr}).

Para a estimativa das tensões de compressão e tração resistente na seção, os modelos constitutivos na compressão e tração proposto no trabalho de Choi et al. (2007) (ver Item 2.2.1) foram simplificados. Considerando a capacidade resistente no cisalhamento na zona de tração composta apenas pela resistência média pós fissuração $\bar{f}_{pc} = 0,6 f_{pc}$, conforme Naaman e Reinhardt (2003b). Na compressão, as tensões resistentes foram simplificadas pela média na região comprimida, conforme Equação 2.4.14. A parcela da força resistente à punção do sistema na zona de tração é dada pela Equação 2.4.15.



$$\bar{\sigma} = \left(\alpha - \frac{\alpha^2}{3} \right) f'_{cf} \quad (2.4.14)$$

$$V_{fr} = \bar{f}_{pc} A_T \cos \phi \quad (2.4.15)$$

Após estudo a partir da curvatura e deformações na seção transversal do comportamento da compressão do concreto com adição de fibras, os autores obtiveram a Equação 2.4.16 que expressa a parcela de força resistente do sistema na zona de compressão.

$$V_c = \sqrt{f'_{ct}(f'_{ct} + \bar{\sigma})} b_0 c_u \quad (2.4.16)$$

A curva geral de capacidade resistente na punção de uma conexão laje-pilar proposta por Choi et al (2007) pode ser expressa pela Equação 2.4.17, que representa a soma da contribuição da parcela resistente na zona de tração (V_{fr} , ver Equação 2.4.15) e na zona de compressão (V_c , ver Equação 2.4.16).

$$V_u = V_c + V_{fr} = \sqrt{f'_{ct}(f'_{ct} + \bar{\sigma})} b_0 c_u + \bar{f}_{pc} A_T \cos \phi \quad (2.4.17)$$

Fazendo as devidas substituições de tensão simplificadas nas zonas comprimidas e tracionadas na Equação 2.4.17, os autores obtiveram a Equação 2.4.18, que representa a estimativa da resistência proposta por Choi et al. (2007).

$$V_u = V_c + V_{fr} = \lambda_s \sqrt{0,9f_t[0,9f_t + \left(\alpha - \frac{\alpha^2}{3} \right) f'_{cf}] A_c + 0,6f'_{pc} A_T \cos \phi} \quad (2.4.18)$$

$$\lambda_s = \sqrt[4]{\frac{400}{d}} \quad (2.4.19)$$

É importante observar que a equação referente à capacidade resistente no cisalhamento (Equação 2.4.18) depende apenas da relação $\alpha = \varepsilon_i / \varepsilon_{cof}$. Em consequência, depende apenas da deformação relativa a fibra mais comprimida (ε_i). No entanto, as equações de área comprimida e tracionada (A_c e A_T , ver Equações 2.4.12 e 2.4.13) dependem da linha neutra (c_u) relativa a esta



deformação, pois a superfície de ruptura é recomendada pelos autores em 30° . Dessa forma, para se obter a curva resistente, é necessário obter a curva momento-curvatura da seção transversal e extrair os valores de deformações na face mais comprimida ($\alpha\varepsilon_{cof}$) e as respectivas posições da linha neutra (c_u) ao longo da aplicação de um carregamento.

Quanto a curva de sollicitação, os autores utilizaram o modelo de analogia por viga proposto por Fraser (1983). O modelo consiste em representar a laje através de duas vigas ortogonais entre si com largura efetiva definida conforme Equações 2.4.20 e 2.4.21. A Figura 2.13 ilustra o modelo para cálculo da curva de sollicitação utilizada pelos autores, conforme proposto por Fraser (1983).

Os momentos na seção crítica em ambas as direções (M_{u1} e M_{u2}) foram estimados conforme a curvatura ψ , função da deformação na fibra mais comprimida da analogia de viga.

O processo de obtenção da curva solicitante (demanda de cisalhamento) se dá no equilíbrio de uma seção transversal crítica. Tal processo é realizado através da variação da deformação de compressão que, indiretamente, se dá na variação da curvatura ψ , em que $\psi = \alpha\varepsilon_{cof}/c_u$. Para cada $\alpha\varepsilon_{cof}$ é possível obter um respectivo momento resultante através das resultantes de momentos na seção transversal (M_{u1} e M_{u2}). Os valores de cortantes relativos ao $\alpha\varepsilon_{cof}$ podem ser obtidos pelas Equações 2.4.22 e 2.4.23.

$$yl_1 = 2c_1 + \frac{l_2}{3} \quad (2.4.20)$$

$$yl_2 = 2c_2 + \frac{l_1}{3} \quad (2.4.21)$$

$$V_{d1} = \frac{M_{u1}}{l_2/2 - c_2/2 - \cot(\bar{\phi})c_u/2} \quad (2.4.22)$$

$$V_{d2} = \frac{M_{u2}}{l_1/2 - c_1/2 - \cot(\bar{\phi})c_u/2} \quad (2.4.23)$$

2.4.5 Higashiyama et al (2011)

As precrições propostas por Higashiyama et al. (2011) foram baseadas nas recomendações do *Japan Society of Civil Engineers (JSCE)*. Para tal estudo, os autores fizeram ensaios experimentais em 12 lajes de concreto armado reforçado com fibras de aço, utilizando fibras do tipo *hooked-end*. Os

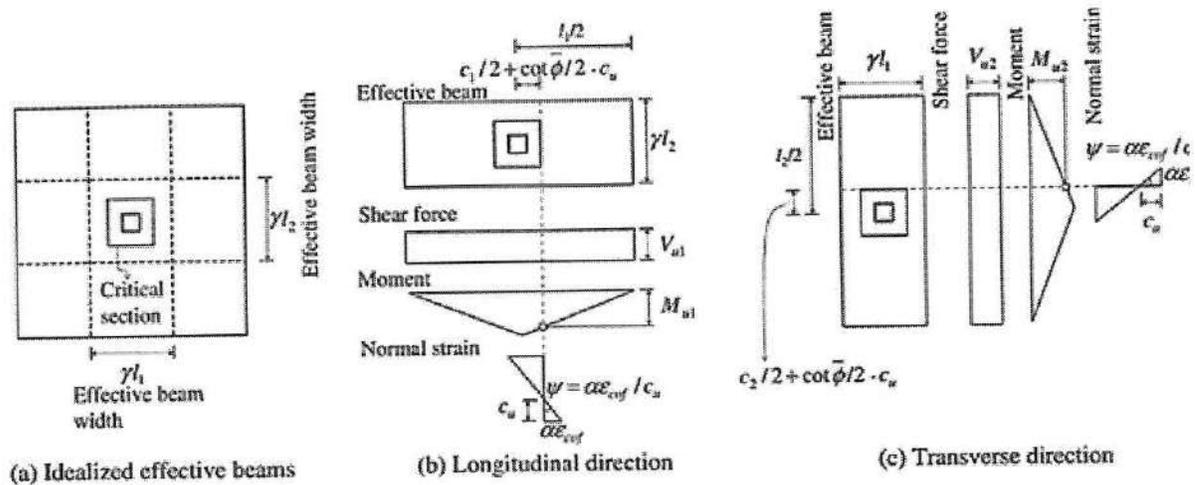


Figura 2.13: Modelo proposto por Fraser (1983). (CHOI et al., 2007).

estudos experimentais de Higashiyama et al. (2011) tiveram com principais incógnitas a dosagem de fibras, espessura das lajes, resistência à compressão do concreto utilizado na moldagem das laje e taxa geométrica das armaduras para combate a ruptura por flexão.

Além das 12 lajes estudadas, os autores utilizaram os resultados de outras 48 lajes para validar o modelo proposto. Dentre os modelos experimentais estudados, estavam os trabalhos de Narayanan e Darwish (1987a), Cheng e Parra-Montesinos (2010) e Swamy e Ali (1982). Os modelos ainda foram comparados com o modelo analíticos proposto em Narayanan e Darwish (1987a).

A partir do modelo proposto pelo *JSCE*, os autores acrescentaram o efeito da alteração do perímetro crítico em função da quantidade de fibras adicionadas ao sistema, aprimorando assim os resultados obtidos por Harajli et al. (1995) através do parâmetro K . E ainda, a resistência ao arrancamento das fibras proporcionadas na interface fibra-matriz. A alteração do perímetro crítico com a presença de fibras também foi observada nos trabalhos experimentais de Vargas (1997), Musse (2004), Gouveia et al. (2014) e Abdel-Rahman et al. (2016).

A Equação 2.4.24 apresenta o modelo analítico proposto por Higashiyama et al. (2011). As Equações 2.4.25 a 2.4.31 expressam os demais parâmetros necessários para a estimativa da carga de ruptura proposta pelos autores.

$$V_u = \beta_d \beta_p \beta_r (f_{pcd} + \nu_b) u_p d \quad (2.4.24)$$



$$f_{pcd} = 0,2\sqrt{f'_c} \leq 1,2N/mm^2 \quad (2.4.25)$$

$$\nu_b = 0,41\tau_b F \quad (2.4.26)$$

$$\beta_d = (100/d)^{1/4} \leq 1,5 \quad (2.4.27)$$

$$\beta_p = (100\rho)^{1/3} \leq 1,5 \quad (2.4.28)$$

$$\beta_r = 1 + \frac{1}{1 + 0,25b_{0,5d}/d} \quad (2.4.29)$$

$$\mu_p = (\mu + \pi d)(1 - KF) \quad (2.4.30)$$

$$F = V_f k_b L_f / d_f \quad (2.4.31)$$

Em que, f'_c é a resistência à compressão do concreto reforçado com fibras medido em corpos de provas cilíndrico; d é a altura útil; ρ é a taxa de armadura geométrica; τ_b é tensão de aderência na interface fibra-matriz ($4,15N/mm^2$); $b_{0,5d}$ é o perímetro da seção crítica medido a $d/2$ da face do pilar; V_f é a porcentagem de adição de fibra; k_b é o fator de escorregamento da fibra; L_f é o comprimento da fibra; d_f é o diâmetro da fibra; K é um fator adimensional que leva em consideração a alteração do perímetro crítico devido as fibras; As equações 2.4.24 a 2.4.31 devem estar em unidade de N e mm . Nota-se que as Equações 2.4.26 e 2.4.31 são as mesmas adotadas no modelo analítico proposto por Narayanan e Darwish (1987a).

Para o fator K , os autores observaram em seus ensaios experimentais que a adoção de $K = 0,32$ apresentou uma boa correlação dos resultados previstos pelo modelo analítico e observados nos ensaios experimentais. Para o Fator de escorregamento (k_b), podem ser adotados os valores de 0,5 para fibras do tipo *round*, 0,75 para fibras do tipo *crimped* e 1,00 para fibras *duoform* e *hooked-end*.

2.4.6 Maya et al (2012)

A *Critical Shear Crack Theory (CSCT)* trata-se de uma teoria para estimar o comportamento de cisalhamento de estruturas de concreto armado, inicialmente estudado por Muttoni e Schwartz (1991) e aprimorado em Muttoni (2008). Para lajes, foi estabelecido um critério de ruptura para determinar e estimar a carga referente à ruptura por punção de lajes de concreto armado, representando o sistema em uma curva resistente de carga em função da laje. O *CSCT* foi inicialmente previsto para estimar o desempenho de lajes submetidas à punção sem armadura de cisalhamento (Muttoni (2008)) e aprimorado para estimar rupturas em lajes com armadura de combate ao cisalhamento (Ruiz e Muttoni (2009)). O modelo analítico proposto por Maya et al. (2012) segue uma nova adaptação da *CSCT*, desta vez para estudar o comportamento de lajes de concreto armado com adição de fibras.

O princípio da *CSCT*, conforme Muttoni (2008), é que a abertura de uma fissura crítica reduz a resistência do sistema levando-o a uma ruptura por cisalhamento. Em outras palavras, na medida em que a abertura da fissura crítica aumenta, induzida pela rotação da laje em consequência de uma solicitação externa, a resistência do sistema ao cisalhamento diminui (MAYA et al., 2012). A Figura 2.14 ilustra uma representação esquemática de uma análise de ruptura pelo método proposto por Muttoni (2008).

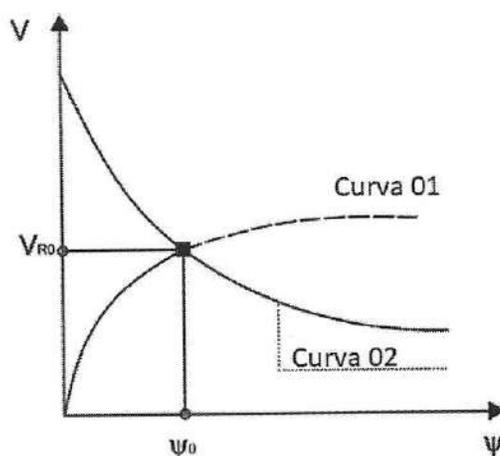


Figura 2.14: Curva esquemática de uma curva resistente e solicitante obtida pelo CSCT (adaptada). (MAYA et al., 2012)

Na Figura 2.14, a Curva 01 ilustra a solicitação durante um carregamento de uma laje e a



Curva 02, a resistência obtida pelas expressões do *CSCT* (podendo ser as prescrições de Muttoni (2008), Ruiz e Muttoni (2009) ou Maya et al. (2012)). A interseção entre as curvas representa o último ponto em que, segundo a *CSCT*, há a possibilidade de equilíbrio entre os esforços solicitantes e resistentes. Neste ponto, o V_{R0} representa a carga de ruptura por punção obtida e ψ_0 , a rotação relativa a esta carga.

No modelo analítico proposto por Maya et al. (2012), a curva resistente pode ser obtida pela soma dos efeitos da resistência do sistema em concreto armado convencional (conforme Muttoni (2008)) e com uma contribuição das fibras a este sistema. A Equação 2.4.32 ilustra esta superposição dos efeitos. Em que V_R representa a resistência do sistema, $V_{R,c}$ é a parcela resistente de contribuição do concreto armado convencional e $V_{R,f}$ é a parcela resistente de contribuição da adição de fibras.

$$V_R = V_{R,c} + V_{R,f} \quad (2.4.32)$$

A contribuição do concreto armado convencional pode ser adotada conforme expressões proposta por Muttoni (2008). A Equação 2.4.33 apresenta tais expressões. Em que ψ é a rotação da laje, d é a altura útil, d_{g0} é o tamanho de agregado de referência (recomendado para ser usado como 16mm), d_g é o tamanho do agregado utilizado na laje, b_0 é o perímetro crítico (recomendado utilizar a uma distância $d/2$ da face do pilar) e f_c é a resistência à compressão do concreto.

$$V_{R,c} = \left(\frac{3/4}{1 + 15 \frac{\psi d}{d_{g0} + d_g}} \right) b_0 d \sqrt{f_c} \quad (2.4.33)$$

A parcela resistida pelas fibras ($V_{R,f}$, ver Equação 2.4.32) foi o foco principal do estudo de Maya et al. (2012). Os autores propuseram a Equação 2.4.34 para estimar a contribuição das fibras na resistência ao cisalhamento das lajes.

$$V_{R,f} = A_p \sigma_{tf} \left(w = \frac{\psi d}{6} \right) \quad (2.4.34)$$

Em que A_p é a projeção horizontal da área da seção transversal contida na superfície de ruptura, conforme a rotação ψ da laje; $\sigma_{tf}(w)$ é a tensão resistente de tração, proporcionada pelas fibras em um plano por unidade de área, em função da abertura de fissura crítica w ; o valor para $w = \psi d/6$ representa a abertura da fissura crítica em uma distância $d/3$ da face do pilar, segundo recomendações de Muttoni e Ruiz (2010). A tensão $\sigma_{tf}(w)$ pode ser obtida pela Equação 2.4.35.



$$\sigma_{tf}(w) = K_f(w)\alpha_f\rho_f\tau_b \quad (2.4.35)$$

$$K_f(w) = \frac{1}{\pi} \arctan\left(\alpha_e \frac{w}{d_f}\right) \left(1 - \frac{2w}{l_f}\right)^2 \quad (2.4.36)$$

$$\tau_b = k_b \sqrt{fc} \quad (2.4.37)$$

Na equação 2.4.35, K_f é um coeficiente que leva em consideração a orientação das fibras globalmente; ρ_f é taxa de fibras; τ_b é a tensão de aderência na interface fibra-matriz; α_f é o fator de forma, representado pela razão entre o comprimento da fibra (l_f) e diâmetro da fibra (d_f);

Na Equação 2.4.36, α_e é um parâmetro que leva em consideração a quantidade de fibras contribuindo para a transferência de tensões ao longo de uma abertura de fissuras, recomendado por Maya et al. (2012) de $\alpha_e = 3, 5$.

Na Equação 2.4.37, o fator de escorregamento (k_b) é dado conforme o tipo de fibra utilizado. Maya et al. (2012) recomenda valores de 0,8 para fibras do tipo *hooked-end*, 0,6 para fibras do tipo *crimped* e 0,4 para fibras do tipo *straight*.

Através da superposição dos efeitos dado pelas Equações 2.4.33 e 2.4.34 é possível obter uma curva de carga resistente, em função da rotação da laje. A curva obtida ilustra o critério de ruptura para se estimar a carga e a rotação última da laje em que se garante o equilíbrio. A curva solicitante de carga-rotação pode ser obtida por modelagens numéricas, ensaios experimentais ou por uma outra estimativa proposta em Muttoni (2008), Maya et al. (2012) ou pelo MC2010 (2010).

2.4.7 Moraes Neto (2013)

Os resultados do estudo experimental de Moraes Neto (2013) (ver Item 2.3) foram base para a proposta de um modelo analítico que descrevesse o comportamento de ruína na punção em lajes de concreto armado com adição de fibras. O autor validou sua metodologia baseado-se nos critérios de avaliação de Collins (2001). O critério de ruína foi baseado na *Critical Shear Crack Theory* do trabalho de Muttoni e Schwartz (1991). A Equação 2.4.38 ilustra a estimativa do modelo de ruptura proposto por Moraes Neto (2013).



$$\frac{V_u}{b_0 d \sqrt{f_c} [\lambda_f + k_f^{1/3}]} = \frac{1}{1,33 + 20 \mu_f \psi d k_{dg}} \left\{ \begin{array}{l} \text{Sendo :} \\ b_0 = 4r + \pi d \\ k_f = V_f \frac{l_f}{d_f} \\ k_{dg} = \frac{1}{d_{g0} + d_g} \end{array} \right. \quad (2.4.38)$$

$$\lambda_f = \begin{cases} 0 & \text{se } V_f \neq 0 \\ 1 & \text{se } V_f = 0 \end{cases} \quad (2.4.39)$$

$$\mu_f = \begin{cases} 1/11 & \text{se } V_f \neq 0 \\ 1 & \text{se } V_f = 0 \end{cases} \quad (2.4.40)$$

Em que, V_u é a força cortante resistente do sistema; b_0 é a superfície crítica; d é a altura útil; f_c é a resistência à compressão medida em corpos de prova cilíndricos; k_f é um fator que depende das propriedades da fibra; ψ é a rotação da laje; k_{dg} é a constante relativa ao engrenamento dos agregados; r é a dimensão do pilar quadrado; V_f é a porcentagem de fibras; l_f é o comprimento da fibra; d_f é o diâmetro da fibra; d_{g0} é o diâmetro de referência do agregado; d_g é o diâmetro do agregado do concreto utilizado.

Segundo o autor e fundamentado em resultados experimentais, a Equação 2.4.38 descreve a ruptura do sistema de forma eficiente. No entanto, a expressão só se torna válida para o caso em que o volume de fibras é nulo, devido a inserção dos parâmetros de λ_f e μ_f .

A proposta do autor para o cálculo da relação carga x rotação foi formulada baseando-se em um modelo de laje axissimétrico, conforme prescrições de Muttoni (2008). Tal relação representa o mesmo efeito de curva solicitante no modelo proposto por Choi et al. (2007). A Equação 2.4.41 apresenta a relação carga-rotação ($V(\psi)$). A Figura 2.15 define alguns dos parâmetros utilizados na Equação 2.4.41.

$$V(\psi) = \frac{2\pi}{(r_q - r_c)} \left[m_r(\psi) r_0 + EI_0 \psi \langle \ln(r_s) - \ln(r_{cr}(\psi)) \rangle + m_{cr} \langle r_{cr}(\psi) - r_1(\psi) \rangle + \right. \\ \left. EI_1 \psi \langle \ln(r_1(\psi)) - r_y(\psi) \rangle + EI_1 \chi_{ts} \langle r_1(\psi) - r_y(\psi) \rangle + m_R \langle r_y(\psi) - r_0 \rangle \right] \quad (2.4.41)$$

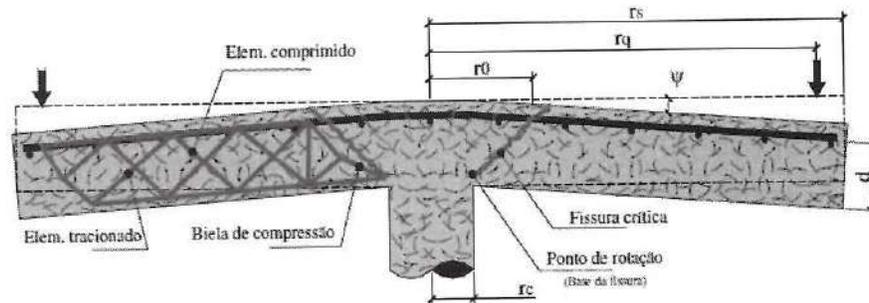


Figura 2.15: Parâmetros utilizados na Equação 2.4.41. (MORAES NETO, 2013)

Na Figura 2.15 e Equação 2.4.41, r_c é o raio medido do centro da laje a face do pilar; r_0 é o raio até a fissura crítica; r_q é a distância do ponto de aplicação da carga ao centro da laje; r_s é o raio da laje. m_r é o momento radial da laje em função da rotação ψ ; o produto EI_0 é a rigidez da seção bruta (ver Equação 2.4.42); EI_1 é a rigidez da seção considerando a armadura de flexão (ver Equação 2.4.43); m_{cr} é o momento de fissuração (ver Equação 2.4.44); χ_{ts} é um fator de retenção de tensões de tração entre fissuras, proporcionado pelas fibras; m_R pode ser estabelecido através das recomendações do CEB-FIP (2010); β é o fator de equivalência do layout das armaduras, recomendado como $\beta = 0,6$ por Muttoni (2008); O momento $m(\psi)$ é dado conforme equação 2.4.46.

$$EI_0 = \frac{Eh^3}{12} \quad (2.4.42)$$

$$EI_1 = \rho\beta E_s d^3 \left(1 - \frac{x}{d}\right) \left(1 - \frac{x}{3d}\right) \quad (2.4.43)$$

$$m_{cr} = \frac{f_{ct} h^2}{6} \quad (2.4.44)$$

$$\chi_{ts} = \frac{f_{ct}}{\rho\beta E_s} \frac{1}{6h} \cong 0,5 \frac{m_{cr}}{EI_1} \quad (2.4.45)$$



$$m(\psi) = \begin{cases} EI_0\chi(\psi) & \text{se } [\chi(\psi) \leq \chi_{cr}] \\ m_{cr} & \text{se } [\chi_{cr} \leq \chi(\psi) \leq \chi_1] \\ EI_1[\chi(\psi) + \chi_{ts}] & \text{se } [\chi_1 \leq \chi(\psi) \leq \chi_y] \\ m_R & \text{se } [\chi(\psi) > \chi_y] \end{cases} \quad (2.4.46)$$

$$\chi_{cr} = \frac{m_{cr}}{EI_0} \quad (2.4.47)$$

$$\chi_1 = \frac{m_{cr}}{EI_1} - \chi_{ts} \quad (2.4.48)$$

$$\chi_y = \frac{m_R}{EI_1} - \chi_{ts} \quad (2.4.49)$$

2.5 Simulações Numéricas

A modelagem numérica é um importante ferramenta para a solução de problemas complexos da engenharia de estruturas, podendo ser, em muitos casos, uma alternativa para minimizar a quantidade de ensaios experimentais (KARV, 2017). De fato, as simulações numéricas não resultam em valores finais iguais aos resultados experimentais. No entanto, um modelo numérico calibrado adequadamente pode apresentar resultados que não são possíveis de obter em um ensaio experimental de forma direta. Fazendo assim, as simulações numéricas, importantes na base da formulação de modelos analíticos de previsão de comportamento estrutural. Conforme Karv (2017), também podem apresentar resultados em diferentes condições de vinculações e carregamentos a partir de uma estrutura previamente estudada ou até mesmo uma análise paramétrica.

Desta forma, neste item reúnem-se algumas das principais simulações numéricas em elementos finitos de estruturas de concreto armado reforçadas com fibras de aço. O objetivo deste item na fundamentação teórica é de apresentar os estudos em concreto reforçados com fibras e as principais conclusões dos autores no procedimento numérico e no processo de calibração dos parâmetros dos materiais.



2.5.1 Karv (2017)

O trabalho de Karv (2017) consistiu em estudar numericamente o comportamento de lajes de concreto armado com adição de fibras de aço, afim de testar a convergência e variabilidade das prescrições normativas europeias referentes ao cisalhamento. Para realizar tal análise, o autor utilizou o código computacional do software ATENA (ver Červenka et al. (2012)) para desenvolver a modelagem e o processamento dos modelos.

Antes de iniciar a modelagem numérica de lajes, o autor optou por fazer algumas simulações numéricas de prismas de concreto armado. O autor justificou tal análise preliminar devido ao software escolhido não definir especificamente as fibras em um modelo constitutivo. Dessa forma, fica a cargo do usuário definir os parâmetros inerentes do material para proceder as simulações numéricas (KARV, 2017).

O autor apresentou duas metodologias para definir o modelo constitutivo do material, sendo a primeira através de uma análise inversa manual e a segunda através do uso de um software específico (*consort*). A análise inversa realizada pelo autor consistiu de uma calibração dos parâmetros em um modelo de ensaio de prisma padrão de três ou quatro pontos (geometria do prisma: $150 \times 150 \times 600$ mm). Karv (2017) utilizou o modelo de quatro pontos.

Karv (2017) observou no processo de calibração que alguns parâmetros geram um impacto maior ao ter seus valores alterados. O autor apresentou em uma tabela a intensidade do impacto que cada parâmetro tem nos resultados finais do modelo numérico. A Tabela 2.5 ilustra as conclusões obtidas pelo autor com base em seu estudo numérico e de outros autores da literatura.

Tabela 2.5: Impacto dos principais parâmetros do modelo numérico.

Parâmetro	Impacto no Resultado
Tamanho da Malha	Grande
Resistência à Tração (f_t)	Moderado
Resistência à compressão (f_c)	Moderado
Energia de Fratura (G_f)	Grande
Módulo de Elasticidade (E)	Moderado
Deformação máxima na Compressão (ε_{cu})	Nenhum
Modelo de Aderência das Barras (<i>bond slip</i>)	Pequeno

Fonte: adaptado de Karv (2017).

Nos modelos de lajes, o autor desenvolveu o modelo numérico baseado-se nos ensaios experimentais realizados por Barros et al. (2015). A Figura 2.16 ilustra esquematicamente a laje

ensaiada por Barros et al. (2015), estudada numericamente por Karv (2017). A Figura ?? ilustra o modelo numérico desenvolvido por Karv (2017).

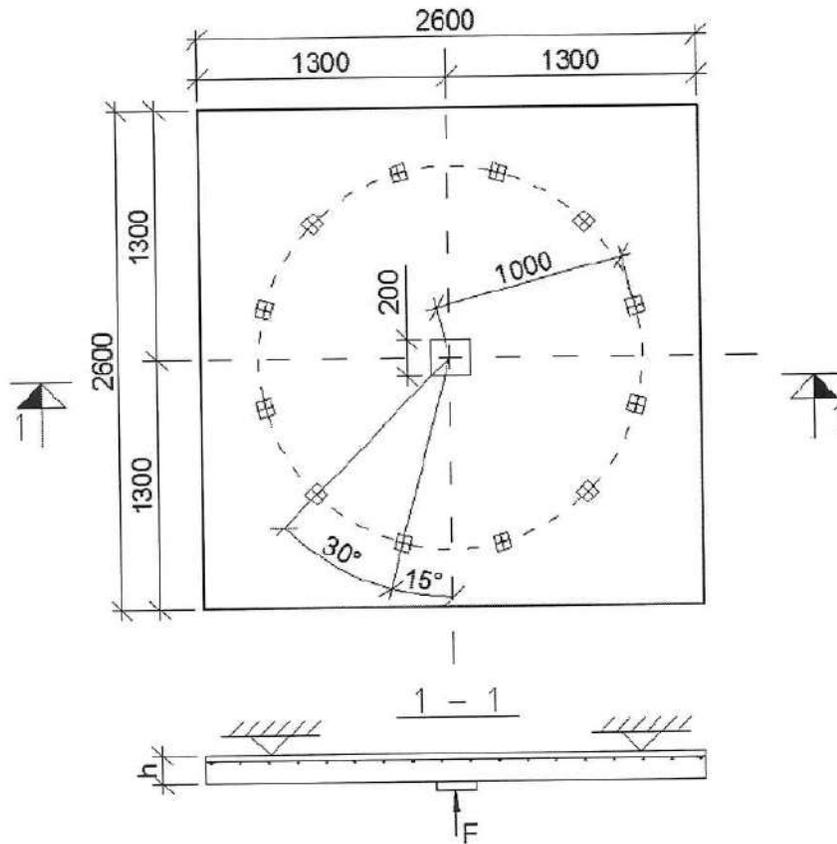


Figura 2.16: Modelo de laje Estudado por Barros et al. (2015) e modelado por Karv (2017). (KARV, 2017)



Universidade Federal Rural do Semi-Árido
TERMO DE ABERTURA

Divisão de Arquivo e Protocolo

CARIMBO DIAP



Ao(s) 29 dia(s) do mês de Outubro do ano de 2019, procedemos a abertura do volume nº 02 do processo nº 23091.009591/2016-33 que se inicia com a folha nº 201...

UFERSA
Erica dos Santos
Erica dos Santos
Administradora
CPF: 2118724

Servidor/Carimbo



Capítulo 3

Metodologia

3.1 Generalidades

No presente item será apresentado a metodologia proposta neste projeto de tese para desenvolver a pesquisa.

3.2 Procedimento Metodológico

O presente trabalho se dividirá em cinco etapas. A Primeira Etapa foi apresentada no Capítulo 2, que se trata dos estudos dos principais trabalhos que tratam sobre o tema de lajes lisas moldadas em concreto armado com adição de fibras. Os estudos abrangem trabalhos experimentais, numéricos e modelos analíticos.

A Segunda Etapa, trata-se do desenvolvimento de ensaios experimentais de lajes de concreto armado convencional e com adição de fibras. Os ensaios estão sendo desenvolvidos no Laboratório de Estruturas da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e tem o objetivo de estudar, experimentalmente, o comportamento de lajes lisas com ruptura à punção. As lajes serão confeccionadas com diferentes configurações de aberturas e será testada o desempenho com a adição de fibras em comparação com estruturas executadas com concreto convencional. As lajes serão instrumentadas nas armaduras e no concreto para se obter resultados de deformações e deslocamentos ao longo do processo de aplicação de carga até o colapso. Os resultados serão analisados e comparados prescrições normativas e com ensaios experimentais obtidos da literatura.

A Terceira Etapa será desenvolvida com auxílio do *software* comercial TNO Diana v9.4.4. Trata-se de uma simulação numérica dos ensaios experimentais desenvolvidos na Segunda Etapa.



O objetivo será estudar o comportamento mecânico das lajes nas regiões em que as lajes atingiram a ruptura por punção. A calibração do modelo numérico se dará com a comparação dos resultados da segunda etapa.

Na Quarta Etapa, os resultados da Segunda (Experimental) e Terceira Etapa (Numérico) serão utilizadas para apresentar uma proposta analítica de previsão de capacidade de carga de lajes lisas com adição de fibras e aberturas nas conexões com pilares. Das Etapas anteriores, serão analisadas a relação carga aplicada e deslocamentos na laje; o panorama de fissuração das lajes; o modo de ruptura; as deformações nas armaduras; e deformações no concreto. O modelo analítico se baseará nos resultados destas etapas para a formular o equacionamento geral.

Na Quinta Etapa, o modelo analítico proposto será utilizado para estimar a capacidade de carga de lajes lisas com adição de fibras e furos comparar com as prescrições normativas, modelos analíticos propostos por outros autores na literatura e ensaios experimentais.

3.3 Descrição do Procedimento Experimental

3.3.1 Descrição de Geometria e Materiais

A Figura 3.1 ilustra o esquema de ensaio estudado neste trabalho. As lajes estudadas tem dimensões de $(2400 \times 2400 \times 150)$ mm e foram moldadas em concreto armado de classe de resistência $40MPa$ com barras $CA - 50$. O pilar é representado por uma chapa metálica com dimensões de 150×150 posicionada na face inferior da laje. O procedimento do ensaio consistiu de aplicar uma carga crescente através de um atuador hidráulico no centro da laje levando o sistema a uma ruptura por punção. O atuador hidráulico em conjunto com uma chapa de apoio no centro da lajes simulam o comportamento de um pilar. Os esforços provenientes da carga aplicada pelo atuador hidráulico serão transferidos da laje para as oito chapas de apoio distribuídas simetricamente na laje e apoiadas por quatro vigas na parte superior da laje (Figura 3.1). Por sua vez, as vigas transferem tal esforço, através de tirantes, para uma laje de reação.

Para o procedimento experimental serão estudadas três séries de lajes. As séries são compostos por três lajes com diferentes configurações de aberturas na região próxima do pilar, sendo uma laje sem abertura, uma laje com apenas uma abertura e outra com duas aberturas. A Primeira Série é a referência do procedimento experimental e trata-se de lajes moldadas em concreto convencional. Na Segunda e a Terceira Série as mesmas configurações de aberturas da primeira

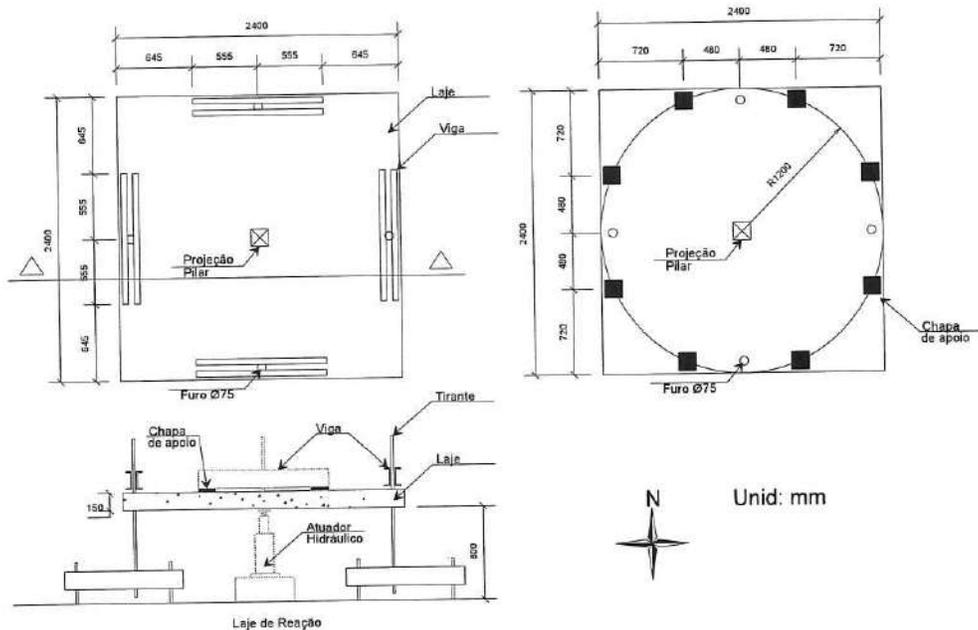


Figura 3.1: Representação do esquema do ensaio experimental.

séries foram mantidas e as lajes foram moldadas em concreto com adição de fibras em diferentes proporções. A Segunda Série foi moldada com concreto com adição de $70,65\text{kg}/\text{m}^3$ de fibras de aço, enquanto que na Terceira Série foi adicionada $94,20\text{kg}/\text{m}^3$. Esses valores representam uma adição de 0,9% e 1,2% de fibras no volume total da laje, respectivamente, para Segunda e Terceira Série.

Com relação a armadura das lajes, a Figura 3.2 ilustra, esquematicamente, a armadura utilizada no ensaio experimental proposto. A armadura principal dos ensaios experimentais é composta por uma malha ortogonal de barras do tipo CA – 50 de 16mm de diâmetro espaçadas a cada 120mm com comprimento total de 2360mm posicionadas na parte superior da laje para combate de esforços provenientes da flexão. Ainda existiam duas armaduras construtivas, sendo uma composta por uma malha ortogonal de barras CA – 50 de 6,3mm de diâmetro, espaçadas a cada 240mm e posicionadas na parte inferior da laje (Armadura Secundária) e uma outra armadura do tipo gancho com diâmetro de 10mm espaçadas a cada 240mm para garantir a ancoragem da armadura principal nas regiões próximas das bordas das lajes.

Durante o processo de aplicação da carga, a laje será monitorada por três tipos de instru-

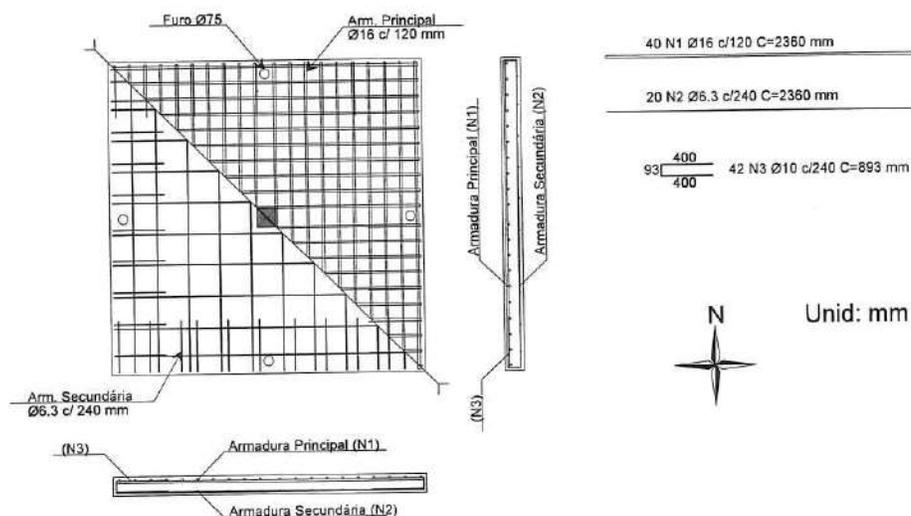


Figura 3.2: Armadura utilizada nos ensaios experimentais

mentos: extensômetros na armadura, extensômetros no concreto e transdutores de deslocamentos. O extensômetros nas armaduras serão posicionados nas barras com o objetivo de medir as deformações nas barras ao longo do ensaio experimental. O posicionamento dos extensômetros nas armaduras é apresentado na Figura 3.3. Os extensômetros no concreto estão posicionados com objetivos de medir os deformações de encurtamento no concreto e serão posicionados na parte inferior da laje nas proximidades do pilar. Os Transdutores de deslocamentos serão posicionados na face superior da laje e tem o objetivo de medir os deslocamentos das lajes ao longo do processo de aplicação da carga. A carga aplicada ao longo do ensaio será medida através de uma célula de carga posicionada no atuador hidráulico.

O procedimento experimental tem o objetivo de obter resultados de carga aplicada \times deslocamentos, carga aplicada \times deformação na armadura, carga aplicada \times deformação no concreto, modo de ruptura e padrão de fissuração. Serão comparados os resultados das lajes ensaiadas com a simulação numérica, as recomendações normativas e modelos analíticos. As comparações e os resultados obtidos serão utilizados para o modelo analítico proposto.

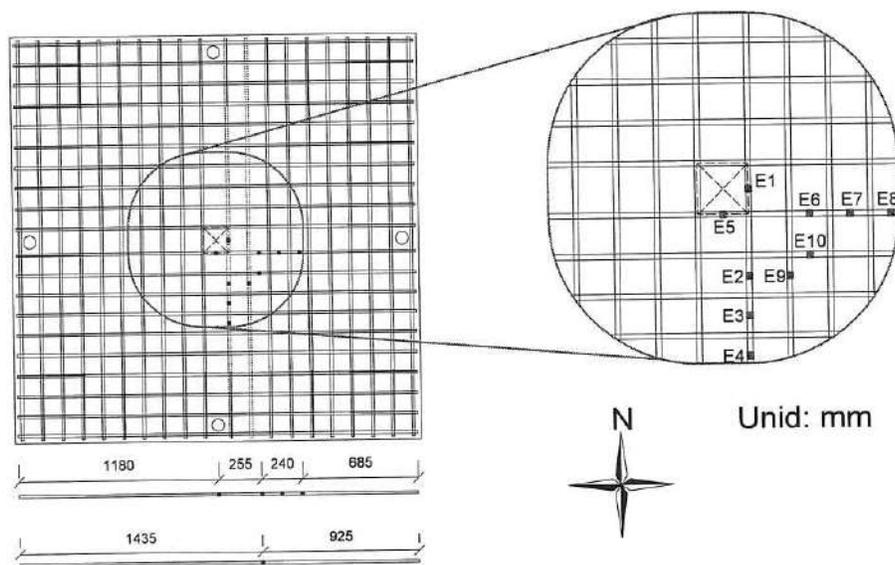


Figura 3.3: Posição dos extensômetros nas barras

3.3.2 Descrição do Procedimento para Concretagem

O esquema de concretagem das séries está apresentado na Figura 3.4. Foram utilizadas lajes previamente ensaiadas em outras pesquisas como fundo de forma para a moldagem das lajes estudadas nesta pesquisa (Ver Figura 3.4). Para conter o concreto lateralmente, foram confeccionadas formas de madeiras laterais e para regularizar a altura e a face inferior da laje foi realizada uma regularização de concreto. Na face inferior da laje foi posicionada uma lona plástica com desmoldante afim de evitar o contato com a regularização e possíveis danos na superfície inferior da laje.

Para melhor descrever o procedimento de preparação para a concretagem, a Figura 3.5 ilustra o procedimento utilizado para o esquema de concretagem das lajes do ensaio. Inicialmente, as lajes previamente ensaiadas (base para forma) foram posicionadas (Figura 3.5a). Após posicionada a base para a forma, a camada de regularização foi preparada e moldada com concreto de baixa resistência, apenas para garantir que a superfície plana e nivelada da face inferior da laje (Figura 3.5b). Com a camada de regularização devidamente executada, foi posicionada a camada de proteção entre a face de inferior da laje a ser concretada e a regularização (Figura 3.5c). Após

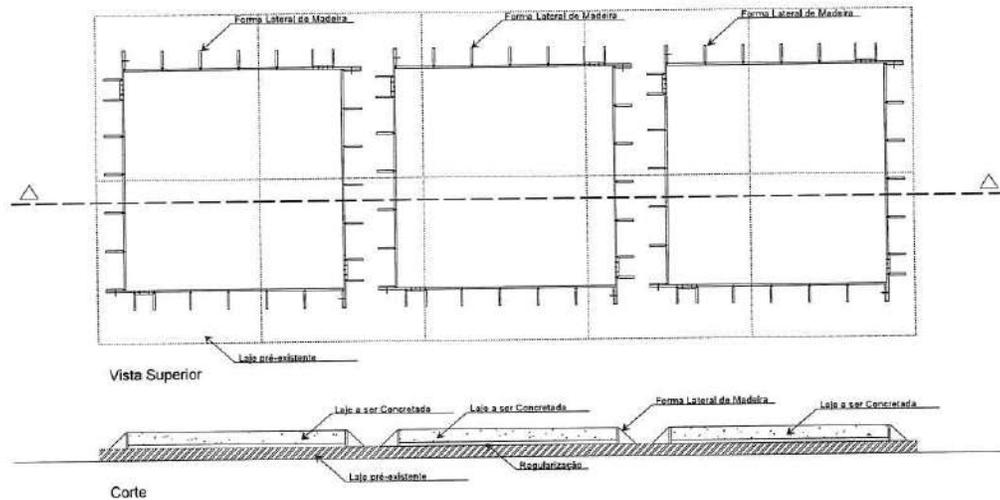


Figura 3.4: Posição dos extensômetros nas barras

garantida a planicidade e o nivelamento da base, foi posicionada as formas de madeiras laterais e armadura para concretagem (Figura 3.5d). Por fim, a espessura final da laje a ser concretada, o cobrimento e o travamento da forma lateral são aferidos e a concretagem das séries é realizada.

Com relação a preparação da armadura, as mesmas foram cortadas e montadas em forma de malha ortogonal, conforme detalhamento na Figura 3.2. Os extensômetros foram posicionados e colados na armadura. Foi adicionada uma protensão dos instrumentos para que não haja risco de dano no processo de concretagem. A Figura 3.6 ilustra as barras de concreto armado devidamente montadas e o detalhe do posicionamento e proteção dos extensômetros.

Em resumo, a preparação para a concretagem seguiu o seguinte procedimento:

- Posicionamento das lajes (base para a forma), conforme Figura 3.4;
- Concretagem da regularização;
- Preparação das armaduras, conforme Figura 3.2;
- Preparação da instrumentação nas armaduras, conforme Figura 3.3



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.5: a) Posicionamento das lajes; b) Moldagem da camada de Regularização; c) Posicionamento da camada de proteção; d) Posicionamento da armadura e forma laterais de madeira

- Corte e montagem da forma de madeira;
- Montagem do esquema de concretagem, conforme procedimento apresentada na Figura 3.5;
- Aferição e verificação de nivelamento das formas, travamento das formas, espessura final da concretagem e cobrimentos;
- Posicionamento de suportes para aberturas na laje a ser ensaiada;
- Concretagem;



(a)



(b)

Figura 3.6: a) Armadura Montada; b) Extensômetro devidamente protegido;

3.4 Descrição do Modelo Numérico

O modelo em elementos finitos desenvolvido para as simulações numéricas das lajes ensaiadas foi realizado utilizando o código computacional do *software* DIANA V9.4.4. O DIANA (Displacement ANalyzer) trata-se de um software comercial desenvolvido pela empresa holandesa *TNO Building and Construction Research*. O *software* realiza a entrada de dados (pré-processamento), o processamento e leitura dos dados (pós-processamento) de análises não-lineares abrangendo problemas de engenharia em geral, podendo desenvolver análises em várias áreas da Mecânica das Estruturas, Dinâmica, Mecânica dos Fluidos, entre outras.

A Figura 3.7 ilustra o modelo numérico desenvolvido para simular o ensaio experimental. Trata-se de um modelo tridimensional que buscou representar a laje, as chapas de apoio do ensaios e a chapa representativa do pilar do ensaio experimental. É importante observar que o modelo numérico utiliza a simetria do ensaio experimental, sendo modelado apenas a metade da geometria do ensaio experimental realizado.

No que se referente ao processamento do modelo, as análises desenvolvidas se configuram dentro da técnica de fissuras distribuídas. Trata-se de um modelo de representação de fissuras em que o dano no material é representado sem que necessite de uma alteração da malha de elementos finitos. Nessa técnica, o concreto é tratado como um material isotrópico elástico-linear (Equação 3.4.1), até que as tensões principais atinjam um valor determinado por um critério de resistência. A Equação 3.4.1 ilustra a relação tensão-deformação de um estado de tensão em que o material ainda não atingiu o critério de resistência, isto é, material elástico linear isotrópico. Após atingido

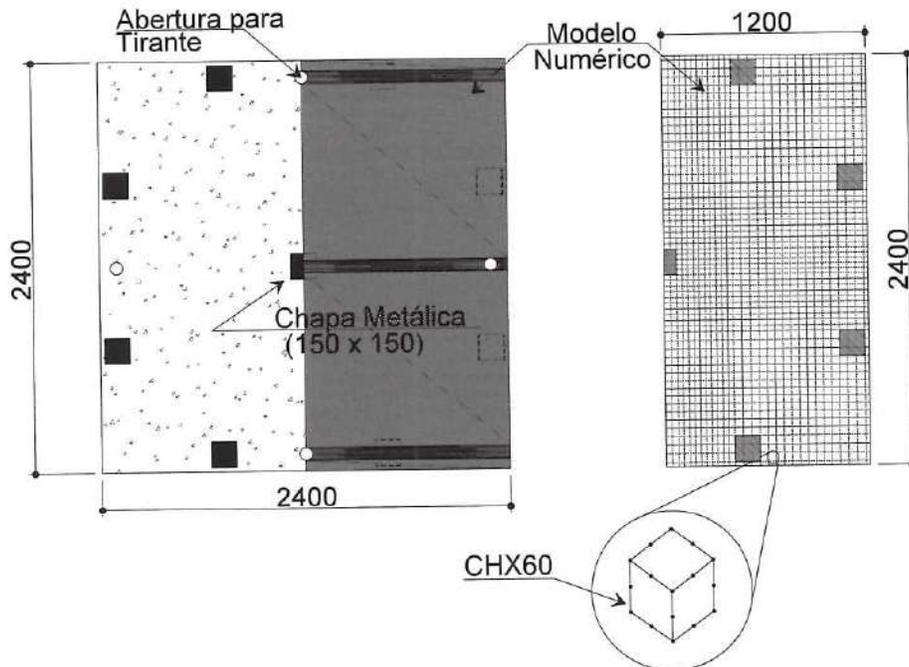


Figura 3.7: Representação do Modelo numérico na Laje estudado

o critério de resistência especificado, o concreto passa a ser tratado como um material ortotrópico (Equação 3.4.2), em que o comportamento fissurado proporciona uma relação não-linear conforme parâmetros do material pós-fissuração (CLAUS, 2009). Dessa forma, a não linearidade física passa a ser compatibilizada por alterações na matriz de rigidez do estado de tensões dos pontos do elemento finito.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-\nu)}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (3.4.1)$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{nn} \\ \sigma_{tt} \\ \sigma_{nt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\mu E}{1-\mu\nu^2} & \frac{\nu\mu E}{1-\mu\nu^2} & 0 \\ \frac{\nu\mu E}{1-\mu\nu^2} & \frac{\mu E}{1-\mu\nu^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\beta E}{2+2\nu} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{nn} \\ \varepsilon_{tt} \\ \gamma_{nt} \end{bmatrix} \quad (3.4.2)$$

Em que, σ é a tensão na direção especificada pelo índice, E é o módulo de elasticidade,

ν é o coeficiente de Poisson e ε é a deformação no estado de tensão. Os índices x e y são as direções dos eixos cartesianos e n e t são as direções normais e tangenciais do plano da fissura. Os parâmetros μ e β são, respectivamente, o parâmetro modificador que considera o comportamento de amolecimento das tensões na direção normal à fissura e o fator de retenção ao cisalhamento.

Com relação ao comportamento da fissura, o modelo de fissuração fixa foi utilizada no desenvolvimento das fissuras ao longo do processamento. Trata-se de um modelo em que, após atingir o critério de resistência, a direção da fissura não sofre alteração após modificado o estado de tensão do elemento finito. Essa opção permite considerar tensões de cisalhamento (σ_{nt}) atuando paralelas ao plano da fissura, permitindo considerar o fenômeno de engrenamentos dos agregados que ocorre entre as fissuras dos elementos.

A Figura 3.8 ilustra, esquematicamente, o modelo numérico para simular numericamente o ensaio experimental.

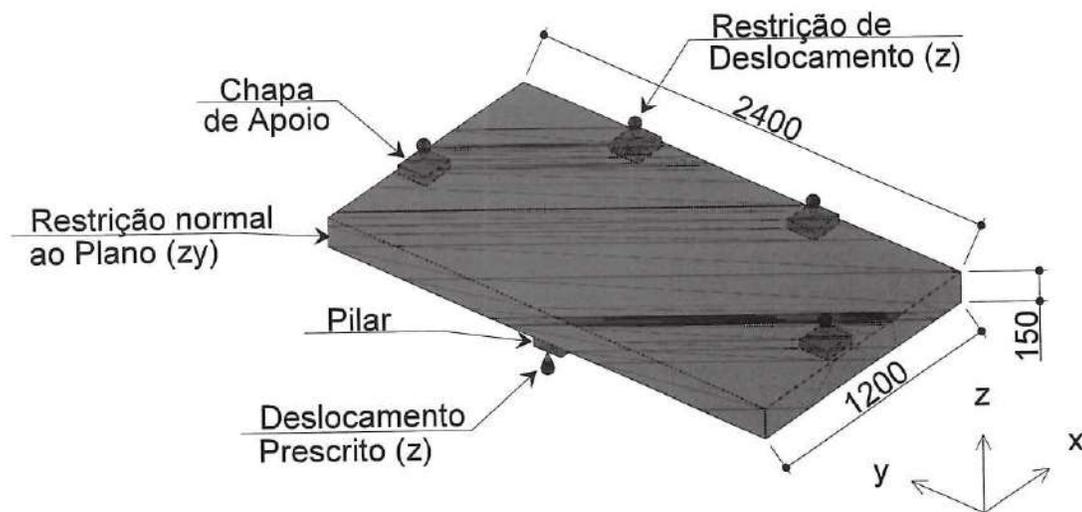


Figura 3.8: Modelo Numérico

No modelo numérico foram utilizados três materiais para representar os elementos envolvidos no ensaio experimental: o concreto, as chapas metálicas (chapas de apoio e de representação

do pilar) e as armaduras de flexão. O concreto, as chapas de apoio e a chapa que representa o pilar foram modelados com elementos do tipo *CHX60*, que é um elemento finito quadrilátero, sólido, tridimensional, com vinte pontos e três graus de liberdade por nó.

As armaduras eram do tipo *reinforcement bar* incorporadas nos elementos finitos do concreto. No modelo numérico a posição das armaduras foram obedecidas conforme ensaio experimental (Figura 3.2) e os parâmetros foram utilizados conforme ensaios de caracterização das barras. No modelo numérico são consideradas a aderência perfeita entre concreto e aço, isto é, não foi previsto um modelo *bond slip* para levar em consideração o escorregamento do aço no concreto.

Para que o comportamento do modelo fosse mais próximo do ensaios experimental, foi inserida uma interface na região de contato entre as chapas metálicas e os elementos do concreto. Dessa forma, os elementos vizinhos entre o concreto e as chapas não apresentam comportamento monolítico. A resistência à tração na interface foi considerada nula, com a finalidade de considerar apenas a transferência de tensões de compressão entre as chapas e a laje.

Com relação as vinculações e carregamentos, foram inseridas restrições de deslocamento nos pontos posicionados nas faces dos planos de simetria, nas chapas de apoio e um deslocamentos prescrito no centro do pilar (ver Figura 3.8). O deslocamento prescrito foi aplicado no sentido positivo do eixo *z* e a carga foi medida nas reações do referido ponto, assim como no ensaio experimental. As restrições de deslocamento foram posicionadas no centro da face superior das chapas de apoio e impedem o deslocamento do ponto na direção paralela ao eixo *z*. Na face de simetria, isto é, extremo plano *zy*, foi considerada uma restrição de deslocamento normal ao plano, conforme comportamento real da simetria do ensaio.

O deslocamento prescrito aplicado foi de $0,1\text{mm}$ em 150 passos, totalizando 15mm de deslocamento total. Cada passo utilizou o modelo de convergência Secante para solução do sistema de equações não-lineares. O critério de convergência foi baseado em força, deslocamento e energia, simultaneamente. Em cada passo o critério deveria atingir a convergência em no máximo 200 iterações, com tolerância de 10^{-2} , 10^{-4} e 10^{-2} , para força, energia e deslocamento, respectivamente. Caso não atingisse, o processamento do modelo era interrompido e os resultados eram analisados afim de se definir o que determinou a divergência encontrada.



Capítulo 4

Plano de Trabalho

4.1 Considerações gerais

No presente capítulo será apresentada a forma e análise dos resultados descrito na metodologia proposta; será descrita as etapas em andamento, concluídas e futuras da presente pesquisa; os pre-requisitos do programa para a concretização da pesquisa e será apresentado um cronograma geral de atividades da pesquisa proposta.

4.2 Forma e análise dos resultados

Para execução do presente projeto de pesquisa, serão levantados materiais bibliográficos como teses e artigos publicados em periódicos conceituados. Uma vez obtidos os resultados experimentais das lajes planas ensaiadas, estes serão comparados com os obtidos por outros resultados disponíveis na literatura para análise. As cargas de ruptura obtidas experimentalmente também serão comparados com as cargas de ruptura previstas pelo códigos e normas internacionais referentes a punção. Paralelo a este estudo experimental também é desenvolvido uma análise numérica dos modelos ensaiados utilizando o *software* TNO DIANA 9.4.4, baseado no Método dos Elementos Finitos para estimativa de cargas de ruptura, deslocamentos verticais, deformações da armadura de flexão e cisalhamento e também do concreto.

Serão feitas as análises numéricas dos modelos ensaiados no laboratório de estruturas da Unicamp para sua validação. Os resultados também servirão para calibrar o método analítico adaptado para lajes que possui furos para lajes de concreto reforçadas com fibras e sugerir possíveis modificações no código brasileiro quando se utiliza lajes com furos.



As análises e os resultados obtidos no decurso deste projeto serão disseminados através da publicação em revistas internacionais indexadas e em anais de conferências nacionais e internacionais. Por fim, os dados e resultados contribuirão para o desenvolvimento de duas teses de doutorado e uma dissertação de mestrado.

4.3 Cronograma de Atividades

A Tabela 01 apresenta o cronograma geral de atividades. As atividades desenvolvidas estão assinaladas em escala de cinza.

Tabela 4.1: Cronograma de Atividades.

Atividade	2016	2017			2018			2019			2020	
	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1 Fundamentação Teórica												
Disciplinas												
Revisão da literatura												
2 Etapa Numérica												
Elaboração de Modelos Numéricos												
Implementação da Abordagem Analítica												
Análise dos Resultados												
3 Etapa Experimental												
Elaboração dos Ensaios												
Análise dos Resultados												
4 Estudo de Correlação												
5 Exame de Qualificação												
6 Redação da Tese												
7 Defesa da Tese												

Atualmente, o ensaio experimental, o estudo de correlação e a Etapa Numérica encontra-se em andamento. As lajes da primeira série foram concretadas e estão em fase de endurecimento e aquisição da resistência prevista. Os ensaios de caracterização dos materiais serão realizados em agosto e setembro de 2018. Os ensaios experimentais de punção serão realizados em agosto de 2018.

Foi desenvolvido um estudo numérico de alguns trabalhos obtidos na literatura de lajes de concreto armado com adição de fibras, com modelagem e calibração dos parâmetros no *software* TNO DIANA. As séries de lajes proposto neste estudo estão em fase de modelagem e o processamento numérico se iniciará em setembro de 2018, após análise dos resultados do ensaio



experimental.

4.4 Disciplinas Cursadas

O programa de Pós-graduação em Engenharia Civil na área de Estruturas e Geotecnia exige o total de 21 créditos cursados, sendo as disciplinas com 3 créditos cada. Este pré-requisito foi cumprido ao final do ano de 2017, sendo as disciplinas cursadas listadas:

- Estruturas de Concreto I;
- Estruturas de Concreto II;
- Mecânica das Estruturas;
- Tópicos Especiais em Estruturas VIII: Modelagem Numérica de Estruturas de Concreto Armado;
- Fundamentos de Mecânica da Fratura
- Placas e Cascas
- Tópicos Especiais em Estruturas VII: Complementos de Teoria das Estruturas

4.5 Trabalhos Publicados ou em Publicação

Ao total foram desenvolvidos seis trabalhos, os trabalhos concluídos estão listados:

- **Aspects of Finite Element Modeling of Punching Shear Behavior of Reinforced Concrete Flat Slabs** e submissão na revista Latin American Journal of Solids and Structures (LAJSS) em conjunto com outros pesquisadores da UNICAMP, encontra-se aprovado e em fase de edição para publicação;
- **Estudo Comparativo da Teoria de Placa Elástica Linear com Abordagem do Carregamento incremental em Lajes de Concreto Armado para Consideração da Perda de Rigidez devido à Fissuração**, submetido ao 60º Congresso Brasileiro do Concreto, em conjunto com outros pesquisadores da UNICAMP (Publicação e apresentação no congresso em setembro/2018);



- **Estudo Paramétrico de reservatórios de Concreto Armado para Armazenamento de Água Utilizando a Teoria de Cascas**, submetido ao 60º Congresso Brasileiro do Concreto, em conjunto com outros pesquisadores da UNICAMP (Publicação e apresentação no congresso em setembro/2018);
- **Estudo Numérico de Lajes de Concreto Armado Moldadas em Concreto Convencional e com Adição de Fibras com Ruptura à Punção**, submetido ao 60º Congresso Brasileiro do Concreto (Publicação e apresentação no congresso em setembro/2018);
- **Análise Numérica da Resistência à Punção de Lajes de Concreto Protendido com Cabos Não Aderentes sem Armadura de Cisalhamento**, submetido ao 60º Congresso Brasileiro do Concreto em conjunto com outros pesquisadores da UNICAMP (Publicação e apresentação no congresso em setembro/2018);
- **Estudo Numérico do Comportamento de Vigas de Concreto Armado Moldadas com Concreto Convencional e Auto Adensável**, submetido ao 59º Congresso Brasileiro do Concreto (Publicado e apresentado no congresso em outubro/2017)

Os trabalhos em desenvolvimento, estão listados:

- **Influência do arranjo de armaduras na contribuição da força resistente à ruptura por punção em lajes cogumelo**, a ser submetido em revista indexada;
- **Evaluation of the effect of punching in flat slabs with concrete reinforced with steel fibers with variation of column rectangularity index**, a ser publicada em revista indexada (trabalho em desenvolvimento com outros pesquisados da UNICAMP e UFU);



Referências Bibliográficas

ABDEL-RAHMAN, A. M.; HASSAN, N. Z.; SOLIMAN, A. M. Punching shear behavior of reinforced concrete slabs using steel fibers in the mix. *HBRC Journal*, Elsevier, 2016.

AFONSO, C. L. M. *LAJES FUNGIFORMES. CONTRIBUIÇÕES PARA A COMPREENSÃO DO SEU COMPORTAMENTO*. Tese (Doutorado) — Universidade do Porto, 2010.

ALLEXANDER, S.; SIMMONDS, S. H. Punching shear tests of concrete slab-column joints containing fiber reinforcement. *Structural Journal*, v. 89, n. 4, p. 425–432, 1992.

AZEVEDO, A. P. d. *Resistência e ductilidade das ligações laje-pilar em lajes-cogumelo de concreto de alta resistência armado com fibras de aço e armadura transversal de pinos*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 1999.

BARRAGÁN, B. et al. Design of glass-fibre-reinforced concrete floors according to the fib model code 2010. *Special Publication*, v. 310, p. 311–320, 2017.

BARRAGÁN, B. Failure and toughness of steel fiber reinforced concrete under tension and shear. 12 2002.

BARROS, J. A. et al. Assessment of the effectiveness of steel fibre reinforcement for the punching resistance of flat slabs by experimental research and design approach. *Composites Part B: Engineering*, Elsevier, v. 78, p. 8–25, 2015.

BARTOLAC, M. et al. Punching of slabs reinforced with recycled steel fibres from used tyres. 07 2016.

BAŽANT, Z. P.; OH, B. H. Crack band theory for fracture of concrete. *Materials and structures*, Springer, v. 16, n. 3, p. 155–177, 1983.

BELLETTI, B.; ESPOSITO, R.; WALRAVEN, J. Shear capacity of normal, lightweight, and high-strength concrete beams according to model code 2010. ii: Experimental results versus nonlinear finite element program results. *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, v. 139, n. 9, p. 1600–1607, 2012.

BENTUR, A.; MINDESS, S. *Fibre reinforced cementitious composites*. [S.l.]: CRC Press, 2006.

BLANCO, A. et al. Application of constitutive models in european codes to rc-frc. *Construction and Building Materials*, Elsevier, v. 40, p. 246–259, 2013.



CEB-FIP, M. C. M. Model code for concrete structures. *Comité Euro-International du Béton, Secretariat Permanent, Case Postale*, v. 88, 1993.

ČERVENKA, V.; JENDELE, L.; ČERVENKA, J. ATENA Program Documentation Part 1 Theory. *Atena*, p. 282, 2012.

CERVERA, M.; CHIUMENTI, M. Smearred crack approach: back to the original track. *International journal for numerical and analytical methods in geomechanics*, Wiley Online Library, v. 30, n. 12, p. 1173–1199, 2006.

CHEN, W.-F. *Plasticity in reinforced concrete*. [S.l.]: J. Ross Publishing, 2007.

CHENG, M.-Y.; PARRA-MONTESINOS, G. J. Evaluation of steel fiber reinforcement for punching shear resistance in slab-column connections-part i: Monotonically increased load. *ACI Structural Journal*, American Concrete Institute, v. 107, n. 1, p. 101, 2010.

CHOI, K.-K. et al. Punching shear strength of interior concrete slab-column connections reinforced with steel fibers. *Cement and Concrete Composites*, v. 29, n. 5, p. 409 – 420, 2007. ISSN 0958-9465.

CLAUS, T. Non-linear finite element analysis of shear critical reinforced concrete beams. *Delft University of Technology, Delft*, 2009.

CLÉMENT, T. et al. Influence of prestressing on the punching strength of post-tensioned slabs. *Engineering Structures*, Elsevier, v. 72, p. 56–69, 2014.

COLLINS, M. Evaluation of shear design procedures for concrete structures. *A Report prepared for the CSA technical committee on reinforced concrete design*, 2001.

COX, B.; MARSHALL, D. Concepts for bridged cracks in fracture and fatigue. *Acta Metallurgica et Materialia*, v. 42, n. 2, p. 341 – 363, 1994. ISSN 0956-7151. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0956715194904928>>.

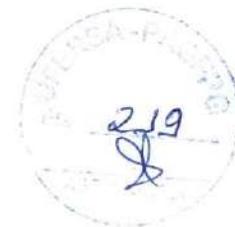
CRISFIELD, M. A.; WILLS, J. Analysis of r/c panels using different concrete models. *Journal of engineering mechanics*, American Society of Civil Engineers, v. 115, n. 3, p. 578–597, 1989.

DI PRISCO, M. et al. On the identification of sfrc tensile constitutive behaviour. *Fracture mechanics of concrete structures*. AA Balkema Publishers, Rotterdam, p. 541–548, 2001.

DIANA, T. Diana finite element analysis user's manual release 9.4. 4. *Delft, The Netherlands*, 2012.

FANELLA, D.; NAAMAN, A. Stress-strain properties of fiber reinforced mortar in compression. *Journal of the American Concrete Institute*, American Concrete Institute, v. 82, n. 4, p. 475–483, 7 1985. ISSN 0002-8061.

FEENSTRA, P. H. *Computational aspects of biaxial stress in plain and reinforced concrete*. Tese (Doutorado) — TU Delft, Delft University of Technology, 1993.



FIGUEIRAS, J. d. A. Ultimate load analysis of anisotropic and reinforced concrete plates and shells. 1983.

FRASER, D. J. Elastic analysis of laterally loaded frames. *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, v. 109, n. 6, p. 1479–1489, 1983.

GOUVEIA, N. D. et al. Sfric flat slabs punching behaviour—experimental research. *Composites Part B: Engineering*, Elsevier, v. 63, p. 161–171, 2014.

GUANDALINI, S. Poinçonnement symétrique des dalles en béton armé. EPFL, 2006.

HARAJLI, M.; MAALOUF, D.; KHATIB, H. Effect of fibers on the punching shear strength of slab-column connections. *Cement and Concrete Composites*, Elsevier, v. 17, n. 2, p. 161–170, 1995.

HENDRIKS, M.; BOER, A. de; BELLETTI, B. Guidelines for nonlinear finite element analysis of concrete structures. *Rijkswaterstaat Technisch Document (RTD)*, Rijkswaterstaat Centre for Infrastructure, RTD, v. 1016, p. 2012, 2016.

HIGASHIYAMA, H.; OTA, A.; MIZUKOSHI, M. Design equation for punching shear capacity of sfric slabs. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Citeseer, v. 5, n. 1, p. 35–42, 2011.

HILLERBORG, A.; MODÉER, M.; PETERSSON, P.-E. Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements. *Cement and concrete research*, Elsevier, v. 6, n. 6, p. 773–781, 1976.

HOLANDA, K. M. A. *Análise dos Mecanismos Resistentes e das Similaridades de Efeitos da Adição de Fibras de Aço na Resistência e na Ductilidade à Punção de Lajes-Cogumelo e ao Cisalhamento de Vigas de Concreto*. Dissertação (Mestrado), 2002.

HOLANDA, K. M. A.; HANAI, J. B. de. *Análise dos mecanismos resistentes e das similaridades de efeitos da adição de fibras de aço na resistência e na ductilidade à punção de lajes-cogumelo e ao cisalhamento de vigas de concreto*. ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, Universidade de São Paulo, p. 79, 2005.

HORDIJK, D. *Local Approach to Fracture of Concrete*. Tese (Doutorado) — Doctoral Thesis. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 1991.

HSIEH, S.; TING, E.; CHEN, W. A plastic-fracture model for concrete. *International Journal of Solids and Structures*, Elsevier, v. 18, n. 3, p. 181–197, 1982.

INÁCIO, R. A. *Análise numérica do punçoamento em lajes fungiformes*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2010.

IRANI, F.; ABADI, B. M. *Finite Element Analysis of Conventional and Fiber Reinforced Concrete Slabs*. Tese (Doutorado) — MSc Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2013.



- KARV, C. Shear and punching resistance of steel fibre reinforced concrete slabs. 2017.
- KHUNTIA, M.; STOJADINOVIC, B.; GOEL, S. C. Shear strength of normal and high-strength fiber reinforced concrete beams without stirrups. *Structural Journal*, v. 96, n. 2, p. 282–289, 1999.
- KINNUNEN, S.; NYLANDER, H. Punching of concrete slabs without shear reinforcement, meddelande nr 38. *Institutionen for Byggnadsstatik, Kungliga Tekniska Hogs, Stockholm, Sweden*, 1960.
- LI, V. C.; STANG, H.; KRENCHER, H. Micromechanics of crack bridging in fibre-reinforced concrete. *Materials and Structures*, v. 26, n. 8, p. 486–494, Oct 1993. ISSN 1871-6873. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF02472808>>.
- LIM, T.; PARAMISIVAM, P.; LEE, S. Bending behavior of steel-fiber concrete beams. *Structural Journal*, v. 84, n. 6, p. 524–536, 1987.
- MAMEDE, N. F. d. S. *Estudo paramétrico do punçoamento em lajes fungiformes através de análise numérica*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.
- MAMEDE, N. F. S.; RAMOS, A. P.; FARIA, D. M. Experimental and parametric 3d nonlinear finite element analysis on punching of flat slabs with orthogonal reinforcement. *Engineering Structures*, Elsevier, v. 48, p. 442–457, 2012.
- MAYA, L. et al. Punching shear strength of steel fibre reinforced concrete slabs. *Engineering Structures*, Elsevier, v. 40, p. 83–94, 2012.
- MC2010, M. C. Model code for concrete structures. *Comité Euro-International du Béton, Secretariat Permanent, Case Postale*, v. 88, 2010.
- MELGES, J. L. P. *Análise experimental da punção em lajes de concreto armado e protendido*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2001.
- MORAES NETO, B. N. d. *Comportamento à punção de lajes lisas em concreto reforçado com fibras de aço sob carregamento simétrico*. Dissertação (Mestrado) — Goiás, Universidade de Brasília, 2013.
- MUSSE, T. H. *Punção em lajes cogumelo-fibras de aço e armaduras de cisalhamento*. Dissertação (Mestrado) — Goiás, Universidade Federal de Goiás, 2004.
- MUTTONI, A. Punching shear strength of reinforced concrete slabs without transverse reinforcement. *ACI structural Journal*, ACI Structural Journal, v. 105, n. EPFL-ARTICLE-116123, p. 440–450, 2008.
- MUTTONI, A.; RUIZ, M. F. Mc2010: The critical shear crack theory as a mechanical model for punching shear design and its application to code provisions. *fib Bulletin*, v. 57, p. 31–60, 2010.



MUTTONI, A.; SCHWARTZ, J. Behavior of beams and punching in slabs without shear reinforcement. In: IABSE COLLOQUIUM. *IABSE colloquium*. [S.l.], 1991. v. 62, n. EPFL-CONF-111612, p. 703–708.

NAAMAN, A.; NAJM, H. Bond-slip mechanisms of steel fibers in concrete. v. 88, p. 135–145, 03 1991.

NAAMAN, A.; REINHARDT, H. W. High performance fiber reinforced cement composites hpfrc-4: International rilem workshop. v. 36, p. 710–712, 12 2003.

NAAMAN, A. E.; REINHARDT, H. W. *PRO 30: 4th International RILEM Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC 4)*. [S.l.]: RILEM Publications, 2003. v. 1.

NAKAMURA, H.; HIGAI, T. Compressive fracture energy and fracture zone length of concrete. *Modeling of inelastic behavior of RC structures under seismic loads*, ASCE, p. 471–487, 2001.

NARAYANAN, R.; DARWISH, I. Punching shear tests on steel-fibre-reinforced micro-concrete slabs. *Magazine of Concrete Research*, Thomas Telford Ltd, v. 39, n. 138, p. 42–50, 1987.

NARAYANAN, R.; DARWISH, I. Use of steel fibers as shear reinforcement. *Structural Journal*, v. 84, n. 3, p. 216–227, 1987.

PIMENTEL, M. J. d. S. Modelação e análise de estruturas laminares de betão: Possibilidades e desafios. 2005.

PRUIJSSERS, A. F. Aggregate interlock and dowel action under monotonic and cyclic loading. Delft University Press, 1988.

RAMOS, A. M. P. Punçoamento em lajes fungiformes pré-esforçadas. *Universidade Técnica de Lisboa-Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal*, 2003.

RASHID, Y. Ultimate strength analysis of prestressed concrete pressure vessels. *Nuclear engineering and design*, Elsevier, v. 7, n. 4, p. 334–344, 1968.

REGAN, P.; BRAESTRUP, M. Punching shear in reinforced concrete—a state of art report, comité euro-international du béton. *Bulletin d'information*, n. 1, p. 8, 1985.

ROTS, J. G. Computational modeling of concrete fracture. 1988.

ROTS, J. G.; BLAAUWENDRAAD, J. Crack models for concrete, discrete or smeared? fixed, multi-directional or rotating? Delft University of Technology, 1989.

RUIZ, M. F.; MUTTONI, A. Applications of critical shear crack theory to punching of reinforced concrete slabs with transverse reinforcement. *ACI Structural Journal*, American Concrete Institute, v. 106, n. 4, p. 485, 2009.



SACRAMENTO, P. et al. Punching strength of reinforced concrete flat slabs without shear reinforcement. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, SciELO Brasil, v. 5, n. 5, p. 659–691, 2012.

SELBY, R.; VECCHIO, F. A constitutive model for analysis of reinforced concrete solids. *Canadian Journal of Civil Engineering*, NRC Research Press, v. 24, n. 3, p. 460–470, 1997.

SOETENS, T.; MATTHYS, S. Shear-stress transfer across a crack in steel fibre-reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, Elsevier, v. 82, p. 1–13, 2017.

SORANAKOM, C.; MOBASHER, B. Flexural design of fiber-reinforced concrete. *ACI Materials Journal*, v. 106, n. 5, 2009.

SOUSA, J. L. A. de Oliveira e; GETTU, R. Determining the tensile stress-crack opening curve of concrete by inverse analysis. *Journal of engineering mechanics*, American Society of Civil Engineers, v. 132, n. 2, p. 141–148, 2006.

STALLER, D. Analytical studies and numerical analysis of punching shear failure in reinforced concrete slabs. trita-bkn. *Bulletin*, v. 57, p. 8, 2000.

STALLER, M. Numerical analysis with the finite element program marc. *Punching of structural concrete slabs. International Federation for Structural Concrete, Lausanne, Switzerland. fib Bulletin*, v. 12, p. 103–109, 2001.

SWAMY, R.; ALI, S. Punching shear behavior of reinforced slab-column connections made with steel fiber concrete. In: *Journal Proceedings*. [S.l.: s.n.], 1982. v. 79, n. 5, p. 392–406.

THEODORAKOPOULOS, D.; SWAMY, N. Contribution of steel fibers to the strength characteristics of lightweight concrete slab-column connections failing in punching shear. *Structural Journal*, v. 90, n. 4, p. 342–355, 1993.

THEODORAKOPOULOS, D.; SWAMY, R. Punching shear behaviour of lightweight concrete slabs with steel fibres. fibre reinforced cements and concretes: Recent developments. proceedings of an international conference held at the university of wales, college of cardiff, school of engineering, united kingdom, september 18-20, 1989. *Publication of: Elsevier Applied Science Publishers Limited*, 1989.

THORENFELDT, E.; TOMASZEWICZ, A.; JENSEN, J. Mechanical properties of high-strength concrete and application in design. In: TAPIR TRONDHEIM NORWAY. *Proceedings of the symposium utilization of high strength concrete*. [S.l.], 1987. p. 149–159.

VANDEWALLE, L. et al. Recommendations of rilem tc 162-tdf: test and design methods for steel fibre reinforced concrete. design of steel fibre reinforced concrete using the sigma-w method: principles and applications. *Materials and Structures*, RILEM, v. 35, p. 262–278, 2002.

VANDEWALLE, L. et al. Rilem tc 162-tdf: 'test and design methods for steel fibre reinforced concrete' - sigma-epsilon-design method - final recommendation. v. 36, p. 560–567, 10 2003.



VARGAS, E. N. Z. *Punção em lajes-cogumelo de concreto de alta resistência reforçado com fibras de aço*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 1997.

VECCHIO, F. J.; COLLINS, M. P. The modified compression-field theory for reinforced concrete elements subjected to shear. *ACI J.*, v. 83, n. 2, p. 219–231, 1986.

VECCHIO, F. J.; COLLINS, M. P. Compression response of cracked reinforced concrete. *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, v. 119, n. 12, p. 3590–3610, 1993.

WALRAVEN, J.; BELLETTI, B.; ESPOSITO, R. Shear capacity of normal, lightweight, and high-strength concrete beams according to model code 2010. i: Experimental results versus analytical model results. *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, v. 139, n. 9, p. 1593–1599, 2012.

YAO, Y. et al. Analytical displacement solutions for statically determinate beams based on a trilinear moment–curvature model. *Structural Concrete*, Wiley Online Library, 2018.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFERSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 - C. Postal 137 - Bairro Pres. Costa e Silva - Mossoró - RN - CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 - E.mail: proppg@ufersa.edu.br

(Anexo IV)

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

(Feito pelo/a orientador/a)

(Obrigatório)

Declaro para os devidos fins que o aluno Leonardo Henrique Borges de Oliveira, devidamente matriculado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) sob número de registro acadêmico RA 190655, vem desempenhando, muito bem, as atividades propostas em seu projeto de tese. Até o Presente, ele cursou sete disciplinas neste programa, cumprindo a quantidade de créditos exigidos pelo programa para o nível de doutorado, obteve aprovação em seu exame de qualificação, desenvolveu simulações numéricas para previsão do comportamento estruturas de concreto, realizou os ensaios experimentais das lajes de sua primeira série de ensaios e fez o estudo do traço para a segunda séries de ensaios experimentais. Na continuação, o aluno concluirá seus ensaios experimentais após execução da segunda série de ensaios, devendo ser realizada no Laboratório de Estruturas (LES) da UNICAMP, finalizará as simulações numéricos e apresentará o modelo analítico proposto em sua defesa de tese.

Data: 30 de setembro de 2019

Leandro Mouta Trautwein
Professor orientador - FEC/UNICAMP
(Obrigatória)



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Diretoria Acadêmica



Atestado de Matrícula

Nome		Registro Acadêmico	
Leonardo Henrique Borges de Oliveira		190655	
Documento de Identidade	CPF	Nascimento	Sexo
002387050 - RN	082.193.164-46	26/10/1988	Masculino
Naturalidade		Nacionalidade	
Mossoró		Brasileira	
Dados do Ingresso		Nível	
Curso: 62 - Doutorado em Engenharia Civil		Doutorado	
Área de Concentração			
AJ - Estruturas e Geotécnica Reconhecido pela Portaria MEC nº 609 de 14/03/2019			
Forma de Ingresso		Período de Ingresso	
Exame Seleção Pós-Graduação		25/2016	
Escola Anterior		Mês/Ano da Conclusão	
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN		10/2014	
Situação no Curso		Ano de Catálogo	Ano da Turma
Curso em andamento		2016	2016
Prazo para Integralização		Coefficiente de Rendimento (0 a 4)	
07/2021		3,8571	
Orientador (es)			
Prof Doutor Leandro Mouta Trautwein			
Atestado			
Atesto, para os devidos fins, a regularidade da matrícula no referido curso, estando o aluno matriculado no período letivo atual: 2º Semestre de 2019.			

CÓDIGO DE AUTENTICAÇÃO

Verifique a autenticidade deste documento na página <http://www.daonline.unicamp.br/ActionConsultaDiploma.asp>

Código: a2c726715161cc14c9859b136750b730b003845f

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

CNPJ: 46.068.425/0001-33

DAC – Diretoria Acadêmica

Rua Sérgio Buarque de Holanda, 290 - Cidade Universitária - Barão Geraldo - Campinas/SP - 13083-859

www.dac.unicamp.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Diretoria Acadêmica



Histórico Escolar

Nome		Registro Acadêmico	
Leonardo Henrique Borges de Oliveira		190655	
Documento de Identidade	CPF	Nascimento	Sexo
002387050-RN	082.193.164-46	26/10/1988	Masculino
Naturalidade		Nacionalidade	
Mossoró - RN		Brasileira	

Dados do Ingresso		Nível	
Curso: 62 - Doutorado em Engenharia Civil		Doutorado	
Área de Concentração			
AJ - Estruturas e Geotécnica Reconhecido pela Portaria MEC n° 609 de 14/03/2019			
Forma de Ingresso		Mês/Ano de Ingresso	
Exame Seleção Pós-Graduação		08/2016	
Escola Anterior		Mês/Ano da Conclusão	
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN		10/2014	

Situação no Curso		Ano de Catálogo	Ano da Turma
AJ - Estruturas e Geotécnica Curso em andamento		2016	2016
Prazo para Integralização		Coefficiente de Rendimento (0 a 4)	
07/2021		3.8571	
Aptidão em Língua Estrangeira		Data	Resultado
Inglês		10/08/2016	Aprovado
Exame de Qualificação		Data	Resultado
Área		12/12/2018	Aprovado
Tema da Banca			
ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE LAJES LISAS DE CONCRETO ARMADO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO >			
Comissão Examinadora - Exame de Qualificação			
Prof Doutor Leandro Mouta Trautwein Prof Doutor Gustavo Henrique Siqueira Profa Doutora Ana Elisabete Paganelli Guimarães de Avila Jacintho			
Orientador (es)			
Prof Doutor Leandro Mouta Trautwein			

CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

Verifique a autenticidade deste documento na página <http://www.daconline.unicamp.br/ActionConsultaDiploma.asp>
Código: 45b5aa51172e192bee4407b8830f4388245bc80f

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
CNPJ: 46.068.425/0001-33
DAC – Diretoria Acadêmica
Rua Sérgio Buarque de Holanda, 251 - Cidade Universitária – Barão Geraldo – Campinas/SP – 13083-970
www.dac.unicamp.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Diretoria Acadêmica



Histórico Escolar

Nome	Registro Acadêmico
Leonardo Henrique Borges de Oliveira	190655

Disciplinas Cursadas

Observações

Nas disciplinas com situação 'Aprovado', o aluno obteve frequência igual ou superior a 75% da Carga Horária.
Este documento contém todas as disciplinas cursadas pelo aluno.

- # - Disciplinas cursadas na condição de Estudante Especial - aproveitadas na integralização do curso.
- * - Carga Horária segundo catálogo seguido pelo aluno. (Informação CCPG Nº 4/2008)
- ! - Disciplinas cursadas como Estudante Especial / não válidas para o programa.

2º Semestre de 2016 - 01/08/2016 até 23/12/2016

Código	Nome da Disciplina	Conc.	CH	Crd	Situação
IC603	Estruturas de Concreto II Prof Doutor Leandro Mouta Trautwein	A	45	3	Aprovado por Conceito e Frequência

1º Semestre de 2017 - 02/03/2017 até 08/07/2017

Código	Nome da Disciplina	Conc.	CH	Crd	Situação
AA002	Tese de Doutorado	P	--	-	Tese em Andamento
IC301	Mecânica das Estruturas I Prof Doutor Leandro Palermo Junior	A	45	3	Aprovado por Conceito e Frequência
IC602	Estruturas de Concreto I Prof Doutor Leandro Mouta Trautwein	A	45	3	Aprovado por Conceito e Frequência
IC908	Tópicos em Engenharia de Estruturas VIII Prof Doutor Leandro Mouta Trautwein	A	45	3	Aprovado por Conceito e Frequência

2º Semestre de 2017 - 31/07/2017 até 29/12/2017

Código	Nome da Disciplina	Conc.	CH	Crd	Situação
AA002	Tese de Doutorado	P	--	-	Tese em Andamento
IC633	Fundamentos de Mecânica da Fratura Prof Doutor José Luiz Antunes de Oliveira e Sousa	A	45	3	Aprovado por Conceito e Frequência
IC637	Placas e Cascas Prof Doutor Isaias Vizotto	B	45	3	Aprovado por Conceito e Frequência
IC907	Tópicos em Engenharia de Estruturas VII Prof Doutor Cilmar Donizeti Baságli	A	45	3	Aprovado por Conceito e Frequência

CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

Verifique a autenticidade deste documento na página <http://www.daconline.unicamp.br/ActionConsultaDiploma.asp>
 Código: 45b5aa51172e192bee4407b8830f4388245bc80f

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
 CNPJ: 46.068.425/0001-33
 DAC – Diretoria Acadêmica
 Rua Sérgio Buarque de Holanda, 251 - Cidade Universitária - Barão Geraldo - Campinas/SP - 13083-970
www.dac.unicamp.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Diretoria Acadêmica



228
J

Histórico Escolar

Nome	Registro Acadêmico
Leonardo Henrique Borges de Oliveira	190655

1º Semestre de 2018 - 01/03/2018 até 31/07/2018					
Código	Nome da Disciplina	Conc.	CH	Crd	Situação
AA002	Tese de Doutorado	P	--	-	Tese em Andamento
CD003	Estágio de Capacitação Docente - PED C Prof Doutor Armando Lopes Moreno Junior	S	30	2	Aprovado por Conceito e Frequência

2º Semestre de 2018 - 01/08/2018 até 31/12/2018					
Código	Nome da Disciplina	Conc.	CH	Crd	Situação
AA002	Tese de Doutorado	P	--	-	Tese em Andamento

1º Semestre de 2019 - 25/02/2019 até 30/07/2019					
Código	Nome da Disciplina	Conc.	CH	Crd	Situação
AA002	Tese de Doutorado	P	--	-	Tese em Andamento

Carga Horária		
Total da Carga Horária Completada	Total da Carga Horária Supervisionada	Total de Créditos
345	345	23

CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

Verifique a autenticidade deste documento na página <http://www.daconline.unicamp.br/ActionConsultaDiploma.asp>
Código: 45b5aa51172e192bee4407b8830f4388245bc80f

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
CNPJ: 46.068.425/0001-33
DAC – Diretoria Acadêmica
Rua Sérgio Buarque de Holanda, 251 - Cidade Universitária – Barão Geraldo – Campinas/SP – 13083-970
www.dac.unicamp.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - Ufersa
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

Av. Francisco Mota, 572 - C. Postal 137 - Bairro Pica, Costa e Silva - Mossoró - RN - CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 - E-mail: proppg@ufersa.edu.br

(Anexo VIII)
(Obrigatório)

TERMO DE DECLARAÇÃO E COMPROMISSO

EU, Leonardo Henrique Borges de Oliveira, portador do CPF nº 082.193.164-46 RG nº 002.387.050, matrícula SIAPE nº 1044665, devidamente autorizado(a) pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Ufersa para realizar o curso de pós graduação em Engenharia Civil Nível Doutorado, pelo presente e na melhor forma de direito, conforme a Lei nº 8.112/90, em seu Artigo 96-A, o Regimento Geral da Ufersa, em seu Artigo 338, e a RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA Nº 003/2018, de 25 de junho de 2018, assumo o compromisso formal de permanecer, obrigatoriamente a serviço da Ufersa, por tempo integral e com dedicação exclusiva por um prazo igual ao do afastamento, a contar da conclusão do referido curso, sob pena de ressarcimento de todas as despesas, diretas ou indiretas em que a mesma tenha incorrido financiando aquele curso, tais como: salários, gratificações, passagens, diárias, ajudas de custo, bolsa de complementação salarial, bolsa de estudos, custos de matrícula, mensalidades e anuidades, enfim, qualquer dispêndio feito pela União, através da sua administração direta ou indireta, centralizada ou descentralizada, com o fim de custeio do curso em epígrafe.

Declaro estar ciente das Normas e Regulamentos do Curso.

Fica eleito o foro da Justiça Federal, Seção Judiciária do Rio Grande do Norte para dirimir todas as questões porventura decorrentes deste instrumento.

Campinas (SP), 30 de setembro de 2019.

Leonardo Henrique Borges de Oliveira
Leonardo Henrique Borges de Oliveira
Matrícula SIAPE: 1044665

Vanessa Saback de Freitas
Nome da testemunha
CPF: 02357657596

ANDREIA ROMERO FANTON
Nome da testemunha (Obrigatório)
CPF: 335 007 368 - 90



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS PAU DOS FERROS**

BR 226, Km 405 – C. Postal 98 – São Geraldo – Tel.: (84)3315-1792 – e.mail: @ufersa.edu.br

**EDITAL PARA QUALIFICAÇÃO DOCENTE COM AFASTAMENTO
CONDICIONADO À CONTRATAÇÃO DE PROFESSOR
SUBSTITUTO**

**RESULTADO PARCIAL – CLASSIFICAÇÃO POR ORDEM
DECRESCENTE**

NOME	PI	PA
JOSENILDO FERREIRA GALDINO	47	44
ANTÔNIO CARLOS LEITE BARBOSA	43,8	43,8
PAULO HENRIQUE ARAUJO BEZERRA	41,6	41,6
LEONARDO HENRIQUE BORGES DE OLIVEIRA	34,6	23,2
ADLA KELLEN DIONISIO SOUSA DE OLIVEIRA	32,4	22,4
MÔNICA PAULA SOUSA	32	22
ADELSON MENEZES LIMA	27,2	21,2

PI = PONTUAÇÃO INDICADA

PD = PONTUAÇÃO ATRIBUÍDA

DESCLASSIFICADO(A)S

NOME	MOTIVO
MARÍLIA CAVALCANTI SANTIAGO	Item 4.3 do Edital (Não anexação da planilha de pontuação).
FRANCISCO CARLOS GURGEL DA SILVA SEGUNDO	Item 4.3 do Edital (Não anexação da planilha de pontuação).



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**



**MEMORANDO ELETRÔNICO Nº 363/2019 - PROPPG (11.01.03)
(Identificador: 201974205)**

Nº do Protocolo: 23091.012397/2019-27

Mossoró-RN, 04 de Outubro de 2019.

CAMPUS PAU DOS FERROS

Título: Processo Renovação de afastamento - Leonardo Henrique Borges de Oliveira

Prezados, encaminhamos processo onde consta a solicitação de renovação de afastamento do servidor Leonardo Henrique Borges de Oliveira para que seja emitido parecer do Centro e Departamento correspondentes e posteriormente seja devolvido a PROPPG para emissão de parecer e demais trâmites. Lembramos sobre a necessidade da observância das normas constantes na Resolução CONSUNI/UFERSA nº 003/2018, de 25/06/2018.

Atenciosamente,

(Autenticado em 04/10/2019 17:08)
VANDER MENDONCA
PRO REITOR ADJUNTO
Matrícula: 1547955



JUSTIFICATIVA

Eu, Jarbele Cássia da Silva Coutinho, portadora do CPF nº 073.844.454-50, RG nº 3144184, SSP/PB, matrícula SIAPE nº 1227492, professora da área de Computação dos cursos de Bacharelado em Tecnologia da Informação (BTI) e Bacharelado em Engenharia de Software, lotada no Departamento de Engenharias e Tecnologia (DETEC) do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros (CMPF) da Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, venho justificar o período previsto, para o afastamento integral das minhas atividades, e informado no Processo de Afastamento Nº 23091.008776/2019-18.

Durante a 6ª Assembleia Extraordinária do DETEC, realizada em 08 de agosto de 2019, foi discutido e deliberado com parecer favorável o prazo inicial de meu afastamento para 23 de dezembro de 2019. Este prazo foi estabelecido em virtude de minha classificação na 5ª colocação no *ranking* do Plano Anual de Qualificação e Formação Docente (PQD 2019), regido pelo edital PROPPG/UFERSA Nº 29/2018, e considerando que:

(i) as professoras que ocupavam a 1ª e a 2ª colocação do PQD 2019, me concederam uma Carta de Anuência cedendo sua colocação, pois não possuem interesse em afastar-se de suas atividades durante o ano de 2019;

(ii) as demais colocações, 3ª e 4ª, do PQD 2019 estavam sendo ocupadas por professores que ainda estavam em processo seletivo em Programas de Pós-Graduação. Deste modo, o prazo inicial de afastamento informado no referido Processo foi condicionado ao prazo que os professores da 3ª e 4ª colocação – supracitadas - possuíam para iniciar os seus respectivos Processos de Afastamento, considerando a comprovação de vínculo com uma Pós-Graduação (de acordo com a Resolução CONSUNI/UFERSA Nº 003/2018, Art. 13 no inciso IV) e o período de até 90 (noventa) dias necessários para homologação de seus processos (de acordo com a Resolução CONSUNI/UFERSA Nº 003/2018, Art. 12).

(iii) o Edital PROPPG/UFERSA Nº 23/2019, que trata do Plano de Qualificação Docente (PQD) para 2020, lançado em 26/07/2019, destaca no item 3 que: "...Todos



os processos de afastamento iniciados a partir de 01 de outubro de 2019 deverão ser realizados com base no PQD 2020”.

Assim sendo, passado o período de homologação dos Processos de Afastamento a serem realizados em 2019, de acordo com o item 3 do Edital PROPPG/UFERSA Nº 23/2019, e considerando que os professores da 3ª e 4ª colocação do PQD 2019 não iniciaram o trâmite necessário para o afastamento até o presente momento, solicito a reconsideração do prazo ao qual o referido Processo de Afastamento foi condicionado (23/12/2019). Levando em consideração, também, que, atualmente temos disponível no CMPF um código de vaga para Qualificação Doutoral, reforço meu pedido de reconsideração para que a data inicial do meu afastamento seja alterada para 04 de novembro de 2019.

Pau dos Ferros – RN, 09 de outubro de 2019.

Profª Jarbele Cássia da Silva Coutinho

(SIAPE nº 1227492)



Processo nº. 23091.008776/2019-18

Assunto: 022.121 - APERFEIÇOAMENTO E TREINAMENTO: CURSOS (INCLUSIVE BOLSAS DE ESTUDO) PROMOVIDOS POR OUTRAS INSTITUIÇÕES NO BRASIL

DESPACHO

Analisando a solicitação constante no Processo Administrativo n.º 23091.008776/2019-18 feita pela servidora docente Jarbele Cássia da Silva Coutinho, matrícula SIAPE n.º 1227492, de afastamento com a finalidade de cursar doutorado em Ciência da Computação na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande-PB, e considerando a justificativa para o afastamento (fl. 35) apresentada à CPPD em 09 de outubro de 2019 solicitando a reconsideração da data inicial para o afastamento, vimos encaminhar este processo ao Departamento de Engenharias e Tecnologia - DETEC - para apreciação e deliberação.

Em seguida, o processo também deverá ser apreciado novamente pelo CMPF, PROPPG, PROGEPE e CPPD.

Encaminhe-se ao Departamento de Engenharias e Tecnologia - DETEC - para providências.

(Autenticado digitalmente em 11/10/2019 09:29)
LUIS MORAO CABRAL FERRO
COMISSÃO PERMANENTE DE PESSOAL DOCENTE (11.01.26)
PROFESSOR 3 GRAU