



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

**MEMORANDO ELETRÔNICO Nº 256/2018 - PROPPG (11.01.03)
(Identificador: 201862403)**

Nº do Protocolo: 23091.009861/2018-20

Mossoró-RN, 27 de Agosto de 2018.

CENTRO MULTIDISCIPLINAR - PAU DOS FERROS

CC:
CAMPUS PAU DOS FERROS

**Título: Solicitação de renovação de afastamento- processo número 23091.009541/2016-33-
Leonardo Henrique Borges de Oliveira**

Prezados (as), estamos remetendo a documentação referente solicitação de renovação de afastamento constante no processo número 23091.009541/2016-33, cujo interessado é o docente Leonardo Henrique Borges de Oliveira, para que seja emitido parecer do Departamento de Engenharias e Tecnologia e do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros. Após a emissão dos pareceres, o processo deverá ser remetido para PROPPG. Caso necessitem do envio do processo na íntegra, favor comunicar para que possamos encaminhá-lo.

Atenciosamente,

(Autenticado em 27/08/2018 09:06)
VANDER MENDONCA
PRO REITOR ADJUNTO
Matrícula: 1547955



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: 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/CMPPF
Tipo de Afastamento: Integral: (x) Parcial: ()
Tempo de Serviço Averbado para Aposentadoria: () Anos
Início de Exercício no Cargo: 29/10/2014 **Total:** 3 anos e 10 meses (Anexar Declaração do PRORH).

2. PREENCHIDO PELO REQUERENTE

CURSO: Pós-graduação em Engenharia Civil
Nível: Especialização () Mestrado () Doutorado (x) Pós-Doutorado ()
Área de concentração: Estruturas
Liberação inicial: Início 12/12/2016 Término: 11/12/2020
Período solicitado para (renovação): Início 12/12/2018 Término: 12/12/2019
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**).

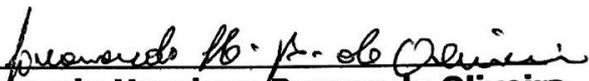
*Obs. A renovação de afastamento para qualificação em nível de pós-graduação stricto sensu dar-se-á nos termos da legislação em vigor, devendo a manifestação de intenção de renovação do afastamento ser protocolada em **até 60 (sessenta) dias antes do término do afastamento**. Conforme Art. 19. da RESOLUÇÃO 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: 15/08/2018


Leonardo Henrique Borges de Oliveira
Requerente - SIAPE: 1044665

Dúvidas? Leia a: *RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA N° 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 de Magistério Superior, com lotação no(a) Departamento de Engenharias e Tecnologia do Câmpus 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, 20 de agosto de 2018.

José Flávio Timóteo Júnior
José Flávio Timóteo Júnior

Diretor do Câmpus Pau dos Ferros em Exercício

Jose Flavio Timoteo Junior
Vice-Diretor
UFERSA Câmpus Pau dos Ferros
Mat. SIAPE 1695692



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

Nome do solicitante: Leonardo Henrique Borges de Oliveira	
Local da Qualificação:	
X No País <input type="checkbox"/> No exterior	
Período solicitado para renovação do afastamento: 12/12/2018 a 12/12/2019	
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).	



(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 de Semi-Árido (UFERSA), venho através deste solicitar a renovação 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 o número de registro acadêmico – RA 190655.

Durante o período do meu afastamento foram cursadas as disciplinas de "Estruturas de Concreto I", "Estruturas de Concreto II", "Mecânica das Estruturas I", "Tópicos 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 a quantidade de créditos exigidas pelo programa para o nível de doutorado. Foi realizada um estudo dos principais artigos, teses e dissertações, nacionais e internacionais, para compor a fundamentação teórica do meu trabalho. Tive um artigo aceito e apresentado no 59º Congresso Brasileiro do Concreto. O referente trabalho trata de um tema diretamente ligado a uma parte da minha pesquisa.

Atualmente, submeti um artigo na "Latin American Journal of Solids and Structures", classificação Qualis A2, e o mesmo encontra-se em fase de revisão para publicação. Também foi submetido quatro artigos para o 60º Congresso Brasileiro do Concreto, encontram-se todos aprovados, com previsão para publicação e apresentação no congresso em setembro de 2018. A etapa experimental da minha pesquisa está em fase de desenvolvimento, através de confecção de lajes de concreto armado para ensaio de punção que será realizado no laboratório de estruturas de UNICAMP no mês de agosto. As atividades dos ensaios experimentais necessitam de maquinários, equipamentos e materiais do laboratório de estruturas da UNICAMP.



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

As atividades previstas para serem iniciadas nos próximos meses serão a análise dos resultados experimentais da primeira série de lajes, início da confecção da segunda série de lajes, início da modelagem numérica dos ensaios experimentais e preparação para o exame de qualificação previsto para novembro de 2018.

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 continuação das atividades da minha pesquisa, sendo esta justificativa de renovação do meu afastamento para mais 1 ano.

Data: 15 de 08 de 2018



Leonardo Henrique Borges de Oliveira
Requerente - SIAPE: 1044665

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



(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 2017.2:

- Conclusão dos créditos das disciplinas "Fundamentos de Mecânica das Fratura", "Placas e Cascas" e "Tópicos Especiais em Engenharia de Estruturas VII: Complementos de Teoria das estruturas";
- Elaboração do Artigo: "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;
- Simulações numéricas de ensaios experimentais em lajes de concreto armado com auxílio do software comercial TNO Diana v9.4.4;
- Elaboração do artigo "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;
- Elaboração 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, em conjunto com outros pesquisadores da UNICAMP;
- Continuação do estudo dos principais artigos, teses e dissertações sobre o tema proposto da pesquisa;

Semestre 2018.1

- Elaboração 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;



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFRSA
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@ufrsa.edu.br

-Elaboração 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 em conjunto com outros pesquisadores da UNICAMP;

- Revisão e re-submissão após recebimento dos comentários dos revisores do artigo "Aspects of Finite Element Modeling of Punching Shear Behavior of Reinforced Concrete Flat Slabs" submetido no semestre de 2017.2;

- Preparação da primeira série de ensaios experimentais: montagem das formas, montagem do esquema de concretagem, montagem das armaduras e instrumentação das armaduras;

-Continuação do estudo dos principais artigos, teses e dissertações sobre o tema proposto da pesquisa;

Data: 15 de 08 de 2018

Leonardo Henrique Borges de Oliveira

Leonardo Henrique Borges de Oliveira
Requerente - SIAPE: 1044665

Leandro Mouta Trautwein

Leandro Mouta Trautwein
Professor Orientador - FEC/UNICAMP



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	Ensaio 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.

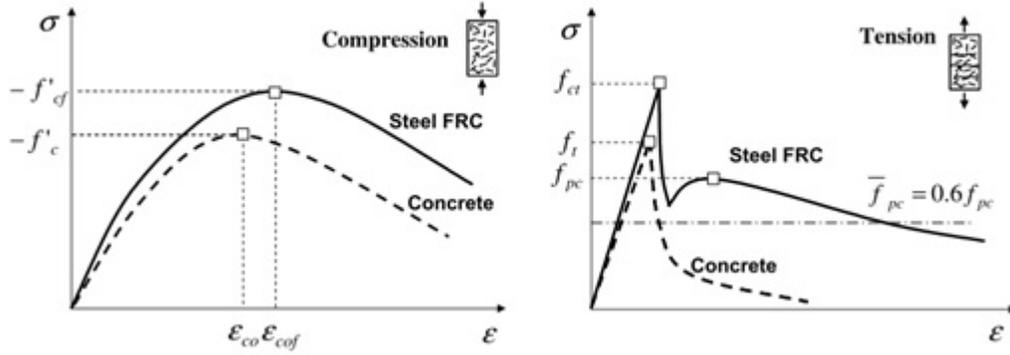


Figura 2.1: Modelo Constitutivo na Tração e Compressão proposto por Lim et al. (1987)

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.

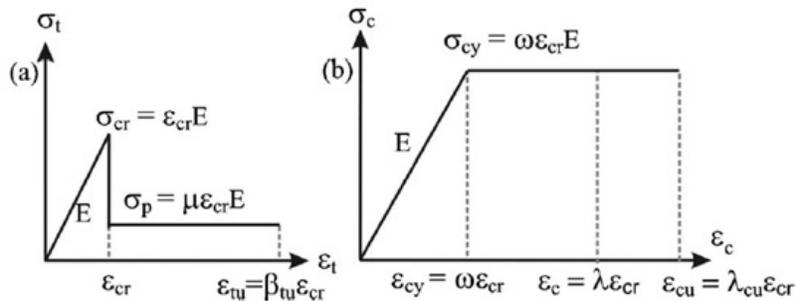


Figura 2.2: Modelo Constitutivo na Tração e Compressão proposto por Lim et al. (1987)

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.

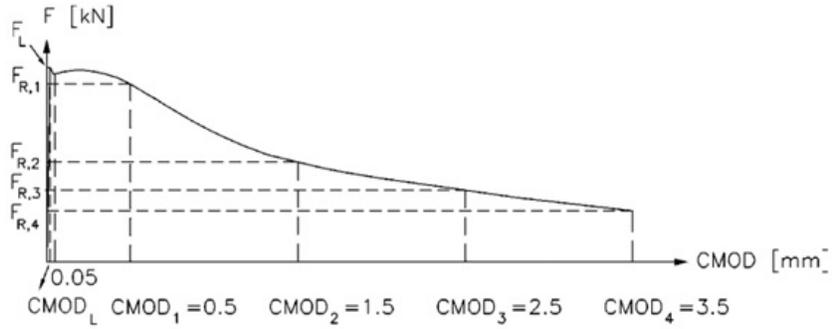


Figura 2.3: Curva esperada do ensaio de três pontos em prisma. (VANDEWALLE et al., 2003)

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

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).

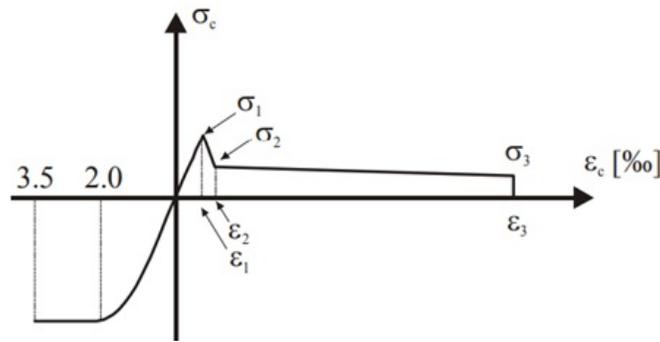


Figura 2.4: Modelo Constitutivo proposto por Vandewalle et al. (2003)

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.

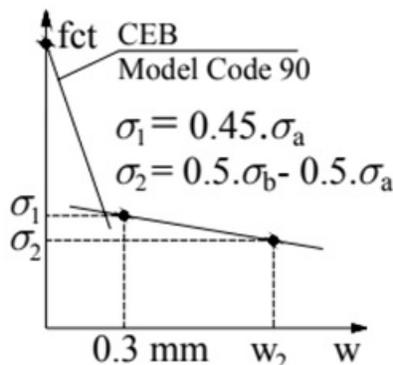


Figura 2.5: Modelo Constitutivo proposto por di Prisco et al. (2001)

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 reforçados 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).

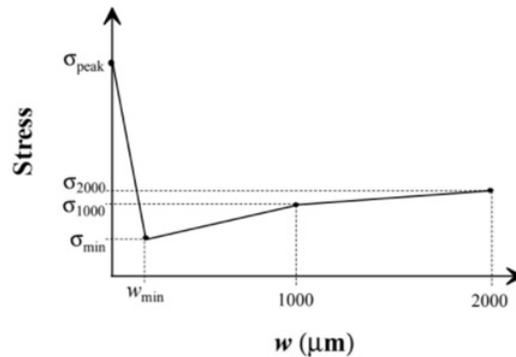


Figura 2.6: Modelo Constitutivo proposto por Barragán (2002)

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).

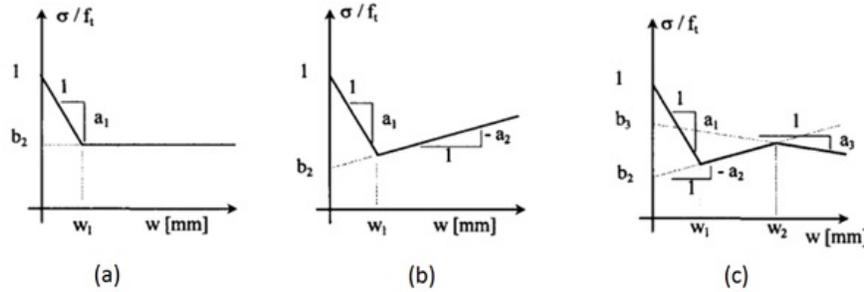


Figura 2.7: Modelos Constitutivos apresentados em Sousa e Gettu (2006)

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 normalizaram 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 $25,8^\circ$ e $31,8^\circ$ para o concreto convencional, que obteve ângulo de $22,2^\circ$, enquanto que, para o concreto de 85MPa, as fibras apresentaram ângulo de inclinação entre 17° e $34,4^\circ$, para $18,6^\circ$ 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

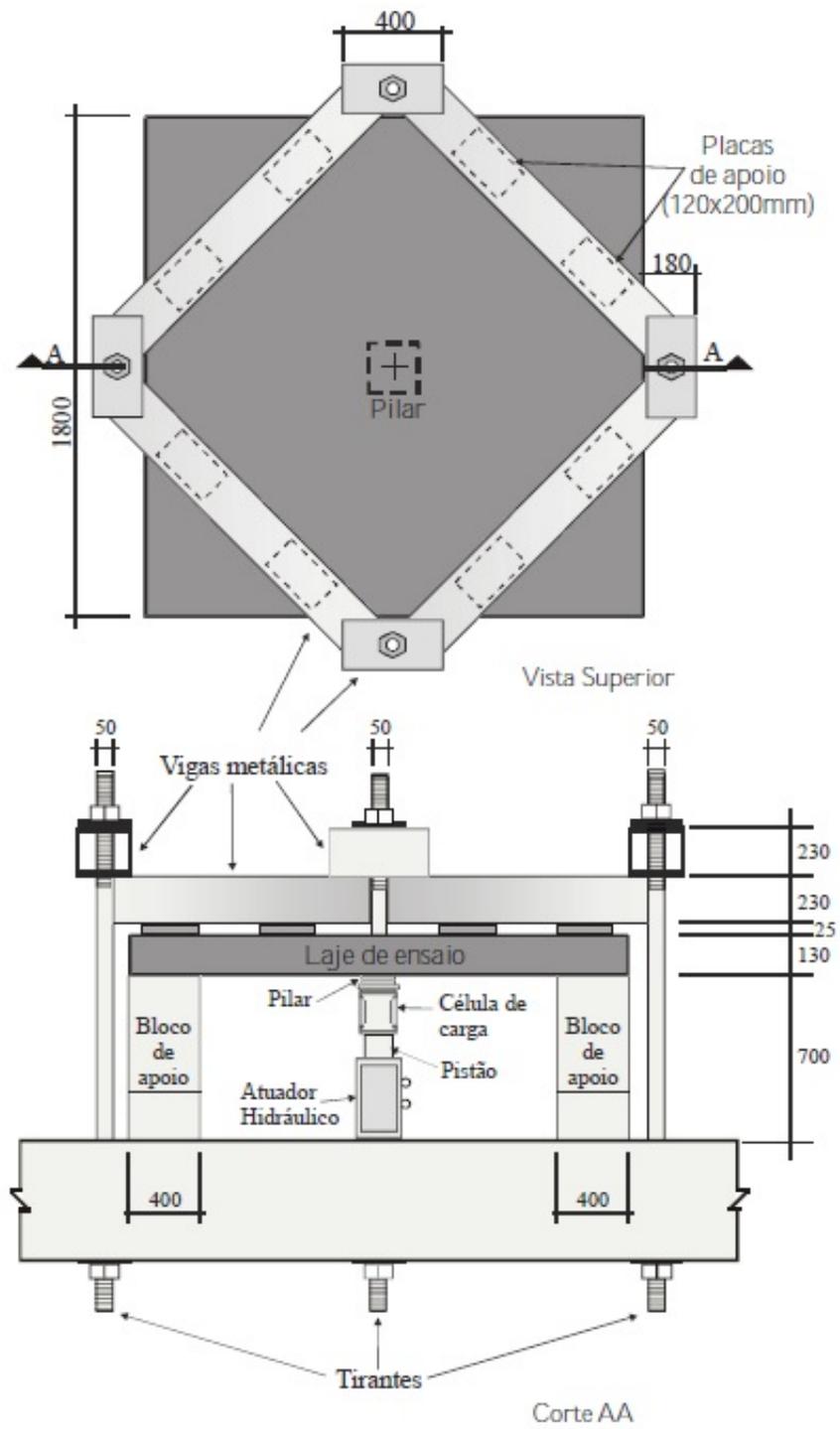


Figura 2.8: Esquema de ensaio estudado pela autora. (MUSSE, 2004)

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 MAC-CAFERRI. As fibras eram do tipo *Hooked*, com seção transversal circular com 0,55mm de diâme-

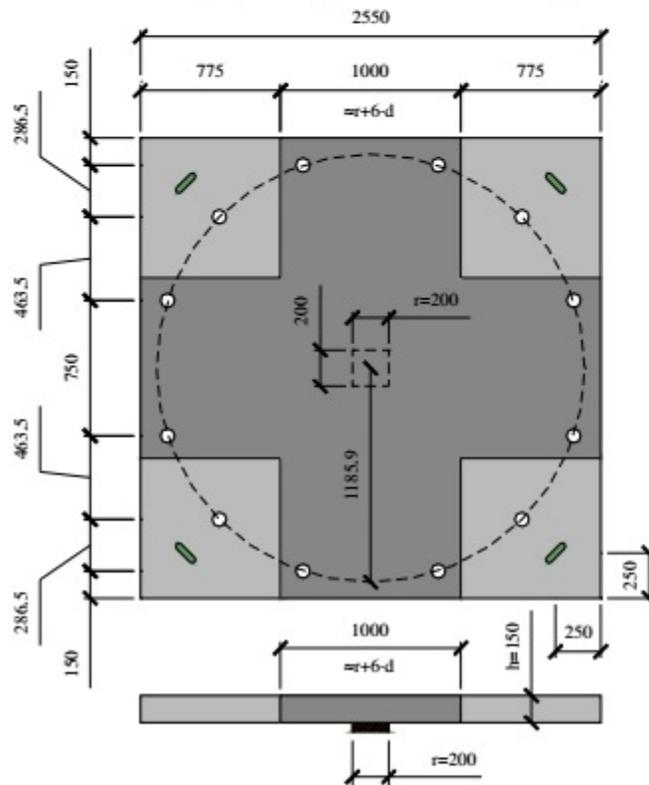
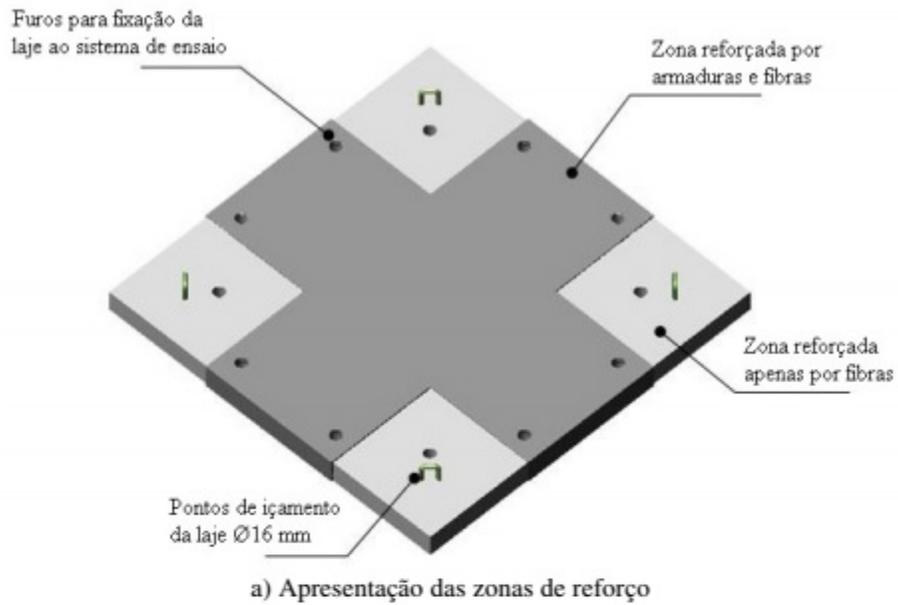


Figura 2.9: Laje ensaiada no trabalho de Moraes Neto (2013).

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 $90\text{kg}/\text{m}^3$. 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 Harajli 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 esbeltez 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 $2333\text{kN}/\text{m}^3$. 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.

Ensaio 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

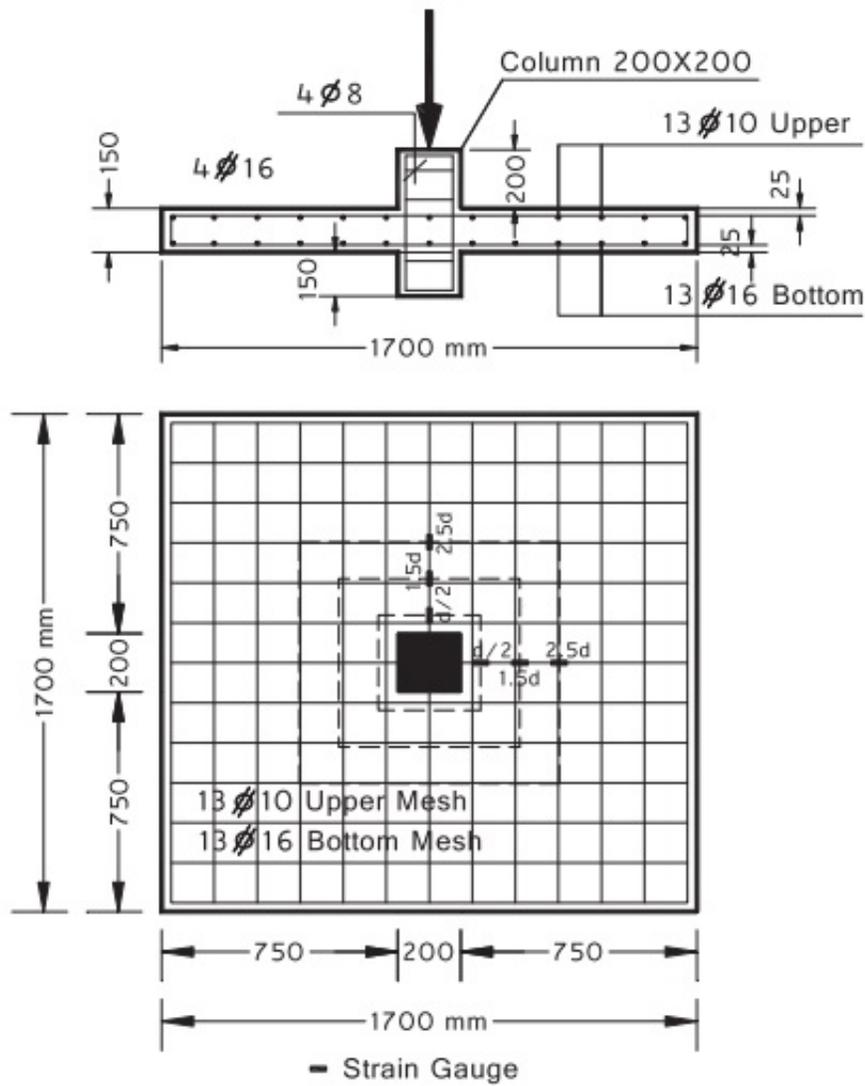


Figura 2.10: Laje ensaiada no trabalho de Abdel-Rahman et al. (2016).

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;
		<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;
	Zambrana Vargas (1997)	<ul style="list-style-type: none"> - 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;
		<ul style="list-style-type: none"> - Adição de 0,9% de fibras ao concreto

Musse (2004)

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; - 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		- Aumento da carga máxima atingida de 25% para o concreto convencional e 8,9% para concreto de alta resistência;
	Musse (2004)	- 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)	- 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)	- Fibras de aço convencionais (40kg/m ³) e recicladas (10kg/m ³ convencionais e 45kg/m ³ 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)	- 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. È 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 distancias 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

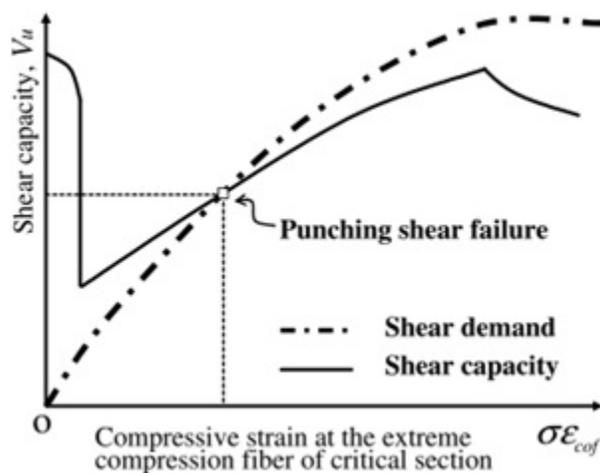


Figura 2.11: Relação Capacidade Resistente e Curva Solicitante. (CHOI et al., 2007).

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 comprotamento 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

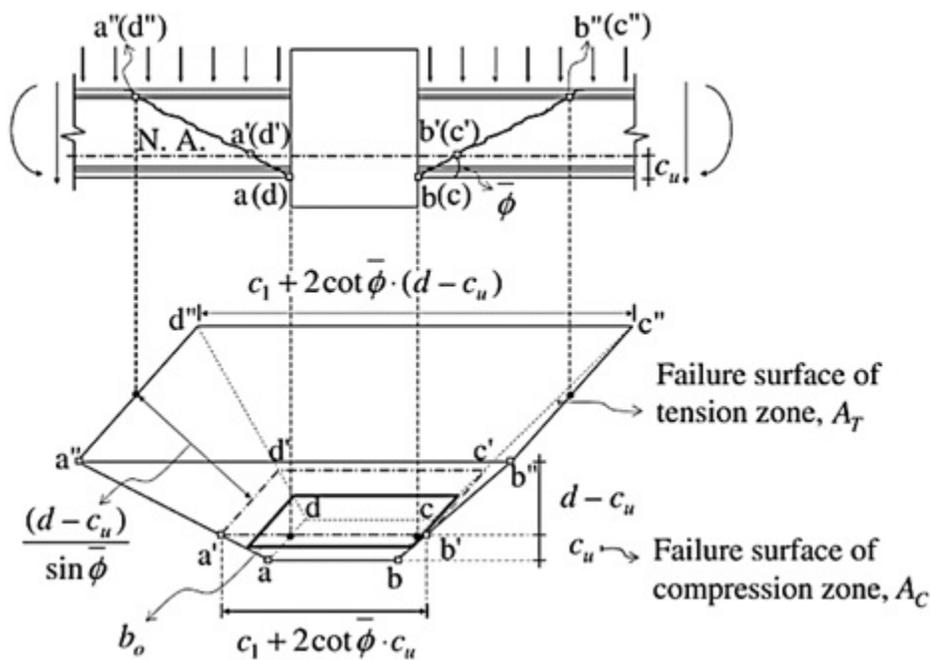


Figura 2.12: Superfície de ruptura adotada por Choi et al. (2007).

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.

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

$$V_{fr} = \overline{f_{pc}} A_T \cos \phi \quad (2.4.15)$$

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).

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

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).

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

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

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 da 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

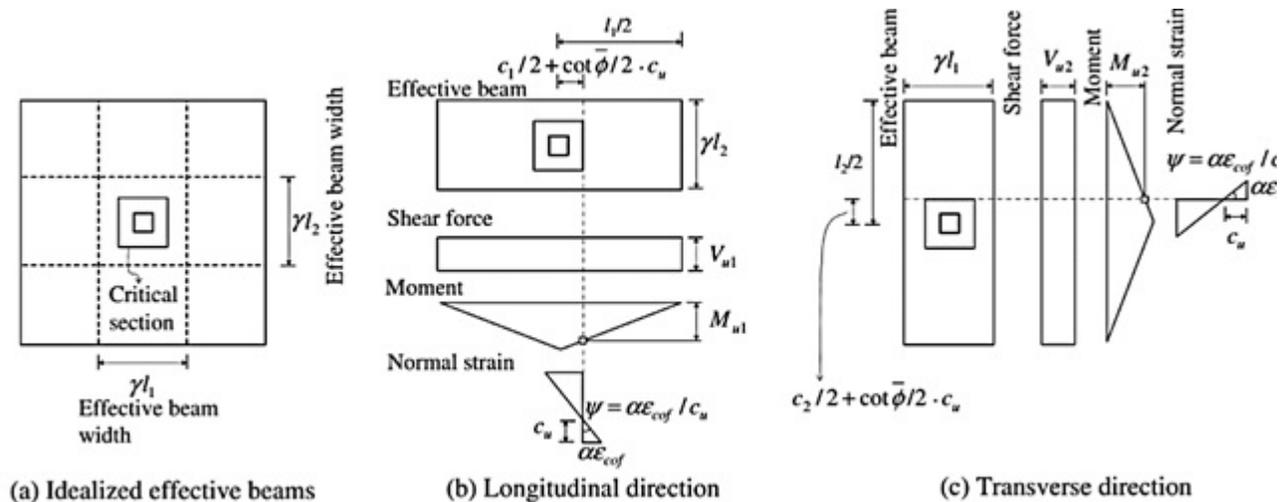


Figura 2.13: Modelo proposto por Fraser (1983). (CHOI et al., 2007).

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 porposto em Narayanan e Darwish (1987a).

A partir do modelo proposto pelo *JSCÉ*, 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).

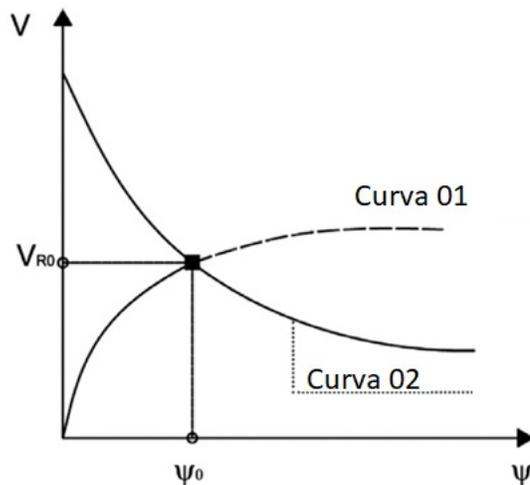


Figura 2.14: Curva esquemática de uma curva resistente e solicitante obtida pelo CSCT (adaptada). (MAYA et al., 2012)

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).

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

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

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

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.

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

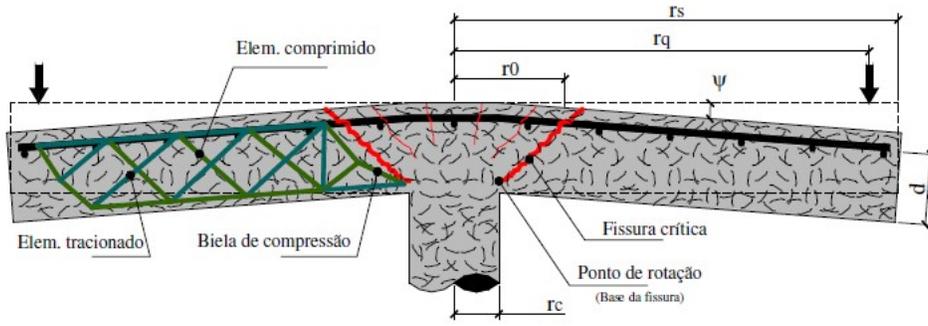


Figura 2.15: Parâmetros utilizados na Equação 2.4.41. (MORAES NETO, 2013)

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

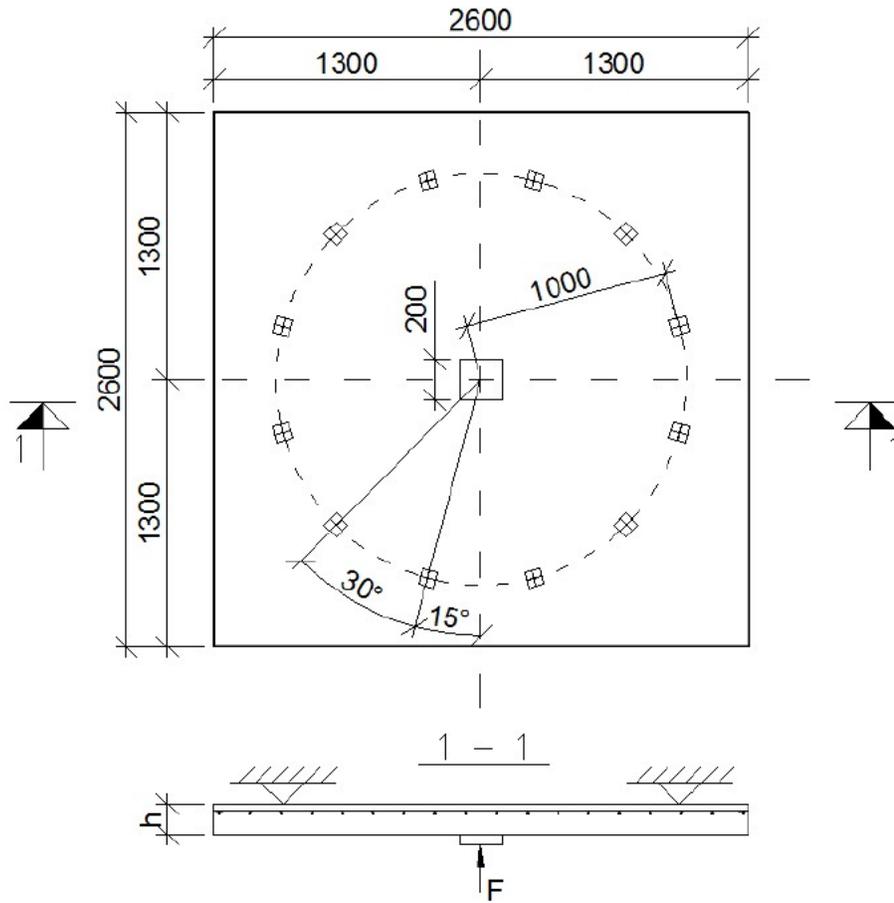


Figura 2.16: Modelo de laje Estudado por Barros et al. (2015) e modelado por Karv (2017). (KARV, 2017)

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 Laboratórios 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

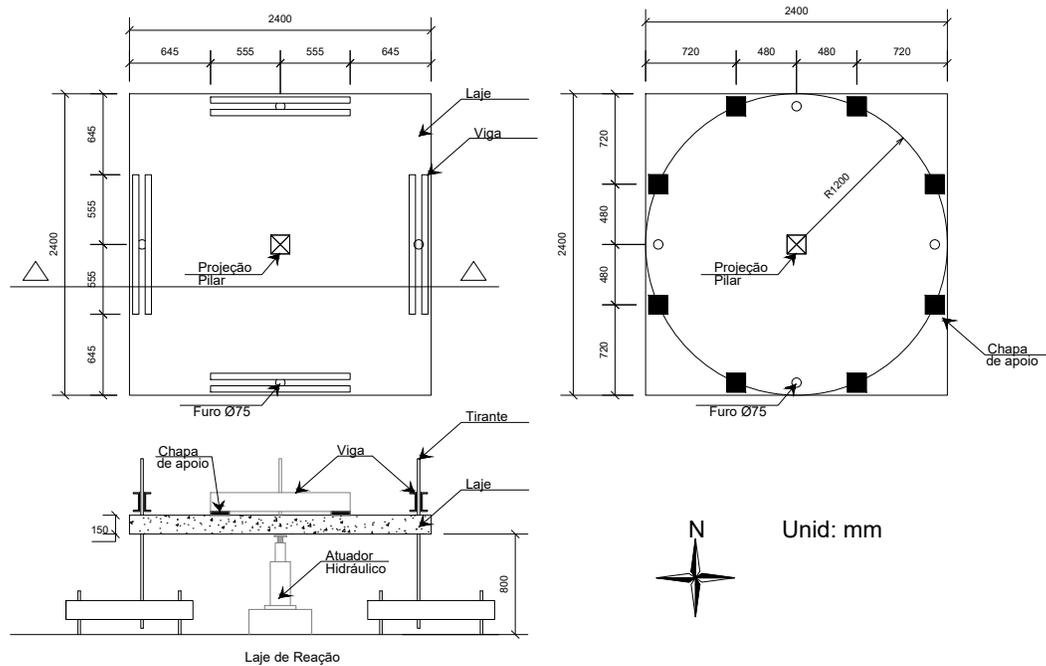


Figura 3.1: Representação do esquema do ensaio experimental.

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 $6,3\text{mm}$ 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-

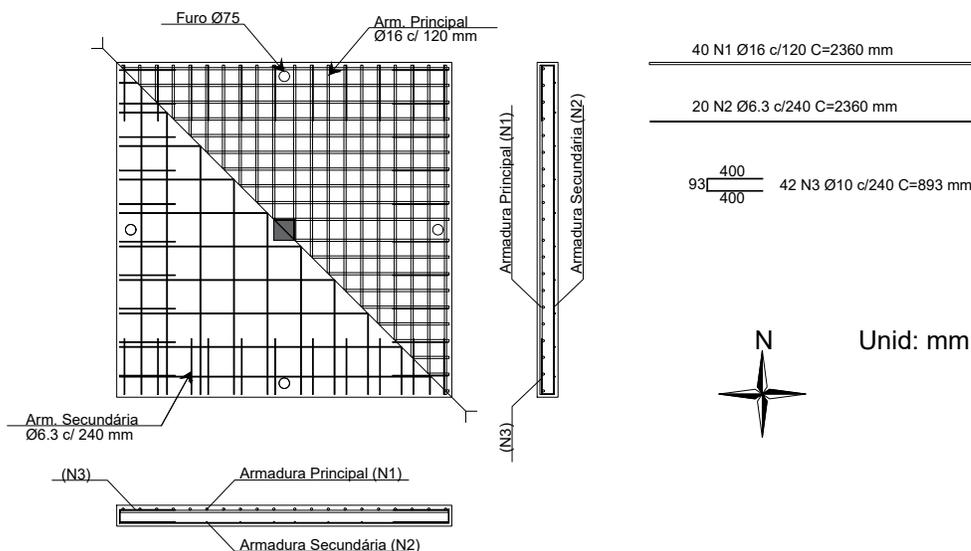


Figura 3.2: Armadura utilizada nos ensaios experimentais

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.

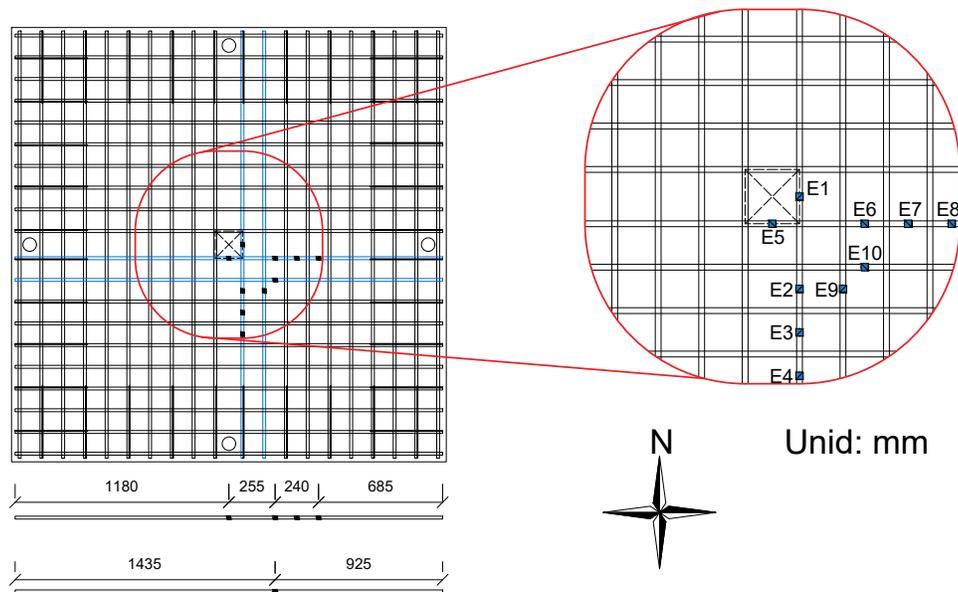


Figura 3.3: Posição dos extensômetros nas barras

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

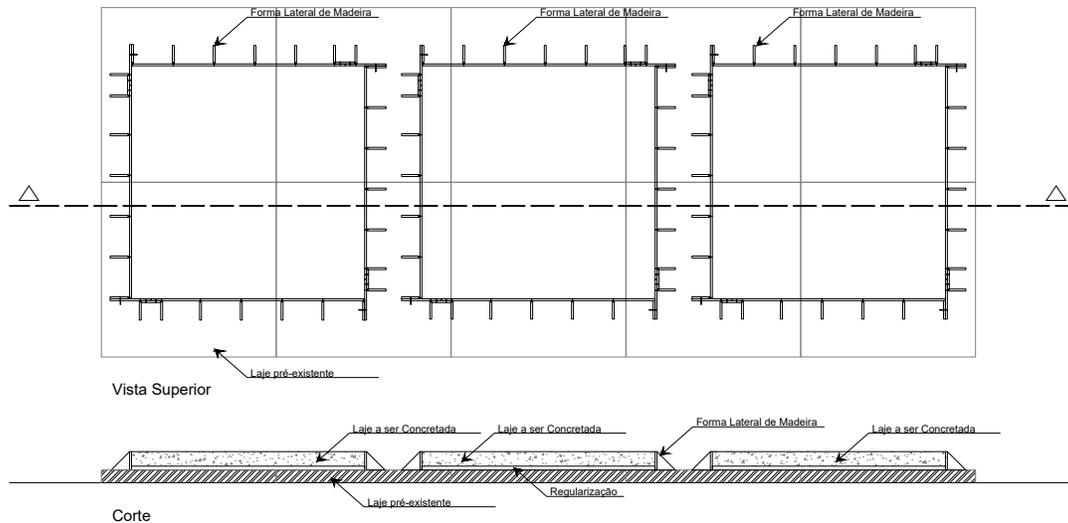


Figura 3.4: Posição dos extensômetros nas barras

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 (DIspacement 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

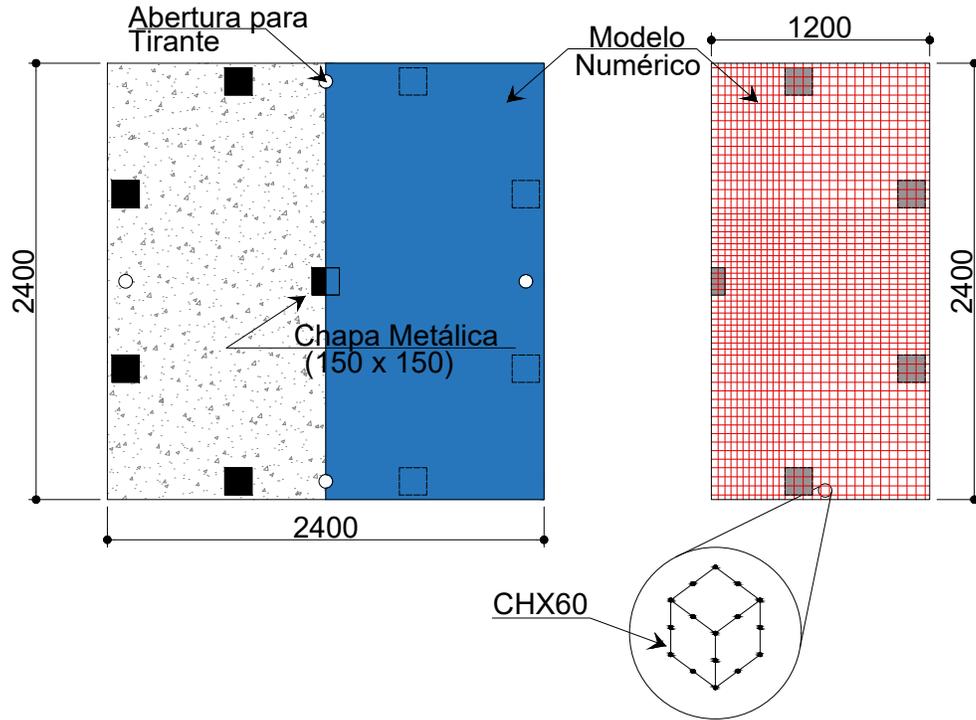


Figura 3.7: Representação do Modelo numérico na Laje estudado

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 modificação do estado de tensão do elemento finito. Essa opção permite considerar tensões de cisalhamento ($\sigma_n t$) 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.

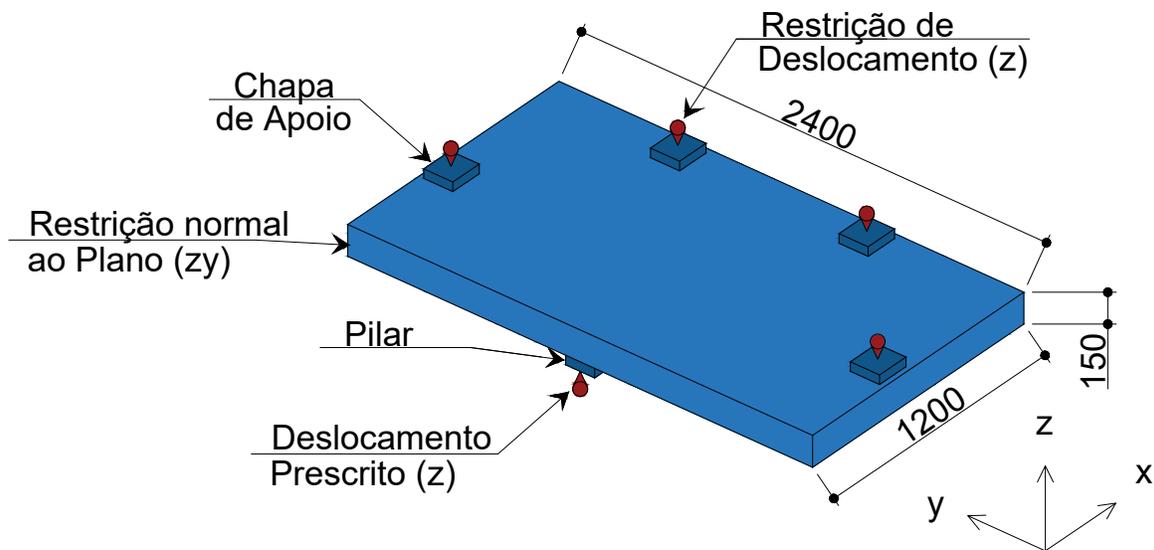


Figura 3.8: Modelo Numérico

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 $0,1mm$ 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.
- ALEXANDER, 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. Sfrc 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 sfrc 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 punçamento 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 hprfcc-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. Punçamento 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 - UFRSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PROPPG

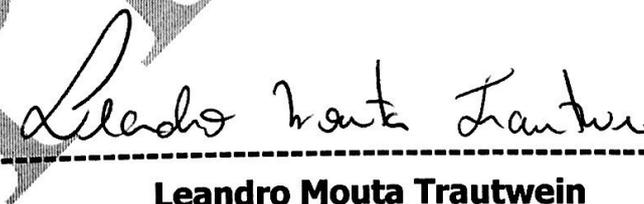
Av. Francisco Mota, 572 - C. Postal 137 - Bairro Pres. Costa e Silva - Mossoró - RN - CEP: 59.625-900 - Tel.: (84)3317-8296/8295 - E.mail: proppg@ufrsa.edu.br

(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 o número de registro acadêmico RA 190655, vem desempenhando, de forma satisfatória, as atividades propostas em seu projeto de tese. Até o presente, ele tem cursado 7 disciplinas neste programa, cumprindo assim a quantidade de créditos exigidas para o nível de doutorado, escreveu parte de sua fundamentação teórica, desenvolveu simulações numéricas para previsão do comportamento de estruturas de concreto armado, iniciou a confecção da primeira série de ensaios experimentais no laboratório de estruturas da UNICAMP. Na continuação, o aluno realizará os ensaios experimentais da primeira série, iniciará a confecção dos ensaios da segunda série, desenvolverá simulações numéricas dos ensaios realizados e finalizará o texto para o prestar o exame de qualificação.

Data: 15 de 08 de 2018



Leandro Mouta Trautwein
Professor Orientador - FEC/UNICAMP

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 656 de 22/05/2017			
Forma de Ingresso		Período de Ingresso	
Exame Seleção Pós-Graduação		2S/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.			

CÓDIGO DE AUTENTICAÇÃO

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

Código: 230da577218f763660219cc932ffbaedea0252db

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

DAC – Diretoria Acadêmica

Diretoria de Registro e Gerenciamento Acadêmico

Rua Sérgio Buarque de Holanda, 251 - Cidade Universitária - Barão Geraldo - Campinas/SP - 13083-970

www.dac.unicamp.br



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 nº 656 de 22/05/2017			
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
Orientador (es)			
Prof Doutor Leandro Mouta Trautwein			

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.

CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

Verifique a autenticidade deste documento na página <http://www.daconline.unicamp.br/ActionConsultaDiploma.asp>
Código: 5a6a29c714be4aeaf918cbecc91a663b6d7f2f12



Histórico Escolar

Nome	Registro Acadêmico
Leonardo Henrique Borges de Oliveira	190655

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 Isaías 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

Carga Horária	Total da Carga Horária Completada	Total da Carga Horária Supervisionada	Total de Créditos
	315	315	21

CÓDIGO DE AUTENTICIDADE

Verifique a autenticidade deste documento na página <http://www.daconline.unicamp.br/ActionConsultaDiploma.asp>
Código: 5a6a29c714be4aeaf918cbecc91a663b6d7f2f12



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 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.

Mossoró (RN), 15 de agosto de 2018.

Leonardo H. B. de Oliveira
Leonardo Henrique Borges de Oliveira
Requerente – SIAPE: 1044665

Samessa Sabade de Freitas
Nome da testemunha (Obrigatório)
CPF: 02357657596

Andréia Thomaz Jardim
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).



Serviço Público Federal



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
SISTEMA INTEGRADO DE PATRIMÔNIO, ADMINISTRAÇÃO E CONTRATOS



PROCESSO 23091.008020/2017-17

Cadastrado em 11/07/2017



Processo disponível para recebimento com código de barras/QR Code

Nome(s) do Interessado(s):

ADELSON MENEZES LIMA

E-mail:

adelsonmlima@ufersa.edu.br

Identificador:

3857693

Tipo do Processo:

AFASTAMENTO NO PAÍS (DOCENTE)

Assunto do Processo:

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

Assunto Detalhado:

O DOCENTE SOLICITA AFASTAMENTO NO PAÍS, CONFORME DOCUMENTAÇÃO ANEXA.

Unidade de Origem:

CAMPUS PAU DOS FERROS (11.01.36)

Criado Por:

JONAS FIRMINO FILHO

Observação:

-

Jonas Firmino Filho
UFERSA-Campus Pau dos Ferros
Secretário Executivo
Mat. SIAPE 2039095

MOVIMENTAÇÕES ASSOCIADAS

Data	Destino
11/07/2017	SECRETARIA, ARQUIVO E PROTOCOLO - PAU DOS FERROS (11.01.36.03)

Data Destino

UFERSA/PROGEPE/DAP
Inclusão/alteração realizada com sucesso na folha de pagamento.

11/07/2017

(Assinatura e Carimbo)

UFERSA

PROGEPE



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



CHECK-LIST

(Todos os documentos são obrigatórios)

Nome do solicitante: ADELSON MENEZES LIMA	
Tipo de afastamento:	
<input checked="" type="checkbox"/> Inicial <input type="checkbox"/> Renovação	
Solicitante:	
<input checked="" type="checkbox"/> Docente <input type="checkbox"/> Técnico administrativo	
Local de capacitação:	
<input checked="" type="checkbox"/> No País <input type="checkbox"/> No exterior	
Período de afastamento: 03/11/2017 a 25/07/2020	
Documentos Anexados – Processo Inicial:	
	Número da página
I – Formulário de requerimento do afastamento (Página da PROPPG)	002
II – Justificativa para o Afastamento (Anexo I - Página da PROPPG)	004/5
III – Plano de Trabalho, contendo o anteprojeto de pesquisa. (Anexo VIII - Página da PROPPG)	6 a 14
IV – Comprovante de aprovação/classificação ou matrícula no programa em que o(a) servidor(a) foi aprovado(a) (Anexo V - Página da PROPPG)	015
V – Plano de Qualificação e Formação Docente da sua unidade acadêmica de lotação	16 a 29
VI – Termo de Declaração e Compromisso (Anexo IIA ou IIB - Página da PROPPG)	030
VII – Declaração da Pró-Reitoria de Gestão de Pessoas – PROGEPE	031
VIII – Documentação que formalize a substituição do(a) interessado: <input type="checkbox"/> Termo de Compromisso dos docentes que assumirão as disciplinas <input checked="" type="checkbox"/> Utilização de vaga ou disponibilidade de professor substituto a ser contratado(a)	032
Documentos Anexados – Processo de Renovação:	
	Número da página
I – Formulário de requerimento de renovação do afastamento (Página da PROPPG)	
II – Justificativa de renovação, assinada também pelo orientador (Anexo I - Página da PROPPG)	
III – Relatório Semestral de Acompanhamento (Anexo IV - Página da PROPPG)	
IV – Documentação que formalize a substituição do(a) interessado: <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	
V – Declaração de Matrícula (Anexo V - Página da PROPPG)	
VI – Histórico Escolar – Atualizado (Anexo VII - Página da PROPPG)	



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 PARA TREINAMENTO DE DOCENTES E
TÉCNICO-ADMINISTRATIVOS EM NÍVEL DE PÓS-GRADUAÇÃO**

1. PREENCHIDO PELO REQUERENTE

Nome (completo sem abreviaturas): ADELSON MENEZES LIMA
Identidade: 1329383 **Órgão Emissor:** SSP **UF:** SE **Data de Emissão:** 07/01/2016
CPF: 993407985-20 **Data de Nascimento:** 19/04/1980 **Tel.:** **(84)** 999848966 e 999347717
E-mail: adelsonmlima@ufersa.edu.br **Departamento/Setor:** Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros
Categoria Funcional: Professor do Magistério Superior
Tipo de Afastamento: Curso de pós-graduação stricto sensu (Doutorado)
Tempo de Serviço Averbado para Aposentadoria: Ano(s): 2 **mês:** 10
Início do Exercício no Cargo: 29/08/2014 **(anexar Declaração do PRORH)**

2. PREENCHIDO PELO REQUERENTE

CURSO: Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Computação (PPGEEC)
Nível: Doutorado
Área de concentração: Telecomunicações
Prazo previsto para realização do curso: Início: 25/07/2016 **Término:** 25/07/2020
Instituição de realização do Curso: Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Cidade: Natal **Estado:** RN **País:** Brasil

ANEXAR (Obrigatório)

I – Justificativa de seu requerimento (Anexo I) - (Disponível na Página da PROPPG)

II – Plano de Estudo Detalhado (no caso de Especialização, Programa do Curso). (Anexo VIII - Disponível na Página da PROPPG)

III – Termo de Compromisso, devidamente preenchido e assinado com testemunhas. (Anexo IIA Docente) ou (Anexo IIB Técnico Administrativo) (Disponível na Página da PROPPG)

IV – Anexar Declaração de Início do Exercício no cargo emitido pela PRORH.

V – Anexar comprovante de matrícula ou de aprovação.

Data: 11/07/2017

Adelson Menezes Lima
Assinatura do requerente



3. PREENCHIDO PELO CENTRO/DEPARTAMENTO/SETOR

Justificativa para liberação do Requerente: (Anexo III) (Disponível na Página da PROPPG)

Data da Reunião: ___/___/___

Chefe do Centro/Setor

4. PARECERES

CPPTA (Técnico-Administrativo): (Anexo III) (Disponível na Página da PROPPG)

Data: ___/___/___

Presidente

CPPD (Docente): (Anexo III) (Disponível na Página da PROPPG)

Data: ___/___/___

Presidente

PROPPG (Docente e Técnico-Administrativo):

Data: ___/___/___

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

OBSERVAÇÃO:

*Dúvidas:
Ver resolução CONSUNI/UFERSA nº 009/2013, de 08 de novembro de 2013.*



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)

JUSTIFICATIVA PARA O AFASTAMENTO OU PARA RENOVAÇÃO DO AFASTAMENTO (Obrigatório)

Eu, Adelson Menezes Lima, portador do CPF nº 993.407.985-20 RG nº 1.329.383 SSP/SE, matrícula siape nº 3857693, professor no Curso de Engenharia Civil no Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, venho solicitar afastamento integral das minhas atividades no período de 03 de Novembro de 2017 a 25 de Julho de 2020 para realizar o curso de Doutorado em Engenharia Elétrica e Computação (PPGEEC) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

No segundo semestre de 2016, realizei a inscrição no EDITAL DE QUALIFICAÇÃO DOCENTE COM AFASTAMENTO ATRELADO À CONTRATAÇÃO DE PROFESSOR SUBSTITUTO (Ano 2017) e fui classificado obtendo a 3ª colocação.

Desde 2014.2 nesta instituição, tenho participado em atividades inerentes ao cargo de Professor de Magistério Superior, exercendo as seguintes atividades:

- Ministrei 15 turmas de graduação até o momento;
- Orientei 4 alunos de graduação e 1 coorientação;
- Participei como membro organizador das atividades de extensão na 1ª e 2ª Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão (SEPEC) no CMPF em 2015 e 2016;
- Participei como membro organizador do 1º Seminário de Engenharia Civil (1º SEC) em 2016;
- Participei como membro organizador do 1º e 2º Encontro de Computação do Oeste Potiguar (ECOP) em 2016 e 2017;
- Participei como Vice Coordenador do 1º Civil Solidário em 2017;
- Participo de dois grupos de pesquisa em parceria com outros professores;
- Participei do Comitê Municipal de Educação da cidade de Pau dos Ferros entre 2015 e 2017.

Em 2016.2 fui aprovado para Doutorado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e Computação (PPGEEC) na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, a qual estou até o momento como Servidor Estudante. Entre 2016.2 e 2017.1 cumpri os créditos das disciplinas obrigatórias. A partir de 2017.2 iniciarei a etapa de desenvolvimento da pesquisa, a qual me exigirá maior dedicação e empenho.

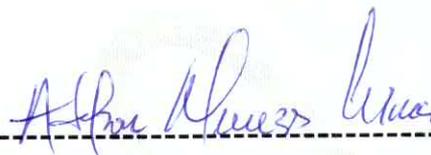
Diante do exposto, e considerando os benefícios para a instituição e para a carreira de docente e pesquisador, venho respeitosamente solicitar a apreciação do processo de afastamento. Contando com a compreensão de todos, prontifico-me a prestar quaisquer esclarecimentos que sejam necessários.



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: 11 de 07 de 2017



Assinatura do requerente

Obs. Se for renovação do afastamento deve ter também assinatura do Orientador.

Assinatura do Orientador

Dúvidas:
Ver resolução CONSUNI/UFERSA nº 009/2013, de 08 de novembro de 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GESTÃO DE PESSOAS – PROGEPE



PLANO DE ATIVIDADES

DADOS DO REQUERENTE:

Nome: Adelson Menezes Lima

Matrícula SIAPE: 3857693

Lotação: Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros (CMPF)

DADOS DO CURSO DE APERFEIÇOAMENTO/QUALIFICAÇÃO

Curso: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Cidade/Região: Natal/RN

Início: 2016/2

Término: 2020/1

Título da Tese: Análise e Desenvolvimento de Antenas de Microfita Miniaturizada com Utilização de estruturas EBG, PBG e Seus Substratos

Orientador: Dr. José Patrocínio da Silva



PLANO DE ATIVIDADES

Título da Tese: Análise e Desenvolvimento de Antenas de Microfita Miniaturizada com Utilização de estruturas EBG, PBG e Seus Substratos

OBJETIVOS

Esta tese tem o objetivo de analisar as características de antenas *patch* de microfita miniaturizadas com utilização de estruturas com EBG (*Electromagnetic Bandgap*) e PBG (*Photonic Band Gap*), para isto um estudo será desenvolvido para uma formulação matemática utilizando o Método da Linha de Transmissão Transversa - LTT [1-2]. Uma análise será feita nos campos do eletromagnetismo clássico, teoria dos supercondutores, eletrodinâmica e de propagação. Em seguida uma investigação das propriedades de radiação para variação de arranjos, sendo possível a fabricação das estruturas, a fim de validar os resultados. Por fim, serão construídos protótipos de antenas, a fim de obter resultados experimentais.

MOTIVAÇÃO

No mundo globalizado moderno, as telecomunicações assumiram um papel fundamental no uso de comunicação sem fio, com elas o avanço de novas tecnologias em microfita cada vez mais compacta e técnicas de miniaturização são empregadas. Com a utilização de substratos para compor o material dielétrico em aplicação de estruturas, associado a um cristal fotônico como substrato, está ligado ao desenvolvimento e aprimoramento de matérias ópticas. Os cristais fotônicos são caracterizados como uma classe dos materiais e por modulação periódica espacial do índice de refração. Neste contexto a aplicação de estruturas denominadas PBG (*Photonic Band Gap*) aplicadas na faixa de micro-ondas, proporciona vantagens consideráveis, onde a energia a ser irradiada pela antena é proibida para alguns modos de propagação, o que permite aplicações diversas [3-15].

A tecnologia no substrato de PBG tem um fator importante no desempenho da antena. De maneira geral, os cristais fotônicos são utilizados em micro-ondas para [16-27]:

- Supressão de modos indesejados de propagação;
- Supressão de ondas superficiais;



- Filtros;
- Polarizadores.

Assim, há a necessidade de se estudar técnicas de miniaturização com estruturas de substrato de metamateriais, desde a propagação de ondas eletromagnéticas, até a análise do comportamento dos parâmetros de radiação das antenas de microfita, visto que o metamaterial melhora o desempenho, dimensão e desempenho da estrutura.

APLICAÇÕES

Os materiais PBG possuem aplicações em estruturas unidimensionais proporcionando o aumento do ganho de antenas e circuitos impresso. Em estruturas bidimensionais pode conseguir este mesmo efeito em optoeletrônico, na eficiência dos LED's e laser's. Nas estruturas tridimensionais no uso de microestruturas ressoantes, possibilitando o aumento da banda passante (EBG)[28-37].

As características interessantes em sistemas de antenas são [38-43]:

- Antenas eletricamente pequenas;
- Superdiretividade;
- Arranjos superresolutivos;
- Antenas de alto ganho.

Nesse contexto, as antenas eletricamente pequenas que tem proximidades com antenas patch de microfita apresentam desempenhos nas dimensões do substrato e plano de terra, bem como alternativa viável em dispositivos sem fio, tema que está constantemente em pesquisa [43].

METODOLOGIA

A metodologia aplicada no desenvolvimento deste trabalho será dividida nas seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica sobre técnicas de miniaturização em antenas de microfita;



- Serão descritos os metamateriais, apresentando um estudo geral do índice de refração, permeabilidade, permissividade, tipos de metamateriais, estruturas, equacionamentos e curvas características;
- Modelagem matemática, partindo do estudo dos campos eletromagnéticos das estruturas de microfita utilizando o método LTT (Método da Linha de Transmissão Transversa);
- Implementação computacional validando o método LTT, analisando o desempenho do trabalho;
- Descrição dos resultados numéricos para a antena de microfita com substrato metamaterial EBG e PBG;

Publicação dos resultados durante o desenvolvimento dos resultados em congressos e revistas especializadas da área, em âmbito nacional e internacional.

RESULTADOS ESPERADOS

Os resultados esperados através de simuladores e experimentos verificarão o comportamento das antenas propostas e padrão, analisando perda de retorno, diretividade, ganho, largura de banda e densidade de corrente no elemento irradiador, como também da frequência de ressonância dos ressoadores retangulares de microfita com material EBG e PBG, através do método LTT (Linha de Transmissão Transversal).

CRONOGRAMA PREVISTO:

ATIVIDADES	2017	2018		2019		2020
	2	1	2	1	2	1
Disciplinas						
Fundamentação Teórica						
Exame de Qualificação						
Simulação e Confecção de Antenas em Microfita						
Análise de Resultados						
Publicação de Artigos						
Defesa de Tese						

REFERÊNCIAS:

- [1] H. C. C. Fernandes. “Estruturas Gerais em Guias de Onda Milimétricas: Linhas de Lâmina”. Tese de Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Campinas, SP, Brasil, dez. 1984.
- [2] H. C. C. Fernandes. “Método da Linha de Transmissão Transversa – LTT”, relatório técnico, Outubro, 1986.
- [3] Balanis, C. A. Antenna Theory – Analysis and Design. 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc. NY, EUA. 2005.
- [4] Balanis, C. A., Advanced Engineering Electromagnetic. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY. EUA. 1989.

- [5] Balanis, C. A., *Antenna Theory Analysis and Design*. John Wiley & Sons, EUA. 1997.
- [6] Yablonovitch E., *Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Electronics Phys. Rev. Lett.*, 58, 2059, 1987.
- [7] Yablonovitch, E.; Gmitter, T. J.; Leung, K. M. *Photonic band structure: The face-centered-cubic case employing nonspherical atoms. Physical Review Letters*, v. 67, p. 2295–2298, 1991.
- [8] J. E. J. Ferreira, J. E. B. Oliveira e L. A. Andrade. “Projeto, Fabricação, Testes e Resposta em Frequência de *Double Negative Metamaterials* em uma dimensão utilizando *Split-Ring Resonator* com Geometria Triangular Equilátera de Cobre em Dielétrico Teflon e Fibra de Vidro”. X simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa, ITA, São José dos Campos, SP, setembro 2008.
- [9] I.J. Bahl e P. Barthia, “*Microstrip Antennas*”, Artech House, 1982.
- [10] H. C. C. Fernandes e Clenilson B. Fonseca “*Phased Array Using PBG Structures*”, V Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo – CBMag 2002, Gramado-RS, Nov 2002.
- [11] H. C. C. Fernandes e Clenilson B. Fonseca, “*Microstrip Array with PBG Substrate*”, *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*.
- [12] H. D. Andrade: “Desenvolvimento de um Ressonador Retangular de Fenda com Múltiplas Camadas de Substrato e com utilização de Material PBG para Sistemas de Comunicação Sem Fio”, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 120 p, Set. 2013.
- [13] D. Felbacq and G. Bouchitté, “Homogenization of a set parallel fibers”, *Waves Random Media* 7, 245-255, 1997.
- [14] H. C. C. Fernandes: “Estruturas planares gerais em guias de onda milimétricas: Linhas de Lâmina”, Tese de Doutorado, FEC, UNICAMP, Campinas-SP, 197 p, Jul. 1984.
- [15] L. C. M. Oliveira, “Aplicações de Estruturas PBG em Dispositivos Planares de Microondas -Linhas e Antenas- em Substratos Dielétricos e Semicondutores: Desenvolvimento de Tecnologia e Caracterização”, Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas. Set. 2001.
- [16] J. D. Joannopoulos, R.D. Meade e J. N. Winn, “*Photonic crystals: molding the flow of light*”, 1ª Edição, Princeton Univ. Press, 1995.
- [17] S. G. Johnson, e J. D. Joannopoulos, “*Introduction to photonic crystals: Bloch’s theorem, band diagrams, and gaps (but no defects)*”, MIT, 2003.
- [18] E. Yablonovitch e T. J. Gmitter: “*Photonic band structure: the face-centered-cubic case*”, *Journal of the Optical Society of America A*, p. 1792 Set. de 1990.



- [19] E. Centeno and D. Felbacq, "Rigorous vector diffraction of electromagnetic waves by bidimensional photonic crystals", J. Optical Soc. American A/Vol. 17, No.2, pp.320-327, Fev. 2000.
- [20] E.Yablonovitch, "Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics," Phys.Rev. Lett., vol. 58, 2059–63, 1987.
- [21] D. M. Pozar, "Microwave Engineering", John Wiley & Sons, 1998.
- [22] A. M. C. da Silva, "Aplicações de Dispositivos de Microondas Utilizando Substrato EBG/PBG Para Comunicações Móveis" Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN. Set. 2011.
- [23] Vikrant and R. Khanna, "A Comparison in the Performance of Microstrip Patch Antenna with and without EBG Substrate and Superstrate". IEEE Third International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies. pp. 146-150, IEEE, 2013
- [24] S. Yadav, J. Gautam and M. Rai, "Design of Dual Band Sawtooth Patch Antenna Using PBG Structure", 2nd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), pp. 625-629, 2015
- [25] J. Y. Lee, S. H. Kim, and J. H. Jang, "Reduction of Mutual Coupling in Planar Multiple Antenna by Using 1-D EBG and SRR Structures", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 63, No. 9, pp. 4194 - 4198, September 2015.
- [26] M. U. Afzal and K. P. Esselle, "Comparative Study and Analysis of High Permittivity and Low Permittivity Continuous Phase Correcting Structures for EBG Resonator Antennas", International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), pp. 1 – 4, 2015.
- [27] M. Hosseini, David M. Klymyshyn, G. Wells and X. Liu, "Short and Open Circuited EBG Resonator Antennas: Miniaturization With a Shorting Plate and Dielectric Loading", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, volume. 63, pp. 4305 – 4314, No. 10, October 2015
- [28] H. N. B. Phuong, H. V. Phi, N. K. Kiem, D. N. Dinh, T. M. Tuan, D. N. Chien, "Design of compact EBG Structure for Array Antenna Application", International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), pp. 178 – 182, 2015.
- [29] M. Elayachi, P. Brachat and J. M. Ribero, "Novel EBG Structure for Antenna Miniaturization", The Second European Conference Antennas and Propagation, EuCAP, pp. 1 – 4, 2007.

- [30] Y. Yamashita, Y. Toyota, K. Lokibe, K. Kondo, S. Yoshida and T. Kaneko, "Miniaturization of a Planar EBG Structure Using Interdigital Electrodes" , Electrical Design of Advanced Packaging and Systems Symposium (EDAPS), pp. 39 – 42, 2015
- [31] S. Pflaum, L. Lizzi, P. L. Thuc, G. Kossiavas and R. Staraj," Exploitation of the UC-PBG Structure as Ground Plane to Enhance Microstrip Antenna Bandwidth", Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), pp. 442 – 443, 2014.
- [32] D. Zhang, T. Jiang and Y. Kong, "A Novel Compact EBG Structure for Multi-Band Wireless Communication", 10th International Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2014), pp. 772 – 774, V. 4, 2014
- [33] Q. Li, A. P. Feresidis, M. Mavridou and P. S. Hall, "Miniaturized Double-Layer EBG Structures for Broadband Mutual Coupling Reduction Between UWB Monopoles, IEEE Transactions On Antennas and Propagation, Vol. 63, No. 3, March 2015
- [34] S. Ghosh; T. N. Tran; T. L. Ngoc, "Dual-Layer EBG-Based Miniaturized Multi-Element Antenna for MIMO Systems", IEEE Transactions On Antennas and Propagation, Vol. 62, No. 8, August 2014.
- [35] M. Hosseini, D. M. Klymyshyn, and G. Wells, "A Circuit Model for the Design of Self-Excited EBG Resonator Antennas With Miniaturized Unit Cells", IEEE Antennas and Wireles Propagation Letters, Vol.13, 2014
- [36] B. M. Iravani and O. M. Ramahi, "Wideband circuit model for planar EBG structures," IEEE Trans. Adv. Packag.,vol.33,no.1, pp.169–179, Feb. 2010.
- [37] D. Nestic, "Microstrip Attenuator on Silicon Substrate with a Compact EBG (or PBG) Cell", TELSIKS 2005 - 2005 uth International Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, Vol. 2, pp. 443 – 444, 2005.
- [38] H. C. C Fernandes, Andrade, H. D. e A. M. C. Silva, "Electromagnetic Devices Applications EBG for Systems Communications", Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, Springer, NY, USA, manuscript number, #JOSC-2095, pp. 1805-1810, ISBN 1557-1939, Qualis B2. Vol.26, N. 5. Maio, 2013.
- [39] Andrade, H.D, H. C. C. Fernandes. "Numerical Analysis to Four Layers Slot Antenna with PBG". In: META2012, 3th International Conference on Metamaterials, Photonic Cristals and Plasmonics. França, Paris: META'12. .2012
- [40] L. C. Kretly, and A. Tavora, "A PBG-Photonic Band Gap-Static Phase-Shifter for Steerable Antenna Array," Int. Microwave and Optoelectronics Conf., Brazil, 2003.
- [41] S. Ghosh, T. N. Tran, T. L. Ngoc, "A Dual-layer EBG-Based Miniaturized Patch Multi-Antenna Structure", IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), pp. 1828 – 1831, 2011.



[42] C.C. Chiau, X. Chen and C. Parini, "Multiperiod EBG structure for wide stopband circuits", IEEE Proceeding on Microwave, Antenna and Propagation, vol. 150, Issue 6, pp. 489-492, 2003

[43] M.C A. José, "Estudo de Antenas Patches de Microfita Miniaturizadas em Banda Larga para Aplicação em Dispositivos Móveis e Portáteis" Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN. Set. 2011.

CONFIDENTIAL



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

CNPJ: 24.365.710/0001-83
Campus Universitário BR-101 - Lagoa Nova - Natal/RN - CEP 59078-900
(084) 3215-3180 - Fax: (084) 3215-3192 - e-mail: ppg@reitoria.ufrn.br



DECLARAÇÃO

Declaramos, para os fins a que se fizerem necessários, que **ADELSON MENEZES LIMA** é aluno(a) REGULAR vinculado(a) a esta universidade, sob o número **20161022896**, no programa de **DOUTORADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO - DOUTORADO - NATAL**.

Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em Natal, 27 de Junho de 2017.

Código de verificação:
4d4b2af953

Para verificar a autenticidade deste documento acesse <http://www.sigaa.ufrn.br/documentos/>, informando a matrícula, data de emissão do documento e o código de verificação.

ATENÇÃO

ESTE DOCUMENTO NÃO É VÁLIDO PARA FINS DE SOLICITAÇÃO DE VAGA EM OUTRA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR. CASO SEJA NECESSÁRIO TAL DOCUMENTO, É NECESSÁRIO COMPARECER AO DAE.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA

Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros – CMPF

PLANO ANUAL DE QUALIFICAÇÃO E FORMAÇÃO DOCENTE 2017
DO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS

Pau dos Ferros – RN 2017



Sumário

1. HISTÓRICO.....	3
1.1 CRIAÇÃO E SITUAÇÃO ATUAL DA UFERSA <i>CAMPUS</i> PAU DOS FERROS.....	3
2. DETALHAMENTO DA SITAÇÃO DOCENTE NO <i>CAMPUS</i> DE PAU DOS FERROS.....	6
2.1 DOCENTES EM REGIME DE AFASTAMENTO PARCIAL – SERVIDOR ESTUDANTE.....	7
2.2 DOCENTES EM REGIME DE AFASTAMENTO INTEGRAL – COM SUBSTITUTOS.....	10
2.3 DOCENTES EM REGIME DE AFASTAMENTO INTEGRAL – COM ANUÊNCIA DE PARES.....	11
2.4 DOCENTES QUE PLEITEIAM AFASTAMENTO INTEGRAL EM 2017 COM SUBSTITUTO.....	12
2.5 DOCENTES QUE PLEITEIAM UMA PÓS-GRADUAÇÃO EM 2017.....	103
2.6 DOCENTES QUE PARTICIPARAM DO EDITAL INTERNO DE QUALIFICAÇÃO CONDICIONADO À CONTRATAÇÃO DE PROFESSOR SUBSTITUTO.....	13
3. QUALIFICAÇÃO DO CORPO DOCENTE EM 2017.....	14



1. HISTÓRICO

A Resolução CONSUNI/UFERSA N° 009/2013, de 08 de novembro de 2013, tem por objetivo regulamentar as normas para qualificação do corpo docente da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA em cursos de pós-graduação *stricto sensu* no Brasil e no exterior, com ou sem afastamento, na forma estabelecida pela legislação em vigor. Nesse sentido, a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – PROPPG, em conformidade com o Artigo 2° da resolução supracitada, solicitou a cada Unidade Acadêmica a entrega do Plano Anual de Qualificação e Formação Docente, vigência 2017, até o dia 10 fevereiro de 2017.

1.1 CRIAÇÃO E SITUAÇÃO ATUAL DA UFERSA CAMPUS PAU DOS FERROS

Graças à adesão da UFERSA (DECISÃO CONSUNI/UFERSA N° 046, de 25 de outubro de 2007) ao Plano de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), que é uma das ações do Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE) para proporcionar às Universidades Federais condições necessárias para a ampliação do acesso e permanência dos alunos no ensino superior; e considerando a necessidade de promover a interiorização da educação superior pública federal no Estado do Rio Grande do Norte como fonte propulsora do desenvolvimento econômico sustentável com inclusão social, a UFERSA solicitou ao MEC a implantação do *Campus* Pau dos Ferros. Assim, aos 18 de abril de 2012, foi pactuada, junto ao Ministério da Educação, a criação da UFERSA *Campus* Pau dos Ferros, na Secretaria de Educação Superior, em Brasília. O *Campus* fora pactuado inicialmente para contar com um total de (72) setenta e dois docentes até o ano de 2016 para implantação e consolidação desta Unidade Acadêmica.

A UFERSA *Campus* Pau dos Ferros conta hoje com (65) sessenta e cinco docentes lotados em seu quadro, onde a maioria desses são professores com o título de Doutor (Ver Tabela 1 abaixo). O intuito desta unidade é capacitar seu quadro docente para que possa ser implantada uma base sólida em pesquisa com o intuito de consolidar o *Campus* e torná-lo uma referência na região semiárida brasileira, em especial a região do Alto Oeste Potiguar.

Tabela 1: Quadro docente atual da UFERSA *Campus* Pau dos Ferros

Nome	Categoria	Titulação
ADELSON MENEZES LIMA	Docente	Mestrado
ADLA KELLEN DIONISIO SOUSA DE OLIVEIRA	Docente	Mestrado
ADLLER DE OLIVEIRA GUIMARAES	Docente	Doutor
ADRIANO DAVID MONTEIRO DE BARROS	Professor Substituto	Mestrado
ALEX PINHEIRO FEITOSA	Docente	Mestrado
ALEXSANDRO PEREIRA LIMA	Docente	Doutorado
ALISSON GADELHA DE MEDEIROS	Docente	Mestrado
ALMIR MARIANO DE SOUSA JUNIOR	Docente	Doutor
ALVARO ALVARES DE CARVALHO CESAR SOBRINHO	Docente	Doutorado
ANDRE LUIZ SENA DA ROCHA	Docente	Mestrado
ANTONIO CARLOS LEITE BARBOSA	Docente	Mestrado
ANTONIO DIEGO SILVA FARIAS	Docente	Mestrado
BRUNO FONTES DE SOUSA	Docente	Mestrado
CLAUDIO ANDRES CALLEJAS OLGUIN	Docente	Doutorado
CLAUDIO DE SOUZA ROCHA	Docente	Mestrado
CLAWSIO ROGERIO CRUZ DE SOUSA	Docente	Doutorado
CLECIDA MARIA BEZERRA BESSA	Docente	Doutorado
DANIEL PAULO DE ANDRADE SILVA	Docente	Mestrado
EDER LEONARDO DO REGO NASCIMENTO	Professor Substituto	Ensino Superior



EDUARDO RAIMUNDO DIAS NUNES	Docente	Doutorado
ERNANO ARRAIS JUNIOR	Docente	Doutorado
EUDES LEITE DE LIMA	Docente	Mestrado
FERNANDO HENRIQUE FERNANDES	Professor Substituto	Ensino Superior
FRANCISCO CARLOS GURGEL DA SILVA SEGUNDO	Docente	Mestrado
FRANCISCO DE OLIVEIRA MESQUITA	Professor Substituto	Mestrado
FRANCISCO ERNANDES MATOS COSTA	Docente	Doutorado
FRANCISCO LEONARDO COSTA	Professor Substituto	Mestrado
GABRIELA VALONES RODRIGUES DE ARAUJO	Docente	Mestrado
GLAUBER BARRETO LUNA	Docente	Mestrado
GLAYDSON FRANCISCO BARROS DE OLIVEIRA	Docente	Doutorado
HELDER FERNANDO DE ARAUJO OLIVEIRA	Docente	Doutorado
HIDALYN THEODORY CLEMENTE MATTOS DE SOUZA	Docente	Doutorado
ISABELLY CHRISTINY MONTEIRO DE SOUZA PINTO	Professor Substituto	Ensino Superior
JANAINA CORTEZ DE OLIVEIRA	Docente	Doutorado
JOEL MEDEIROS BEZERRA	Docente	Doutorado
JORGE LUIS DE OLIVEIRA PINTO FILHO	Docente	Doutorado
JOSÉ DANIEL JALES SILVA	Docente	Mestrado
JOSE FERDINANDY SILVA CHAGAS	Docente	Mestrado
JOSE FLAVIO TIMOTEO JUNIOR	Docente	Doutorado
JOSENILDO FERREIRA GALDINO	Docente	Mestrado
JOSÉ WAGNER CAVALCANTI SILVA	Docente	Mestrado
JOSY ELIZIANE TORRES RAMOS	Docente	Doutorado
KYTERIA SABINA LOPES DE FIGUEREDO	Docente	Doutorado
LAURO CESAR BEZERRA NOGUEIRA	Docente	Doutorado
LAYSA MABEL DE OLIVEIRA FONTES	Docente	Mestrado
LENARDO CHAVES E SILVA	Docente	Doutorado



LEONARDO HENRIQUE BORGES DE OLIVEIRA	Docente	Mestrado
LINO MARTINS DE HOLANDA JUNIOR	Docente	Doutorado
MARCO DIEGO AURELIO MESQUITA	Docente	Mestrado
MARCOS VINICIUS DE MENDONCA FERREIRA	Professor Substituto	Ensino Superior
MARIA VANICE LACERDA DE MELO BARBOSA	Docente	Doutorado
MARILIA CAVALCANTI SANTIAGO	Docente	Mestrado
MATHEUS FERNANDES DE ARAUJO SILVA	Docente	Mestrado
MONICA PAULA DE SOUSA	Docente	Mestrado
NATHALEE CAVALCANTI DE ALMEIDA LIMA	Docente	Doutorado
OTAVIO PAULINO LAVOR	Docente	Doutorado
PATRICK CESAR ALVES TERREMATTE	Docente	Mestrado
PAULO GUSTAVO DA SILVA	Docente	Mestrado
PAULO HENRIQUE ARAUJO BEZERRA	Docente	Mestrado
RAFAELA SANTANA BALBI	Docente	Mestrado
RICARDO PAULO FONSECA MELO	Docente	Doutorado
RODRIGO SOARES SEMENTE	Docente	Doutorado
ROGERIO DE JESUS SANTOS	Docente	Mestrado
SANDERLIR SILVA DIAS	Docente	Doutorado
SHIRLENE KELLY SANTOS CARMO	Docente	Doutorado
THATYARA FREIRE DE SOUZA	Docente	Doutorado
THIAGO PEREIRA RIQUE	Docente	Mestrado
TRICIA CAROLINE DA SILVA SANTANA RAMALHO	Docente	Doutorado
VERONICA MARIA LIMA SILVA	Docente	Mestrado
VINICIUS SAMUEL VALERIO DE SOUZA	Docente	Doutorado
WESLEY DE OLIVEIRA SANTOS	Docente	Doutorado
WILDOBERTO BATISTA GURGEL	Docente	Doutorado

2. DETALHAMENTO DA SITUAÇÃO DOCENTE NO CAMPUS PAU DOS FERROS



Como a UFRSA *Campus* Pau dos Ferros é o mais recente Centro Acadêmico da UFRSA, encontramos aqui situações das mais diversas no que tange à qualificação do seu corpo docente. Um dos principais objetivos, com vistas à consolidação desta unidade, é a homogeneização desse quadro possibilitando que todos os docentes que não tenham ainda o título de Doutor, possam obtê-lo. Nesse sentido, apresentaremos um detalhamento do quadro docente atual deste *Campus*, mostrando primeiramente os docentes que já fazem parte de algum programa de Pós-Graduação e que estão em regime de servidor estudante. Em seguida, os docentes que estão afastados em regime integral com e sem substituto, respectivamente. Posteriormente, apresentaremos uma lista de docentes que já fazem parte de algum programa de Pós-Graduação e que pleiteiam o afastamento integral condicionado à contratação de Professor substituto. Subsequentemente, os que objetivam participar do processo de seleção de algum programa de Pós-Graduação (no país ou no exterior). Por fim, os docentes que participaram do edital interno de ranqueamento para a qualificação docente condicionado à contratação de professor substituto.

2.1 DOCENTES EM REGIME DE AFASTAMENTO PARCIAL – SERVIDOR ESTUDANTE

É uma realidade muito comum em nossa instituição que muitos servidores docentes já entram na universidade fazendo parte de algum Programa de Pós-Graduação em outra instituição ou mesmo na própria UFRSA. Com o objetivo de fazermos um levantamento do quantitativo de servidores que se encontram nessa situação e, ao mesmo tempo, legalizá-las à luz da legislação vigente, apresentaremos um quadro com os docentes lotados na UFRSA *Campus* Pau dos Ferros que já participam de algum Programa de Pós-Graduação no país, sem afastamento, como disposto no Artigo 14 da Resolução CONSUNI/UFERSA N° 009/2013, de 08 de novembro de 2013, na qualidade de Servidor Estudante.

São eles:



Nome: **Antonio Carlos Leite Barbosa**

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Programa: Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo
Início do doutorado: Fevereiro/2015
Previsão para a conclusão: Julho/2018
Período do afastamento Parcial: Fevereiro/2015 a Julho/2018

Nome: **Antonio Diego Silva Farias**

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Programa: Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Computação
Início do doutorado: Fevereiro/2015
Previsão para a conclusão: Fevereiro/2019
Período do afastamento Parcial: Fevereiro/2016 a Fevereiro/2019
Observação: No período de Fevereiro/2015 a Fevereiro/2016 o docente encontrava-se em regime de afastamento integral.

Nome: **Daniel Paulo de Andrade Silva**

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Programa: Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo
Início do doutorado: Fevereiro/2015
Previsão para a conclusão: Fevereiro/2019
Período do afastamento Parcial: Dezembro/2015 a Fevereiro/2019

Nome: **Rafaela Santana Balbi**

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Programa: Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo
Início do doutorado: Fevereiro/2014
Previsão para a conclusão: Fevereiro/2018
Período do afastamento Parcial: Dezembro/2015 a Fevereiro/2018

Nome: **Gabriela Valones Rodrigues de Araújo**



Instituição: Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Programa: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
Início do doutorado: Fevereiro/2016
Previsão para a conclusão: Fevereiro/2020
Período do afastamento Parcial: Agosto/2016 a Fevereiro/2020

Nome: **Glauber Barreto Luna**

Instituição: Universidade Federal de Ceará – UFC
Programa: Programa de Pós-graduação em Sociologia
Início do doutorado: Fevereiro/2017
Previsão para a conclusão: Fevereiro/2021
Período do afastamento Parcial: Fevereiro/2016 a Fevereiro/2021

Nome: **Mathews Fernandes de Araújo Silva**

Instituição: Universidade de São Paulo – USP
Programa: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
Início do doutorado: Fevereiro/2013
Previsão para a conclusão: Agosto/2017
Período do afastamento Parcial: Outubro/2016 a Agosto/2017

Nome: **Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo**

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Programa: Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e de
Computação
Início do doutorado: Fevereiro/2014
Previsão para a conclusão: Fevereiro/2018
Período do afastamento Parcial: Novembro/2014 a Fevereiro/2018

Nome: **Alisson Gadelha de Medeiros**

Instituição: Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA
Programa: Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água
Início do doutorado: Março/2017
Previsão para a conclusão: Março/2021
Período do afastamento Parcial: Março/2017 a Março/2021



Nome: **Verônica Maria Lima Silva**

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Programa: Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo
Início do doutorado: Fevereiro/2015
Previsão para a conclusão: Fevereiro/2019
Período do afastamento Parcial: Dezembro/2015 a Fevereiro/2019

2.2 DOCENTES EM REGIME DE AFASTAMENTO INTEGRAL – COM SUBSTITUTO

Nome: **André Luiz Sena da Rocha**

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Programa: Programa de Pós-graduação em Administração
Início do doutorado: Março/2015
Previsão para a conclusão: Fevereiro/2019
Período do afastamento: Março/2015 a Março/2019

Professor Substituto: **Elaine Welk Lopes Pereira Nunes**

Nome: **Eudes Leite de Lima**

Instituição: Universidade Federal da Paraíba – UFPB
Programa: Programa de Pós-graduação em Matemática
Início do doutorado: Março/2015
Previsão para a conclusão: Março/2019
Período do afastamento: Março/2015 a Março/2019

Professor Substituto: **Francisco Leonardo Costa**

Nome: **Josenildo Ferreira Galdino**

Instituição: Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Programa: Programa de Pós-graduação em Meteorologia
Início do doutorado: Fevereiro/2016
Previsão para a conclusão: Fevereiro/2020
Período do afastamento: Abril/2016 a Fevereiro/2020



Professor Substituto: **Fernando Henrique Fernandes**

Nome: **Leonardo Henrique Borges de Oliveira**

Instituição: Universidade de Campinas – UNICAMP

Programa: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Início do doutorado: Agosto/2016

Previsão para a conclusão: Agosto/2020

Período do afastamento: Dezembro/2016 a Dezembro/2020

Professor Substituto: **Isabelly Christiny Monteiro de Souza**

Nome: **Paulo Gustavo da Silva**

Instituição: Pontifícia Universidade Católica – PUC

Programa: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Início do doutorado: Fevereiro/2015

Previsão para a conclusão: Fevereiro/2019

Período do afastamento: Fevereiro/2015 a Fevereiro/2019

Professor Substituto: **Adriano David Monteiro de Barros**

Nome: **Paulo Henrique Araújo Bezerra**

Instituição: Pontifícia Universidade Católica – UFRN

Programa: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Início do doutorado: Fevereiro/2015

Previsão para a conclusão: Fevereiro/2019

Período do afastamento: Julho/2016 a Julho/2019

Professor Substituto: **Éder Leonardo do Rego Nascimento**

2.3 DOCENTES EM REGIME DE AFASTAMENTO INTEGRAL – COM ANUÊNCIA DE PARES

Nome: **Claudio de Souza Rocha**

Instituição: Universidade Federal da Bahia – UFBA



Programa: Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências

Início do doutorado: Março/2015

Previsão para a conclusão: Março/2019

Período do afastamento: Março/2015 a Fevereiro/2017

Nome: **Laysa Mabel de Oliveira Fontes**

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Programa: Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Início do doutorado: Março/2013

Previsão para a conclusão: Março/2017

Período do afastamento: Março/2015 a Março/2017

2.4 DOCENTES QUE PLEITEIAM AFASTAMENTO INTEGRAL EM 2017 – COM SUBSTITUTO

Na tabela 2 apresentamos a lista de docentes que já estão em algum programa de pós-graduação e que pleiteiam afastamento integral em 2017, condicionado à contratação de professor substituto.

Tabela 2: Lista de docentes da UFRSA *Campus* Pau dos Ferros que pleiteiam afastamento integral em 2017 com Substituto

DOCENTE	PREVISÃO DE DEFESA
Antonio Carlos Leite Barbosa	Julho/2018
Adla Kellen Dionisio Sousa de Oliveira	Fevereiro/2021
Adelson Menezes de Lima	Agosto/2020
Verônica Maria Lima Silva	Fevereiro/2019
Alisson Gadelha de Medeiros	Março/2021

Dentre os docentes listados na tabela 2 dois já deram entrada ao processo de afastamento integral. São elas:

Tabela 3: Lista de docentes da UFRSA *Campus* Pau dos Ferros que estão em processo de afastamento integral em 2017

DOCENTE	STATUS DO PROCESSO
Adla Kellen Dionisio Sousa de Oliveira	Aprovado no colegiado do Centro



Verônica Maria Lima Silva	Aprovado no colegiado do Centro
---------------------------	---------------------------------

2.5 DOCENTES QUE PLEITEIAM ENTRAR EM UM PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM 2017

Na tabela 4 mostramos a lista de docentes que pleiteiam participar de processo de seleção de doutorado em 2017.

Tabela 4: Lista de docentes da UFRSA *Campus* Pau dos Ferros que estão em processo de afastamento integral em 2017

DOCENTE	ÁREA	NÍVEL
Bruno Fontes de Sousa	Matemática	Doutorado
José Daniel Jales Silva	Engenharia Civil	Doutorado
José Wagner Cavalcanti Silva	Física	Doutorado
Mônica Paula de Sousa	Matemática	Doutorado
Patrick Cesar Alves Terrematte	Computação	Doutorado
Thiago Pereira Rique	Computação	Doutorado

É importante ressaltar que alguns dos docentes listados na tabela 4, uma vez aprovados em algum programa de pós-graduação, também poderão vir a solicitar processo de afastamento em regime integral.

2.6 DOCENTES QUE PARTICIPARAM DO EDITAL INTERNO DE QUALIFICAÇÃO CONDICIONADO À CONTRATAÇÃO DE PROFESSOR SUBSTITUTO

Finalmente, apresentamos a lista de docentes da UFRSA *Campus* Pau dos Ferros que participaram do Edital interno para Qualificação Docente Condicionado à Contratação de Professor Substituto – Ano 2017 e foram ranqueados em ordem decrescente conforme a tabela 5.

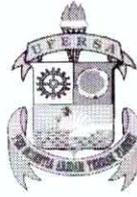


Tabela 5: Lista de docentes da UFERSA *Campus* Pau dos Ferros que participaram do Edital interno para Qualificação Docente Condicionado à Contratação de Professor Substituto – Ano 2017

DOCENTE	ESTUDANTE DE PÓS-GRADUAÇÃO	INSTITUIÇÃO
Antonio Carlos Leite Barbosa	SIM	UFRN
Adla Kellen Dionisio Sousa de Oliveira	SIM	UNICAMP
Adelson Menezes de Lima	SIM	UFRN
Verônica Maria Lima Silva	SIM	UFCG
Alisson Gadelha de Medeiros	SIM	UFERSA
Mônica Paula de Sousa	NÃO	-
Patrick Cesar Alves Terrematte	NÃO	-
Claudio de Souza Rocha	SIM	UFBA
José Daniel Jales Silva	NÃO	-
Thiago Pereira Rique	NÃO	-

3. QUALIFICAÇÃO DO CORPO DOCENTE EM 2017

O quadro docente da UFERSA, Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros, é composto por 65 professores, sendo 31 mestres e 34 doutores, o que corresponde uma percentagem de 48% de mestres e 52% de doutores, respectivamente. Vale salientar ainda que o número de professores doutores deve aumentar até o final do ano.



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

TERMO DE DECLARAÇÃO E COMPROMISSO

EU, **ADELSON MENEZES LIMA**, portador do CPF nº **993.407.985-20** RG nº **1.329.383**, matrícula siape nº **3857693**, devidamente autorizado(a) pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA para realizar o curso de **DOUTORADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO (PPGEEC) PELA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**, 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 009/2013, 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.

Mossoró (RN), 14 de Julho de 20 17.

Adelson Menezes Lima
Nome:

Cecilio Martins de Sousa Neto
Nome da testemunha
CPF: 062867374-48

[Assinatura]
Nome da testemunha
CPF: 067.769.754-00

Dúvidas:

Ver resolução CONSUNI/UFERSA nº 009/2013, de 08 de novembro de 2013.



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 **Adelson Menezes Lima**, portador(a) do CPF nº 993.407.985-20, matrícula Siape nº 3857693, é servidor(a) do Quadro Permanente desta Universidade, admitido(a) em 29 de agosto de 2014, ocupante do cargo de Professor do Magistério Superior, com lotação no(a) Câmpus 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, 29 de junho de 2017.

José Flávio Timóteo Júnior
José Flávio Timóteo Júnior

Diretor em Exercício do Câmpus Pau dos Ferros



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CÂMPUS PAU DOS FERROS
DIREÇÃO GERAL



Processo nº 23091.008020/2017-17

Interessado: Servidor Docente Adelson Menezes Lima

Assunto: Afastamento

RELATÓRIO

1. No processo o servidor docente **Adelson Menezes Lima** requer seu afastamento integral das atividades acadêmicas durante o período 03 de novembro de 2017 a 25 de julho de 2020, objetivando realizar o Doutorado em Engenharia Elétrica e Computação;
2. As peças discriminadas no requerimento foram atendidas;
3. Submetido o referido processo à apreciação na 8ª Reunião Extraordinária no Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros 2017, realizada em 13 de julho de 2017, foi esse deliberado e recebeu **aprovação favorável** ao afastamento do referido servidor com duas abstenções.
4. O afastamento implica em uso de **código de vaga para professor substituto disponível para este Câmpus**.

DESPACHO

Diante do exposto, encaminha-se ao Magnífico Reitor José de Arimatea de Matos para as providências cabíveis.

Pau dos Ferros, RN, 13 de julho de 2017.


RICARDO PAULO FONSECA MELO

Diretor

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



Universidade Federal Rural do Semi-Árido
FOLHA DE REMESSA

Câmpus Pau dos Ferros

CARIMBO CP PAU FERROS



Nesta data faço remessa deste processo ao Gabinete da Reitoria - Câmpus Sede,
de que lavra o presente termo.

Em Pau dos Ferros-RN, 13 de JULHO de 2017.

Servidor/Carimbo

Jonas Firmino Filho
UFERSA-Câmpus Pau dos Ferros
Secretário Executivo
Mat. SIAPE 2039095

ATENÇÃO

Essa folha é de uso exclusivo do Protocolo Setorial-CÂMPUS PAU DOS FERROS. Fica permanentemente proibido riscos, registros de despacho ou qualquer tipo de rasura desse espaço.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
GABINETE DO REITOR

DESPACHO/GABINETE

Considerando o trâmite adequado para o processo nº 23091.008020/2017-17, que trata de solicitação de afastamento no país para docente e considerando que não há, neste estágio do processo, deliberação a ser realizada pela Reitoria, **ENCAMINHA-SE** o mesmo à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (**PROPPG**), para as providências cabíveis.

Mossoró, 14 de julho de 2017.

Renata Albuquerque de Carvalho

Secretária Executiva do Gabinete da Reitoria

Histórico Escolar - Emitido em: 25/07/2017 às 09:16

Dados Pessoais

Nome: **ADELSON MENEZES LIMA**

Matrícula: **20161022896**

Data de Nascimento: **19/04/1980**

Local de Nascimento: **NATAL/RN**

Nome do Pai: **ALMIR PEREIRA LIMA**

Nome da Mãe: **IVETE MENEZES SA DE SOUSA**

Endereço: **AVENIDA SANTOS DUMONT, 474 - APTO 101**

Bairro: **CAPIM MACIO**

Município: **NATAL**

UF: **RN**

Dados do Vínculo do Discente

Programa: **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO**

Índices Acadêmicos

Curso: **DOUTORADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO**

CR: **4.75**

(Coeficiente de Rendimento: 0.0 - 5.0)

Currículo: **10** Status: **ATIVO**

Área de Concentração: **TELECOMUNICAÇÕES**

Linha de Pesquisa:

Orientador: **1422265 - JOSE PATROCINIO DA SILVA**

Forma de Ingresso: **SELEÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO**

Mês/Ano Inicial: **JUL/2016**

Mês Atual: **13º**

Suspensões: **0 meses**

Prazo para Conclusão **JUN/2020**

Prorrogações: **0 meses**

Tipo Saída:

Mês/Ano de Saída:

Data da Defesa:

Disciplinas/Atividades Cursadas/Cursando

Início	Fim	Componente Curricular		Turma	CH	Freq %	Nota	Situação
7/2016	12/2016	EEC1708	DISPOSITIVOS E CIRCUITOS EM FOTONICA	01	60	80.0	A	APROVADO
7/2016	12/2016	EEC3025	PROJETO DE PESQUISA I	12	60	94.0	A	APROVADO
2/2017	6/2017	EEC1713	ONDAS GUIADAS	01	60	77.0	B	APROVADO
5/2017	5/2017	EEC3001	EXAME DE PROFICIENCIA EM LINGUA INGLESA	--	0	--	--	APROVADO
2/2017	6/2017	EEC3026	PROJETO DE PESQUISA II	01	60	87.0	A	APROVADO
7/2017	--	EEC3006	EXAME DE QUALIFICAÇÃO DE DOUTORADO	--	0	--	--	MATRICULADO
--	--		APROVEITAMENTO DE CARGA HORÁRIA	--	360	--	---	CUMPRIU

Carga Horária Integralizada/Pendente

Exigido	360	Integralizado	600	Pendente	0
---------	-----	---------------	-----	----------	---

Atenção, agora o histórico possui uma verificação automática de autenticidade e consistência, sendo portanto dispensável a assinatura da coordenação do curso ou PPG. Favor, ler instruções no rodapé.



036
J

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

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

**PARECER SOBRE PEDIDO DE AFASTAMENTO DE DOCENTE PARA
CURSAR DOUTORADO NO PAÍS**

CONSIDERAÇÕES

O processo 23091.008020/2017-17 trata de um pedido de afastamento do servidor docente **Adelson Menezes Lima**, pertencente ao Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Ufersa, com a finalidade de cursar doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação na Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, RN.

O docente solicita seu afastamento para o período de 03 de novembro de 2017 a 25 de julho de 2020.

CONSIDERANDO o Artigo 96-A da Lei nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990;

CONSIDERANDO o Artigo 338 do Regimento Geral da Ufersa, Resolução CONSUNI/UFERSA Nº 010/2007, de 17 de dezembro de 2007;

CONSIDERANDO a Resolução CONSUNI/UFERSA Nº 009/2013, de 08 de novembro de 2013;

CONSIDERANDO que a Ufersa deve incentivar e prover condições favoráveis à qualificação de seus docentes em nível de doutorado;

CONSIDERANDO que a obtenção do título de doutor pelo requerente vai aumentar a sua atuação em atividades de pesquisa na Ufersa e, conseqüentemente melhorar seu desempenho como docente na Ufersa;

CONSIDERANDO a Justificativa para o afastamento (folhas 004 e 005);

CONSIDERANDO o plano de atividades detalhado do docente (folha 006 a 014);

CONSIDERANDO o Termo de declaração e compromisso (folha 030);

CONSIDERANDO o Histórico escolar do docente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação na UFRN, Natal, RN (folha 035);



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

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

CONSIDERANDO a Declaração de matrícula da docente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação na UFRN, Natal, RN (folha 015);

CONSIDERANDO o Plano Anual de Qualificação e Formação Docente do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros (folhas 016 a 029);

CONSIDERANDO o **DESPACHO FAVORÁVEL** da Direção do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros, deliberado na 8ª Reunião Extraordinária de 2017, com a afirmação de existência de um professor substituto para assumir as atividades do docente **Adelson Menezes Lima** (folha 032);

CONSIDERANDO que toda a documentação exigida no CHECK LIST da PROPPG está contida neste processo.

PARECER

A Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Ufersa emite parecer **FAVORÁVEL** ao afastamento integral, do servidor docente **Adelson Menezes Lima**, pertencente ao Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Ufersa, no período de 03 de novembro de 2017 a 02 de novembro de 2018, com a finalidade de cursar doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação na Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, RN.

Mossoró – RN, 25 de julho de 2017.


Prof. Jean Berg Alves da Silva

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

[Brazil](#)
[Services](#)

- [Participate](#)
- [Information access](#)
- [Legislation](#)
- [Information channels](#)



Afastamentos do Servidor

Mês/Ano Pagamento: 08/2017

ADELSON MENEZES LIMA - Matrícula 3857693 - UFERSA-RN

Afastamento por Dias	Matrícula	Data Inicio	Data Fim	Situação
0049 - Casamento - EST VIA AFASTAMENTO WEB	26264-3857693	12/03/2015	19/03/2015	Concluído



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



Processo: 23091.008020/2017-17

Interessado: Adelson Menezes Lima

Assunto: Requerimento de afastamento para cursar Doutorado

DESPACHO

01. Trata-se de requerimento de afastamento integral formulado pelo servidor docente **Adelson Menezes Lima**, SIAPE 3857693, pertencente ao Centro Multidisciplinar do Campus Pau dos Ferros, com a finalidade de cursar Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), em Natal/RN, **no período de 03 de novembro de 2017 a 02 de novembro de 2018.**

02. Por conseguinte, ressalta-se que existe previsão legal no que concerne ao afastamento do servidor para cursar Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu, conforme Leis nº 8.112/1990 e nº 12.772/2012, e que o servidor requerente atende aos dispositivos do Art. 4º da RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA Nº 009/2013, estando devidamente habilitado a candidatar-se ao afastamento para qualificação. Ademais, a qualificação funcional faz parte da política de desenvolvimento humano da UFERSA, baseada no Decreto nº 5.707/2006.

03. Cumpre-nos informar que haverá a necessidade de utilização de código de vaga disponível para contratação de professor substituto, conforme informado pela Direção do Centro (fls. 32).

04. Nesse sentido, o Centro Multidisciplinar do Campus Pau dos Ferros bem como a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação aprovam o afastamento do docente, conforme se verifica nos documentos expendidos às fls. 32, 36 e 37, respectivamente.

05. Ante o exposto, opinamos pelo DEFERIMENTO do pleito.

06. Encaminhe-se à Comissão Permanente de Pessoal Docente – CPPD, para apreciação e deliberação.

Mossoró, 16 de agosto de 2017.

À Consideração Superior.

Ranniery Oliveira D. de Moura

Assistente em Administração – DDP

De acordo.

Encaminhe-se como proposto.

Keliane de Oliveira Cavalcante

Pró-Reitora



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
COMISSÃO PERMANENTE DE PESSOAL DOCENTE

Memorando nº 338/17 - CPPD/UFERSA

Mossoró, 21 de agosto de 2017.

À Sua Magnificência o Senhor
José de Arimatea de Matos
Reitor da Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Campus de Mossoró
Mossoró - RN. CEP: 59.625-900.

Assunto: **Encaminhar parecer**

Magnífico Reitor,

Vimos pelo presente, encaminhar parecer desta Comissão mediante a solicitação constante no Processo Administrativo 23091.008020/2017-17, que trata pedido de afastamento para cursar doutorado, do servidor docente **Adelson Menezes Lima**, matrícula SIAPE nº 3857693.

Sendo o que nos apresenta para o momento, reiteramos nossos votos de estima e consideração.

Respeitosamente,

D.Sc. Jailma Suerda Silva de Lima
(Presidente)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
COMISSÃO PERMANENTE DE PESSOAL DOCENTE



Mossoró, 21 de agosto de 2017.

PARECER

Analisando a solicitação constante no Processo Administrativo 23091.008020/2017-17 feita pelo servidor docente **Adelson Menezes Lima**, matrícula SIAPE nº 3857693 de afastamento com a finalidade de cursar doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, e considerando o Despacho da Pró-Reitoria de Gestão de Pessoas - PROGEPE, o Parecer da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – PROPPG e o parecer do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros – CMPF, favoráveis, esta comissão se posiciona, também, a favor da referida solicitação.

D.Sc. Jailma Suerda Silva de Lima
(Presidente)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CONSELHO UNIVERSITÁRIO



DECISÃO CONSUNI/UFERSA Nº 130/2017, de 20 de setembro de 2017.

Aprova o afastamento para qualificação do servidor docente Adelson Menezes Lima.

O Presidente em exercício do **CONSELHO UNIVERSITÁRIO** da **UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFERSA**, no uso de suas atribuições legais e com base na deliberação deste Órgão Colegiado em sua **8ª Reunião Ordinária de 2017**, em sessão realizada no dia 20 de setembro,

CONSIDERANDO o Processo Nº 23091.008020/2017-17;

CONSIDERANDO o Art. 10, inciso V, da Resolução CONSUNI/UFERSA Nº 009/2013, de 8 de novembro de 2013;

DECIDE:

Art. 1º Aprovar o afastamento para qualificação do servidor docente Adelson Menezes Lima, no período de 03 de novembro de 2017 a 02 de novembro de 2018.

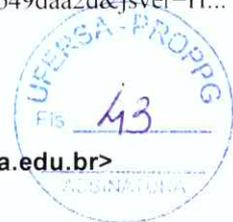
Art. 2º Esta Decisão entra em vigor a partir desta data.

Mossoró, 20 de setembro de 2017.


José Domingues Fontenele Neto
Presidente em exercício



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



Documentação Semestral

2 mensagens

Adelson Menezes Lima <adelsonmlima@ufersa.edu.br>

3 de maio de 2018 10:14

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

Bom Dia Pessoal,

Sou docente no Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros e estou afastado desde 03 de Novembro de 2017 para doutoramento.

Seguem os documentos conforme resposta do email (abaixo) e o que consta no artigo 15, inciso I da Resolução CONSUNI UFRSA 009/2013: Declaração, histórico, avaliação de desempenho e atividades acadêmicas.

Por favor confirmar o recebimento,

--

Att,

Prof. Adelson M. Lima
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA
CÂMPUS PAU DOS FERROS
Caixa Postal: 17, Sala 16
Bairro: São Geraldo, Pau dos Ferros, RN
CEP: 59900-970
Site: www2.ufersa.edu.br/portal/campus/paudosferros

Em 19 de dezembro de 2017 13:14, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação <proppg@ufersa.edu.br> escreveu:

Prezado, a cada seis meses de afastamento oficial você deve encaminhar a documentação prevista no artigo 15, inciso I da Resolução CONSUNI UFRSA 009/2013.

Atenciosamente,

Em 12 de dezembro de 2017 21:40, Adelson Menezes Lima <adelsonmlima@ufersa.edu.br> escreveu:
Boa Noite,

Gostaria de um esclarecimento, pois acabei de me afastar para o doutorado no dia 03 de novembro, logo tenho apenas 1 mês e 10 dias de afastado.

Na resolução do RESOLUÇÃO CONSUNI/UFERSA Nº 009/2013, de 08 de novembro de 2013, diz que tenho que enviar semestralmente um relatório e outros.

Nessa minha situação, é necessário enviar agora o relatório ou esperar para o próximo semestre?



**CAPÍTULO VI
DAS OBRIGAÇÕES E SANÇÕES PREVISTAS EM LEI**

Art. 15. O docente em atividade de pós-graduação *stricto sensu* assume o compromisso de:

I – enviar semestralmente à PROPPG:

--
Att,

Prof. Adelson M. Lima
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA
CÂMPUS PAU DOS FERROS
Caixa Postal: 17, Sala 16
Bairro: São Geraldo, Pau dos Ferros, RN
CEP: 59900-970
Site: www2.ufersa.edu.br/portal/campus/paudosferros

--
Atenciosamente,

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PROPPG
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA
Tel.: (84) 3317-8295 / (84) 3317-8296
Ramais: 1795 - Arianne; 1188 - Érica; 1152 - Katiane; 1151 - Naeldson; 1796 - Kaliane/Natália

--
Att,

Prof. Adelson M. Lima
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA
CÂMPUS PAU DOS FERROS
Caixa Postal: 17, Sala 16
Bairro: São Geraldo, Pau dos Ferros, RN
CEP: 59900-970
Site: www2.ufersa.edu.br/portal/campus/paudosferros

 **Documentos_Servidor_Adelson.M.L.pdf**
1720K

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação <proppg@ufersa.edu.br>
Para: Adelson Menezes Lima <adelsonmlima@ufersa.edu.br>

3 de maio de 2018 10:19

Recebido!

[Texto das mensagens anteriores oculto]



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

CNPJ: 24.365.710/0001-83
Campus Universitário BR-101 - Lagoa Nova - Natal/RN - CEP 59078-900
(084) 3215-3180 - Fax: (084) 3215-3192 - e-mail: ppg@reitoria.ufrn.br



DECLARAÇÃO

Declaramos, para os fins a que se fizerem necessários, que **ADELSON MENEZES LIMA** é aluno(a) **REGULAR** vinculado(a) a este(a) universidade, sob o número **20161022896**, no programa de **DOUTORADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO - DOUTORADO - NATAL**.

Pro-Reitoria de Pós-Graduação do(a) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em Natal, 02 de Maio de 2018.

Código de verificação:
ca70721671

Para verificar a autenticidade deste documento acesse <http://www.sigaa.ufrn.br/documentos/>, informando a matrícula, data de emissão do documento e o código de verificação.

ATENÇÃO

ESTE DOCUMENTO NÃO É VÁLIDO PARA FINS DE SOLICITAÇÃO DE VAGA EM OUTRA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR. CASO SEJA NECESSÁRIO TAL DOCUMENTO, É NECESSÁRIO COMPARECER AO DAE.

Histórico Escolar - Emitido em: 02/05/2018 às 16:49

Dados Pessoais

Nome: **ADELSON MENEZES LIMA** Matrícula: **20161022896**
 Data de Nascimento: **19/04/1980** Local de Nascimento: **NATAL/RN**
 Nome do Pai: **ALMIR PEREIRA LIMA**
 Nome da Mãe: **IVETE MENEZES SA DE SOUSA**
 Endereço: **AVENIDA SANTOS DUMONT, 474 - APTO 101** Bairro: **CAPIM MACIO**
 Município: **NATAL** UF: **RN**

Dados do Vínculo do Discente

Programa: **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE** Índices Acadêmicos
COMPUTAÇÃO **CR: 4,75**
 Nível: **DOUTORADO** (Coeficiente de Rendimento: 0,0 - 5,0)
 Curso: **DOUTORADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO**
 Currículo: **10** Status: **ATIVO**
 Área de Concentração: **TELECOMUNICAÇÕES**
 Linha de Pesquisa:
 Orientador: **1422265 - JOSÉ PATROCÍNIO DA SILVA**
 Forma de Ingresso: **SELEÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO**
 Mês/Ano Inicial: **JUL/2016** Mês Atual: **23º**
 Suspensões: **0 meses** Prazo para Conclusão: **JUN/2020**
 Prorrogações: **0 meses** Tipo Saída:
 Mês/Ano de Saída: Data da Defesa:

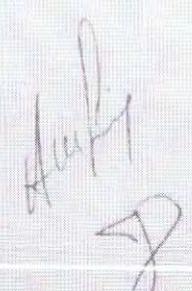
Disciplinas/Atividades Cursadas/Cursando

Início	Fim	Componente Curricular	Turma	CH	Freq %	Nota	Situação
07/2016	12/2016	EEC1704 DISPOSITIVOS E CIRCUITOS EM FOTONICA	01	60	80,8	A	APROVADO
07/2016	12/2016	EEC3025 PROJETO DE PESQUISA I	12	60	94,4	A	APROVADO
02/2017	06/2017	EEC1713 ONDAS GUIADAS	01	60	77,8	B	APROVADO
05/2017	05/2017	EEC3001 EXAME DE PROFICIENCIA EM LINGUA INGLESA	--	0	--	--	APROVADO
02/2017	06/2017	EEC3026 PROJETO DE PESQUISA II	01	60	87,5	A	APROVADO
08/2017	08/2017	EEC3002 EXAME DE PROFICIENCIA EM LINGUA ESPANHOLA	--	0	--	--	APROVADO
07/2017	--	EEC3006 EXAME DE QUALIFICAÇÃO DE DOUTORADO	--	0	--	--	MATRICULADO
--	--	APROVEITAMENTO DE CARGA HORÁRIA	--	360	--	--	CUMPRIU

Carga Horária Integralizada/Pendente

	Obrigatórias	Opcionais	Total
Exigido	0 h	360 h	360 h
Integralizado	0 h	600 h	600 h
Pendente*	0 h	0 h	0 h

*Contabilizado com base no valor estabelecido no mínimo exigido da estrutura curricular





MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFRSA
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 VI

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Declaro que o aluno **Adelson Menezes Lima**, matriculado no Programa de Pós-Graduação em engenharia Elétrica e Computação na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), sob o número **20161022896**, vem cumprindo satisfatoriamente suas atividades, conforme descrito no relatório de atividades acadêmicas entre os semestres **2016.2** e **2018.1**. No semestre **2018.1**, o aluno está em preparação para a defesa do **EXAME DE QUALIFICAÇÃO DE DOUTORADO**, com simulações computacionais e experimentos, que ocorrerá até meados de **Julho de 2018**.

Data: 03 de Maio de 2018

Prof. Dr. José Patrocínio da Silva

Prof. Dr. José Patrocínio da Silva
Orientador – PPGEEC/UFRN

Dúvidas:

Ver resolução CONSUNI/UFERSA nº 009/2013, de 08 de novembro de 2013.



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: 59.600-000 - Tel: (54) 3625-6477 - Fax: (54) 3625-6478 - e-mail: assessoria@ufersa.edu.br

(Anexo IV)

RELATÓRIO DE ATIVIDADES ACADÊMICAS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação
– PPGECC/UFRN

Aluno: Adelson Menezes Lima

Semestre 2016.2:

- Cumprimento das disciplinas: Dispositivos e Circuitos em Fotônica; Projeto de Pesquisa I e artigos para o IEEE SENSORS.

Artigos:

FERNANDES, H. C. C. ; SIQUEIRA, J. H. A. ; LIMA, A. M. ; SOUZA, F. A. A. .
Miniaturization Strategy and Truncated Ground Plane for Antennas Arrays
with Rectangular Patch. In: IEEE SENSORS, 2016, Orlando. IEEE SENSORS,
2016.

FERNANDES, H. C. C. ; SILVA NETO, A. S. E. ; SOUZA, F. A. A. ; LIMA, A. M. ;
SIQUEIRA, J. H. A. . Cylindrical Antenna for use in Telemetry. In: IEEE
SENSORS, 2016, Orlando. IEEE SENSORS, 2016.

Semestre 2017.1:

- Cumprimento das disciplinas: Ondas Guiadas; Exame de Proficiência em Língua Inglesa e Projeto de Pesquisa II.

Semestre 2017.2:

- Cumprimento das disciplinas: Exame de proficiência em Língua Espanhola e Exame de Qualificação de Doutorado;
- Revisão bibliográfica sobre técnicas de otimização em antenas de microfita, inteligência artificial (IA) e Aprendizagem por Reforço;
- Modelagem matemática das antenas de microfita e do método *Q-learning*;
- Implementação computacional para validação do IA e otimização da antena de microfita;

Relatório de Atividades Acadêmicas – Maio de 2018 - Adelson M. Lima – SIAPE 3857693

Adelson M. Lima



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

Av. Francisco Mota, 572 - C. Postal 337 - Bairro Pres. Costa e Silva - Mossoró - RN - CEP: 59.275-900 - Tel: (84) 3317-8296/8295 - E-mail: proppg@ufersa.br



Semestre 2018.1:

- Implementação computacional e experimental das antenas de microfita com otimização por Aprendizagem por Reforço através do *Q-learning*;
- Submissão de artigos para o MOMAG 2018.

Artigos MOMAG 2018:

- A. M. LIMA, J. P da Silva, N. C. A. LIMA e R. R. de MELO, "Aprendizagem por Reforço na Obtenção do Projeto de uma Antena de Microfita", MOMAG: XVIII SBMO – Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica, Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil, 2018.
- R. R. de Melo, A. M. LIMA e J. P da Silva, "Um Novo Projeto de Antena de Microfita com Substrato Micro Usinado", MOMAG: XVIII SBMO – Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica, Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil, 2018
- Preparação da Defesa do Exame de Qualificação de Doutorado até Julho e 2018;

Data: 03 de Maio de 2018.

Adelson Menezes Lima
SIAPE 3857693

Prof. Dr. José Patrocínio da Silva
Orientador – PPGECC/UFRN

Dúvidas:

Ver resolução CONSUNI/UFERSA nº 009/2013, de 08 de novembro de 2013.



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

**MEMORANDO ELETRÔNICO Nº 210/2018 - PROPPG (11.01.03)
(Identificador: 201861607)**

Nº do Protocolo: 23091.008640/2018-07

Mossoró-RN, 31 de Julho de 2018.

Título: Processo nº 23091.008020/2017-17 - Adelson Menezes Lima

Prezados,

Considerando o processo nº 23091.008020/2017-17 que trata de renovação de afastamento para qualificação do docente Adelson Menezes Lima;
Considerando a documentação apresentada e anexada ao processo, a qual solicita renovação do afastamento; Solicitamos parecer do Centro e do Departamento de origem, para darmos continuidade aos trâmites processuais. Segue em anexo o processo. Após emissão, os pareceres devem ser remetidos para PROPPG

Atenciosamente,

(Autenticado em 31/07/2018 11:38)
VANDER MENDONCA
PRO REITOR ADJUNTO
Matrícula: 1547955



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): Adelson Menezes Lima
Identidade: 1.329.383 Órgão Emissor: SSP UF: SE Data de emissão: 07/01/2016
CPF: 993407985-20 Data de Nascimento: 19/04/1980 Tel.: (84) 999347717 - 988640946
E-mail: adelsonmlima@ufersa.edu.br Departamento/Setor: DETEC - CMPF
Tipo de Afastamento: Integral: () Parcial: ()
Tempo de Serviço Averbado para Aposentadoria: () Anos
Início de Exercício no Cargo: 29/08/2014 Total: 3 ano(s) 11 mês(es) (Anexar Declaração do PRORH).

2. PREENCHIDO PELO REQUERENTE

CURSO: Pós Graduação em Engenharia Elétrica e Computação - PPGEEC
Nível: () Mestrado () Doutorado ()
Área de concentração: Telecomunicações
Liberação inicial: Início 03/11/2017 Término: 25/07/2020
Período solicitado para (renovação): Início 03/11/2018 Término: 02/11/2019
Previsão para término do curso: Início: 03/11/2017 Término: 25/07/2020

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 N° 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: 30/07/2018
(obrigatória)

Assinatura do requerente
(obrigatória)

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



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 **Adelson Menezes Lima**, portador(a) do CPF nº 993.407.985-20, matrícula Siape nº 3857693, é servidor(a) do Quadro Permanente desta Universidade, admitido(a) em 29 de agosto de 2014, ocupante do cargo de Professor de Magistério Superior, com lotação no(a) Departamento de Engenharias e Tecnologia - Pau dos Ferros.

Eu, Ravena Cibelle Nunes Silva, 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, 23 de julho de 2018.

Ricardo Paulo Fonseca Melo
Diretor do Câmpus Pau dos Ferros

Ricardo Paulo Fonseca Melo
Diretor
UFERSA Câmpus 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: Adelson Menezes Lima	
Local da Qualificação:	
<input checked="" type="checkbox"/> No País No exterior	
Período solicitado para renovação do afastamento: 03/11/2018 a 02/11/2019	
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 checked="" type="checkbox"/> Utilização de vaga ou disponibilidade de professor substituto a ser contratado(a) 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 - UFRSA
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

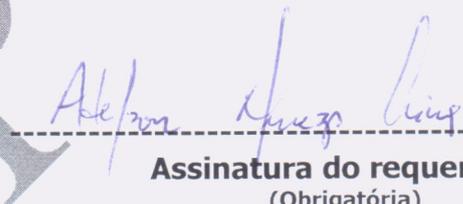
(Anexo II)

JUSTIFICATIVA PARA O AFASTAMENTO
(Obrigatório)

Atualmente, estou matriculado em Tese de Doutorado, que se encontra na fase de implementações e simulações computacionais. Em seguida serão realizadas construções de protótipos e experimentos em laboratório. Simultaneamente, estão sendo elaborados artigos científicos como cumprimento obrigatório das exigências do programa de pós-graduação. Diante disso e da necessidade de estar fisicamente presente no laboratório, o afastamento se faz necessário para a realização das atividades relatadas.

Por fim, e considerando que meu afastamento utiliza um código de vaga de substituto, conforme EDITAL DE QUALIFICAÇÃO DOCENTE 2017 do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros - CMPF necessito permanecer afastado para dar continuidade as atividades da minha pesquisa.

Data: 30 de julho de 2018.



Assinatura do requerente
(Obrigatória)

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



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFRSA
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 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 2017.2:

- Exame de proficiência em língua espanhola;
- Matriculado em exame de qualificação de doutorado;
- Revisão bibliográfica sobre técnicas de otimização em antenas de microfita;
- Revisão sobre inteligência artificial (IA) e Aprendizagem por Reforço;
- Modelagem matemática das antenas de microfita e do método *Q-Learning*;
- Implementação computacional parcial, para validação da IA e otimização da antena de microfita;

Semestre 2018.1:

- Revisão bibliográfica sobre técnicas de otimização em antenas de microfita;
- Revisão sobre inteligência artificial (IA) e Aprendizagem por Reforço;
- Modelagem matemática parcial, das antenas de microfita e do método *Q-Learning*;
- Implementação computacional parcial, para validação do IA e otimização da antena de microfita;
- Fabricação de protótipos e experimentos iniciais em laboratórios para as antenas de microfita;
- Desenvolvimento do trabalho escrito para apresentação do exame de qualificação em 2018.1;
- Submissão e aceitação de artigo para o XVIII SBMO – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICRO-ONDAS E OPTOELETÔNICA. MOMAG 2018 (18º SBMO – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICRO-ONDAS E OPTOELETÔNICA; 13º CBMAG – CONGRESSO BRASILEIRO DE ELETROMAGNETISMO) realizado entre 12 e 15 de Agosto de 2018 - Título: Aprendizagem por Reforço na Obtenção do Projeto de uma Antena de Microfita;
- Apresentação do exame de qualificação de doutorado.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFRSA
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@ufrsa.edu.br

Data: 30 de Julho de 2018.

Alcione Guedes Pinheiro

Assinatura do requerente
(Obrigatória)

Dr. Patrícia da Silva

Assinatura do Orientador
(Obrigatória)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE
COMPUTAÇÃO



Uma Abordagem Baseada na Aprendizagem por Reforço para Projetos de Antenas de Microfita

Adelson Menezes Lima

Orientador: Prof. Dr. José Patrocínio da Silva

Proposta de Tema para Qualificação de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da UFRN (área de concentração: Engenharia Elétrica, Telecomunicações) como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências.

NATAL – RN
Julho/2018

Resumo

A crescente demanda por comunicação sem fio para envio de dados, vídeos e voz tem se tornado um atrativo na utilização de antenas de microfita embutidas nos aparelhos portáteis, impondo aos projetos de antenas mais exigência para atender ao quesito precisão e desempenho. No entanto, uma análise criteriosa na obtenção dos parâmetros de projeto de antenas é imprescindível para garantir um funcionamento adequado da estrutura. Nesse contexto, a técnica de aprendizado de máquina denominado Aprendizado por Reforço (AR), através do algoritmo *Q-learning*, é aplicada em antenas de microfita para obtenção de parâmetros em projetos. Inicialmente foi aplicado ao problema de casamento de impedância entre a linha de alimentação e o elemento radiante de uma antena de microfita retangular, com o objetivo de determinar o melhor valor de *inset-fed* (y_0) no elemento radiante (*patch*). Por fim, a eficácia do AR é alcançada e comprovada através da fabricação de protótipos das estruturas, seguida por resultados medidos em laboratório especializado e comparados aos resultados simulados.

Palavras-chave: Aprendizagem por Reforço; *Q-learning*; Antenas de Microfita; Perda de Retorno; *Inset-fed*.

Abstract

The growing demand for wireless communication for data, video and voice has become an attractive feature in the use of microstrip antennas built into portable devices, imposing more demanding antenna designs to meet the requirements of accuracy and performance. However, a careful analysis in obtaining the design parameters of antennas is essential to guarantee a proper functioning of the structure. In this context, the machine learning technique called Reinforcement Learning (RL), through the *Q-learning* algorithm, is applied in microstrip antennas to obtain parameters in projects. It was initially applied to the problem of impedance matching between the power line and the radiant element of a rectangular microstrip antenna, in order to determine the best value of *inset-fed* (y_0) in the radiant element (*patch*). Finally, the efficacy of RL is achieved and proven through the fabrication of prototypes of the structures, followed by results measured in a specialized laboratory and compared to the simulated results.

Keywords: Reinforcement Learning; *Q-learning*; Microstrip Antennas; Return Loss; *Inset-fed*.

Sumário

Lista de Figuras	VI
Lista de Tabelas	VII
Lista de Símbolos e Abreviaturas.....	VIII
Capítulo 1 Introdução	10
1.1 Estado da Arte.....	11
1.2 Objetivos	13
1.3 Estrutura do Trabalho	13
Capítulo 2 Antenas de Microfita	15
2.1 Introdução	15
2.2 Parâmetros da Antena.....	18
2.2.1 Diagrama de Radiação	18
2.2.2 Diretividade	19
2.2.3 Eficiência de Antenas.....	20
2.2.4 Ganho	20
2.2.5 Largura de Banda	20
2.2.6 Impedância de Entrada	21
2.2.7 Perda de Retorno	22
2.3 Métodos de Alimentação	23
2.3.1 Alimentação por Linha de Microfita.....	23
2.4 Métodos de Análise	24
2.4.1 Métodos da Linha de Transmissão.....	24
Capítulo 3 Aprendizagem por Reforço.....	29
3.1 Introdução	29
3.2 Processo de Decisão de Markov.....	29

3.3 Características da Aprendizagem por Reforço.....	30
3.4 Interação entre Agente e Ambiente.....	31
3.5 Exploração e Intensificação	32
3.6 Política Ótima.....	32
3.7 <i>Q-Learning</i>	33
Capítulo 4 Projetos de Antenas de Microfita.....	35
4.1 Projeto de Antenas de Microfita Retangular com <i>Inset-fed</i>	35
4.2 Projeto de Otimização do <i>Inset-fed</i> com Aprendizagem por Reforço.....	37
4.3 Resultados Iniciais	37
4.3.1 Resultados das Simulações	38
4.3.2 Resultados Experimentais	39
4.4 Considerações Finais	42
Capítulo 5 Cronograma de Atividades	43
Capítulo 6 Trabalhos em Conferências	44
Referências Bibliográficas	45

Lista de Figuras

Figura 1.1: Sistema de comunicação sem fio.	10
Figura 1.2: Redes IoT	11
Figura 2.1: (a) Antena retangular padrão (b) Conector SMA.....	16
Figura 2.2: Tipos de geometrias das plaquetas em antenas de microfita.	16
Figura 2.3: Diagrama de radiação do plano E-H da antena de microfita.	19
Figura 2.4: Perda de retorno em função da frequência.....	21
Figura 2.5: Alimentação por linha de microfita. (a) uso do <i>inset-fed</i> . (b) transformador de $\lambda/4$	24
Figura 2.6: (a) Efeito de franjamento com um incremento Δl (b) Distribuição dos campos elétricos ao longo da antena.	25
Figura 2.7: <i>Inset-fed</i> na Antena de Microfita.	27
Figura 3.1: Esquema de interação entre o agente e o ambiente.....	31
Figura 3.2: Fluxograma do <i>Q-learning</i>	34
Figura 4.1: Fluxograma para um projeto de antena de microfita retangular com <i>inset-fed</i>	36
Figura 4.2: Fluxograma para o projeto de antena de microfita retangular otimizado. ...	37
Figura 4.3: Comparação da perda de retorno e frequência de ressonância para a simulação.	39
Figura 4.4: Etapas da confecção da antena de microfita.	39
Figura 4.5: Protótipos das antenas (a) Padrão e (b) Otimizada	39
Figura 4.6: Analisador de rede vetorial <i>Agilent Technologies E5071C</i>	41

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Materiais dielétricos comerciais mais utilizados.....	17
Tabela 2.2: Faixas das frequências em micro-ondas do IEEE.	18
Tabela 4.1: Aprendizagem do agente.	38
Tabela 5.1: Cronograma de atividades.	43
Tabela 6.1: Trabalhos em conferências.	44

Lista de Símbolos e Abreviaturas

L_p	Comprimento do <i>patch</i>
W_p	Largura do <i>patch</i>
h	Espessura do substrato
f_r	Frequência de ressonância
L_{ef}	Comprimento efetivo da antena
y_0	Comprimento da fenda
g	Largura da fenda
W_0	Largura da linha de microfita
ΔL	Varição de comprimento da antena
ϵ_0	Constante dielétrica no espaço livre
ϵ_{ref}	Constante dielétrica efetiva
ϵ_r	Permissividade relativa
μ_0	Permeabilidade no espaço livre
δ	Tangente de perdas
v_0	Velocidade das ondas eletromagnéticas no espaço livre
λ	Comprimento de onda
dB	Decibel
Γ	Coefficiente de reflexão
G_1	Condutância na fenda
G_{12}	Condutância mútua entre as fendas
I_1	Corrente na fenda
R_{in}	Resistência de entrada de ressonância
J_0	Função de Bessel de ordem zero
Z_c	Impedância característica
E	Campo elétrico
S_{11}	Perda de retorno
Γ	Taxa de desconto
α	Taxa de aprendizagem
γ	Fator de desconto

y_0, \dots, y_n	Possíveis estados
a_0, \dots, a_n	Possíveis ações
ABG	Algoritmo de Busca Gravitacional
AG	Algoritmo Genético
AM	Aprendizado por Máquina
AR	Aprendizagem por Reforço
BW	<i>BandWidth.</i>
DGS	<i>Defected Ground Structures</i>
FR4	Fibra de vidro
FPGA	<i>Field Programmable Gates Arrays</i>
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
IA	Inteligência Artificial
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IoT	Internet das Coisas
PDM	Processo de Decisão de Markov
PSO	<i>Particle Swarm Optimization</i>
RL	<i>Return Loss</i>
SAINF	Sistema Adaptativo de Inferência Neuro-Fuzzy
VANTs	Veículos Aéreos Não-Tripulados
VSWR	<i>Voltage Stationar Wave Radio</i>
PBG	<i>Photonic Band Gap</i>
RNAs	Redes Neurais Artificiais

Capítulo 1

Introdução

A crescente demanda por comunicação sem fio e a transferência de informações através de dispositivos de comunicação tem ocasionado avanços em projetos de antenas para qualquer sistema de comunicação sem fio. Os aparelhos modernos que utilizam este tipo de comunicação têm adquirido tamanhos menores em diversas aplicações, passando a operar em variadas faixas de frequências. Os aparelhos possuem antenas embutidas obedecendo a limitações aos tamanhos compactos e impondo desafios aos projetistas. Um tipo de antena bastante utilizada é a antena de microfita com plaqueta (*patch*), por proporcionar um tamanho reduzido, baixo custo, bom desempenho e de fácil integração com circuitos de micro-ondas. Estas características, devem ser otimizadas e adaptadas aos diversos sistemas de transmissão e/ou recepção de vários tipos de sistemas [1]-[3].

Neste cenário, as antenas ganham destaque em suas aplicações como *smartphones*, *paggers*, telefones, *laptops*, telemedicina, IoT (Internet das coisas), sistema de posicionamento global (GPS), veículos aéreos não-tripulados (VANTs), aeronaves, foguetes, mísseis e satélites [1]-[4]. Na Figura 1.1, é ilustrado um sistema de comunicação sem fio para melhorar a qualidade auditiva de pacientes que se queixam de má compreensão da fala em ambientes ruidosos [5].



Figura 1.1: Sistema de comunicação sem fio
Fonte: (Adaptado de [5])

Na Figura 1.2, outro cenário tão importante na atualidade é a utilização de dispositivos portáteis em sapatos, relógios, óculos e outros, para ajudar a detectar informações biométricas. O dispositivo inteligente coleta as informações e se comunica com o centro de controle e/ou o serviço médico através da internet [6].

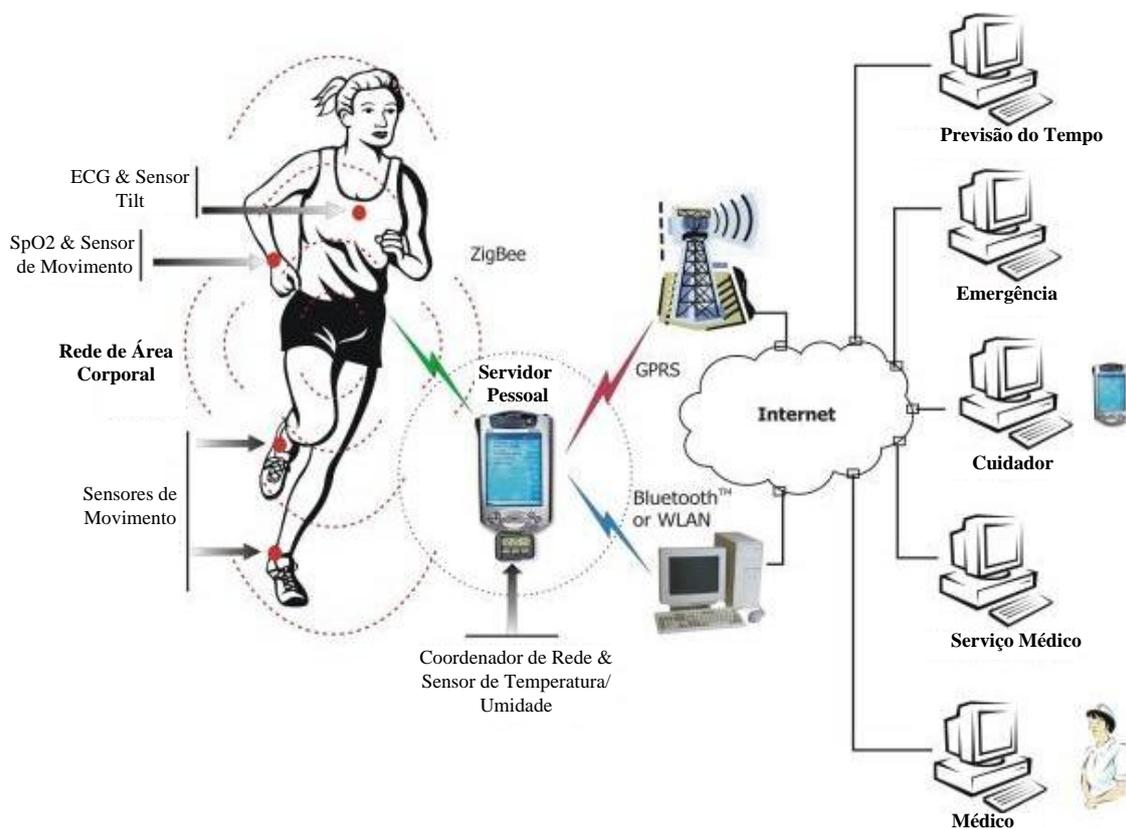


Figura 1.2: Redes IoT
 Fonte: (Adaptado de [6])

Devido a esses avanços tecnológicos em sistemas de comunicação sem fio, é exigida a construção de projetos de antenas mais precisos, compactos e com bom desempenho, pois influenciam em alterações dos parâmetros essenciais, como frequência de ressonância, ganho, impedância de entrada, eficiência da radiação e largura de banda. Neste sentido, as antenas de microfita têm sido estudadas com aplicação de inteligência artificial (IA) desde a década de 90 [7], com a finalidade de otimizar projetos e seus parâmetros físicos.

1.1 Estado da Arte

Para mostrar a utilização de sistemas inteligentes e otimização na área de antenas de microfita, alguns trabalhos foram coletados na literatura, como é o caso de [8] que em seu trabalho, aplica um método de otimização baseado em um Sistema Adaptativo de Inferência Neuro-Fuzzy (SAINF), para determinar os parâmetros otimizados da antena de microfita retangular: comprimento do *patch*, largura do *patch* e o ponto de alimentação

por sonda coaxial. Os resultados mostram erros pequenos entre o modelo desenvolvido pelo SAINF (MATLAB) e pelo *HFSS*.

Em [9] é utilizado o Algoritmo Genético (AG) para otimizar duas variáveis no plano terra truncado, o comprimento e a largura de uma fenda, com o objetivo de aumentar largura de banda, menor perda de retorno e desvio da frequência central. A antena utilizada tem uma geometria no *patch* tipo anel circular. Por fim, o algoritmo foi analisado com sucesso no que diz respeito a desempenho, flexibilidade, escalabilidade e exatidão.

O trabalho [10] estuda o projeto de antenas de microfita utilizando Redes Neurais Artificiais (RNAs) otimizadas pelo algoritmo PSO (*Particle Swarm Optimization*). Os resultados medidos apresentam uma melhor frequência de ressonância e perda de retorno. Ainda com RNAs, o trabalho de [11] aplica as RNAs para obtenção da frequência de ressonância de uma antena de microfita retangular com substrato baseado em *Photonic Band Gap* (PBG), distribuído em anéis na forma hexagonal com furos de ar e distâncias entre os furos, para 5,8 GHz. Os resultados mostram menores perdas de retorno, maiores ganhos e maior largura de banda.

Em [12] é utilizado o AG em um projeto de uma antena de microfita retangular em 5,8 GHz, para otimizar o *inset-fed* com o objetivo de encontrar um valor ótimo para o casamento de impedância, resultando em um melhor ganho e menor perda de retorno.

No trabalho de [13] é aplicado uma otimização com o Método Taguchi, com objetivo de encontrar parâmetros para construção de antenas de microfita retangular e circular, em que cada parâmetro é definido a partir da frequência de ressonância desejada, da característica do material que será usado para fabricar a antena (espessura e constante dielétrica do substrato) e a definição de valores máximos e mínimos que os parâmetros podem alcançar. Os resultados apresentam um menor erro entre a estrutura simulada e medida.

Em [14], é utilizado o AG para otimizar os parâmetros da antena de microfita retangular com uma nova estrutura do plano terra com defeito hexagonal (DGS - *Defected Ground Structures*) de modo a verificar a eficiência para suprimir modos de ordem superior. Os resultados experimentais mostraram que otimizar o DGS hexagonal pode melhorar a perda de retorno e simultaneamente suprimir ou atenuar os modos de maior ordem, evitando o uso de um circuito como filtro.

O trabalho [15] estuda uma antena retangular, em que o comprimento, largura e a altura do substrato, está sendo otimizado usando o Algoritmo de Busca Gravitacional

(ABG) em 5 GHz. No ABG a função *fitness* é usada para decidir e otimizar o *patch* da antena. Como resultado, a antena tem dimensões menores e menor perda de retorno.

Assim como os sistemas inteligentes citados anteriormente, outra técnica não utilizada nas antenas de microfita é encontrada na literatura, a Aprendizagem por Reforço (AR). Dentre os algoritmos de AR, o método *Q-learning* é tido como o mais popular e possui aplicações em engenharia de reservatórios [16], jogos digitais [17]-[18], controle de tráfego veicular urbano [19], robótica [20], arquitetura paralela em ponto fixo com *hardware* do *FPGA* (*Field Programmable Gates Arrays*) [21], entre outras. Na área de telecomunicações é aplicado em conformação de feixe [22], alocação de recursos e no escalonamento de usuários em sistemas de telecomunicações [23]-[24], otimização da geometria de antenas com sistemas de radares e comunicação [25], estratégia de seleção de canal em redes de rádios cognitivos [26] entre outras.

Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar uma nova proposta de otimização no projeto de antenas utilizando Aprendizagem por Reforço (AR) através do algoritmo *Q-learning*, com finalidade de obter os valores ótimos dos parâmetros. A obtenção desse valor é aprendido através de um agente que busca maximizar uma medida de desempenho baseado nos reforços que recebe ao interagir com um ambiente desconhecido.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho consiste em investigar a técnica de Aprendizado por Reforço com o auxílio do algoritmo *Q-learning* em antenas de microfita retangular. Em seguida, aplicar a técnica para otimização dos parâmetros de projeto das antenas e analisar as estruturas otimizadas computacionalmente e experimentalmente.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho foi organizado da seguinte forma: **Capítulo 2** apresenta os conceitos fundamentais das antenas de microfita, a estrutura padrão e os principais parâmetros, bem como os métodos de alimentação e de análise matemática utilizada por esse trabalho; O **Capítulo 3** aborda a teoria sobre Aprendizagem por Reforço (AR), com apresentação no

algoritmo do *Q-learning*; O **Capítulo 4** apresenta os projetos e as estratégias de otimização baseadas na Aprendizagem por Reforço, resultados iniciais e considerações acerca desses resultados. No **Capítulo 5** é apresentado o cronograma de atividades e no **Capítulo 6** é apresentada a lista de trabalhos submetidos e/ou publicados em conferências.

Capítulo 2

Antenas de Microfita

Neste capítulo são apresentadas a teoria básica a respeito das antenas de microfita, suas propriedades, estrutura convencional, assim como as diversas geometrias para o *patch*, e por fim os métodos de alimentação e análise matemática utilizado neste trabalho.

2.1 Introdução

As antenas desempenham um papel fundamental na comunicação sem fio, através do recurso natural que é o espectro eletromagnético. O fluxo de informações, usando *smartphones*, telefones, *laptops* e outros produtos de comunicações sem fio, necessitam de dispositivos portáteis e de baixa espessura [2]. Segundo [1] a antena é definida como estruturas metálicas projetadas para radiar e receber energia eletromagnética. Em outras palavras, é uma estrutura intermediária entre o espaço livre e o dispositivo de guiamento ou linha de transmissão (cabo coaxial, tubo oco) [1].

As pesquisas com as antenas começaram através das equações de Maxwell em 1870. Entre os vários modelos de antenas existente, as planares do tipo antenas de microfita (*Microstrip Antennas*) tem se destacado em função das suas características e aplicações. No início da década de 50 com Deschamps, e por volta da década de 70, estudos mais aprofundados sobre antenas planares foram desenvolvidos com os trabalhos de Byron e Howell, despertando o interesse acadêmico com a miniaturização, facilidade de se moldar a superfícies planas e não planas, assim como necessitar de produção de circuitos impressos [1].

A antena de microfita tradicional é formada por uma plaqueta (do inglês *patch*) metálica radiante, no qual é afixado sobre material dielétrico (substrato) em um dos seus lados, e no outro lado é afixado uma plaqueta metálica (plano terra). No *patch*, a alimentação da antena é proporcionada por uma linha de transmissão e um conector SMA. O conector SMA é muito comum em placas de sistemas de comunicação sem fio, como mostra a Figura 2.1 de uma (a) antena retangular padrão e (b) conector SMA.

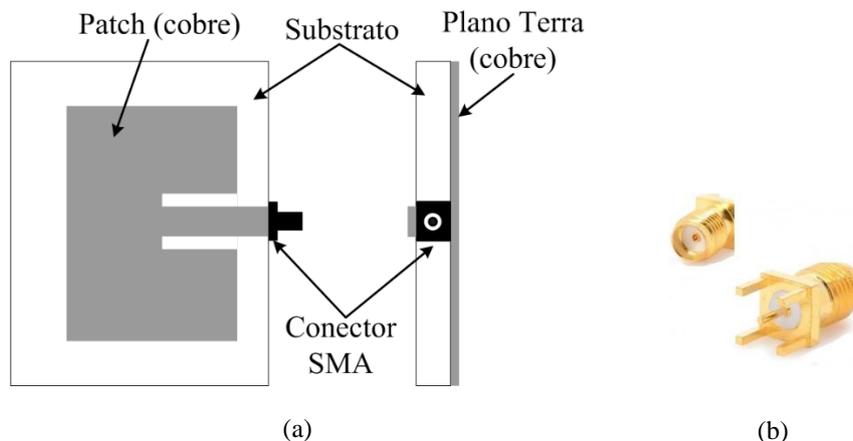


Figura 2.1: (a) Antena retangular padrão (b) Conector SMA
Fonte: (Adaptado de [1])

O *patch* pode assumir diversos formatos, com diferentes arranjos e geometrias, conforme a Figura 2.2, mas devido à facilidade na análise e no desempenho do dispositivo, geralmente são adotadas as geometrias retangulares e circulares [1]. Existem outros modelos que são inspirados na natureza, ou seja, *patch* com formatos de folhas, animais e até insetos [3].

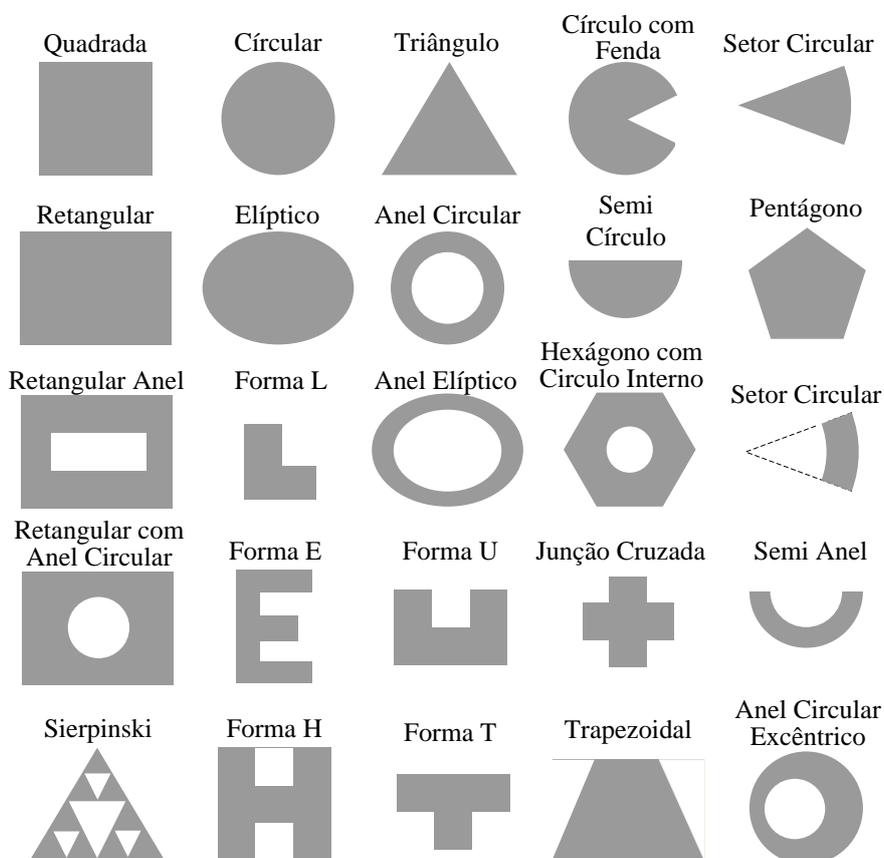


Figura 2.2: Tipos de geometrias das plaquetas em antenas de microfita
Fonte: (Adaptado de [27])

O substrato constitui a camada central que separa os elementos radiantes, podendo ser desenvolvidos com materiais dielétricos com perdas e sem perdas, semicondutores, ferritas e metamateriais [28]. Substratos que utilizam materiais com diferentes permissividades relativa (ϵ_r), com valores entre $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$, influenciam no desempenho da antena que está diretamente ligado à sua espessura. Substratos com espessuras maiores e pequeno valores de ϵ_r , são mais eficientes devido desprendimento dos campos, porém sua fabricação tem um valor mais elevado [1], [29]. Já os substratos mais finos e com ϵ_r mais elevadas, são mais convenientes para faixas de micro-ondas, porém menos eficientes e com largura de banda menor [30]. A Tabela 2.1 apresenta os materiais comercialmente mais utilizados em antenas de microfita na produção do substrato.

Tabela 2.1: Materiais dielétricos comerciais mais utilizados.

Materiais	Constante dielétrica (ϵ_r)	Tangente de perdas ($\tan \delta$)
Alumina	9,2	0,008
RT duroide 5880	2,2	0,0009
Ferrita	12	0
FR4-Epóxi	4,4	0,02
PTFE	2,5	0,002

Fonte: Adaptado de [31], 2011.

O plano terra possui valores de largura e comprimento diferente do *patch*, que dependem diretamente da frequência de ressonância e a aplicação da antena. A função do plano terra é refletora, impedindo a propagação das ondas na direção oposta a projetada [28].

As antenas de microfita são utilizadas na faixa de frequência de micro-ondas (300 MHz – 300 GHz) conforme Tabela 2.2 do Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE). De acordo com [32], a faixa de 1 GHz a 40 GHz detém a maior concentração de aplicações da engenharia de micro-ondas. Já a faixa de 900 MHz a 5 GHz, são reservadas para o desenvolvimento industrial, científico e médico, assim como a comunicação entre os dispositivos de *bluetooth* e *Wi-fi*, e podem ser usadas sem licenças, mas estão sujeitas a um conjunto de normas um pouco reduzido [33].

Tabela 2.2: Faixas das frequências em micro-ondas do IEEE.

Banda	Faixa de Frequência	Aplicações
L	1 – 2 GHz	Comunicação pessoal e <i>GPS</i>
S	2 – 4 GHz	Comunicação pessoal (<i>Wi-fi</i> , <i>bluetooth</i> , etc), forno de micro-ondas
C	4 – 8 GHz	Comunicação via satélite
X	8 – 12 GHz	Radar terrestre para navegação aérea
Ku	12 – 18 GHz	Radar e rádio ponto a ponto
K	18 – 26,5 GHz	Radar e rádio ponto a ponto
Ka	26,5 – 40 GHz	Radar e rádio ponto a ponto

Fonte: adaptado de [33], 2004.

2.2 Parâmetros da Antena

O desempenho de uma antena é descrito de uma forma geral, através de alguns parâmetros, fornecendo informações sobre seu funcionamento, a seguir.

2.2.1 Diagrama de Radiação

É definido como uma função matemática ou uma representação gráfica das propriedades de radiação da antena em função das coordenadas espaciais [1]. Na representação são constituídos pelos planos E e H, o plano E (plano x - y) é definido como vetor campo elétrico na direção máxima de radiação, e o plano H (plano x - z) é definido como vetor campo magnético na máxima direção [1]. A Figura 2.3 apresenta um modelo de diagrama de radiação em 2D, esse diagrama é semelhante ao de uma antena *patch* retangular convencional.

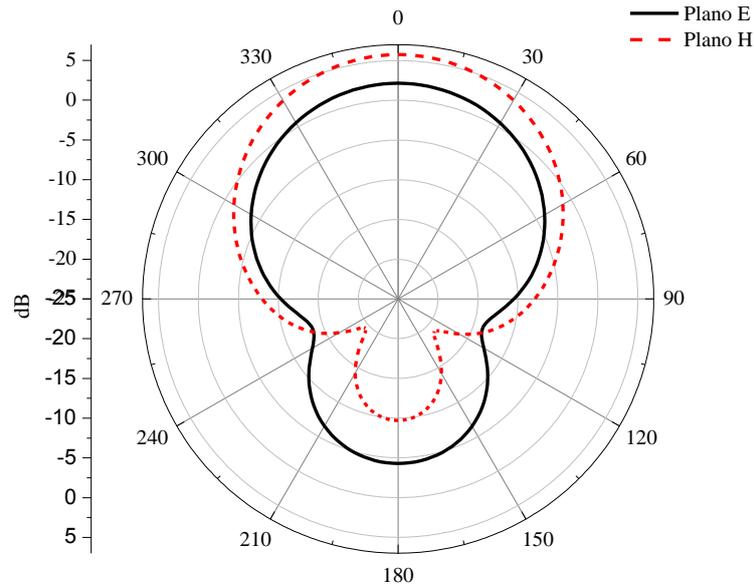


Figura 2.3: Diagrama de radiação do plano E-H da antena de microfita
Fonte: (Autor, 2018)

2.2.2 Diretividade

É a razão entre a intensidade de radiação média, sendo essa igual a potência total radiada pela antena dividida por 4π . Em outras palavras, a diretividade de uma fonte não-isotrópica é igual à razão entre sua intensidade de radiação em uma dada direção e a intensidade de radiação de uma fonte isotrópica. Matematicamente, a diretividade D pode ser representada pela Equação 2.1, sendo uma grandeza de natureza adimensional [1].

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.1)$$

Se a direção não for especificada [1], fica subentendido que a direção de máxima intensidade de radiação ou máxima diretividade $D_{máx}$, é dada pela Equação 2.2

$$D_{\max} = D_0 = \frac{U_{máx}}{U_0} = \frac{4\pi U_{máx}}{P_{rad}} \quad (2.2)$$

em que D_0 é a diretividade máxima, U é a intensidade de radiação, $U_{máx}$ é a máxima intensidade de radiação, U_0 é a intensidade de radiação de uma fonte isotrópica e P_{rad} é a potência radiada total [1].

2.2.3 Eficiência de Antenas

Um outro parâmetro que avalia a qualidade das antenas é a eficiência total (e_0), que leva em consideração as perdas nos terminais de entrada e no interior da estrutura da antena. As perdas podem ser destacadas como: reflexões causadas por descasamento de impedância entre a linha de transmissão e a antena, e as perdas em condutores dielétricos ($P = I^2.R$). Como forma de representar, a Equação 2.3 descreve a eficiência total [1].

$$e_0 = e_r \cdot e_c \cdot e_d \quad (2.3)$$

em que e_r é a eficiência de reflexão, e_c é a eficiência de condutividade e e_d é a eficiência dielétrica.

2.2.4 Ganho

Descreve o desempenho da antena e está totalmente relacionado à diretividade e a eficiência [1]. Pode ser definida como a razão entre a intensidade de radiação, em uma dada direção, e a intensidade de radiação que seria obtida se a potência aceita pela antena fosse radiada isotropicamente. O ganho G é expresso em dB, através da Equação 2.4.

$$G = \frac{4\pi U}{P_{in}} \quad (2.4)$$

em que G é o ganho da antena e P_{in} é a potência total de entrada.

2.2.5 Largura de Banda

De acordo com [1], a largura de banda é definida como a faixa de frequências na qual o desempenho da antena, referindo-se a algumas características, atende a um padrão específico. A largura de banda, do inglês *BandWidth* (BW), ainda pode ser considerada como a faixa de frequências, nos dois lados de uma frequência central, na qual as características da antena (como impedância de entrada, ganho, eficiência), têm valores dentro de limites aceitáveis definidos a partir dos correspondentes valores na frequência central.

Na prática, são classificadas da seguinte forma [34]-[36]:

- Banda Estreita ($0\% < BW < 1\%$): a largura de banda é bem menor que a frequência central de operação, sendo calculada pela Equação 2.5.

$$BW = \frac{f_{sup} - f_{inf}}{f_{cent}} \times 100\% \quad (2.5)$$

sendo f_{sup} a frequência superior, f_{inf} a frequência inferior e f_{cent} a frequência central.

- Banda Larga ($1\% < BW < 20\%$): é a razão entre as frequências superior f_{sup} e inferior f_{inf} da faixa aceitável, como mostra a Equação 2.6.

$$BW = \frac{f_{sup}}{f_{inf}} \quad (2.6)$$

- Banda Ultra Larga ($BW > 20\%$).

Em antenas de microfita, a forma usual de se calcular a largura de banda é através da Equação 2.5. A Figura 2.4, ilustra um exemplo típico de largura de banda em função das frequências, a partir de um determinado valor em dB, nesse caso -10 dB para fins comerciais [28], [34].

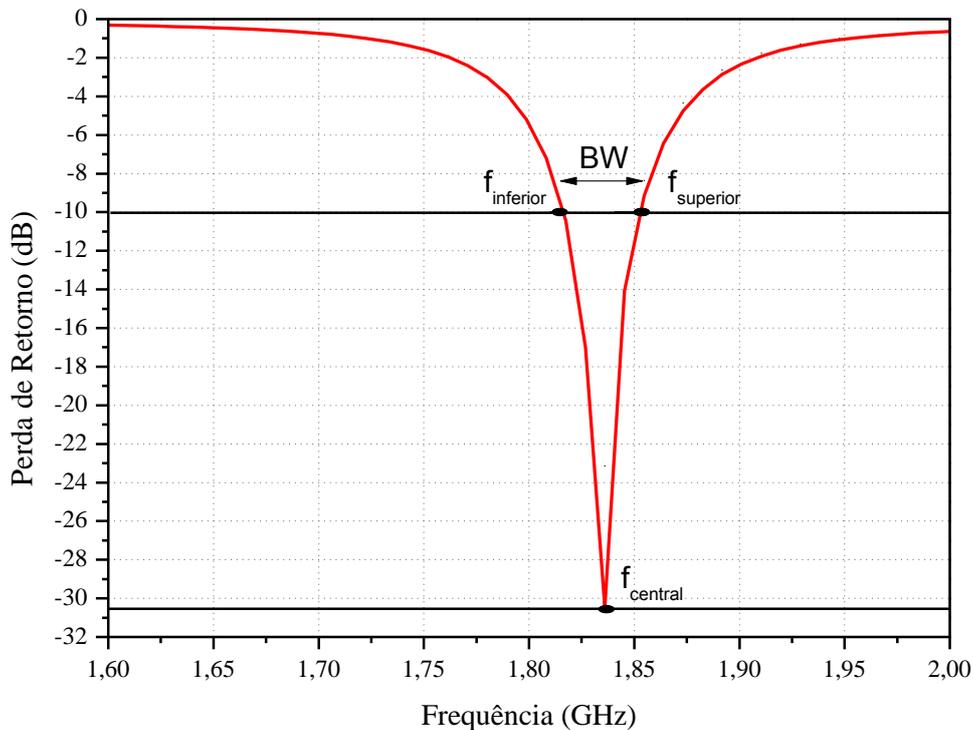


Figura 2.4: Perda de retorno em função da frequência
Fonte: (Autor, 2018)

2.2.6 Impedância de Entrada

Uma antena, como qualquer dispositivo elétrico, possui uma impedância de entrada, a qual depende da sua configuração estrutural, dimensões físicas e do material da estrutura. Ela é medida de acordo com alguma linha de transmissão ou impedância

característica do dispositivo. Esta possui a parte resistiva e reativa, e vão atuar juntas como uma espécie de filtro para a frequência especificada, conforme a Equação 2.7 [37]-[38].

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (2.7)$$

sendo Z_{in} a impedância de entrada, ou nos terminais da antena; R_{in} a resistência; e X_{in} é a reatância.

Por outro lado, quando a impedância da linha e do elemento radiante são diferentes, parte da onda é refletida voltando para a fonte geradora, proporcionando uma onda estacionária ao longo da linha de transmissão e influenciando na perda de retorno na antena. O casamento de impedâncias, ou seja, impedância de linha de transmissão igual a impedância do elemento radiante, variam de acordo com a frequência de ressonância [37]-[38].

2.2.7 Perda de Retorno

É considerado o principal parâmetro a ser avaliado em projeto de uma antena [1]. A perda ocorre quando há um descasamento de impedâncias entre a linha de transmissão e o elemento radiador, de modo que a parte da potência fornecida pelo gerador é refletida e não entregue a carga.

Devido às reflexões na fronteira de uma linha de transmissão, a superposição entre a onda incidente e refletida, forma um padrão de onda estacionária [29], [34]. O coeficiente de onda estacionária ou *VSWR* (*Voltage Stationar Wave Radio*) é definido como a razão entre os valores de máximos e mínimos de tensão ($V_{máx}$ e V_{min}) e corrente ($I_{máx}$ e I_{min}), expressa pela Equação 2.8 [1], [34].

$$VSWR = \frac{V_{máx}}{V_{min}} = \frac{I_{máx}}{I_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.8)$$

em que Γ é o coeficiente de reflexão, que é expresso pela Equação 2.9.

$$\Gamma = \frac{Z_c - Z_0}{Z_c + Z_0} \quad (2.9)$$

em que Z_C é a impedância da carga e Z_0 é a impedância característica da linha.

Por fim, a perda de retorno pode ser chamada de *Return Loss* (RL), é expressa pela Equação 2.10. Na prática, para um bom desempenho da antena, a perda de retorno é considerada aceitável quando seus valores são menores que -10dB [29], [34].

$$RL = -20\log|\Gamma|dB \quad (2.10)$$

2.3 Métodos de Alimentação

A alimentação da antena de microfita é realizada em diversas formas, dentre elas se destacam quatro modelos, conhecidas como [1]:

- a) **Cabo coaxial:** é conhecida como ponto de prova coaxial, em que a alimentação consiste em acoplar o condutor central de um cabo coaxial ao *patch*, e o condutor externo ao plano terra;
- b) **Acoplamento por abertura:** consiste em dois substratos separados por um plano de terra, em que abaixo do primeiro substrato existe uma linha de microfita que transfere a energia ao *patch* por meio de uma fenda no plano de terra;
- c) **Acoplamento por proximidade:** uma linha de microfita está situada entre dois substratos, sendo que o *patch* é colocado na camada superior do substrato e o plano de terra na camada inferior do substrato;
- d) **Linha de microfita:** será utilizado no trabalho e detalhado a seguir.

2.3.1 Alimentação por Linha de Microfita

Neste método utilizado para aplicação do presente trabalho, o elemento radiante é alimentado com uma linha de microfita de largura bem menor do que a largura do *patch*, ou seja, uma fita condutora metálica de fácil fabricação, onde são afixadas no substrato, deixando a estrutura plana. Para um bom desempenho da antena, é ideal o casamento de impedância, que é feito por meio de *inset-fed* ou por meio do transformador de $\lambda/4$, de acordo com a Figura 2.5 [30], [39].

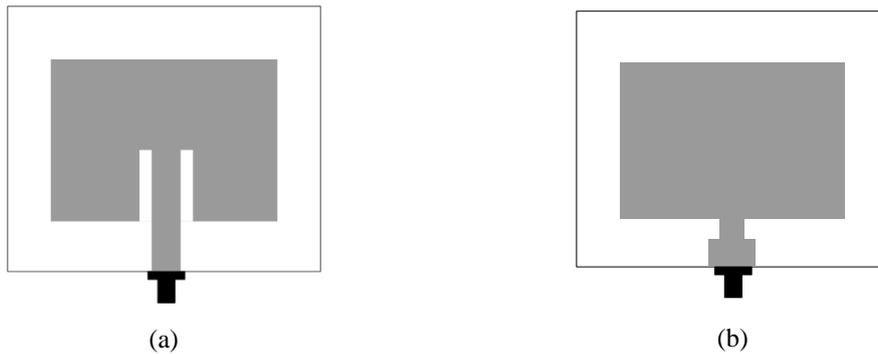


Figura 2.5: Alimentação por linha de microfita (a) uso do *inset-fed* (b) transformador de $\lambda/4$
 Fonte: (Adaptado de [1])

2.4 Métodos de Análise

Na literatura existem diversos modelos matemáticos para análise das antenas de microfita. Dentre eles, os mais comuns são:

- a) **Linha de transmissão:** proposto por [40], é utilizado neste trabalho e detalhado na seção 2.4.1;
- b) **Método da cavidade:** foi proposto [41] em 1979. Trata da antena como uma cavidade circundada por paredes elétricas, de forma que na base e no topo há paredes elétricas e nas laterais paredes magnéticas, permitindo ser utilizado para diversas geometrias de *patch* [1], [34] e [42].
- c) **Métodos de onda:** destacam-se vários métodos como o Método dos Momentos, Método dos Elementos Finitos, Método de Transmissão Equivalente e o Método dos Potenciais Vetoriais de Hertz.

2.4.1 Métodos da Linha de Transmissão

É o método de modelagem mais simples, em que promove uma boa percepção física do procedimento. Possibilita a determinação de diversos parâmetros da antena, tais como a frequência de ressonância, o diagrama de radiação e a impedância de entrada [34], [42]. Este método é o recomendado para antenas com *patch* quadrado e retangular.

Nas dimensões da antena, o *patch* possui dimensões finitas em largura e comprimento, dessa forma os campos formados nas bordas da plaqueta sofrem o efeito de franjamento. Essa quantia de franjamento está relacionada com as dimensões do *patch* e a espessura do substrato (h) [34]. Para [1], o franjamento no plano x - y (plano E

principal), é função do comprimento (L) do *patch*, da espessura do substrato (h) e de sua permissividade relativa (ϵ_r), de acordo com a Figura 2.6.

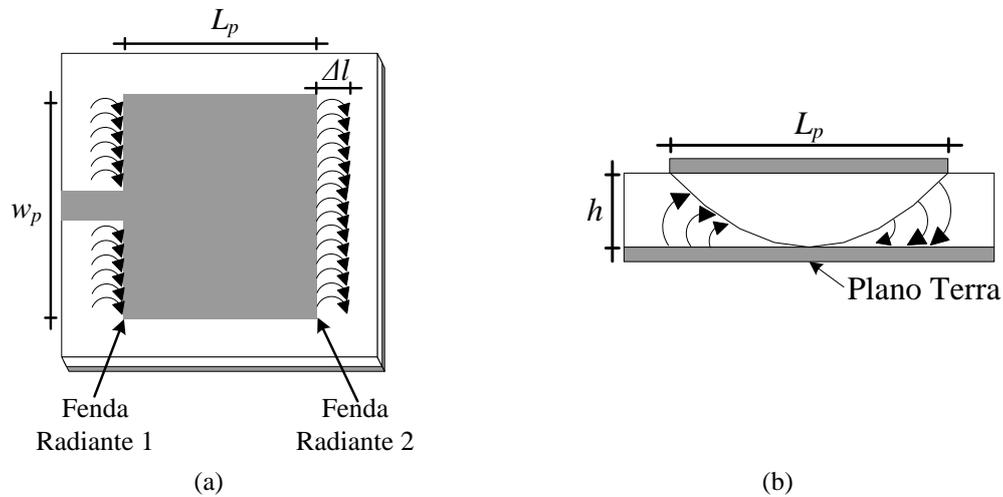


Figura 2.6: (a) Efeito de franjamento com um incremento Δl (b) Distribuição dos campos elétricos ao longo da antena

Fonte: (Adaptado de [1])

Como observado, o efeito de franjamento na Figura 2.6 faz com que as linhas de campo percorram tanto no ar quanto no substrato. O franjamento ainda proporciona que a antena de microfita tenha dimensões maiores do que as físicas, sendo necessário uma modelagem para a permissividade efetiva, que considere esse efeito, levando em consideração a permissividade do ar e do substrato (ϵ_r). Segundo [1], a permissividade efetiva (ϵ_{ref}) é uma constante dielétrica de um material uniforme, de modo que a linha de transmissão da antena sob efeito de franjamento possua as mesmas características elétricas de uma antena ideal que não sofre com esse efeito. Assim, a formulação matemática para determinar os parâmetros de projeto de uma antena de microfita, seguem as seguintes Equações:

- Calcula-se a largura do *patch* através da Equação 2.11.

$$W_p = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.11)$$

- Calcula-se a constante dielétrica efetiva pela Equação 2.12.

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W_p} \right)^{-1/2} \quad (2.12)$$

- Com W_p e ϵ_{ref} , determina-se a extensão de comprimento gerada pelos campos de borda a partir da Equação 2.13.

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\varepsilon_{ref} + 0,3) \left(\frac{Wp}{h} + 0,264 \right)}{(\varepsilon_{ref} - 0,258) \left(\frac{Wp}{h} + 0,8 \right)} \quad (2.13)$$

- O verdadeiro comprimento L_p da antena é obtido por meio da Equação 2.14.

$$L_p = \frac{1}{2f_r \sqrt{\varepsilon_{ref}} \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} - 2\Delta L \quad (2.14)$$

- A Equação 2.15 determina o comprimento efetivo da antena.

$$L_{ef} = L_p + 2\Delta L \quad (2.15)$$

- Por fim, a frequência de ressonância para o modo dominante TM_{010} é obtida através da Equação 2.16.

$$(f_r)_{010} = \frac{v_0}{2L_p \sqrt{\varepsilon_r}} \quad (2.16)$$

em que W_p é a largura do *patch*, L_p é o comprimento do *patch*, L_{ef} é o comprimento efetivo da antena, ΔL é a variação de comprimento da antena, ε_0 é a constante dielétrica no espaço livre, ε_{ref} é a constante dielétrica efetiva, μ_0 é a permeabilidade no espaço livre, v_0 é a velocidade das ondas eletromagnéticas no espaço livre, h a espessura do substrato, e f_r a frequência de ressonância.

Embora seja um método comum, possui uma desvantagem referente a elevada impedância de entrada do sistema, em torno de 200Ω , enquanto o ideal é 50Ω [1]. Para diminuir essa impedância de entrada, diferentes técnicas de casamento de impedância são utilizadas com o intuito de obter máxima transferência de energia, entre a linha de alimentação e a antena, com isso aumentando a sua eficiência [34].

No presente trabalho, foi proposto a técnica de *inset-fed*, em que são inseridas duas fendas retangulares paralelas à linha de alimentação (w_0). As fendas são projetadas com espessuras iguais a da camada condutora do ressoador, e com comprimentos (y_0) e larguras (g) definida de acordo com a modelagem aplicada [34], [43]-[44], como ilustra a Figura 2.7.

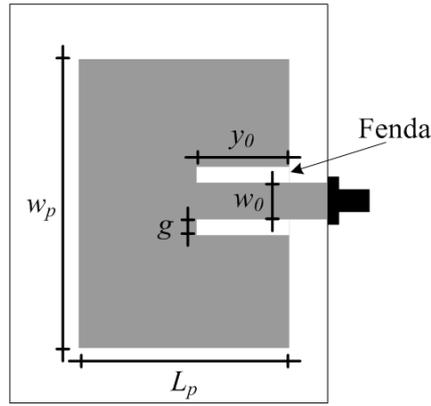


Figura 2.7: *Inset-fed* na Antena de Microfita.
Fonte: (Adaptado de [1])

Para definir o comprimento do *inset-fed* (y_0) a Equação 2.17 foi apresentada em [1], com o objetivo de aproximar a impedância de entrada da linha de microfita ao valor ideal de 50Ω .

$$y_0 = \frac{L_p}{\pi} \cos^{-1} [R_{in} 2(G_1 \pm G_{12})] \quad (2.17)$$

sendo L_p o comprimento do *patch*, R_{in} é a impedância de entrada, G_1 e G_2 são as condutâncias da antena, ambos calculados através das Equações 2.18, 2.19 e 2.20.

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \quad (2.18)$$

$$G_1 = \int_0^{\pi/2} \frac{\left[\frac{\text{sen}\left(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2 \text{sen}^3 \theta}{120\pi^2} d\theta \quad (2.19)$$

$$G_{12} = \int_0^{\pi/2} \frac{\left[\frac{\text{sen}\left(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2 \text{sen}^3 \theta}{120\pi^2} J_0(k_0 L \text{sen} \theta) d\theta \quad (2.20)$$

em que k_0 é o número de onda no espaço livre, W_p e L_p são a largura e o comprimento do *patch*, J_0 é a função de Bessel de ordem zero.

A dimensão da largura (g) do *inset-fed* pode ser calculada de acordo com a Equação 2.21 [34], [45].

$$g = \frac{v_0}{\sqrt{2\varepsilon_{ref}}} \frac{4,65 \times 10^{-12}}{f_r} \quad (2.21)$$

Capítulo 3

Aprendizagem por Reforço

Neste capítulo são abordados conceitos e características de aprendizagem por reforço, destacando o algoritmo do *Q-learning*, que será utilizado na estrutura do AR proposto neste trabalho.

3.1 Introdução

A Aprendizagem por Reforço - AR (do inglês *Reinforcement Learning – RL*) é um campo estudado na estatística, psicologia, neurociência, engenharia e ciência da computação. Está ligado as pesquisas de Aprendizado de Máquina (AM) e Inteligência Artificial (IA), na qual consiste em um agente “aprender” com a experiência de acordo com a tarefa vai executando. Através de percepções do ambiente, o agente aprende a melhor maneira de resolver problemas, além de estruturar o conhecimento existente para chegar a um entendimento do aprendizado [17], [46].

O AR tem origem no aprendizado animal, ou seja, é muito comum fazer um cão responder com um comportamento desejado através da punição ou da recompensa. Um exemplo comum é treinar o cão para encontrar vítimas de acidentes naturais como terremotos. Quando o cão encontra um objeto, é recompensado com comida. Diante disso, o cão adapta seu aprendizado gradativamente para encontrar objetos (vítimas, drogas e etc.) garantindo a recompensa. Para assegurar que a solução seja obtida, o AR recompensa comportamentos desejados e pune os indesejados, ocasionando uma mudança comportamental [47].

De acordo com [48], a AR é um formalismo da IA que permite a um agente aprender a partir da interação com o ambiente no qual se encontra inserido através de estados e ações, de modo que um valor numérico de recompensa seja maximizado e são tradicionalmente formalizados como um Processo de Decisão de Markov (PDM).

3.2 Processo de Decisão de Markov

Um PDM é uma sequência de estados, com a propriedade de que qualquer predição de valor de estado futuro dependerá apenas do estado e ação atuais, e não da

sequência de estados passada [18], [20], [49]. Para satisfazer uma propriedade de Markov através de um processo de AR, o efeito de uma ação em um estado depende apenas da ação e do estado atual do sistema (e não de como o processo chegou a tal estado) e são chamados de “decisão”, pois modelam a possibilidade de um agente (ou tomador de decisão) interferir periodicamente no sistema executando ações.

Definidamente, um PDM é dado por um conjunto de (S, A, P, R) , em que se tem [18], [20]:

- $S \rightarrow$ conjunto finito de estados do sistema;
- $A \rightarrow$ conjunto finito de ações;
- $P \rightarrow$ modelo de transição de estados;
- $R \rightarrow$ função recompensa, que especifica o reforço que o agente recebe por escolher uma determinada ação $a \in A$ no estado $s \in S$. O estado s e a ação a atuais determinam a) o próximo estado s' de acordo com a probabilidade $P(s'|s,a)$, e b) a recompensa $r(s,a)$ associada;

3.3 Características da Aprendizagem por Reforço

O problema de AR contém cinco partes fundamentais [21]:

- a) **Ambiente:** Todo o sistema de AR aprende um mapeamento de situações em ações por experimentos em um ambiente dinâmico;
- b) **Política de Controle / Decisão:** Representa o comportamento que o sistema AR segue para alcançar o objetivo;
- c) **Reforço e Retorno:** É um sinal devolvido pelo ambiente ao agente assim que uma ação tenha sido efetuada e uma transição de estado tenha ocorrido. O agente deve maximizar a quantidade total de reforços recebidos chamado de retorno acumulado;
- d) **Função de Reforço:** Dente as classes de problemas, existem pelo menos três usadas para criar funções adequada conforme o tipo de problema:
 - Reforço no estado final: As recompensas são todas zero exceto no estado final, em que o agente recebe uma recompensa (e.g., +1) ou uma penalidade (e.g., -1).
 - Tempo mínimo ao objetivo: O agente realiza ações que produzem o caminho ou trajetória mais curta para o estado objetivo.

- Minimizar reforços: Nem sempre o agente precisa ou deve tentar maximizar a função reforço, podendo também aprender a minimizá-la.
- e) **Função Valor:** É o mapeamento do estado ou par estado-ação em um valor que é obtido a partir do reforço atual e dos reforços futuros. A função valor que considera somente o estado s é denotada por $V(s)$ e denominada função valor-estado, enquanto que a função valor que considera o par estado-ação (s,a) é denotada por $Q(s,a)$ e denominada função valor-ação.

3.4 Interação entre Agente e Ambiente

No ambiente AR, o agente é introduzido no ambiente e comunica-se com ele por meio de percepções e realização de ações, de acordo com a Figura 3.1 [46]. Para cada passo da iteração, o agente recebe uma entrada e , uma denominação do estado (s) atual do ambiente. Com isso, o agente escolhe uma ação a a tomar, gerando sua saída. A ação altera então o estado do ambiente, e uma medida dessa mudança de estado é informada ao agente por meio de um valor de sinal de reforço, r . A função que mapeia os estados do ambiente nas ações que o agente deve tomar é definida como a política do agente [46]. A política de comportamento do agente, P , deve escolher tomar ações que maximizem o valor final da soma dos reforços recebidos em um intervalo de tempo. Desse modo a política de comportamento pode ser compreendida por meio de um processo de tentativa e erro, conduzido por diversos algoritmos [46].

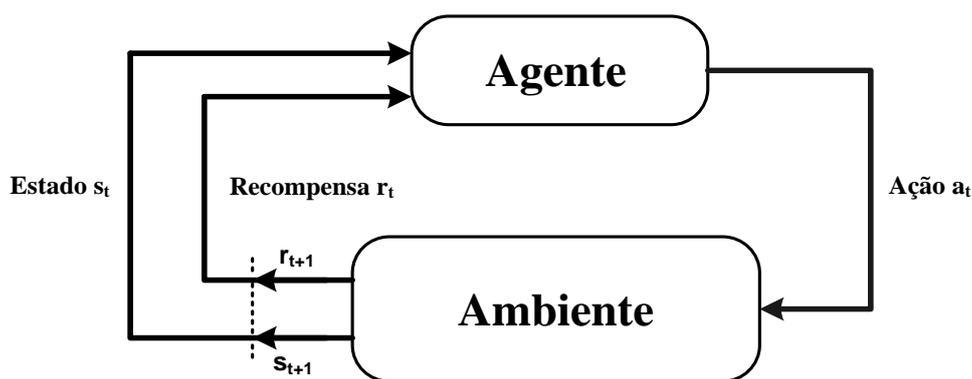


Figura 3.1: Esquema de interação entre o agente e o ambiente.
Fonte: (Adaptado de [48])

Diferente de outros métodos de aprendizado, como os conhecidos supervisionados e o não-supervisionados, em que é utilizado e não utilizado um agente externo para definir

sua resposta de saída, no AR não existem pares “entrada/saída” em seu treinamento [46]. Através de uma ação, o agente recebe uma recompensa para atingir o objetivo (maximizar o retorno a longo prazo). Em função da sua experiência dos possíveis estados, ações, transições e recompensas, alcança o melhor “caminho”.

3.5 Exploração e Intensificação

Este é um dilema que consiste em optar quando o agente deve escolher entre usufruir de uma ação já explorada ou testar novas opções, desde que compare seus resultados com os já aprendidos até o momento [16]. O agente requer que as vezes se faça escolhas erradas, isso significa que às vezes o agente tem que realizar ações aleatórias para explorar o ambiente. Entretanto, sem a exploração o agente não conhecerá nunca a política ótima [16] e não terá nenhuma ideia do benefício ou prejuízo que o aguarda ali. Por exemplo, o agente adquiriu conhecimento até um determinado período, se ele julgar que, para certo estado, a melhor ação a ser tomada seja a_1 . É capaz de que exista uma ação alternativa a_2 que direcione a uma melhor resposta. Portanto, só será possível ao agente aprender essa nova informação, se ele possuir um mecanismo de exploração que tome ações aleatórias [46].

3.6 Política Ótima

Na aplicação de um AR para solucionar um problema, espera-se que o agente compreenda uma política que seja capaz de obter uma sequência de ações, ao final da execução, assim obtendo uma maior recompensa acumulada, através da Equação 3.1.

$$R_t = \sum_{k=0}^T \gamma^k r_{t+k} \quad (3.1)$$

em que a taxa de desconto $0 < \gamma \leq 1$ determina o peso temporal relativo dos esforços [20], [48].

No algoritmo, as escolhas das ações do agente são realizadas a partir de uma função do estado, denominada política ótima, $\pi: S \rightarrow A$ [20]. O valor determinado para um estado, devido a uma política, corresponde a um reforço esperado partido do estado e seguindo a política da Equação 3.2.

$$V^\pi(s) = E_\pi \{R_t | s_t = s\} \quad (3.2)$$

Para cada estado que o sistema assume, o valor de máxima recompensa acumulada recebida após seguir a política π^* , é definida através da Equação 3.3 [20].

$$V^*(s) = \max_{\pi} V^{\pi}(s) \quad (3.3)$$

De acordo com uma política ótima π^* , sempre existirá ao menos uma política, produzindo o valor de utilidade em todos os estados $s \in S$. Paralelamente as duas funções das Equações 3.2 e 3.3, estão duas funções de valor de ação, conforme as Equações 3.4 e 3.5 [20].

$$Q^{\pi}(s, a) = E_{\pi} \{R_t | s_t = s, a_t = a\} \quad (3.4)$$

e

$$Q^*(s, a) = \max_{\pi} Q^{\pi}(s, a) \quad (3.5)$$

Com base em Q^* , pode-se determinar uma política ótima simplesmente como descreve a Equação 3.6 [20].

$$\pi^*(s) = \arg \max_{\alpha} Q(s, a) \quad (3.6)$$

3.7 Q-Learning

Segundo [16] e [49], é uma das técnicas de aprendizado mais importantes e populares para as contribuições em AR, foi desenvolvida por Watkins (1989). Tem como vantagem ser utilizado mesmo quando não dispondo de uma tabela de probabilidades de transição de estados do sistema, ou seja, não dispõe de conhecimento de como suas ações afetam o ambiente. O algoritmo converge para um controle ótimo, quando a hipótese de aprendizagem de pares estado-ação Q for representada por uma tabela completa contendo a informação de valor de cada par [49].

O *Q-learning* é classificado como um método de diferença temporal *off-policy*, ou seja, a convergência para valores ótimos de Q não depende da política que está sendo utilizada. A função $Q(s, a)$ da recompensa futura esperada ao escolher a ação a no estado s , é compreendida através de tentativa e erro, de acordo com a Equação 3.7 [50].

$$Q_{t+1}(s_t, a_t) = Q_t(s_t, a_t) + \alpha [r_{t+1} + \gamma V_t(s_{t+1}) - Q_t(s_t, a_t)] \quad (3.7)$$

em que:

- α é a taxa de aprendizagem;
- r é a recompensa, ou custo, resultante de tomar a ação a no estado s ;

- γ é o fator de desconto;
- $V_t(s_{t+1}) = \frac{\max}{\pi} Q(s_{t+1}, \alpha)$ é o termo da utilidade do estado s resultante da ação α , obtida utilizando a função Q que foi aprendida até o presente;
- Q é a função que representa a recompensa descontada esperada se tomar uma ação α quando visitando o estado s , e seguindo política ótima.

Na Figura 3.2 é apresentado o fluxograma do algoritmo *Q-learning*. Ele começa com o agente colocado no ambiente, selecionando uma ação para o estado atual e inicialização da matriz Q . O agente em seguida escolhe uma ação para gerar uma nova saída. Atingindo o objetivo (estado) e a quantidade de episódios, o processo de aprendizagem está completo. Uma vez que todos os pares estados-ação tenham sido visitados um número infinito de episódios, garante-se que o método gerará uma estimativa Q_t que convergem para o valor de Q' . Na prática executa-se um número suficientemente grande de episódios de acordo com o tamanho ou contexto da tarefa a ser aprendida. Caso não consiga o objetivo, uma nova ação é executada para um novo estado.

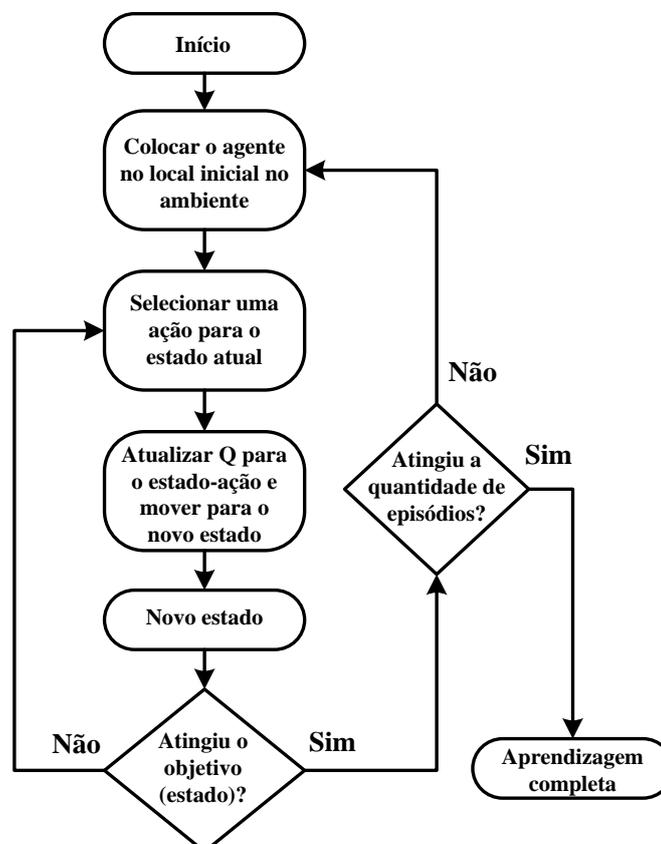


Figura 3.2: Fluxograma do *Q-learning*
 Fonte: (Autor, 2018)

Capítulo 4

Projetos de Antenas de Microfita

Neste capítulo é apresentado um projeto da antena de microfita retangular com *inset-fed* utilizado neste trabalho. Em seguida, um projeto utilizando a Aprendizagem por Reforço (AR) com o algoritmo *Q-learning* para otimização de antenas de microfita retangular com *inset-fed*. Por fim, são apresentados resultados iniciais de simulações e resultados experimentais.

4.1 Projeto de Antenas de Microfita Retangular com *Inset-fed*

Para um projeto de uma antena de microfita são necessários três parâmetros essenciais: a frequência de ressonância (f_r), a constante dielétrica do substrato (ϵ_r) e a espessura (h) do material utilizado como substrato, conforme metodologia descrita em [1], [12], [45] e [51].

A Figura 4.1 apresenta um fluxograma para um projeto de uma antena de microfita retangular padrão com *inset-fed*. O projeto inicia definindo a aplicação e utilização da antena retangular, determinação das especificações técnicas (ϵ_r , h , f_r) e cálculo dos parâmetros físicos. Obtido os parâmetros físicos da estrutura, se dá a etapa de análise da mesma através de um *software* comercial. Caso a antena obedeça às especificações técnicas esperadas, como perda de retorno, o protótipo é implementado e analisado experimentalmente para comparação e análise dos resultados simulados e medidos. Caso não obedeça, os parâmetros físicos precisam ser recalculados e a antena submetida a uma nova análise. Essa sequência prossegue até que as especificações técnicas sejam desejadas. Entretanto, essa sequência muitas vezes é realizada com pequenos ajustes pelo projetista, no processo de tentativa e erro.

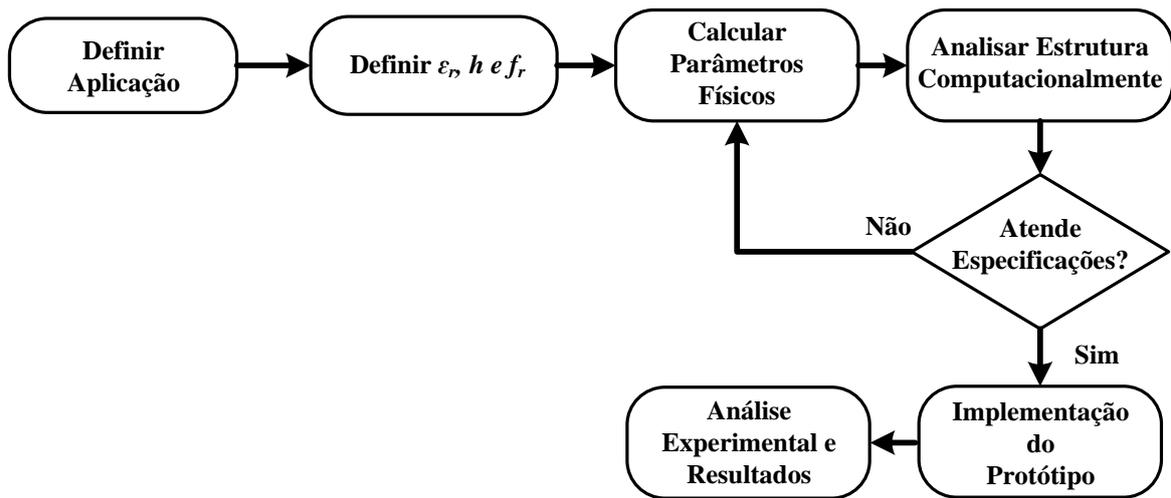


Figura 4.1: Fluxograma para um projeto de antena de microfita retangular com *inset-fed*
 Fonte: (Adaptado de [37])

Para as antenas de microfita, observa-se em [1], [2], [12] e [52], que a impedância de entrada de uma antena de microfita retangular com alimentação através da linha de transmissão (Figura 2.1), depende principalmente do comprimento do *inset-fed* (y_o) em relação ao comprimento do elemento radiador (*patch*), ou seja, a resistência pode ser reduzida movendo o y_o em direção ao centro do *patch*, em que a tensão é nula e a corrente é máxima. Quando o y_o se aproxima do centro do *patch* ($y_o = L_p/2$), a função $\cos^2(\pi y_o/L_p)$ varia muito rapidamente (Equação 2.17), conseqüentemente a resistência de entrada também varia. Em certos casos, a largura (g) do *inset-fed* produzem alterações neste parâmetro.

Em geral [1], a impedância de entrada é complexa e inclui tanto a parte ressonante como a parte não-ressonante, a qual é usualmente reativa. Na impedância, que compreende a parte real (resistiva) e imaginária (indutiva), seus valores variam em função da frequência.

Neste trabalho, o projeto da antena padrão possui uma impedância de entrada de 50Ω com *inset-fed* e frequência de ressonância de 1,85 GHz, para operar em tecnologia GSM (do inglês, *Global System for Mobile Communications*). As dimensões para o *patch* resultaram em um elemento radiante de largura $W_p = 49.34$ mm e comprimento $L_p = 38.36$ mm, além de um comprimento do *inset-fed* (y_o) de 14.23 mm, largura de *gap* (g) de 0.26 mm e largura da linha de transmissão em microfita de $W_o = 2.49$ mm. O material adotado no *patch*, linha de transmissão e plano terra, foi o cobre com espessura de 0,05 mm. Para o substrato dielétrico, foi adotado o FR4 (fibra de vidro), que é normalmente aplicado a dispositivos sem fio [12] e tem constante dielétrica $\epsilon_r = 4.4$ com

tangente de perda (δ) igual a 0,02.

4.2 Projeto de Otimização do *Inset-fed* com Aprendizagem por Reforço

Para otimização do *inset-fed* em antenas de microfita retangular, a Figura 4.2 apresenta o fluxograma a partir do método tradicional (Figura 4.1), somado a variações do y_0 e formação de um banco de dados para a otimização com aplicação da AR com o algoritmo *Q-learning*.

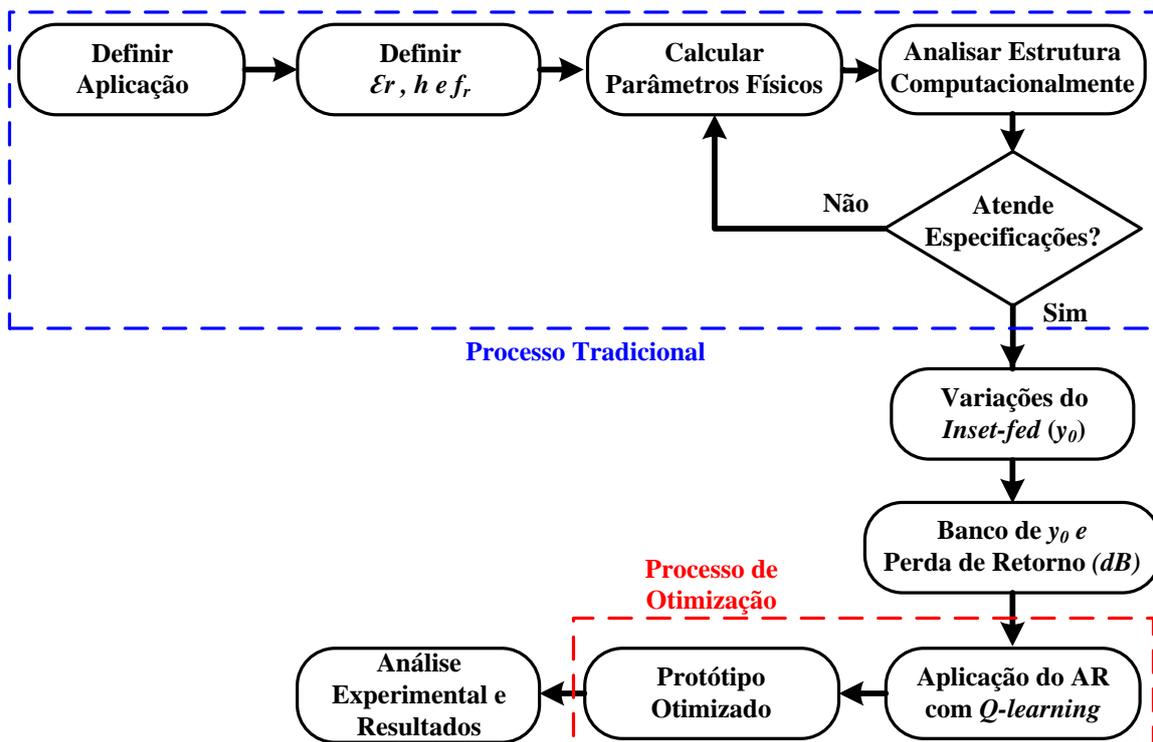


Figura 4.2: Fluxograma para o projeto de antena de microfita retangular otimizado

Fonte: (Adaptador de [37])

No final, o projeto otimizado obedeceu a quase todos os parâmetros e valores da antena padrão, com exceção do comprimento do *inset-fed* (y_0) que obteve 13.73 mm, garantindo uma melhor perda de retorno em função da frequência.

4.3 Resultados Iniciais

Tendo como objetivo validar a utilização da AR, foram realizadas simulações através de um *software* comercial que utiliza o método numérico dos elementos finitos. Em seguida foi fabricado protótipos das antenas de microfita com *inset-fed* para a antena padrão e com AR, a fim de realizar medições experimentais.

4.3.1 Resultados das Simulações

Para análise computacional da Figura 3.2 e do processo de otimização no fluxograma da Figura 4.2, foi analisado um cenário caracterizado pela variação do *inset-fed* (y_0) com o AR, tendo como objetivo alcançar um valor ótimo de y_0 .

Na Tabela 4.1, denominada de Tabela $Q(s,a)$ é apresentado o resultado do aprendizado conforme o fluxograma do Q -learning para 70 episódios, onde as linhas correspondem aos possíveis estados y_0 [$y_{01}, y_{02}, y_{03}, \dots, y_n$] e as colunas as possíveis ações a_0 [$a_{01}, a_{02}, a_{03}, \dots, a_n$]. Os resultados desta tabela indicam a probabilidade de escolha de cada variação Δy_0 a partir de cada y_0 obtido durante o projeto da antena padrão. Os valores em negrito indicam a ação ótima que deverá ser escolhida pelo agente e o seu respectivo estado.

Tabela 4.1: Aprendizagem do agente

Estados - y_0 (mm)	Ações - Δy_0 (mm)					
	+2	-2	+1	-1	+0.5	-0.5
12.23 mm	0.99	0.72	0.90	0.71	1	0.66
12.73 mm	0.073	0.073	0.72	0.08	1	0.072
13.23 mm	0.12	0.10	0.04	0.09	1	0.03
13.73 mm	0	0	0	0	0	0
14.23 mm	0.02	0.04	0.08	1	0.07	0.7
14.73 mm	0.08	1	0.078	0.64	0.07	0.7
15.23 mm	0.01	0.87	0.08	0.93	0.06	1
15.73 mm	0.0004	0.53	0.05	1	0.07	0.8
16.23 mm	0.69	0.9	0.684	1	0.6837	0.5902

Fonte: Autor, 2018.

Analisando a Tabela 4.1, o funcionamento do agente ocorre da seguinte forma: o agente é posicionado aleatoriamente em um estado qualquer, por exemplo, $y_{01} = 12.23$ mm, observa-se a melhor ação para esse estado que é $\Delta y_0 = y_0 + 0.5$ e alcança-se um novo estado $y_{02} = 12.73$ mm. Escolhe-se a melhor ação para esse estado e assim por diante, até encontrar o estado objetivo representado na tabela por $y_{04} = 13.73$ mm. O estado objetivo é aquele cuja perda de retorno é a melhor possível.

De acordo com as simulações para a otimização, o valor de y_0 ótimo foi igual a 13,73 mm, no entanto conforme a literatura tradicional foi estabelecido o valor padrão de 14,23 mm. Para os dois valores, foi analisado a variação da perda de retorno em função da frequência de ressonância, conforme a Figura 4.3.

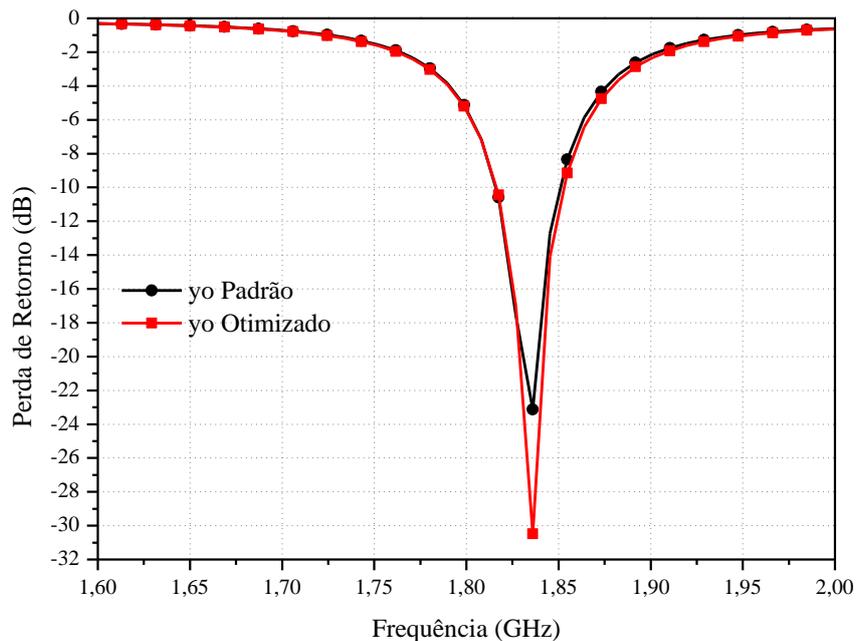


Figura 4.3: Comparação da perda de retorno e frequência de ressonância para a simulação.
Fonte: (Autor, 2018)

Ainda pode ser observado na Figura 4.3, que ambas as antenas ressoam nas mesmas frequências e, que a antena otimizada consegue atingir uma melhor perda de retorno. Desse modo, comprova-se a capacidade do AR encontrar o valor ótimo do parâmetro em estudo.

4.3.2 Resultados Experimentais

Para análise dos experimentos a partir dos projetos em softwares comerciais, as antenas foram construídas utilizando alguns materiais e seguindo a sequência apresentada na Figura 4.4.

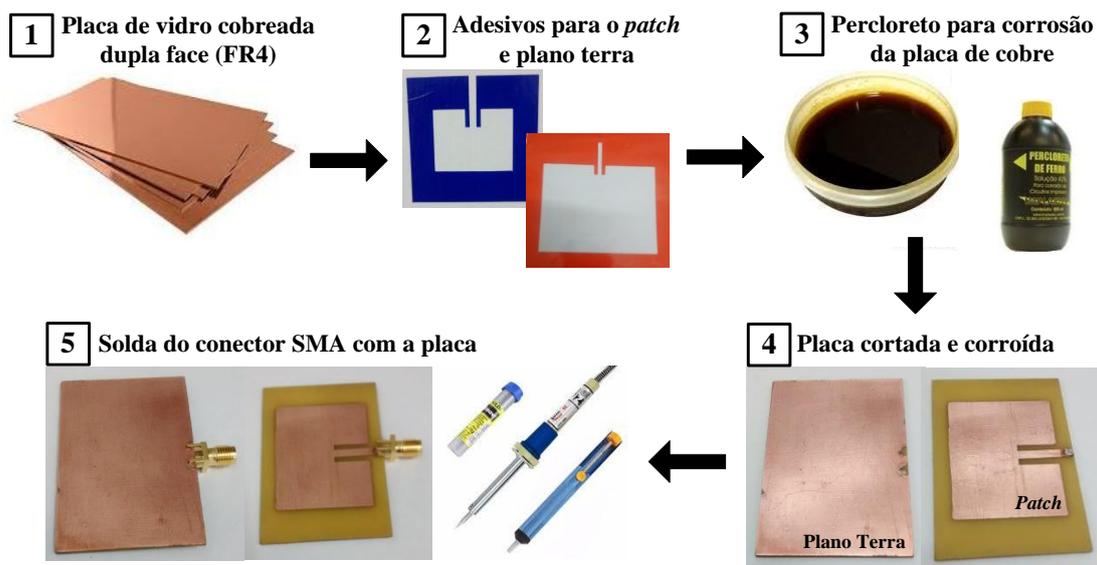


Figura 4.4: Etapas da confecção da antena de microfita

Fonte: (Autor, 2018)

Com as antenas construídas na Figura 4.5, observa-se da esquerda para direita, o protótipo para a antena padrão (Figura 4.5a) e a antena otimizada (Figura 4.5b).

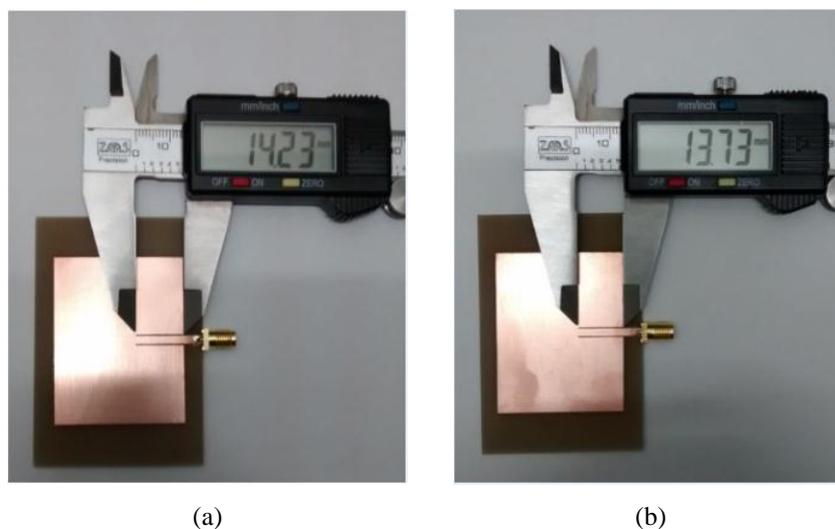


Figura 4.5: Protótipos das antenas (a) Padrão e (b) Otimizada

Fonte: (Autor, 2018)

As medições experimentais foram realizadas por um analisador de rede vetorial (*Agilent Technologies E5071C*) com faixa de medição de 9kHz até 4,5GHz, visto na Figura 4.6.



Figura 4.6: Analisador de rede vetorial *Agilent Technologies E5071C*.
Fonte: (Autor, 2018)

A Figura 4.7 mostra a comparação entre os valores medidos de perda de retorno para a antena com y_0 padrão e para a antena otimizada. Além disso, observa-se que a antena padrão apresentou perda de retorno de $-20,67$ dB e a antena otimizada apresentou perda de retorno menor que $-22,12$ dB. Portanto, a técnica aplicada para otimizar y_0 também é comprovada através dos resultados experimentais, melhorando o desempenho para a perda de retorno e a frequência de ressonância.

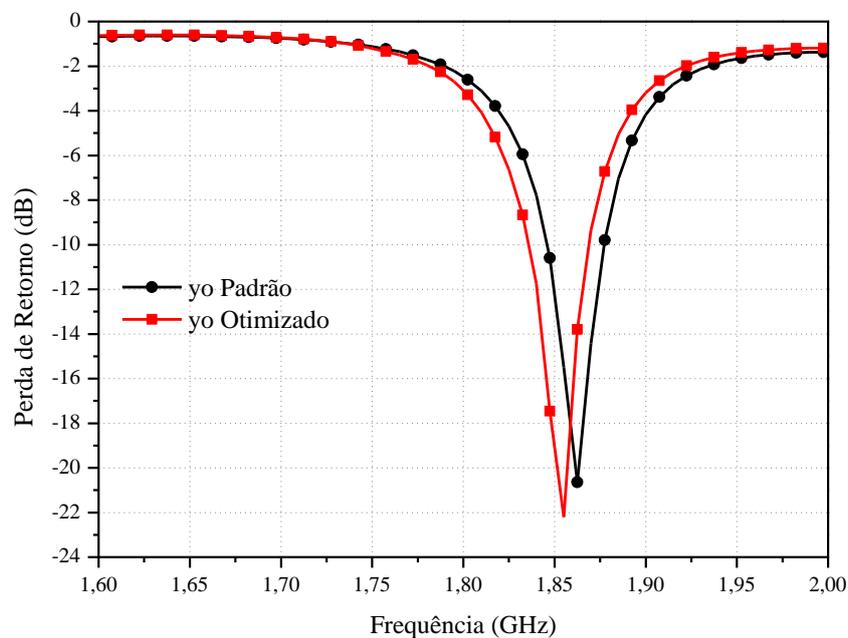


Figura 4.7: Comparação da perda de retorno em função da frequência para os experimentos.
Fonte: (Autor, 2018)

4.4 Considerações Finais

Diversas são as aplicações da AR que se destacam na robótica, jogos, telecomunicações, controle de tráfego veicular urbano entre outros. Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar uma nova proposta de otimização na obtenção de parâmetros no projeto de antenas utilizando Aprendizagem por Reforço (AR).

Na abordagem proposta, a AR é um sistema inteligente que avalia com recompensas ou reforços as ações tomadas corretamente e com punições os demais casos. Através de simulações e experimentos iniciais em projetos de antenas de microfitas com *inset-fed* (y_0), observa-se que é possível estimar o valor ótimo para o parâmetro do y_0 utilizando esta técnica de aprendizado de máquina.

Capítulo 5

Cronograma de Atividades

Objetivando o cumprimento de todos os requisitos propostos para este trabalho, foi elaborado um cronograma com o detalhamento das atividades a serem realizadas para a conclusão desta tese de doutorado através da Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Cronograma de atividades

Mês	Atividade
2018.1	
Janeiro à Junho 18	Revisão Bibliográfica /Simulação e Experimentos de Antenas /Artigos, Exame de Qualificação do Doutorado
2018.2	
Julho à Dezembro 18	Revisão Bibliográfica /Simulação e Experimentos de Antenas /Artigos
2019.1	
Janeiro à Junho 19	Revisão Bibliográfica /Simulação e Experimentos de Antenas /Artigos
2019.2	
Julho à Dezembro 19	Revisão Bibliográfica /Simulação e Experimentos de Antenas /Artigos
2020.1	
Janeiro à Julho 20	Artigos /Defesa de Tese

Fonte: Autor, 2018.

Capítulo 6

Trabalhos em Conferências

A Tabela 6.1 mostra os trabalhos submetidos e publicados em Conferências, respectivamente, durante o tempo transcorrido no curso de doutorado.

Tabela 6.1 – Trabalhos em conferências.

Nº	Conferência	Situação
1	FERNANDES, H. C. C. ; SIQUEIRA, J. H. A. ; LIMA, A. M. ; SOUZA, F. A. A. . Miniaturization Strategy and Truncated Ground Plane for Antennas Arrays with Rectangular Patch . In: IEEE SENSORS, 2016, Orlando.	Publicado em 2016
2	FERNANDES, H. C. C. ; SILVA NETO, A. S. E. ; SOUZA, F. A. A. ; LIMA, A. M. ; SIQUEIRA, J. H. A. . Cylindrical Antenna for use in Telemetry . In: IEEE SENSORS, 2016, Orlando.	Publicado em 2016
3	XVIII SBMO – Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica. MOMAG 2018 Título: Aprendizagem por Reforço na Obtenção do Projeto de uma Antena de Microfita.	Aceito em 2018

Fonte: Autor, 2018.

Referências Bibliográficas

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2009.
- [2] M. A. Oliveira, E. E. C. Oliveira, A. G. Neto, M. Silva, J. J. P. Gonçalves e J. N. Cruz, “Análise Paramétrica em Uma Antena Patch Retangular de Microfita com Fendas”, *Revista INNOVER*, vol. 1, no. 4, Dezembro 2014.
- [3] P. F. S. Júnior, “Projeto de Antena Biospinradas em Plantas para Sistemas de Comunicação Sem Fio”, Tese de Doutorado, IFPB, João Pessoa, BR, 2015.
- [4] E. T. Rahardjo, F. Y. Zulkifli, Basari, D. Y. Herwanto and J. T. S. Sumantyo, “Circularly Polarized Microstrip Antenna Array for UAV Application”, *Antennas Propagation (ISAP), 2013 Proceeding of the International Symposium on*, 2013. V. 02, p. 870-872.
- [5] SIGNATEC, 2018. Disponível em: <<http://signatec.com.br/inicio/sistema-comunicacao-sem-fio-fm/>>. Acesso em: 6 de Maio de 2018.
- [6] OPENTECHDIARY, 2018. Disponível em: <<https://opentechdiary.wordpress.com/2015/07/18/part-4-a-walk-through-internet-of-things-iot-basics/>>. Acesso em: 6 de Maio de 2018.
- [7] E. R. Brinhole, J. F. Z. Destro, A. A. C. Freitas and N. P. A. Júnior, “Determination of Resonant Frequencies of Triangular and Rectangular Microstrip Antennas, Uisng Artificial Neural Networks”, *Progress In Electromagnetics Research Symposium* 2005, Hangzhou, China, August 22-26.
- [8] K. V. Rop, D. B. O. Konditi, H. A. Ouma, and S. M. Musyoki, ”Parameter Optimization in Design of a Rectangular Microstrip Patch Antenna Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Technique”, *International Journal on in Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*, vol. 4, no. 3, pp. 16-23, September 2012.
- [9] S. R. Martins, “Estudo Avaliativo de um Algoritmo Genético Auto-Organizável e Multiobjetivo utilizando Aprendizado de Máquina para Aplicações de Telecomunicações”, Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal, BR, 2012.

- [10] I. Vilović, N. Burum and M. Brailo, "Microstrip Antenna Design Using Neural Networks Optimized by PSO," *Applied Electromagnetics and Communications ICECom 2013*, Dubrovnik, Croatia, 2013, pp. 1-4.
- [11] A. O. Guimarães, "Inteligência Computacional Aplicada na Otimização de Efeitos Causados pelo Uso de Estruturas PBG em Antenas de Microfita", Tese de Doutorado, UFRN, Natal, BR, 2016.
- [12] F. C. B. de Sena, J. P. da Silva, J. P. P. Pereira and A. O. Guimarães, "Inset-Fed Rectangular Microstrip Antenna Optimized by Genetic Algorithm", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 59, no. 1, pp. 105-109, January 2017.
- [13] R. V. A. Lira and A. L. P. S. Campos., "Parameters Optimization for Rectangular and Circular Microstrip Antennas Using the Tagushi Method", presented at SBMO/IEEE MTT-S International Microwave & Optoelectronics Conference – IMOC, Águas de Lindoia, Brasil, 2017.
- [14] F. C. B. de Sena and J. P. da Silva, "Harmonic Suppression Using Optimised Hexagonal Defected Ground Structure by Genetic Algorithm", *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, April. 2018.
- [15] A. B. Sahoo, B. B. Mangaraj, T. S. Nag and K. Soni, "Application of Gravitational Search Algorithm in Optimization of Microstrip Antenna at 5 GHz", *2nd International Conference on Man and Machine Interfacing (MAMI)*, Bhubaneswar, India, Dec. 2017.
- [16] A. G. de Oliveira, "Uma Aplicação da Aprendizagem por Reforço na Otimização da Produção em um Campo de Petróleo", Tese de Doutorado, UFRN, Natal, BR, 2010.
- [17] A. S. Leal, "Aplicação do Método de Aprendizagem por Reforço *Q-learning* na Adaptatividade Dinâmica de Dificuldade de um Jogo Digital Ortográfico", Trabalho de Conclusão de Curso, UFVJM, Diamantina, BR, 2016.
- [18] G. P. B. Neto and C. A. Siebra, "Uma Proposta de Modelagem para Uso do Aprendizado por Reforço na Definição de Táticas de Combate em Jogos de Estratégia em Tempo Real", SBGames 2012: XI Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital, 2-4 Novembro, 2012.
- [19] M. R. G. Serra, "Aplicações de Aprendizagem por Reforço em Controle de Tráfego Veicular Urbano", Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, BR, 2004.

- [20] S. T. Monteiro, e C. H. C. Ribeiro, “Desempenho de Algoritmos de Aprendizagem por Reforço Sob condições de Ambiguidade Sensorial em Robótica Móvel”, Revista Controle e Automação, vol. 15, no. 3, pp. 320-338, Julho, Agosto e Setembro 2004.
- [21] L. M. D. da Silva, “Proposta de Arquitetura em Hardware para FPGA da Técnica Q-learning de Aprendizagem por Reforço”, Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal, BR, 2016.
- [22] N. C. Almeida, T. F. B. de Sousa, M. A. C. Fernandes, e A. D. D. Neto, “Conformação Cega de Feixe em Antenas Adaptativas Utilizando Aprendizagem por Reforço”, CBIC 2015: XII Congresso Brasileiro de Inteligência Computacional, 2015.
- [23] E. M. G. Stancanelli, “Aplicações de Aprendizagem de Máquinas às Comunicações Móveis: Gerenciamento de Recursos e Avaliação de Desempenho”, Tese de Doutorado, UFC, Fortaleza, BR, 2012.
- [24] J. P. Leite, “Aplicação de Técnicas de Aprendizado por Reforço à Alocação de Recursos e ao Escalonamento de Usuários em Sistemas de Telecomunicações”, Tese de Doutorado, UNB, Brasília, BR, 2014.
- [25] H. Feldman, “Space-Based Antenna Morphing Using Reinforcement Learning”, 45th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Nevada, EUA, 2007.
- [26] A. C. Mendes, “Estratégia de Seleção de Canal em rede de Rádios Cognitivos”, Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, BR, 2015.
- [27] QSL.NET, 2018. Disponível em:
<http://www.qsl.net/va3iul/Antenna/Printed_and_Microstrip_Antennas/03_Basic_Microstrip_Antenna_Shapes.gif>. Acesso em: 7 de Maio de 2018.
- [28] A. S. Maia, “Estudo do Comportamento dos Parâmetros de Antenas de Microfita Utilizando Diferentes Configurações de Arranjos de Estruturas EBG/PBG”, Dissertação de Mestrado, UFERSA, Mossoró, BR, 2016.
- [29] J. P. P. Pereira, “Estruturas PBG Periódicas e Quase Periódicas em Antenas de Microfita com Aplicação em Veículos Aéreos Não Tripulados”, Tese de Doutorado, UFRN, Natal, BR, 2016.
- [30] D. M. Pozar and D. H. Schaubert, Microstrip Antennas – The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays, New York, USA: The IEEE, Inc., 1995.

- [31] J. H. C de Moraes, “Estudo de Anetnas Patches de Microfitas Miniaturizadas em Banda Larga para Aplicação em Dispositivos Móveis e Portáteis”, Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal, BR, 2011.
- [32] S. M. Wentwort, *Fundamentos de Eletromagnetismo com Aplicações em Engenharia*, LTC, 2006.
- [33] M. D. Soares. Tutorial Banda Larga: WLAN X Sistemas Móveis Celulares. 2004. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwlanx/pagina_3.asp>. Acesso em Abril 2018.
- [34] S. M. de Holanda, “Estudo e Desenvolvimento de Antenas de Microfita Utilizando Tecido de Malha a Base de Fibras Têxteis Compostas”, Dissertação de Mestrado, UFRSA, Mossoró, BR, 2016.
- [35] M. Ghavami, L. B. Michael and R. Kohno, “Ultra Wideband: Signals and Systems in Communication Engineering”. West Sussex: John Wiley & Sons. p. 278. 2004.
- [36] V. A. A. Filho, “ Arranjo de Log-Periódicos Compactos em Microfita com Elementos Fractais de Koch”, Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal, BR, 2010.
- [37] T. V. Barra, “Um Ambiente Evolutivo para Apoio ao Projeto de NAntenas d Microfita”, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, BR, 2007.
- [38] J. L. T. Garzón, “Desenvolvimento e Implementação de Anetna Planar para Aparelhos Celulares”, Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, BR, 2013.
- [39] J. R. James and P. S. Hall, “Handbook of Microstrip Antennas”. London, UK: Peter peregrinus Ltd., 1989.
- [40] N. K. Uzunoglu, N. Alexopoulos and J. Fikioris. “Radiation Properties of Microstrip Dipoles”. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. vol 27, n. 6, p. 853-858. nov. 1979.
- [41] Y. T. Lo, D. Solomon and W. F. Richards. “Theory and Experiment on Microstrip Antennas”, *IEEE Transactions Antennas Propagation*, vol. 27, n. 2, p. 137–145, mar. 1979.
- [42] R. C. Filho, ”Desenvolvimento de Substrato Cerâmico BiNbO4 para Antenas de Microfita de Sistemas de Comunicação Sem Fio”, Tese de Doutorado, UFRN, Natal, BR, 2010.
- [43] J. R. F. Guerra, “Projeto de Antena de Microfita Flexível Utilizando de Tecido Malha a Base de Fibras Naturais e Sintéticas”. Dissertação de Mestrado, UFRSA, Mossoró, 2016.

- [44] I. B. T. da Silva, “Projeto e Análise de Antena de Microfita com Utilização de Metamaterial do tipo CSRR”, Dissertação de Mestrado, UFERSA, Mossoró, BR, 2014.
- [45] M. A. Martin and A. I. SAYEED, “A Design Rule for Inset-fed Rectangular Microstrip Patch Antenna”. *WSEAS Transactions on Communications*, Vol 9, N. 1, p. 63-72, Jan. 2010.
- [46] E. P. F. D. Júnior, “Aprendizado por Reforço Sobre o Problema de Revisitação de Páginas Web”, Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, Rio de Janeiro , BR, 2012.
- [47] R. Grunitzki, “Um Estudo Sobre Aprendizado por Reforço Multiagente e Reward Shaping”, Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS, Porto Alegre, BR, 2014.
- [48] R. S. Sutton and A. G. Barto, *Reinforcement Learning: na introduction*. MIT Press, 1998.
- [49] N. C. Almeida, “Técnicas de Conformação de Feixe em Arranjo de Antenas Utilizando Aprendizagem por Reforço”, Tese de Doutorado, UFRN, Natal, BR, 2015.
- [50] N. C. Almeida, M. A. C. Fernandes and A. D. D. Neto, “Beamforming and Power Control in Sensor Arrays Using Reinforcement Learning”. *Sensors 2015*, Vol 15, N. 3, p. 6668-6687, March. 2015.
- [51] M. A. Martin, and A. I. Sayeed, “A Design Rule for Inset-fed Rectangular Microstrip Patch Antenna”, *WSEAS Transactions on Communications*, vol. 9, no. 1, January 2010.
- [52] M. Ramesh and K. B. Yip, “Design Formula for Inset Fed Microstrip Patch Antenna”, *Journal of Microwaves and Optoelectronics*, vol. 3, no. 3, p.5-10, December, 2003.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFRSA
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 que o aluno **Adelson Menezes Lima**, matriculado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), sob a matrícula **20161022896**, cumprindo satisfatoriamente as seguintes atividades nos **semestres 2017.2 e 2018.1**, conforme declarado no Relatório de Atividades Acadêmicas e Projeto de Tese (**Anexo III**).

Data: 30 de Julho de 2018.

Assinatura do (a) orientador (a)
(Obrigatória)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DE ATIVIDADES
ACADÊMICAS



EMITIDO EM 30/07/2018 11:45

ATESTADO DE MATRÍCULA

Período Letivo: **2018.2** (30/07/2018 à 15/12/2018) Nível: **DOUTORADO**
 Matrícula: **20161022896** Vínculo: **REGULAR**
 Nome: **ADELSON MENEZES LIMA**
 Programa: **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO**
 Nível: **DOUTORADO**
 Área de Concentração: **TELECOMUNICAÇÕES**
 Orientador: **JOSE PATROCINIO DA SILVA**

TURMAS MATRICULADAS: 0

ATIVIDADES MATRICULADAS: 1

Cód.	Componentes Curriculares/Docentes	Turma	Status	Horário
EEC3008	TESE DE DOUTORADO Forma de Participação: ATIVIDADE AUTÔNOMA	--	MATRICULADO	--

ATENÇÃO

Para verificar a autenticidade deste documento acesse <https://sigaa.ufrn.br/sigaa/documentos/> informando a matrícula, a data de emissão e o código de verificação **bf2725eda4**

SIGAA | Superintendência de Informática - (84) 3215-3148 | Copyright © 2006-2018 - UFRN - sigaa01-producao.info.ufrn.br.sigaa01-producao

Histórico Escolar - Emitido em: 30/07/2018 às 11:46

Dados Pessoais

Nome: **ADELSON MENEZES LIMA** Matrícula: **20161022896**
 Data de Nascimento: **19/04/1980** Local de Nascimento: **NATAL/RN**
 Nome do Pai: **ALMIR PEREIRA LIMA**
 Nome da Mãe: **IVETE MENEZES SA DE SOUSA**
 Endereço: **AVENIDA SANTOS DUMONT, 474 - APTO 101** Bairro: **CAPIM MACIO**
 Município: **NATAL** UF: **RN**

Dados do Vínculo do Discente

Programa: **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO** Índices Acadêmicos
 Nível: **DOUTORADO** CR: **4.75**
(Coeficiente de Rendimento: 0.0 - 5.0)
 Curso: **DOUTORADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO**
 Currículo: **10** Status: **ATIVO**
 Área de Concentração: **TELECOMUNICAÇÕES**
 Linha de Pesquisa:
 Orientador: **1422265 - JOSE PATROCINIO DA SILVA**
 Forma de Ingresso: **SELEÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO**
 Mês/Ano Inicial: **JUL/2016** Mês Atual: **25º**
 Suspensões: **0 meses** Prazo para Conclusão **JUN/2020**
 Prorrogações: **0 meses** Tipo Saída:
 Mês/Ano de Saída: Data da Defesa:

Disciplinas/Atividades Cursadas/Cursando

Início	Fim	Componente Curricular		Turma	CH	Freq %	Nota	Situação
07/2016	12/2016	EEC1708	DISPOSITIVOS E CIRCUITOS EM FOTONICA	01	60	80,6	A	APROVADO
07/2016	12/2016	EEC3025	PROJETO DE PESQUISA I	12	60	94,4	A	APROVADO
02/2017	06/2017	EEC1713	ONDAS GUIADAS	01	60	77,8	B	APROVADO
05/2017	05/2017	EEC3001	EXAME DE PROFICIENCIA EM LINGUA INGLESIA	--	0	--	--	APROVADO
02/2017	06/2017	EEC3026	PROJETO DE PESQUISA II	01	60	87,5	A	APROVADO
08/2017	08/2017	EEC3002	EXAME DE PROFICIENCIA EM LINGUA ESPANHOLA	--	0	--	--	APROVADO
07/2017	07/2018	EEC3006	EXAME DE QUALIFICAÇÃO DE DOUTORADO	--	0	--	--	APROVADO
07/2018	--	EEC3008	TESE DE DOUTORADO	--	0	--	--	MATRICULADO
--	--		APROVEITAMENTO DE CARGA HORÁRIA	--	360	--	---	CUMPRIU

Carga Horária Integralizada/Pendente

	Obrigatórias	Optativos	Total
Exigido	0 h	360 h	360 h
Integralizado	0 h	600 h	600 h
Pendente*	0 h	0 h	0 h

*Contabilizado com base no valor estabelecido no mínimo exigido da estrutura curricular.

Histórico Escolar - Emitido em: 30/07/2018 às 11:46

Nome: **ADELSON MENEZES LIMA**

Matrícula: **20161022896**

Atenção, agora o histórico possui uma verificação automática de autenticidade e consistência, sendo portanto dispensável a assinatura da coordenação do curso ou PPG. Favor, ler instruções no rodapé.



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 VIII)

TERMO DE DECLARAÇÃO E COMPROMISSO

EU, **Adelson Menezes Lima**, portador do CPF nº **993.407.985-20** RG nº **1.329.383 SSP/SE**, matrícula siape nº **3857693**, devidamente autorizado(a) pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA para realizar o curso de **Doutorado em Engenharia Elétrica e Computação (PPGEEC) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, 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.

Mossoró (RN), 30 de Julho de 2018.

Assinatura

Nome da testemunha

CPF: 051.649.134-60

Nome da testemunha

CPF: 057.444.294-41

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO – UFRSA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS – CPMF
BR 226, KM 405, BAIRRO: SÃO GERALDO
CEP: 59900-000 – TELEFONE: (84) 3317 8525

Resultado do Edital para Qualificação Docente Condicionado à Contratação de
Professor Substituto – Ano 2017

CLASSIF.	NOME	PONTUAÇÃO INDICADA	PONTUAÇÃO ATRIBUÍDA
1º	ANTÔNIO CARLOS LEITE BARBOSA	71,2	56,0
2º	ADLA KELLEN DIONISIO SOUSA DE OLIVEIRA	45,2	45,2
3º	ADELSON MENEZES LIMA	42,0	41,0
4º	VERÔNICA MARIA LIMA SILVA	31,9	31,9
5º	ALISSON GADELHA DE MEDEIROS	40,2	31,6
6º	MÔNICA PAULA DE SOUSA	31,4	31,4
7º	PATRICK CESAR ALVES TERREMATE	36,7	26,0
8º	CLAUDIO DE SOUZA ROCHA	27,3	25,7
9º	JOSÉ DANIEL JALES SILVA	33,1	23,1
10º	THIAGO PEREIRA RIQUE	31,8	21,8

Pau dos Ferros, 06 de dezembro de 2016.

Francisco Ernandes Matos Costa

Francisco Ernandes Matos Costa

Rogério de Jesus Santos

Rogério de Jesus Santos

David Menson Bezerra Ribeiro

David Menson Bezerra Ribeiro



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA - PAU DOS FERROS**

**MEMORANDO ELETRÔNICO Nº 8/2018 - DETEC (11.01.36.12.08)
(Identificador: 201862074)**

Nº do Protocolo: 23091.009347/2018-27

Pau Dos Ferros-RN, 15 de Agosto de 2018.

DIRETORIA - PAU DOS FERROS

Título: Despacho renovação de afastamento Processo nº 23091.008020/2017-17

Prezados,

Segue em anexo o **despacho favorável** referente a renovação de afastamento referente ao Processo nº 23091.008020/2017-17.

Atenciosamente,

(Autenticado em 15/08/2018 17:14)
RODRIGO SOARES SEMENTE
PROFESSOR 3 GRAU
Matrícula: 1960364

Copyright 2007 - Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação - UFERSA



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CONSELHO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

DECISÃO CONSEPE/UFERSA Nº 070/2018, de 15 de agosto de 2018.

Aprova orientação aos pedidos de renovação de afastamento para capacitação docente dos processos em que o pedido de afastamento ocorreu sob vigência da Resolução CONSUNI/UFERSA Nº 009/2013.

O Presidente em exercício do **CONSELHO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO (CONSEPE)** da **UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO (UFERSA)**, no uso de suas atribuições legais e com base na deliberação deste Órgão Colegiado em sua **8ª Reunião Ordinária de 2018**, em sessão realizada no dia 15 de agosto.

CONSIDERANDO a avaliação dos processos de renovação de afastamento dos docentes que se afastaram durante a vigência da Resolução CONSUNI/UFERSA Nº 009/2013;

CONSIDERANDO os prejuízos da não renovação de afastamento para capacitação de docentes;

CONSIDERANDO o §2º, Artigo 15º da Resolução CONSUNI/UFERSA Nº 003/2018;

CONSIDERANDO o Estatuto da UFERSA e demais documentos inter-relacionados e relacionados com o tema desta Resolução;

DECIDE:

Art. 1º Aprovar orientação aos pedidos de renovação de afastamento para capacitação docente dos processos em que o pedido de afastamento ocorreu sob vigência da Resolução CONSUNI/UFERSA Nº 009/2013.

Art. 2º O percentual máximo de afastamentos determinado no art. 9º, §2º da Resolução CONSUNI/UFERSA n.º 003/2018 só será observado para solicitações feitas a partir do início da vigência da norma.

Parágrafo único. Os novos pedidos de afastamento e respectivas renovações serão aprovados observando os percentuais da Resolução citada no *caput*.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CONSELHO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

Art. 3º O limite máximo de 30% (trinta por cento) determinado pela Resolução tratada no artigo supra será considerado para a grande área de conhecimento da tabela CAPES.

Art. 4º Esta Decisão entra em vigor a partir desta.

Mossoró-RN, 15 de agosto de 2018.


José Domingues Fontenele Neto
Presidente em exercício