

**REFORÇO À PUNÇÃO EM LAJES LISAS DE CONCRETO ARMADO COM  
POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA DE CARBONO**

**WANDERLEY GUSTAVO NICÁCIO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**REFORÇO À PUNÇÃO EM LAJES LISAS DE CONCRETO  
ARMADO COM POLÍMEROS REFORÇADOS COM  
FIBRA DE CARBONO**

**WANDERLEY GUSTAVO NICÁCIO**

**ORIENTADOR: GUILHERME SALES SOARES DE A. MELO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM - 15A/13  
BRASÍLIA/DF: AGOSTO – 2013**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**REFORÇO À PUNÇÃO EM LAJES LISAS DE CONCRETO**  
**ARMADO COM POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA DE**  
**CARBONO**

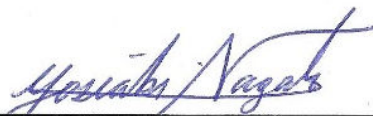
**WANDERLEY GUSTAVO NICÁCIO**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE**  
**ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE**  
**TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO**  
**PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO**  
**DO GRAU DE MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO**  
**CIVIL.**

**APROVADA POR:**



\_\_\_\_\_  
**Prof. Guilherme Sales Soares de Azevedo Melo, PhD (UnB)**  
**(Orientador)**



\_\_\_\_\_  
**Prof. Yosiaki Nagato, DSc (UnB)**  
**(Examinador Interno)**



\_\_\_\_\_  
**Prof. Maurício de Pina Ferreira, DSc (UFPA)**  
**(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 19 DE AGOSTO DE 2013**

## FICHA CATALOGRÁFICA

NICACIO, WANDERLEY GUSTAVO

Reforço à punção em lajes lisas de concreto armado com polímeros reforçados com fibra de carbono [Distrito Federal] 2013.

xix, 136p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2013).  
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1.Punção

2.Lajes lisas

3.PRFC

4.Reforço

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Mestre)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NICACIO, W. G. (2013). Reforço à punção em lajes lisas de concreto armado com polímeros reforçados com fibra de carbono. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM - 15A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 136p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Wanderley Gustavo Nicácio.

TÍTULO: Reforço à punção em lajes lisas de concreto armado com polímeros reforçados com fibra de carbono.

GRAU: Mestre

ANO: 2013

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Wanderley Gustavo Nicácio  
EQ 39/41 Bl.B casa 02, Setor Leste.  
72.465-396 Gama – DF – Brasil.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Guilherme Sales pela orientação objetiva, acompanhamento e confiança depositada desde o início da pesquisa, sou muito grato.

Ao professor Yosiaki Nagato pelos ensinamentos compartilhados, acompanhando cada ensaio como se fosse o primeiro de sua carreira. Obrigado Mestre, tenho o privilégio e honra de ser seu aluno.

A Galileu Silva Santos por sua amizade e dedicação em me orientar acadêmica e profissionalmente, desde o período de graduação.

Aos amigos conquistados nos últimos anos durante a graduação e mestrado: Abeja, Agno, Alejandro, Ana Paula, Carlitos, Carolyne Mendes, David, Didi, Diego de Paula, Dimas, Dresch, Éder, Eduardo, Elaine, Erwin, Eva, Fasbiano, Gelson, Marcus, Maria Cláudia, Maria Paz, Marília, Nívea Gaby, Ramon, Ronaldo, Uchôa, Vitor, Yulena.

Ao meu irmão de sangue Admilson Cândido de Oliveira, com o qual sempre estarei em dívida.

Agradeço também aos professores que no decorrer da minha vida incentivaram e contribuíram em minha formação, especialmente: Iraci, Anderson Nicácio, Valdete, Benvinda, Cláudia, Marcus A., Guilherme, Nagato, Barros, Luciano e Paulo Chaves.

Aos técnicos de laboratório Júlio, Leandro, Fontinele, Washington e aos grandes Severino e Pedro pelo auxílio essencial na realização dos ensaios.

Agradeço imensamente à minha família pela incentivo e amor incondicional, meu pai José, minha mãe substituta Teresinha, meus irmãos Ana Luiza, Luiz Gustavo, Miguel, Wanderson e Valéria, meus primos Miguel e Crislayne, tios Manoel, Cícero, Beta e Nicácio. Tudo que faço é por vocês.

Ao CNPq e Capes pelo apoio financeiro e por contribuir para o avanço do conhecimento do país fornecendo oportunidades iguais para todas as classes sociais.

A empresa BASF S/A, por viabilizar esta pesquisa fornecendo o material compósito utilizado para o reforço e a Concrecon Ltda pelo fornecimento do concreto.

Dedico esta conquista à minha mãe  
Maria da Silva Gustavo (em memória),  
a responsável por ser o que sou hoje.

## RESUMO

### REFORÇO À PUNÇÃO EM LAJES LISAS DE CONCRETO ARMADO COM POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA DE CARBONO

Autor: Wanderley Gustavo Nicácio

Orientador: Guilherme Sales Soares de Azevedo Melo

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, 19 de Agosto de 2013

Esta pesquisa avalia experimentalmente o comportamento da ligação laje-pilar, num sistema de lajes lisas de concreto armado, localizadas internamente à edificação e submetidas a carregamento simétrico, reforçadas ao cisalhamento com polímeros de fibra de carbono (PRFC). O método de reforço consiste em se aplicar a manta de PRFC como elemento resistente ao cisalhamento, por meio de sua colagem através de furos perpendiculares ao plano da laje.

Neste estudo experimental, foram realizados oito modelos de lajes lisas com dimensões de 2500 x 2500 mm de comprimento, altura nominal de 180 mm, pilares quadrados centrados com dimensão de 300 mm e mesma taxa da armadura, variando-se: a técnica de reforço, distribuição dos furos, número e área de reforço por camada. A manta de PRFC foi aplicada com a adaptação da técnica *Dowel*, similar a armaduras do tipo pino, e por meio da técnica *Stitch* que se assemelha a estribos fechados.

Os resultados dos ensaios foram analisados quanto a deslocamentos verticais, deformação específica no concreto, no aço e na armadura de cisalhamento, carga, fissuração, superfície e modo de ruptura. Como as normas atuais não tratam do reforço ao cisalhamento com armaduras de cisalhamento do tipo PRFC, foi avaliada a aplicação de prescrições estabelecidas pelo ACI 318 (2011), Eurocode 2 (2004) e ABNT NBR 6118 (2007), associadas com as limitações do ACI 440.2R (2008) que trata da aplicação dos materiais de PRF.

Palavras chave: Punção, Lajes lisas, PRFC, Reforço.

## **ABSTRACT**

### **PUNCHING STRENGTHENING IN FLAT PLATES OF REINFORCED CONCRETE WITH CARBON FIBER REINFORCED POLYMER**

Author: Wanderley Gustavo Nicácio

Supervisor: Guilherme Sales Soares de Azevedo Melo

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, August 2013

This research experimentally evaluates the behavior of slab-column connections in a reinforced concrete flat slab system, internally located in the building and subjected to symmetrical loading, strengthened to the shear with carbon fiber reinforced polymer (CFRP). The strengthening method consists in applying CFRP sheet as shear resistant element, by bonding it through perpendicular holes to the plane of the slab.

This experimental study consisted of tests on eight flat slab models with the following dimensions 2500 x 2500 mm length, thickness of 180 mm, supported on centered square cross section columns of 300 mm side and same flexural reinforcement ratio, using the following variations: the strengthening technique, the pattern of holes and the number of peripheral lines of the shear reinforcement. The CFRP sheet was applied with an adaptation of the Dowel technique, was used, which is similar to shear studs, and the stitch technique, which resembles closed stirrups.

The test results were examined by verifying the vertical displacements, the concrete, steel and shear reinforcement strains, ultimate loads, cracking patterns, surface and failure modes. As the current standards do not deal with strengthening to shear with CFRP reinforcement, it was assessed the application of the code's required from by ACI 318 (2011), by Eurocode 2 (2004) and by ABNT NBR 6118 (2007), associated to the limitations of ACI 440.2R (2008) which provides guidance for the selection, design, and installation of FRP systems for concrete structures.

Keywords: Punching, Flat Slab, CFRP, Reinforced.



# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.2.	MOTIVAÇÃO .....	3
1.3.	OBJETIVOS .....	3
1.4.	METODOLOGIA .....	4
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1.	REFORÇO AO CISALHAMENTO DE LAJES LISAS COM PRFC.....	5
2.1.1.	Técnica <i>Stitch</i> .....	6
2.1.2.	Técnica <i>Dowel</i> .....	6
2.2.	ESTUDOS REALIZADOS COM PRFC COMO ARMADURA DE CISALHAMENTO.....	7
2.2.1.	Sissakis (2002).....	7
2.2.2.	Binici (2003).....	10
2.2.3.	Erdogan (2010).....	11
2.2.4.	Lima (2012) .....	13
2.3.	RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS .....	14
2.3.1.	ACI 318 (2011).....	15
2.3.2.	EUROCODE 2 (2004).....	17
2.3.3.	ABNT NBR 6118 (2007) .....	18
2.3.4.	ACI 440.2R (2008).....	19
<b>3.</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>21</b>
3.1.	MODELOS ENSAIADOS .....	21
3.2.	ARMADURA DE FLEXÃO .....	24
3.3.	ARMADURA DE CISALHAMENTO TIPO PRFC.....	25
3.4.	INSTRUMENTAÇÃO .....	27
3.4.1.	Deslocamentos verticais .....	27
3.4.2.	Deformações na armadura de flexão .....	28
3.4.3.	Deformações no concreto .....	29
3.4.4.	Deformações na armadura de cisalhamento .....	30
3.5.	FABRICAÇÃO DOS MODELOS .....	32
3.5.1.	Formas .....	32
3.5.2.	Concretagem.....	33

3.6.	REFORÇO DOS MODELOS.....	34
3.6.1.	Perfuração e preparação da superfície.....	34
3.6.2.	Reforço com a técnica <i>Stitch</i> .....	36
3.6.3.	Reforço com a técnica <i>Dowel</i> .....	38
3.7.	MATERIAIS.....	40
3.7.1.	Concreto.....	40
3.7.2.	Aço.....	41
3.7.3.	Polímero Reforçado com Fibra de Carbono (PRFC).....	42
3.8.	SISTEMA DE ENSAIO.....	43
3.9.	RESISTÊNCIA À FLEXÃO DAS LAJES.....	44
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>46</b>
4.1.	DESLOCAMENTOS VERTICAIS.....	46
4.2.	DEFORMAÇÕES NA SUPERFÍCIE DO CONCRETO.....	51
4.3.	DEFORMAÇÕES NAS ARMADURAS DE FLEXÃO.....	56
4.4.	DEFORMAÇÕES NAS ARMADURAS DE CISALHAMENTO.....	64
4.5.	MAPA DE FISSURAÇÃO.....	75
4.6.	SUPERFÍCIE DE RUPTURA.....	80
4.7.	MODO DE RUPTURA.....	83
<b>5.</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>85</b>
5.1.	ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	85
5.1.1.	Carga de Ruptura.....	85
5.1.2.	Deslocamentos Verticais.....	87
5.1.3.	Deformações na superfície do concreto.....	87
5.1.4.	Deformações na armadura de flexão.....	89
5.1.5.	Deformações na armadura de cisalhamento.....	90
5.2.	ANÁLISE DAS EXPRESSÕES NORMATIVAS.....	90
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>94</b>
6.1.	CONCLUSÕES.....	94
6.1.1.	Programa experimental.....	94
6.1.2.	Análise das expressões normativas.....	97
6.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	98
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>99</b>

<b>APÊNDICE A – DETALHAMENTO DO PÓRTICO DE ENSAIO .....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE B –TEMPO DE EXECUÇÃO E CUSTOS DE REFORÇO .....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE C – LEITURAS REGISTRADAS NOS ENSAIOS .....</b>	<b>105</b>
C.1 – DESLOCAMENTOS VERTICAIS.....	105
C.2 – DEFORMAÇÕES NO CONCRETO .....	110
C.3 – DEFORMAÇÕES NA ARMADURA DE FLEXÃO.....	119
C.4 – DEFORMAÇÕES NA ARMADURA DE CISALHAMENTO.....	128

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Características dos ensaios (Adaptada de SISSAKIS, 2002) .....	9
Tabela 2.2 - Características dos ensaios (Adaptada de BINICI, 2003) .....	11
Tabela 2.3 - Características dos ensaios (Adaptada de ERDOGAN, 2010) .....	12
Tabela 2.4 - Características dos ensaios (Adaptada de LIMA, 2012) .....	14
Tabela 3.1 – Características das lajes .....	22
Tabela 3.2 – Propriedades mecânicas do concreto .....	41
Tabela 3.3 – Propriedades mecânicas do aço .....	41
Tabela 3.4 – Propriedades mecânicas do material compósito .....	43
Tabela 3.5 - Resistência a flexão das lajes .....	45
Tabela 4.1 – Resumo das superfícies de ruptura .....	83
Tabela 4.2 – Modos de ruptura das lajes .....	84
Tabela 5.1 – Cargas de ruptura .....	85
Tabela 5.2 – Cargas de ruptura previstas pelo ACI 318 (2011) .....	91
Tabela 5.3 - Cargas de ruptura previstas pelo Eurocode 2 (2004) .....	91
Tabela 5.4 - Cargas de ruptura previstas pela ABNT NBR 6118 (2007) .....	91
Tabela 5.5 – Resumo das previsões normativas .....	92
Tabela 0.1 – Laje LC-S1-F1 .....	105
Tabela 0.2 – Laje LC-S1-F2 .....	106
Tabela 0.3 - Laje LC-D .....	106
Tabela 0.4 – Laje LR-D .....	106
Tabela 0.5 – Laje LC-S2-6 .....	107
Tabela 0.6 – Laje LC-S2-8 .....	108
Tabela 0.7 – Laje LR-S2-6 .....	109
Tabela 0.8 Laje LR-S2-8 .....	109
Tabela 0.9 – Laje LC-S1-F1 .....	111
Tabela 0.10 – Laje LC-S1-F2 .....	112
Tabela 0.11 – Laje LC-D .....	113
Tabela 0.12 – Laje LR-D .....	114
Tabela 0.13 – Laje LC-S2-6 .....	115
Tabela 0.14 – Laje LC-S2-8 .....	116
Tabela 0.15 – Laje LR-S2-6 .....	117
Tabela 0.16 – LR-S2-8 .....	118

Tabela 0.17 – LC-S1-F1 .....	120
Tabela 0.18 – Laje LC-S1-F2 .....	121
Tabela 0.19 – Laje LC-D .....	122
Tabela 0.20 – Laje LR-D .....	123
Tabela 0.21 – Laje LC-S2-6 .....	124
Tabela 0.22 – Laje LC-S2-8 .....	125
Tabela 0.23 – Laje LR-S2-6 .....	126
Tabela 0.24 – Laje LR-S2-8 .....	127
Tabela 0.25 – Laje LC-S1-F1 .....	129
Tabela 0.26 – Laje LC-S1-F2 .....	130
Tabela 0.27 – Laje LC-D .....	131
Tabela 0.28 – Laje LR-D .....	132
Tabela 0.29 – Laje LC-S2-6 .....	133
Tabela 0.30 – Laje LC-S2-8 .....	134
Tabela 0.31 – Laje LR-S2-6 .....	135
Tabela 0.32 – LR-S2-8 .....	136

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Exemplos de sistemas estruturais para as lajes em concreto armado (MORAES NETO, 2013) .....	1
Figura 1.2- Ruptura por punção.....	2
Figura 1.3 – Laje reforçada com manta de PRFC .....	2
Figura 2.1– Reforço com técnica <i>Stitch</i> (BINICI, 2003).....	6
Figura 2.2 - Reforço com técnica <i>Dowel</i> (ERDOGAN, 2010).....	7
Figura 2.3 – Detalhe do modelo (SISSAKIS, 2002) .....	8
Figura 2.4 – Modelo antes e após aplicação do reforço de PRFC (SISSAKIS, 2002).....	8
Figura 2.5 - Detalhes dos modelos (BINICI, 2003) .....	10
Figura 2.6 – Sistema de ensaio (ERDOGAN, 2010).....	12
Figura 2.7 – Modelos reforçados com PRFC (ERDOGAN, 2010).....	12
Figura 2.8– Modelos ensaiados (LIMA, 2012) .....	13
Figura 2.9 – Definição do perímetro de controle de acordo com ACI 318 (2011) .....	16
Figura 2.10- Definição do perímetro de controle de acordo com Eurocode 2 (2004)....	17
Figura 2.11- Definição do perímetro de controle de acordo com ABNT NBR 6118 (2007) .....	19
Figura 3.1 – Situação da laje estudada .....	21
Figura 3.2 – Dimensões das lajes .....	22
Figura 3.3 – Modelos série 1 .....	23
Figura 3.4 – Modelos série 2 .....	24
Figura 3.5 - Detalhamento das armaduras de flexão das lajes.....	25
Figura 3.6 - Distribuição das armaduras de cisalhamento da série 1 .....	26
Figura 3.7 - Distribuição das armaduras de cisalhamento da série 2 .....	26
Figura 3.8 – Posicionamento dos LVDTs nas lajes.....	27
Figura 3.9 – LVDTs posicionados.....	27
Figura 3.10 – Extensometria - Série 1 .....	28
Figura 3.11 - Extensometria - Série 2.....	28
Figura 3.12 – Posicionamento dos extensômetros de concreto na face inferior da laje .	29
Figura 3.13 – Interferências na instalação dos extensômetros de concreto.....	30
Figura 3.14 – Instrumentação antes da aplicação do reforço na série 1 .....	30
Figura 3.15 – Instrumentação antes da aplicação do reforço na série 2 .....	31
Figura 3.16 – Posição de instrumentação das armaduras de cisalhamento .....	32

Figura 3.17 – Formas metálicas.....	32
Figura 3.18 – Posicionamento dos tubos.....	33
Figura 3.19 – Concretagem das lajes.....	34
Figura 3.20 – Perfuração das lajes.....	35
Figura 3.21 – Preparo da superfície.....	35
Figura 3.22 – Reforço dos modelos.....	36
Figura 3.23 – Aplicação da técnica <i>Stitch</i> .....	38
Figura 3.24 – Aplicação da técnica <i>Dowel</i> .....	40
Figura 3.25 – Diagramas tensão deformação.....	42
Figura 3.26 – Diagrama tensão versus deformação Fibra de carbono CF 130 (adaptado de BASF S/A, 2013).....	43
Figura 3.27 – Sistema de ensaio.....	44
Figura 3.28 – Mecanismo de colapso.....	45
Figura 4.1 - Deslocamentos verticais da laje L0-1.....	46
Figura 4.2 - Deslocamentos verticais da laje LC-S1-F1.....	47
Figura 4.3 - Deslocamentos verticais da laje LC-S1-F2.....	47
Figura 4.4 - Deslocamentos verticais da laje LC-D.....	47
Figura 4.5 - Deslocamentos verticais da laje LR-D.....	48
Figura 4.6 - Deslocamentos verticais da laje LC-S2-6.....	48
Figura 4.7 - Deslocamentos verticais da laje LC-S2-8.....	48
Figura 4.8 - Deslocamentos verticais da laje LR-S2-6.....	49
Figura 4.9 - Deslocamentos verticais da laje LR-S2-8.....	49
Figura 4.10 - Deslocamentos verticais médios das lajes da Série 1.....	50
Figura 4.11 – Deslocamentos verticais médios das lajes da Série 2.....	50
Figura 4.12 – Deformações na superfície do concreto da laje L0-1.....	51
Figura 4.13 – Deformações na superfície do concreto da laje LC-S1-F1.....	52
Figura 4.14– Deformações na superfície do concreto da laje LC-S1-F2.....	52
Figura 4.15– Deformações na superfície do concreto da laje LC-D.....	53
Figura 4.16 – Deformações na superfície do concreto da laje LR-D.....	53
Figura 4.17 – Deformações na superfície do concreto da laje LC-S2-6.....	54
Figura 4.18 – Deformações na superfície do concreto da laje LC-S2-8.....	54
Figura 4.19 – Deformações na superfície do concreto da laje LR-S2-6.....	55
Figura 4.20 – Deformações na superfície do concreto da laje LR-S2-8.....	55
Figura 4.21 – Deformações na armaduras de flexão da laje L0-1.....	56

Figura 4.22 – Deformações na armaduras de flexão da laje LC-S1-F1 .....	56
Figura 4.23 – Deformações na armaduras de flexão da laje LC-S1-F2 .....	57
Figura 4.24 – Deformações na armaduras de flexão da laje LC-D .....	57
Figura 4.25 – Deformações na armaduras de flexão da laje LR-D .....	57
Figura 4.26 – Deformações na armaduras de flexão da laje LC-S2-6.....	58
Figura 4.27 – Deformações na armaduras de flexão da laje LC-S2-8.....	58
Figura 4.28 – Deformações na armaduras de flexão da laje LR-S2-6.....	58
Figura 4.29 – Deformações na armaduras de flexão da laje LR-S2-8.....	59
Figura 4.30 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje L0-1 .....	59
Figura 4.31 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LC-S1-F1 ....	60
Figura 4.32 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LC-S1-F2 ....	60
Figura 4.33 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LC-D.....	61
Figura 4.34 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LR-D.....	61
Figura 4.35 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LC-S2-6 .....	62
Figura 4.36 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LC-S2-8 .....	62
Figura 4.37 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LR-S2-6 .....	63
Figura 4.38 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LR-S2-8 .....	63
Figura 4.39 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LC-S1-F1.....	64
Figura 4.40 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LC-S1-F2.....	64
Figura 4.41 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LC-D.....	65
Figura 4.42 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LR-D.....	65
Figura 4.43 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LC-S2-6.....	66
Figura 4.44 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LC-S2-8.....	66
Figura 4.45 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LR-S2-6.....	67
Figura 4.46 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LR-S2-8.....	68
Figura 4.47 – Curvas carga-deformação para a laje LC-S1-F1.....	69
Figura 4.48 – Curvas carga-deformação para a laje LC-S1-F2.....	69
Figura 4.49 – Curvas carga-deformação para a laje LC-D.....	70
Figura 4.50 – Curvas carga-deformação para a laje LR-D.....	71
Figura 4.51 – Curvas carga-deformação para a laje LC-S2-6.....	72
Figura 4.52 – Curvas carga-deformação para a laje LC-S2-8.....	72
Figura 4.53 – Curvas carga-deformação para a laje LR-S2-6.....	73
Figura 4.54 – Curvas carga-deformação para a laje LR-S2-8.....	74
Figura 4.55 – Mapa de fissuração da laje L0-1 .....	75



Figura 4.56 – Mapa de fissuração da laje LC-S1-F1 .....	76
Figura 4.57 – Mapa de fissuração da laje LC-S1-F2 .....	76
Figura 4.58 – Mapa de fissuração da laje LC-D .....	77
Figura 4.59 – Mapa de fissuração da laje LR-D .....	77
Figura 4.60 – Mapa de fissuração da laje LC-S2-6 .....	78
Figura 4.61 – Mapa de fissuração da laje LC-S2-8 .....	78
Figura 4.62 – Mapa de fissuração da laje LR-S2-6 .....	79
Figura 4.63 – Mapa de fissuração da laje LR-S2-8 .....	79
Figura 4.64 – Posição dos cortes .....	80
Figura 4.65 – Superfície de ruptura da laje L0-1 .....	80
Figura 4.66 – Superfície de ruptura da laje LC-S1-F1 .....	81
Figura 4.67 – Superfície de ruptura da laje LC-S1-F2 .....	81
Figura 4.68 – Superfície de ruptura da laje LC-D .....	81
Figura 4.69 – Superfície de ruptura da laje LR-D .....	81
Figura 4.70 – Superfície de ruptura da laje LC-S2-6 .....	82
Figura 4.71 – Superfície de ruptura da laje LC-S2-8 .....	82
Figura 4.72 – Superfície de ruptura da laje LR-S2-6 .....	82
Figura 4.73 – Superfície de ruptura da laje LR-S2-8 .....	82
Figura 5.1 - Relação $V_u/V_{flex}$ dos modelos ensaiados .....	86
Figura 5.2 – Modelo de bielas e tirantes para ruptura por punção (MUTTONI, 2008) .	88
Figura 5.3 – Comparação entre carga última experimental e estimada .....	93
Figura 0.1 – Vista Superior do pórtico de ensaio (FERREIRA, 2010) .....	102
Figura 0.2 - Cortes do pórtico de ensaio (FERREIRA, 2010) .....	103
Figura 0.1 – Posicionamento dos LVDTs nas lajes .....	105
Figura 0.2 – Posicionamento dos extensômetros de concreto na face inferior da laje .	110
Figura 0.3 – Extensometria - Série 1 .....	119
Figura 0.4 - Extensometria - Série 2 .....	119
Figura 0.5 – Posição de instrumentação das armaduras de cisalhamento .....	128

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

$A_s$	Área de aço da armadura de flexão;
$A_{sw}$	Área de aço da armadura de cisalhamento;
$A_{PRFC}$	Área da armadura de cisalhamento do tipo PRFC;
$c$	Dimensão do pilar quadrado;
$COV$	Coefficiente de variação;
$d$	Altura útil da laje;
$E_s$	Módulo de elasticidade do aço da armadura de flexão;
$f_c$	Resistência à compressão do concreto em corpo de prova cilíndrico;
$f_{ct}$	Resistência à tração do concreto;
$f_{PRFC}$	Tensão do PRFC;
$f_{ys}$	Tensão de escoamento da armadura de flexão;
$f_{yw,s}$	Tensão de escoamento de cálculo da armadura de cisalhamento;
$f_{yw,ef}$	Tensão efetiva na armadura de cisalhamento;
$h$	Altura efetiva da laje;
$s_0$	Distância da face do pilar à primeira camada de armaduras de cisalhamento;
$s_r$	Distância entre camadas de armadura de cisalhamento;
$u$	Comprimento do perímetro de controle;
$u_l$	Comprimento do perímetro de controle afastado a uma determinada distância da face do pilar;
$u_{out}$	Comprimento do perímetro de controle afastado da camada mais externa das armaduras de cisalhamento;
$u_{out,ef}$	Comprimento do perímetro de controle efetivo afastado da camada mais externa de armaduras de cisalhamento;
$V_u$	Carga última de ensaio;
$V_{flex}$	Carga correspondente à ruína por flexão;
$V_{R,c}$	Contribuição do concreto na resistência ao cisalhamento;
$V_{R,s}$	Contribuição de armaduras na resistência ao cisalhamento;
$V_{R,PRFC}$	Contribuição da armadura de PRFC na resistência ao cisalhamento;
$V_{R,cs}$	Resistência ao cisalhamento para ruptura dentro da região das armaduras de cisalhamento;

$V_{R,CPRFC}$	Resistência ao cisalhamento para ruptura dentro da região das armaduras de cisalhamento do tipo PRFC;
$V_{R,out}$	Resistência ao cisalhamento para uma ruptura fora da região das armaduras de cisalhamento;
$V_{R,máx}$	Resistência ao cisalhamento para ruptura da biela comprimida nas proximidades do pilar;
$v$	Tensão de cisalhamento nominal;
$\zeta$	Parâmetro que estabelece o fator de escala ( <i>size effect</i> );
$\rho$	Taxa de armadura de flexão;
$\varepsilon_{ys}$	Deformação correspondente a tensão de escoamento da armadura de flexão.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O sistema de lajes lisas pode ser composto por lajes maciças ou nervuradas apoiadas diretamente sobre os pilares ou com o uso de capitéis, em função dos vãos e dos carregamentos. Ao se adotar esta solução obtém-se uma série de vantagens em relação aos sistemas convencionais, destacando-se a diminuição do tempo de execução, simplificação das formas, maior flexibilidade ao leiaute do imóvel, redução da altura total do edifício e, em algumas situações, redução do custo da estrutura. A Figura 1.1 mostra alguns dos sistemas para estruturas de concreto.

Como principais desvantagens desse sistema, têm-se os grandes deslocamentos transversais das lajes, os problemas relacionados à estabilidade global de edifícios e a ruptura localizada por punção na ligação laje-pilar, uma vez que ela pode se propagar e levar a estrutura à ruína parcial ou total, por colapso progressivo.

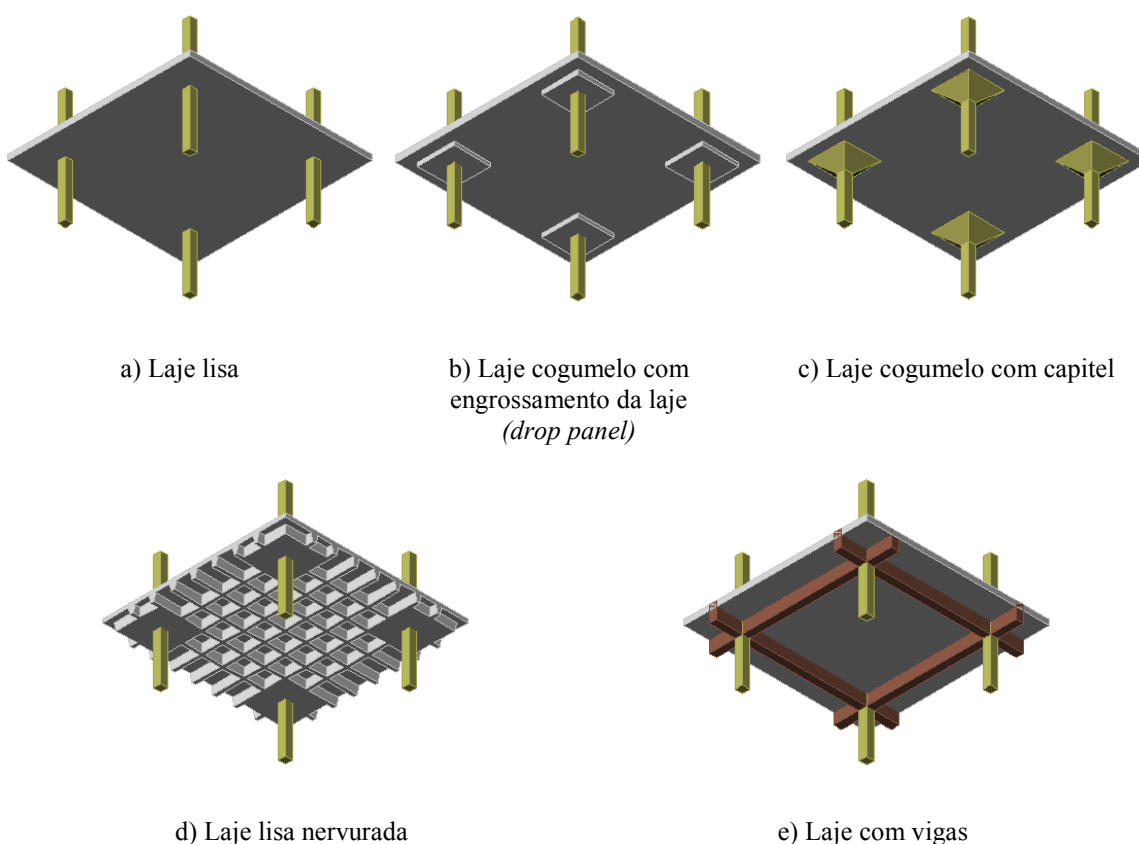


Figura 1.1- Exemplos de sistemas estruturais para as lajes em concreto armado (MORAES NETO, 2013)

A punção é um tipo de ruína que pode ocorrer de forma brusca por cisalhamento que pode ocorrer quando forças concentradas, ou atuando em pequenas áreas, são aplicadas diretamente nas lajes, causando a sua perfuração. Nas lajes lisas, esta situação é típica na região da ligação laje-pilar. A punção está associada a esforços de cisalhamento e provoca uma separação completa entre a laje e o pilar. A Figura 1.2 representa uma superfície de ruína com fissuras partindo do contorno da área carregada e se estendendo até a outra face da laje. Geralmente esta inclinação varia entre  $26^\circ$  e  $45^\circ$  em relação ao plano da laje.

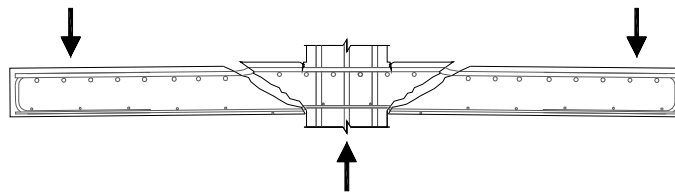


Figura 1.2- Ruptura por punção

A resistência à punção das lajes lisas pode ser aumentada por diversas maneiras; pesquisas experimentais mostram que o uso de armaduras de cisalhamento pode ser extremamente eficiente, podendo até mesmo mudar o modo de ruptura para flexão (FERREIRA, 2010).

A utilização de Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono (PRFC) surge como alternativa aos sistemas convencionais de reabilitação de ligações laje-pilar à punção, com o objetivo de aumentar a ductilidade e capacidade resistente de uma laje lisa. O método consiste em se aplicar o PRFC como elemento resistente ao cisalhamento, por meio da colagem da manta através de furos perpendiculares ao plano da laje, conforme Figura 1.3.

Tiras de PRFC

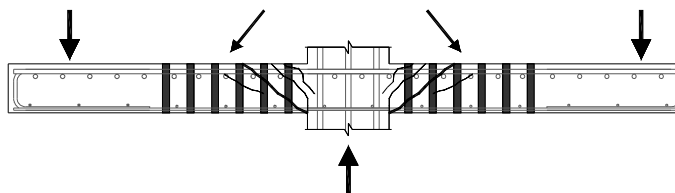


Figura 1.3 – Laje reforçada com manta de PRFC

## 1.2. MOTIVAÇÃO

O reparo e reforço de elementos estruturais com a utilização de polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC) tem recebido grande atenção. A redução de custos do material nos últimos anos, a economia de trabalho inerentes à sua instalação relativamente simples, a sua leveza, alta resistência à tração, baixa relaxação e imunidade à corrosão fizeram do PRFC uma alternativa atraente frente às técnicas convencionais de reforço.

Os estudos sobre a aplicação de PRFC colados externamente para reforço de lajes têm-se concentrado na melhoria da capacidade de resistência à flexão. Existe ainda a possibilidade dos compósitos serem aplicados para aumentar a capacidade resistente à punção de lajes de concreto armado. Entretanto, a primeira pesquisa com a utilização desta técnica de reforço data de 2002, e no decorrer dos anos poucos estudos foram desenvolvidos. A principal motivação deste trabalho é contribuir para o desenvolvimento desta nova técnica de reforço estrutural, através de estudos experimentais buscando o melhor entendimento de seu comportamento.

## 1.3. OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar experimentalmente o comportamento da ligação laje-pilar num sistema de lajes lisas de concreto armado, localizada internamente à edificação e submetida a carregamento simétrico, reforçada ao cisalhamento com polímeros de fibra de carbono (PRFC).

Os objetivos específicos são:

- Aplicar com adaptação a técnica de reforço ao cisalhamento com pinos de manta de fibra de carbono (técnica *dowel*).
- Avaliar a eficiência máxima do reforço variando o número de camadas, área de reforço por perímetro e distribuição das armaduras de cisalhamento.
- Avaliar a aplicação de algumas prescrições normativas para o cálculo de punção estabelecidas pelo ACI 318 (2011), Eurocode 2 (2004) e ABNT NBR 6118 (2007), associadas com as limitações estabelecidas pelo ACI 440.2R (2008) que trata da aplicação dos materiais de PRF.

#### **1.4. METODOLOGIA**

A metodologia a ser seguida será a execução e instrumentação de oito modelos de lajes lisas com armadura de cisalhamento do tipo PRFC e pilar centrado, no Laboratório de Estruturas da Universidade de Brasília, seguindo-se o ensaio dessas lajes até a ruptura. Estes modelos também fazem parte do programa experimental da pesquisa de doutorado de Galileu Silva Santos (SANTOS, em andamento). Os resultados dessas lajes serão comparados com os de uma laje de referência, sem reforço.

Todas as lajes possuem as mesmas dimensões e taxa da armadura, variando-se: a técnica de reforço, a distribuição dos furos e o número de camadas de reforço. Os resultados dos ensaios serão analisados quanto a deslocamentos verticais, deformação específica no concreto, no aço e na armadura de cisalhamento, carga, superfície e modo de ruptura. As cargas de ruptura serão comparadas com as estimadas segundo as normas ACI 318 (2011), Eurocode 2 (2004) e ABNT NBR 6118 (2007), aliadas às limitações recomendadas pelo ACI 440.2R (2008).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. REFORÇO AO CISALHAMENTO DE LAJES LISAS COM PRFC

A utilização de polímeros reforçados com fibras de carbono como reforço à punção tem algumas vantagens sobre os métodos tradicionais, como uso de parafusos, pinos de aço (*studs*), aumento da seção do pilar, ou aumento da espessura da laje. As maiores vantagens são devido às propriedades favoráveis dos materiais, tais como baixo peso, alta resistência, durabilidade e facilidade de manuseio e aplicação. Além disso, a utilização de polímeros reforçados com fibras é comprovadamente eficaz no reforço à flexão e ao cisalhamento de vigas e pilares (BINICI, 2003).

As superiores propriedades desses materiais, aliada à facilidade de aplicação, tornaram mais comum o uso de PRF no reforço e reabilitação dos elementos estruturais. Além das vantagens descritas acima, existem vantagens adicionais para a sua utilização no reforço à punção de ligações laje-pilar.

Os sistemas de lajes lisas são preferíveis devido à sua característica versátil de ausência de vigas, e o processo de reforço deve ser tal que os aspectos flexíveis e estéticos destes sistemas sejam preservados após a reabilitação. Aumentos localizados de espessura da laje ou seção do pilar em torno da área de conexão podem trazer custos adicionais além dos custos de reforço. Quando PRFC são utilizados no reforço ao cisalhamento, a espessura da laje não aumenta como resultado da aplicação. Outra vantagem é a facilidade de detalhamento das tiras de PRFC para formar estribos fechados ou pinos de fibra.

Durante a aplicação, as tiras de PRFC são saturadas com resina e a matriz de compósito é aplicada à superfície do concreto. Nesta fase de aplicação, o material compósito é flexível e fácil de trabalhar e pode assumir qualquer forma que seja detalhada. Para aplicações em que são utilizados PRFC no reforço ao cisalhamento, a natureza flexível do material permite que ele seja fixado em torno de qualquer forma, podendo ser ancorado em forma de laço, formando estribo fechado (Técnica *Stitch*) ou ainda sendo utilizado como pino de PRFC (Técnica *Dowel*) ancorado nas faces da laje.



### 2.1.1. Técnica *Stitch*

Na técnica *Stitch* as mantas de PRFC são cortadas em pequenas fitas que, depois de impregnadas com resina, são passadas através de furos formando laços fechados como estribos, conforme Figura 2.1. Parte das tiras é sobreposta formando um comprimento mínimo de ancoragem indicado pelo fabricante. A quantidade de PRFC utilizado para cada estribo é controlada pelo número de camadas envolvidas. Após a conclusão da colocação das tiras de PRFC, os furos devem ser preenchidos com epóxi ou argamassa de alto desempenho.

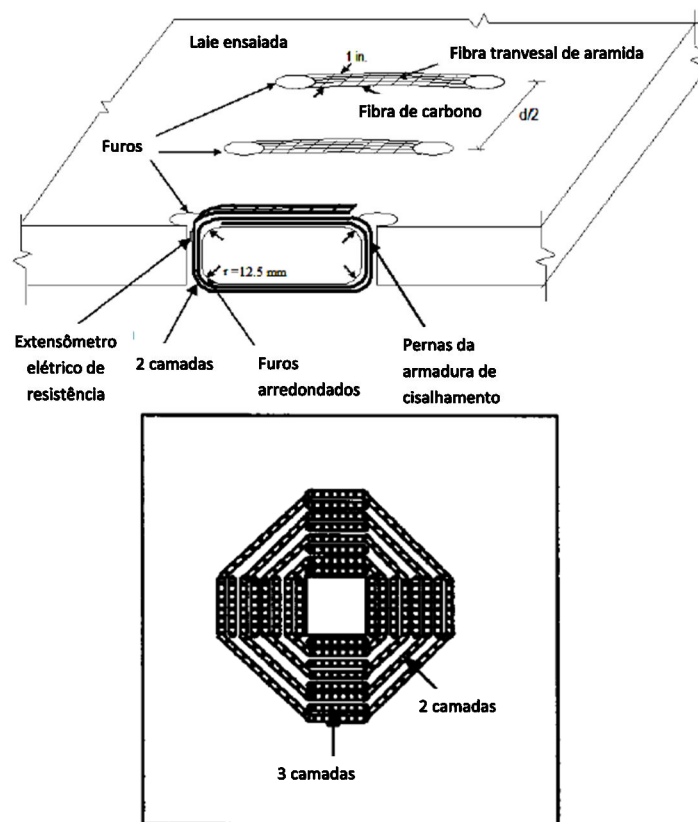


Figura 2.1– Reforço com técnica *Stitch* (BINICI, 2003).

### 2.1.2. Técnica *Dowel*

Na técnica *Dowel* as mantas de PRFC são cortadas em faixas retangulares para fabricação dos pinos com comprimento adequado para ancoragem tanto na parte superior como na parte inferior da laje. Após a impregnação com resina epóxi, as mantas de PRFC são enroladas formando-se uma espécie de tubo com diâmetro desejado (Figura 2.2). Estes tubos são inseridos nos furos com a utilização de barras de aço que servem como guia, sendo removidas após a instalação dos tubos. Com os tubos

posicionados nos furos, os excessos inferiores e superiores de manta são abertos e colados sobre a face da laje, de modo a garantir sua ancoragem, conforme indicado na Figura 2.2c. Antes da abertura dos pinos pode-se colar um pedaço adicional de manta, visando proporcionar uma melhor ancoragem.

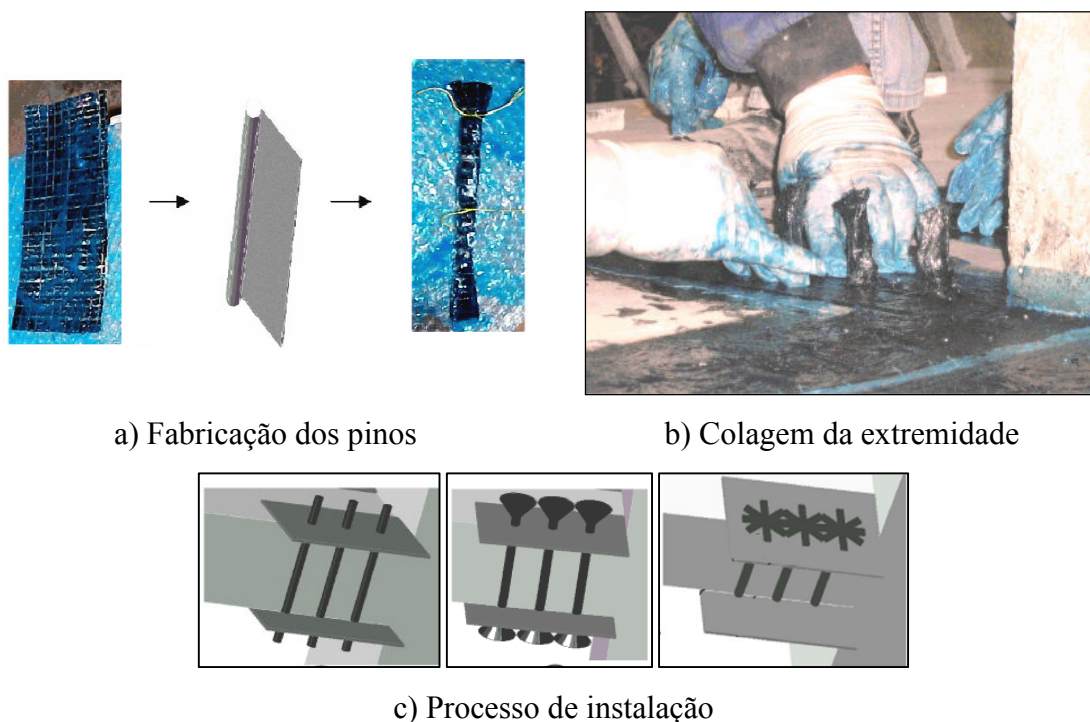


Figura 2.2 - Reforço com técnica *Dowel* (ERDOGAN, 2010)

## 2.2. ESTUDOS REALIZADOS COM PRFC COMO ARMADURA DE CISALHAMENTO

### 2.2.1. Sissakis (2002)

SISSAKIS (2002) ensaiou 28 modelos locais de ligações laje-pilar interno, com o pilar sendo simulado por uma placa quadrada de 200 mm. Todas as lajes ensaiadas possuíam as mesmas dimensões externas 1.500x1.500x150 (mm); para armadura de flexão foram utilizadas barras com diâmetro de 16 mm e 20 mm, a altura útil do modelo foi de 120 mm, e utilizou-se epóxi para o preenchimento dos furos. Dos modelos ensaiados, 24 foram reforçados com a técnica *Stitch* e quatro mantidos como modelo de referência. A Figura 2.3 e Figura 2.4 mostra os detalhes dos modelos ensaiados.

Nessa pesquisa foram avaliados os parâmetros de resistência do concreto, taxa de armadura de flexão, diferentes padrões de distribuição de reforço, espaçamento entre furos e quantidade de PRFC utilizada para cada furo.

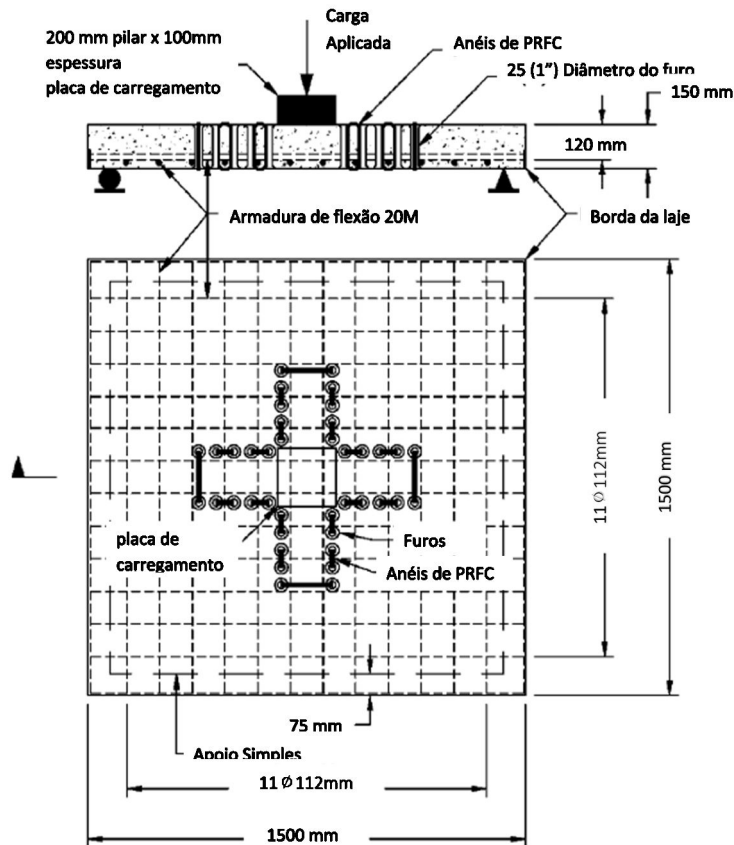


Figura 2.3 – Detalhe do modelo (SISSAKIS, 2002)

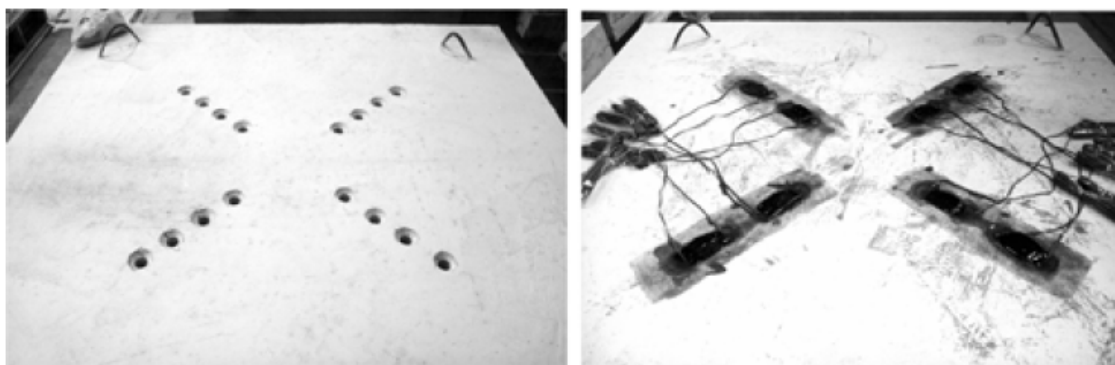


Figura 2.4 – Modelo antes e após aplicação do reforço de PRFC (SISSAKIS, 2002)

Os modelos reforçados com PRFC demonstraram um substancial incremento na resistência ao cisalhamento e ductilidade, com valores de 80% e 700% respectivamente.

Maiores incrementos na ductilidade e capacidade de carga foram observados nos modelos com maior número de camadas, particularmente nos padrões de reforço com menor espaçamento entre furos. A Tabela 2.1 resume os detalhes dos modelos e as propriedades dos materiais constituintes.

Tabela 2.1 – Características dos ensaios (Adaptada de SISSAKIS, 2002)

Modelos	$\rho$ (%)	$f_c$ (MPa)	n° de Camadas	$A_{PRFC}$ / Camada (mm <sup>2</sup> )	$V_{flex}$ (kN)	$V_u$ (kN)	$V_u /$ $V_{flex}$	$V_u /$ $V_{Ref}$	Superfície de Ruptura
Control 1	1,49	42,6	-	-	658	575	0,87	-	-
A 4'	1,49	42,6	4	814	658	632	0,96	1,10	out
Control 2	1,49	36,1	-	-	646	439	0,68	-	-
A3'	1,49	36,1	3	506	646	591	0,91	1,35	out
B3'	1,49	36,1	3	748	646	659	1,02	1,50	in
B4'	1,49	36,1	4	748	646	638	0,99	1,45	out
C3'	1,49	36,1	3	924	646	612	0,95	1,39	in
C4'	1,49	36,1	4	924	646	673	1,04	1,53	out
D3'	1,49	36,1	3	924	646	550	0,85	1,25	in
D4'	1,49	36,1	4	924	646	605	0,94	1,38	in
Control 3	2,23	34,5	-	-	990	476	0,48	-	-
A3	2,23	34,5	3	462	990	646	0,65	1,36	in
A5	2,23	34,5	5	849	990	671	0,68	1,41	out
B3	2,23	34,5	3	616	990	744	0,75	1,56	out
B5	2,23	34,5	5	792	990	791	0,80	1,66	out
C3	2,23	34,5	3	792	990	775	0,78	1,63	in
C5	2,23	34,5	5	1188	990	858	0,87	1,80	out
D3	2,23	34,5	3	792	990	616	0,62	1,29	in
D5	2,23	34,5	5	792	990	617	0,62	1,30	in
Control 4	2,23	26,6	-	-	924	479	0,52	-	-
A4	2,23	26,6	4	638	924	595	0,64	1,24	in
A6	2,23	26,6	6	924	924	631	0,68	1,32	in
B4	2,23	26,6	4	660	924	701	0,76	1,46	out
B6	2,23	26,6	6	924	924	791	0,86	1,65	out
C4	2,23	26,6	4	924	924	781	0,85	1,63	out
C6	2,23	26,6	6	1276	924	872	0,94	1,82	out
D4	2,23	26,6	4	858	924	634	0,69	1,32	in
D6	2,23	26,6	6	1254	924	639	0,69	1,33	in

$\rho$  é a taxa de armadura,  $f_c$  é a resistência à compressão do concreto,  $s$  é o espaçamento entre camadas do reforço,  $d$  é a altura útil da laje,  $V_{flex}$  é a resistência à flexão da laje e  $V_u$  é a carga experimental de ruptura

### 2.2.2. Binici (2003)

BINICI (2003) ensaiou 11 lajes submetidas a carregamento concêntrico. Nove modelos foram reforçados com PRFC através da técnica *Stitch* e dois não tinham reforço. Os modelos possuem dimensões em planta de  $2.135 \times 2.135 \times 152$  (mm), altura útil de 114 mm, taxa de armadura de flexão de 1,76% e resistência à compressão do concreto de 28,3 MPa. Nessa pesquisa foram avaliados os valores e configurações de reforço. A Figura 2.5 mostra o detalhamento dos modelos e a Tabela 2.2 resume as características dos modelos e as propriedades dos materiais constituintes.

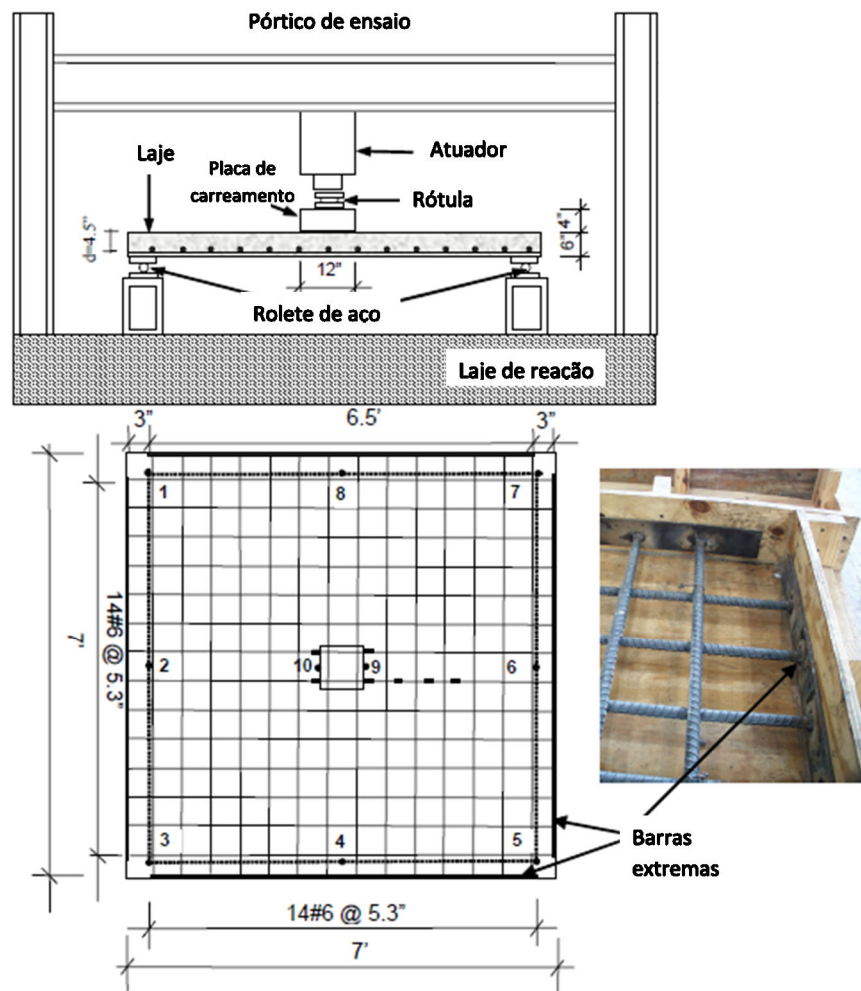


Figura 2.5 - Detalhes dos modelos (BINICI, 2003)

Tabela 2.2 - Características dos ensaios (Adaptada de BINICI, 2003)

Modelos	$\rho$ (%)	$f_c$ (MPa)	n° de Camadas	$A_{PRFC}$ / Camada (mm <sup>2</sup> )	$V_{flex}$ (kN)	$V_u$ (kN)	$V_u /$ $V_{flex}$	$V_u /$ $V_{Ref}$	Superfície de Ruptura
Control 1	1,92	28,3	-	-	729	494	0,68	-	-
Control 2	1,92	28,3	-	-	729	510	0,70	-	-
A4-1	1,92	28,3	4	800	729	595	0,82	1,20	in/out
A4-2	1,92	28,3	4	400	729	668	0,92	1,35	out
A4-3	1,92	28,3	4	200	729	618	0,85	1,25	In
A4-4	1,92	28,3	4	400	729	600	0,82	1,21	In
A6	1,92	28,3	6	600	729	721	0,99	1,46	out
A8	1,92	28,3	8	600	729	744	1,02	1,51	out
B4	1,92	28,3	4	800	729	756	1,04	1,53	out
B6	1,92	28,3	6	800	729	752	1,03	1,52	out
B8	1,92	28,3	8	800	729	778	1,07	1,57	out

Os modelos reforçados aumentaram sua capacidade de carga em até 57%, em relação à laje de referência. O seu comportamento indicou que o reforço de PRFC pode levar a um aumento considerável no nível de deslocamento. Os valores de deformação medidos na parte vertical das tiras de PRFC provou que o valor limite de deformação de 0,004, proposto pelo ACI 440.2R (2002), é um valor confiável para fins de projeto. Utilizando as recomendações da norma ACI 318 (2002) para o dimensionamento de lajes com armaduras de cisalhamento do tipo estribo, o autor indica que a parcela de resistência ao cisalhamento resistida pelo concreto dentro da zona reforçada pode ser aumentada com segurança, baseando-se em seus experimentos.

### 2.2.3. Erdogan (2010)

ERDOGAN (2010) ensaiou sete modelos de ligação laje-pilar, cinco destes reforçados ao cisalhamento através da técnica de reforço do tipo *Dowel*. Dois modelos foram utilizados como referência e ensaiados sem qualquer intervenção de reforço. Os modelos possuíam dimensões de 2.000x2.000x150 (mm) com pilar quadrado de 300x300 (mm), altura útil de 114 mm e taxa de armadura de 1,48%. O detalhe de ensaio é mostrado na Figura 2.6 e as características estão resumidas na Tabela 2.3.

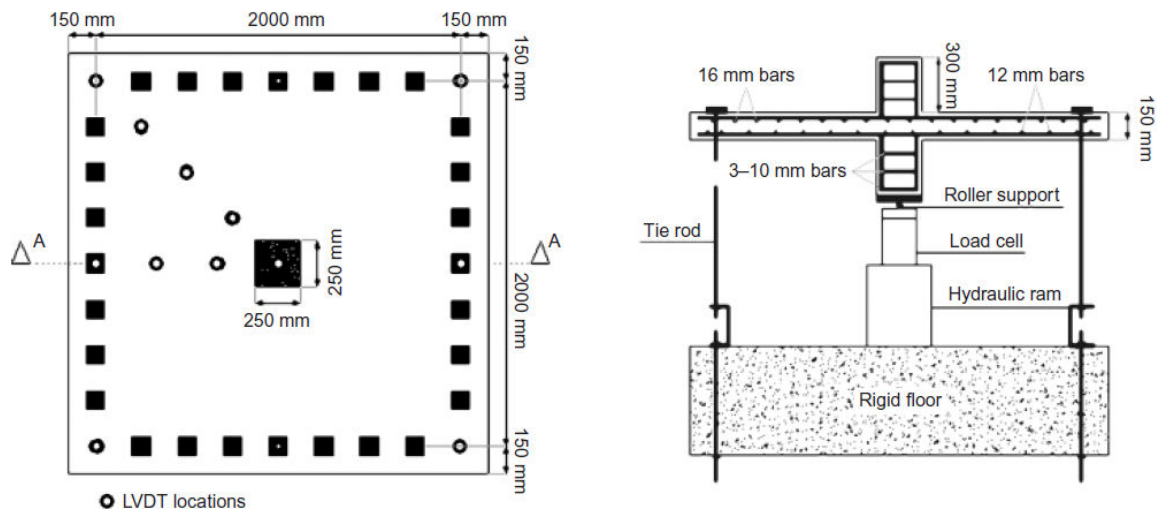


Figura 2.6 – Sistema de ensaio (ERDOGAN, 2010)

Tabela 2.3 - Características dos ensaios (Adaptada de ERDOGAN, 2010)

Modelos	$\rho$ (%)	$f_c$ (MPa)	n° de Camadas	$A_{PRFC}$ / Camada (mm <sup>2</sup> )	$V_{flex}$ (kN)	$V_u$ (kN)	$V_u /$ $V_{flex}$	$V_u /$ $V_{Ref}$	Superfície de Ruptura
CS1	1,48	35,0	-	-	582	458	0,79	-	-
CS2	1,48	32,0	-	-	575	500	0,87	-	-
1P3	1,48	33,0	3	768	577	601	1,04	1,31	out
1P4	1,48	26,0	4	768	556	571	1,03	1,25	out
1P5	1,48	31,0	5	768	572	657	1,15	1,43	out
CWOS	1,48	31,0	4	768	572	594	1,04	1,30	in
CWS	1,48	30,0	4	768	569	592	1,04	1,29	in

Foram investigados os efeitos de dois padrões diferentes de instalação de pinos de PRFC (Figura 2.7). O primeiro padrão, do tipo cruz, foi similar às aplicações tradicionais de estribos e *studs* no reforço ao cisalhamento de lajes planas. No segundo padrão, adotou-se distribuição dos pinos de PRFC em um padrão radial uniforme formado por quatro círculos concêntricos. Dois modelos, CWOS e CWS, foram preparados para esta finalidade. A única diferença entre estas amostras foi a presença de mantas de PRFC coladas na superfície da laje CWS. Desta forma, o objetivo era investigar o efeito das mantas adicionais de PRFC na ancoragem dos pinos.

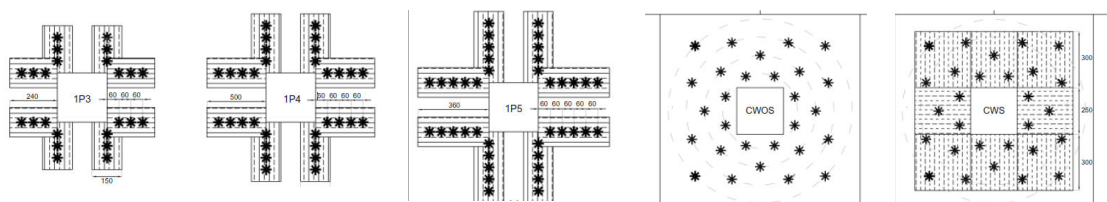


Figura 2.7 – Modelos reforçados com PRFC (ERDOGAN, 2010)

Os valores de carga última e deslocamento para os modelos reforçados foram incrementados em até 1,43 e 2,8 vezes, respectivamente. A ruptura por punção do tipo frágil foi convertida para o tipo moderadamente frágil, comparada com os modelos de referência. O arranjo e espaçamento dos pinos de PRFC influenciaram no modo de ruptura das lajes: no padrão tipo cruz a ruptura se deu fora da região reforçada, enquanto que para o padrão radial a ruptura aconteceu dentro da região reforçada. Porém, deve-se notar que foram utilizadas distribuições radiais pouco convencionais. As mantas de PRFC aplicadas na superfície dos modelos não tiveram influência sobre os parâmetros analisados, uma vez que os modelos tiveram o mesmo comportamento. Neste estudo a contribuição das mantas de PRFC na resistência à flexão também foi desconsiderada, pois de acordo com o autor para lajes com comprimento de ancoragem insuficiente, sua influência pode ser negligenciada.

#### 2.2.4. Lima (2012)

Na Universidade de Brasília, LIMA (2012) ensaiou quatro lajes com dimensões de 2.500 x 2.500 x 180 (mm) apoiadas sobre pilares centrados quadrados de (300 x 300) mm. O sistema de ensaio está representado na Figura 2.8 e as características principais resumidas na Tabela 2.4. Um dos modelos não foi reforçado, para comparação com os demais. Para os outros três modelos, variou-se a distribuição dos furos e o padrão de ancoragem, mantendo-se constante a área de reforço por perímetro.

Os modelos reforçados apresentaram um aumento na resistência ao cisalhamento de até 56%, quando comparados ao modelo de referência. A partir das deformações nas armaduras de flexão e dos deslocamentos verticais, tanto para o modelo de controle quanto para as lajes reforçadas, a técnica empregada aumentou a ductilidade dos modelos reforçados.

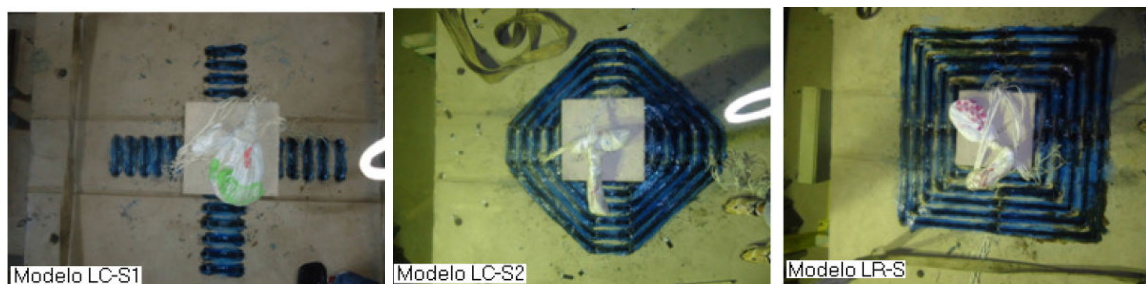


Figura 2.8– Modelos ensaiados (LIMA, 2012)



Tabela 2.4 - Características dos ensaios (Adaptada de LIMA, 2012)

Modelos	$\rho$ (%)	$f_c$ (MPa)	n° de Camadas	$A_{PRFC}$ / Camada (mm <sup>2</sup> )	$V_{flex}$ (kN)	$V_u$ (kN)	$V_u /$ $V_{flex}$	$V_u /$ $V_{Ref}$	Superfície de Ruptura
L0-1	1,45	43,2	-	-	1263	613	0,49	-	-
LC-S1	1,47	50,0	6	800	1269	838	0,66	1,37	in
LC-S2	1,45	50,0	6	800	1286	929	0,72	1,52	in
LR-S	1,44	50,0	6	800	1293	905	0,70	1,48	in

### 2.3. RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS

Esta seção apresenta o cálculo da resistência ao cisalhamento para ligações laje-pilar interiores com e sem armadura de cisalhamento segundo três diferentes normas – ACI 318 (2011), Eurocode 2 (2004) e ABNT NBR 6118 (2007). A expressão geral para o cálculo da capacidade das lajes lisas, sem armadura de cisalhamento consiste no produto da tensão de cisalhamento nominal, perímetro de controle e altura útil para todas normas (Equação 2.1). No entanto, cada uma varia na definição do perímetro de controle e da tensão de cisalhamento nominal. A capacidade de carga de projeto,  $V_{R,c}$ , de lajes lisas sem qualquer reforço de cisalhamento é definida como se segue;

$$V_{R,c} = v u d \quad \text{Equação 2.1}$$

onde  $v$  é a tensão de cisalhamento nominal de ligação laje-pilar,  $u$  é o perímetro de controle definido para lajes sem armadura de cisalhamento, e  $d$  é a altura útil da laje.

Para lajes lisas de concreto armado com armaduras de cisalhamento estas normas recomendam a verificação de dois possíveis modos de ruptura: superfície de ruptura cortando as armaduras de cisalhamento ( $V_{R,cs}$ ); superfície de ruptura fora da região das armaduras de cisalhamento ( $V_{R,out}$ ). A capacidade de cisalhamento fora da região reforçada é verificada através da Equação 2.1. A definição do perímetro de controle  $u$ , no entanto, muda de acordo com o arranjo de reforço ao cisalhamento. A capacidade ao cisalhamento dentro da região reforçada é calculada conforme Equação 2.2 para todas normas.

$$V_{R,cs} = \phi \cdot V_{R,c} + V_{R,s} \quad \text{Equação 2.2}$$

Onde  $V_{R,c}$  e  $V_{R,s}$  são as contribuições de concreto e armadura de cisalhamento da laje, respectivamente. Cada norma tem definições diferentes para  $V_{R,c}$  e  $V_{R,s}$ .

As normas atuais não tratam do reforço ao cisalhamento com armaduras de cisalhamento do tipo PRFC, sendo necessário uma adaptação da parcela resistência ao cisalhamento dentro da região reforçada de acordo com as recomendações da norma ACI 440.2R (2008), que trata do projeto e instalação do reforço de PRF instalados externamente em estruturas de concreto.

### 2.3.1. ACI 318 (2011)

Segundo o ACI 318 (2011) a resistência à punção de uma laje sem armaduras de cisalhamento é expressa como o mínimo de três expressões dadas na Equação 2.3. Estas três equações levam em consideração os efeitos da retangularidade do pilar, a localização da ligação ou área de carga em relação à altura útil. O perímetro de controle deve ser localizado a  $d/2$  da face do pilar, como mostrado na Figura 2.9.

$$V_{R,c} = \min \begin{cases} 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot \sqrt{f_c} \cdot u_1 \cdot d \\ 0,083 \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{u_1} + 2\right) \cdot \sqrt{f_c} \cdot u_1 \cdot d \\ 0,33 \cdot \sqrt{f_c} \cdot u_1 \cdot d \end{cases} \quad \text{Equação 2.3}$$

onde  $f_c$  é a resistência à compressão do concreto,  $\beta_c$  é a razão entre a maior e a menor dimensão do pilar,  $\alpha_s$  é uma constante que assume valor igual a 40 para o caso de pilares internos,  $u_1$  é o comprimento de um perímetro de controle a  $d/2$  da face do pilar, e  $d$  é a altura útil da laje.

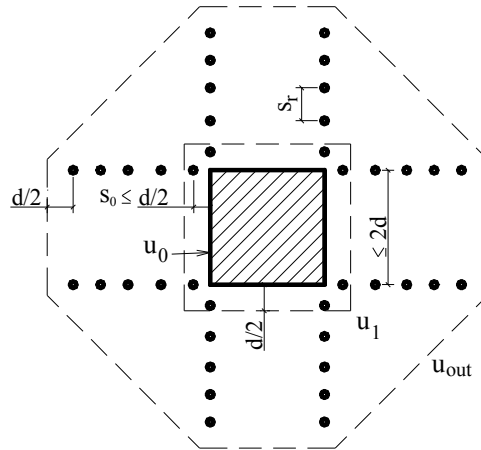


Figura 2.9 – Definição do perímetro de controle de acordo com ACI 318 (2011)

Para *studs* a distância entre o pilar e a primeira camada de armadura não deve exceder o valor de  $d/2$ . O espaçamento entre camadas de armadura não deve exceder  $0,75 \cdot d$  para  $V/(u_1 \cdot d) \leq 0,5 \cdot \sqrt{f_c}$ , e  $0,5 \cdot d$  para  $V/(u_1 \cdot d) > 0,5 \cdot \sqrt{f_c}$ .

A capacidade de carga fora da região reforçada ao cisalhamento  $V_{R,out}$  para os elementos de laje lisa com armaduras de cisalhamento deve ser calculada com o auxílio da Equação 2.4, utilizando a definição de perímetro de controle ( $u_{out}$ ) mostrada na Figura 2.9. Por outro lado, a capacidade no interior da região reforçada ao cisalhamento ( $V_{R,cs}$ ) pode ser expressa por meio da Equação 2.5, e o seu valor máximo expresso por meio da Equação 2.6. Estas são formulações para armaduras do tipo *studs*, pois de acordo com o ACI 421.1R (2008) são mais efetivas que estribos no controle da abertura de fissuras de cisalhamento.

$$V_{R,out} = 0,17 \cdot \sqrt{f_c} \cdot u_{out} \cdot d \quad \text{Equação 2.4}$$

$$V_{R,cs} = (0,25 \cdot \sqrt{f_c} \cdot u_1 \cdot d) + \left( \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ys,w} \right) \quad \text{Equação 2.5}$$

$$V_{R,cs} < 0,66 \cdot \sqrt{f_c} \cdot u_1 \cdot d \quad \text{Equação 2.6}$$

Onde  $A_{sw}$  é a área de aço de uma camada de armadura de cisalhamento,  $f_{ys,w}$  representa a tensão de escoamento da armadura de cisalhamento, e  $s_r$  é a distância entre camadas.

### 2.3.2. EUROCODE 2 (2004)

A resistência à punção em lajes lisas de concreto armado sem armadura de cisalhamento deve ser feita levando em conta o efeito da taxa de armadura e *size effect*, conforme Equação 2.7:

$$V_{R,c} = 0,18 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_c)^{1/3} \cdot u_1 \cdot d \quad \text{Equação 2.7}$$

Onde  $\xi$  é o *size effect*, assumido como  $\xi = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2,0$ ,  $\rho$  é a taxa de armadura, limitada em 2%, e  $u_1$  é o comprimento do perímetro de controle afastado  $2d$  das faces do pilar, como apresentado na Figura 2.10.

A resistência ao cisalhamento dentro da região reforçada é definida de acordo com a Equação 2.8. E a verificação da resistência da biela comprimida próxima das extremidades do pilar pode ser obtida com a Equação 2.9.

$$V_{R,cs} = 0,75 \cdot V_{R,c} + \left( 1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,ef} \right) \quad \text{Equação 2.8}$$

$$V_{R,max} = 0,5 \cdot v \cdot f_c \cdot u_0 \cdot d \quad \text{Equação 2.9}$$

Onde  $v = 0,6 \cdot \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$ , com  $f_{ck}$  em MPa.

A ruptura ocorrendo fora da região das armaduras de cisalhamento pode ser verificada com a Equação 2.7 utilizando o perímetro de controle ( $u_{out}$ ) conforme Figura 2.10, que apresenta alguns detalhes típicos recomendados por esta norma quando da utilização de armaduras de cisalhamento.

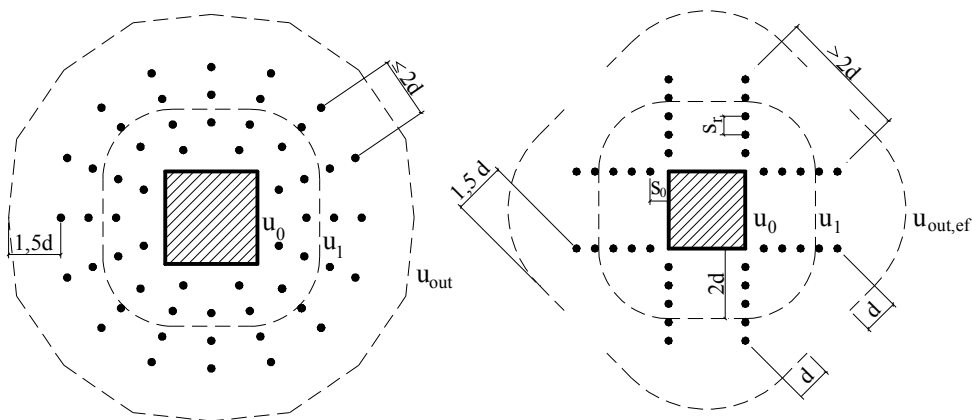


Figura 2.10- Definição do perímetro de controle de acordo com Eurocode 2 (2004)

Na Figura 2.10  $u_{out}$  é o comprimento do perímetro de controle afastado a  $1,5d$  da camada mais externa de armaduras de cisalhamento, respeitando-se um limite de  $2d$  para a distância máxima entre duas linhas concêntricas de *studs*. No caso deste limite não ser atendido, deve ser utilizado o perímetro de controle externo efetivo ( $u_{out,ef}$ ). E  $f_{yw,ef}$  é a tensão efetiva na armadura de cisalhamento.

### 2.3.3. ABNT NBR 6118 (2007)

O modelo analítico para verificação da resistência ao cisalhamento adotado pela norma brasileira é análogo do Eurocode 2 (2004), diferindo pelo *size effect*, que é calculado pela expressão  $\xi = 1 + \sqrt{(200/d)}$  ( $d$  em mm) que pode assumir valores superiores a 2,0, e pela taxa de armadura a flexão que pode assumir valor superior 2%.

A resistência à punção em lajes lisas de concreto armado sem armadura de cisalhamento deve ser feita conforme Equação 2.10. A resistência ao cisalhamento dentro da região reforçada é obtida com a Equação 2.11. E a verificação da resistência da biela comprimida próxima das extremidades do pilar pode ser obtida com a Equação 2.12.

$$V_{R,c} = 0,18 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_c)^{1/3} \cdot u_1 \cdot d \quad \text{Equação 2.10}$$

$$V_{R,cs} = 0,75 \cdot V_{R,c} + \left( 1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{yw,ef} \right) \quad \text{Equação 2.11}$$

$$V_{R,max} = 0,27 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} \cdot u_0 \cdot d \quad \text{Equação 2.12}$$

Onde  $u_{out}$  é o comprimento do perímetro de controle afastado à  $2d$  da camada mais externa de armaduras de cisalhamento, respeitando-se um limite de  $2d$  para a distância máxima entre duas linhas concêntricas de *studs* concêntricos. No caso deste limite não ser atendido, deve ser utilizado o perímetro de controle externo efetivo ( $u_{out,ef}$ ).  $f_{yw,ef}$  é a tensão efetiva na armadura de cisalhamento e  $\alpha_v = \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$  com  $f_{ck}$  em MPa.

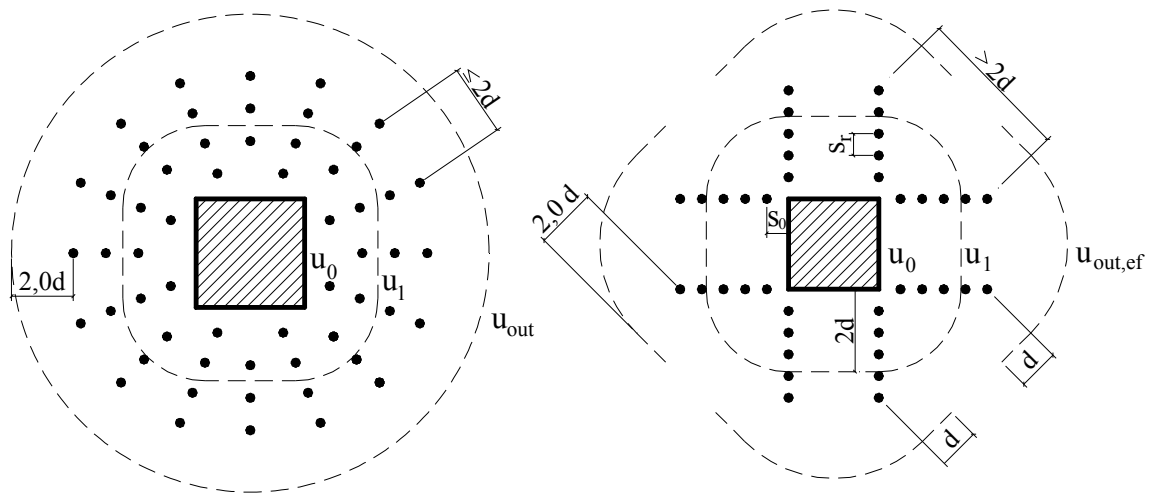


Figura 2.11- Definição do perímetro de controle de acordo com ABNT NBR 6118 (2007)

#### 2.3.4. ACI 440.2R (2008)

Esse documento fornece orientação para a seleção, projeto e instalação de sistemas de reforço com Polímeros Reforçados com Fibra (PRF) instalados externamente em estruturas de concreto. As informações sobre as propriedades do material, projeto, instalação, controle de qualidade e manutenção de sistemas de PRF utilizadas como reforço externo são nele apresentados. Estas informações podem ser usadas para selecionar um sistema de PRF para aumentar a resistência e a rigidez de vigas de concreto armado ou a ductilidade de pilares e outras aplicações.

Para verificação ao cisalhamento na superfície de ruptura cortando armaduras de cisalhamento com PRFC, neste trabalho denominadas de  $V_{R,C PRFC}$ , utiliza-se a Equação 2.13.

$$V_{R,C PRFC} = V_{R,C} + V_{R,PRFC} \quad \text{Equação 2.13}$$

$V_{R,C}$  e  $V_{R,PRFC}$  são as contribuições de reforço do concreto e das armaduras de cisalhamento de PRFC para a capacidade de resistência à punção da laje, respectivamente.

As contribuições dentro da região das armaduras de cisalhamento podem ser calculadas com as Equações 2.14, 2.15 e 2.16 para o ACI 318 (2011), Eurocode 2 (2004) e ABNT NBR 6118 (2007), respectivamente. As recomendações de projeto do ACI 440.2R (2008) e os estudos de PRIESTLEY *et al* (1996), limitam o valor da deformação no PRF em 0.004 para materiais utilizados no reforço ao cisalhamento, a fim de manter a integridade do concreto por ele confinado.

$$V_{R,PRFC} = \left( \frac{d}{s_r} \cdot A_{PRFC} \cdot f_{PRFC} \right) \quad \text{Equação 2.14}$$

$$V_{R,PRFC} = \left( 1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot A_{PRFC} \cdot f_{PRFC} \right) \quad \text{Equação 2.15}$$

$$V_{R,PRFC} = \left( 1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot A_{PRFC} \cdot f_{PRFC} \right) \quad \text{Equação 2.16}$$

Onde  $A_{PRFC}$  é a área das armaduras de cisalhamento tipo PRFC, por camada;  $f_{PRFC}$  é a tensão do PRFC, utilizada com valor de 290 MPa, de acordo com os ensaios de ERDOGAN (2010) e BINICI (2003).

Substituindo estas equações nas verificações à punção dentro da região reforçada ao cisalhamento propostas nos itens 2.3.1, 2.3.2 e 2.3.3, têm-se as Equações 2.17, 2.18 e 2.19. Para as demais superfícies de controle as prescrições permanecem inalteradas.

$$V_{R,C PRF} = \left( \frac{1}{4} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot u_1 \cdot d \right) + \left( \frac{d}{s_r} \cdot A_{PRFC} \cdot f_{PRFC} \right) \text{ ACI 318(2008)} \quad \text{Equação 2.17}$$

$$V_{R,C PRF} = 0,75 \cdot V_{R,c} + \left( 1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot A_{PRFC} \cdot f_{PRFC} \right) \text{ Eurocode 2 (2004)} \quad \text{Equação 2.18}$$

$$V_{R,C PRF} = 0,75 \cdot V_{R,c} + \left( 1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot A_{PRFC} \cdot f_{PRFC} \right) \text{ ABNT NBR 6118 (2007)} \quad \text{Equação 2.19}$$

### 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

#### 3.1. MODELOS ENSAIADOS

No total foram ensaiadas oito modelos de lajes lisas com pilar centrado reforçadas ao cisalhamento com PRFC no Laboratório de Estruturas da Universidade de Brasília. O programa experimental é composto de duas séries de quatro ensaios. Estes ensaios fazem parte da pesquisa de doutorado de Galileu Silva Santos. Os resultados serão comparados com uma laje de referência (L0-1), sem reforço, ensaiada por LIMA (2012).

As lajes representam uma região de momento negativo em torno do pilar, delimitada pelos pontos de momentos nulos com um comprimento de aproximadamente 22% do vão total entre pilares, o que equivale a um vão de 5,7 m, considerando uma situação de pilar interno e carregamento simétrico, conforme Figura 3.1. Os modelos ensaiados possuem dimensões de 2500 x 2500 mm de comprimento, altura nominal de 180 mm e pilares quadrados centrados com dimensão de 300 mm (Figura 3.2).

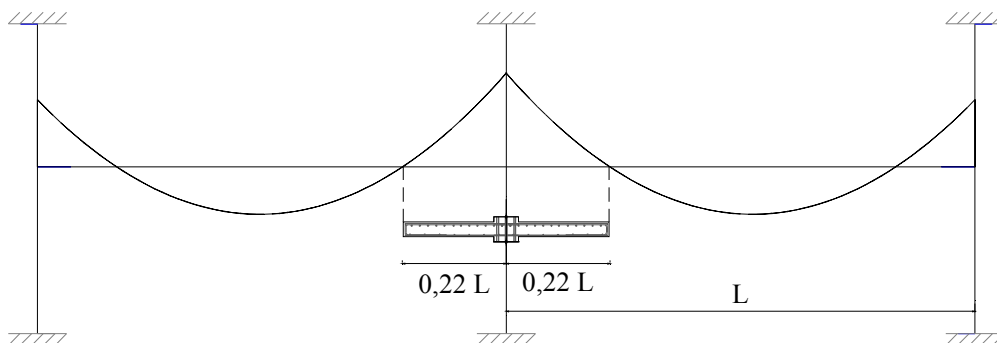


Figura 3.1 – Situação da laje estudada

Na série 1 foram ensaiadas quatro lajes, duas reforçadas com a técnica adaptada *Dowel* onde será variada a distribuição das armaduras de cisalhamento no padrão em cruz e radial e duas reforçadas com a técnica *Stitch*, com furos executados após concretagem, variando a área de reforço por furo. A série 2 é composta por quatro lajes reforçadas com a técnica *Stitch*, onde foi variada a distribuição das armaduras de cisalhamento, número de perímetros de reforço e área de reforço por perímetro.



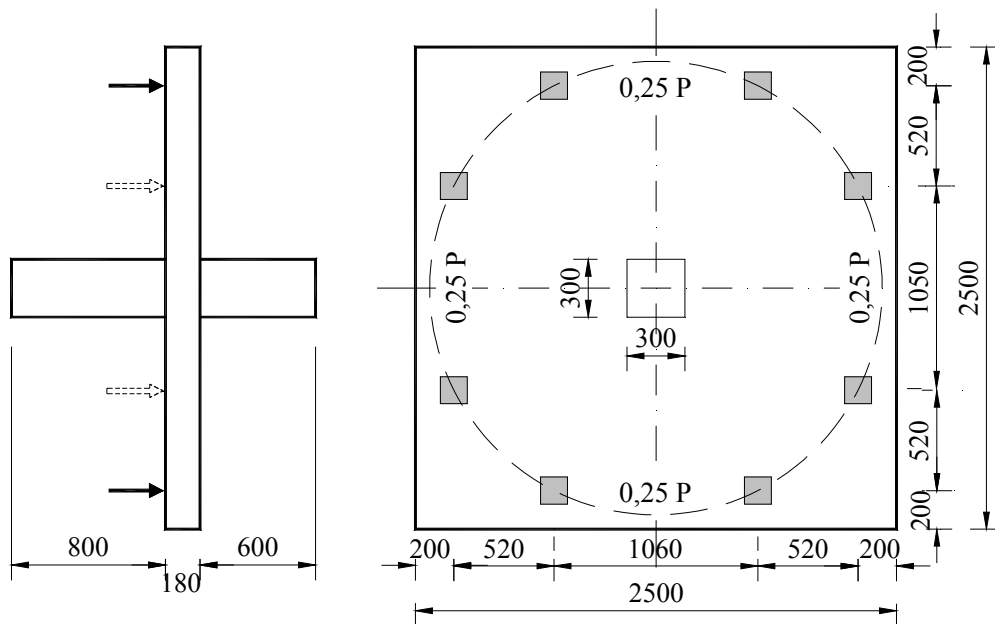


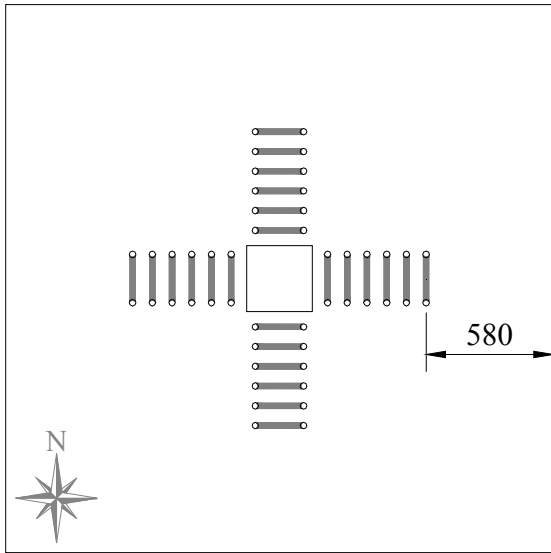
Figura 3.2 – Dimensões das lajes

A Tabela 3.1 apresenta as características principais dos modelos ensaiados, a nomenclatura das lajes é composta por letras e caracteres numéricos, onde o primeiro caractere L significa laje, o segundo representa a distribuição dos furos (C=cruz e R=radial), o terceiro representa a técnica de reforço (S=Stitch e D=Dowel). Para as lajes da série 1 foi adicionado o caractere F representando as lajes com perfuração após concretagem e na série 2 foi adicionado ao final um caractere numérico representando o número de perímetros de reforço.

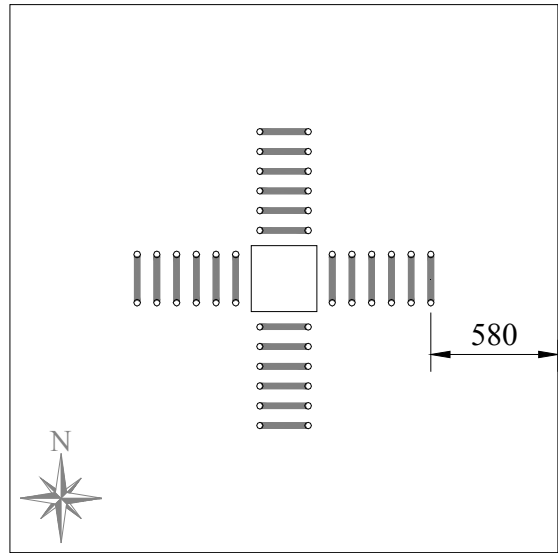
Tabela 3.1 – Características das lajes

Série	Modelos	d (mm)	$\rho$ (%)	$f_c$ (MPa)	Técnica de Reforço	Padrão de Furação	nº de Camadas	Furos / Camada	Fitas / Furo (mm <sup>2</sup> )	A <sub>PRFC</sub> / Fita (mm <sup>2</sup> )	A <sub>PRFC</sub> / camad. (mm <sup>2</sup> )
Lima (2012)	L0-1	144	1,45	43,2	-	-	-	-	-	-	-
Série 1	LC-S1-F1	143	1,46	48,2	Stitch	Cruz	6	8	5	25	1000
	LC-S1-F2	142	1,47	48,2	Stitch	Cruz	6	8	3	25	600
	LC-D	145	1,44	48,2	Dowel	Cruz	6	8	1	100	800
	LR-D	144	1,45	48,2	Dowel	Radial	6	8	1	100	800
Série 2	LC-S2-6	140	1,49	57,9	Stitch	Cruz	8	12	6	25	1800
	LC-S2-8	141	1,49	57,9	Stitch	Cruz	8	12	6	25	1800
	LR-S2-6	140	1,49	57,9	Stitch	Radial	6	8/16	4/2	25	800
	LR-S2-8	135	1,55	57,9	Stitch	Radial	6	12/20	6/4	25	1800

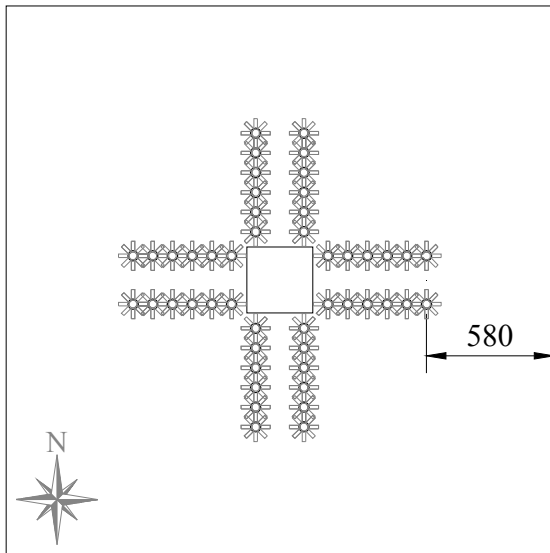
Após a aplicação do reforço as lajes ficam com o aspecto representado na Figura 3.3 e Figura 3.4.



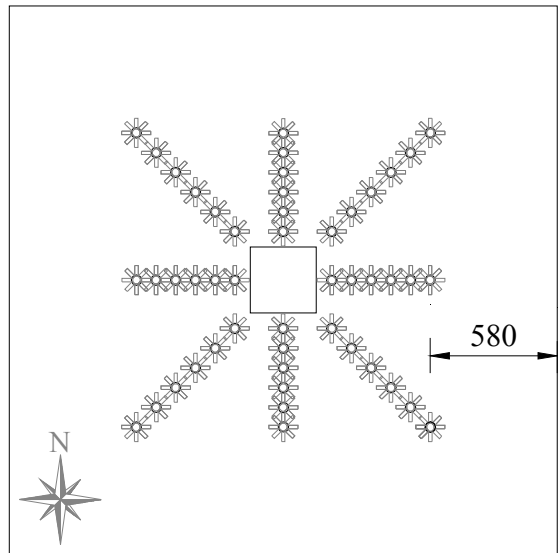
a) LC-S1-F1



b) LC-S1-F2



c) LC-D



d) LR-D

Figura 3.3 – Modelos série 1

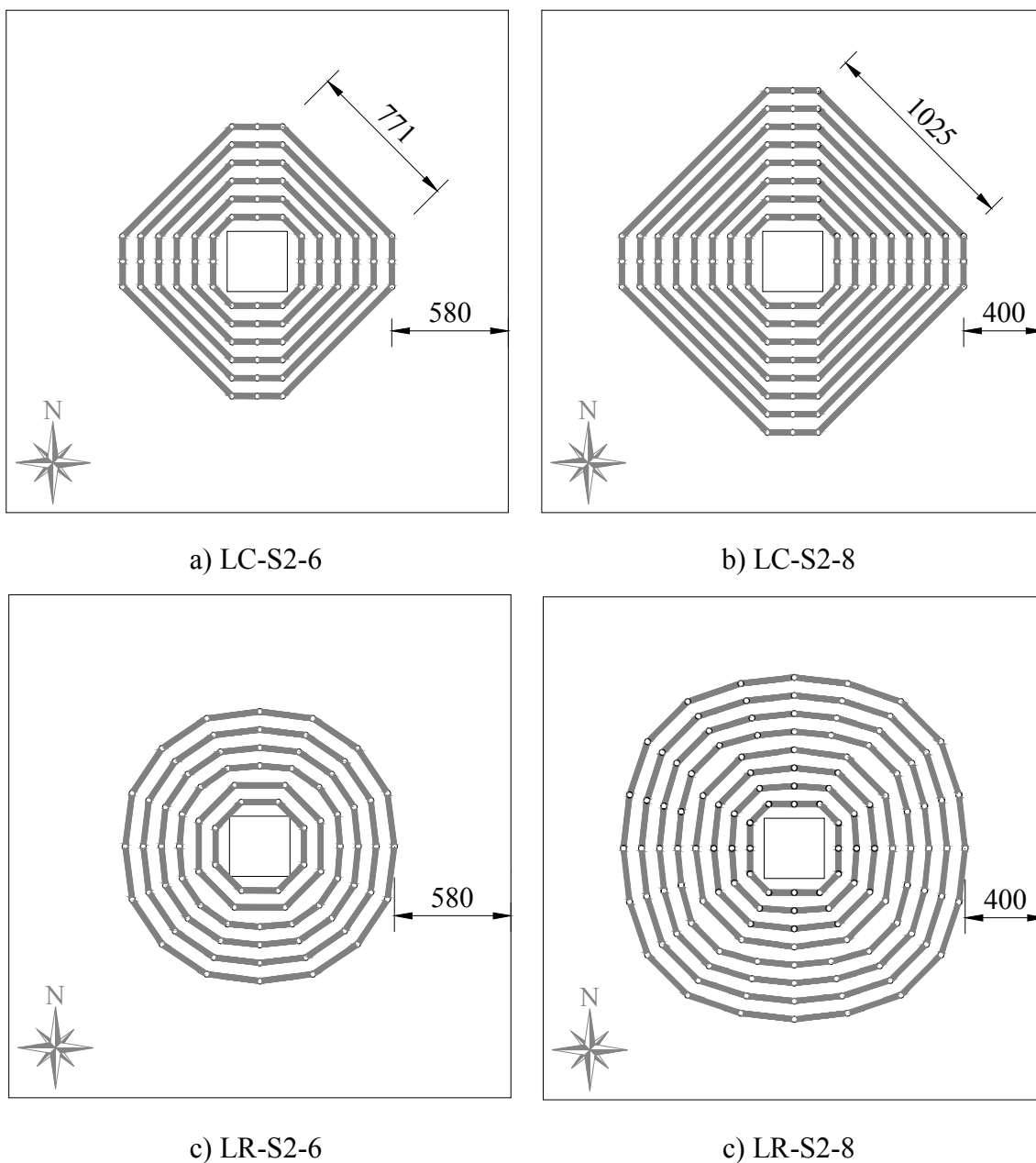


Figura 3.4 – Modelos série 2

### 3.2. ARMADURA DE FLEXÃO

A armadura de flexão das lajes foi composta por barras de 16 mm de diâmetro na face superior nas duas direções, enquanto que a armadura na face inferior foi constituída por barras de 8 mm em cada direção. A utilização de espaçamentos diferentes foi idealizada de modo a propiciar uma resistência à flexão igual nas duas direções. Para garantir uma adequada ancoragem das barras superiores, foram acrescentadas barras em formas de U com 12,5 mm de diâmetro em cada lado da laje. A armadura de flexão se manteve

constante para todas as lajes. A Figura 3.5 apresenta detalhamento das armaduras de flexão das lajes.

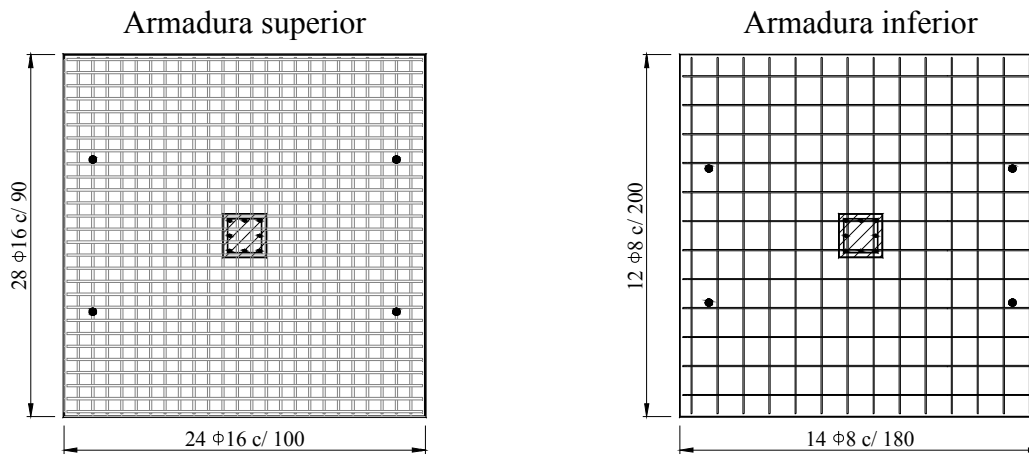


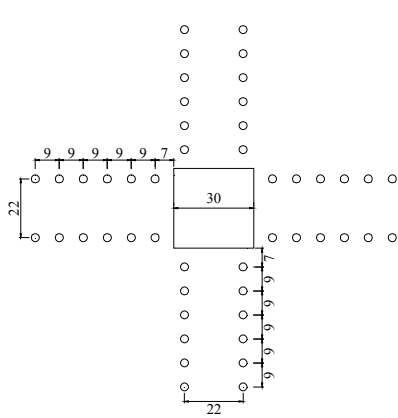
Figura 3.5 - Detalhamento das armaduras de flexão das lajes

A armadura dos pilares foi composta por oito barras retas de 20 mm de diâmetro na direção longitudinal e por estribos de 8 mm com espaçamento de 150 mm.

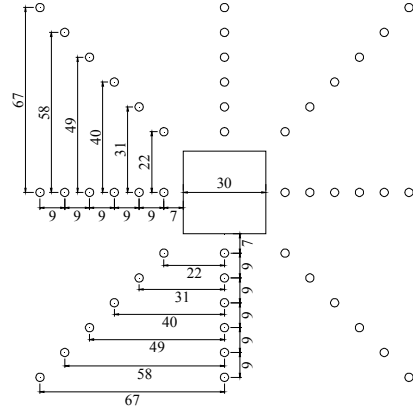
### 3.3. ARMADURA DE CISALHAMENTO TIPO PRFC

Nas lajes da série 1 a armadura de cisalhamento é composta por seis linhas de reforço, distribuídas em forma radial e em cruz, com elementos espaçados a cada 90 mm. A distância da face do pilar ao primeiro elemento é de 70 mm. Os detalhes das armaduras de cisalhamento são apresentados na Figura 3.6.

Nas lajes que compõem a série 2, as armaduras foram distribuídas em forma radial e em cruz. Nas lajes distribuídas em forma radial, foi elaborada com uma distribuição dos furos respeitando-se a distância limite de  $2d$  entre furos numa mesma camada de reforço. A Figura 3.7 apresenta os detalhes da distribuição dos furos nas lajes da série 2.

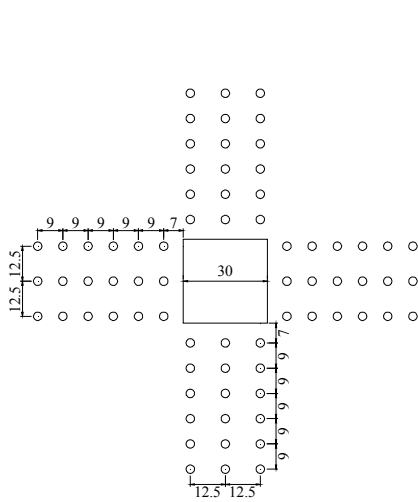


a) LC-S1-F1, LC-S1-F2 e LC-D

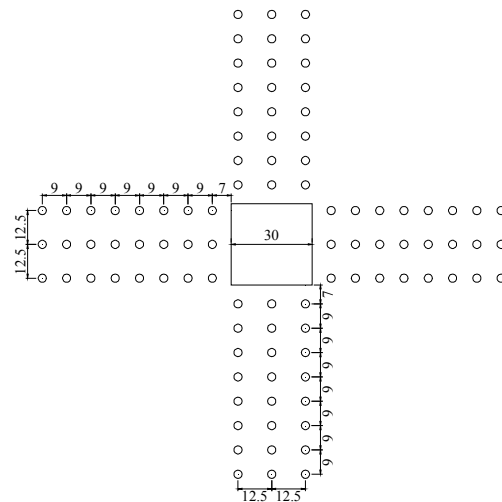


b) LR-D

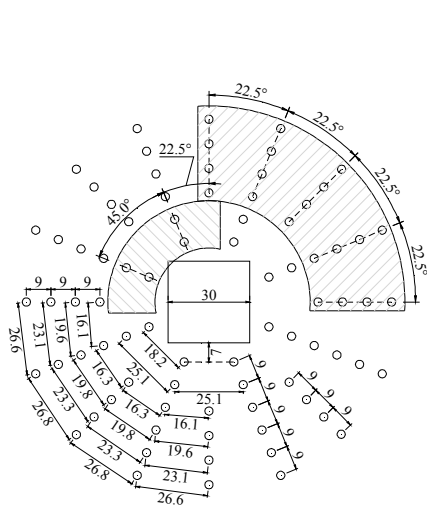
Figura 3.6 - Distribuição das armaduras de cisalhamento da série 1



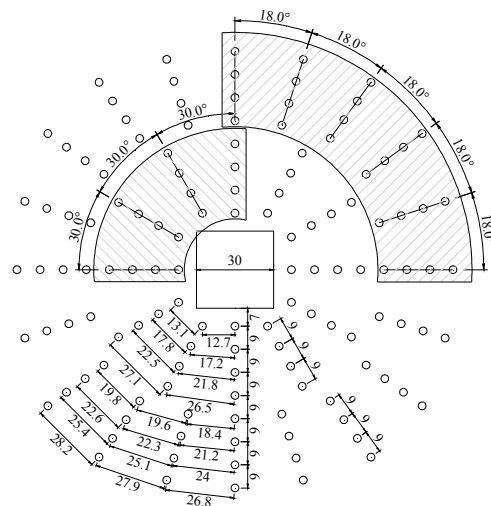
a) LC-S2-6



b) LC-S2-8



c) LR-S2-6



LR-S2-8

Figura 3.7 - Distribuição das armaduras de cisalhamento da série 2

### 3.4. INSTRUMENTAÇÃO

#### 3.4.1. Deslocamentos verticais

Os deslocamentos verticais das lajes foram medidos em 12 pontos selecionados previamente posicionados na face inferior da laje, utilizando-se LVDTs (transdutores de variação de deslocamento linear) da marca HBM. Em dois quadrantes das lajes os deslocamentos foram medidos em 4 pontos distintos. Nos quadrantes opostos, os deslocamentos foram monitorados em 2 posições.

As Figura 3.8 e Figura 3.9 apresentam o posicionamento dos LVDTs para as séries 1 e 2. Na série 2 os LVDTs 1, 6, 7 e 12 foram instalados na face superior da laje com o objetivo de medir os deslocamentos máximos até o final do ensaio, uma vez que, todos os LVDTs instalados na face inferior da laje eram removidos instantes antes da ruptura, para que não fossem danificados com o deslocamento da laje na sua ruína.

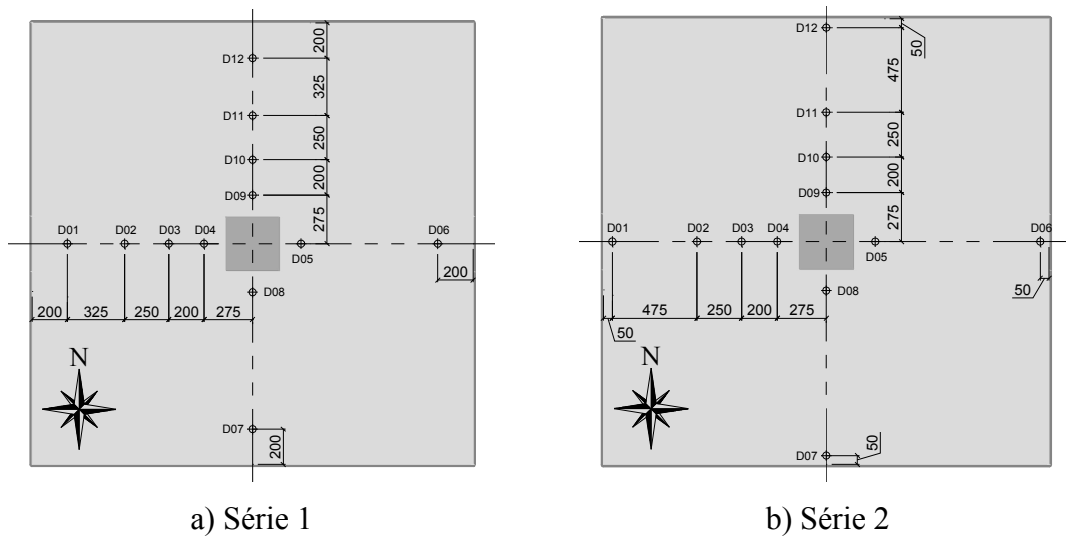


Figura 3.8 – Posicionamento dos LVDTs nas lajes



a) LVDTs na face inferior

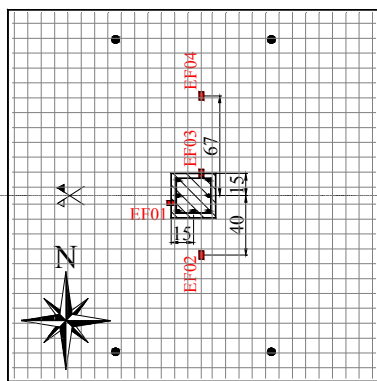


b) LVDT na face superior

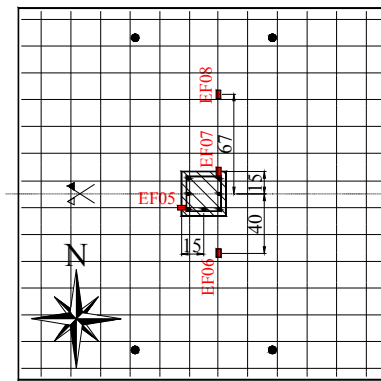
Figura 3.9 – LVDTs posicionados

### 3.4.2. Deformações na armadura de flexão

As deformações nas armaduras de flexão foram realizadas utilizando extensômetros elétricos de resistência (EER) da marca *Kyowa*, tipo KFG-2-120-C1-11. Em cada ponto de instrumentação foram instalados nas barras de aço dois extensômetros diametralmente opostos. A leitura de deformação apresentada para cada ponto foi tomada pela média dos registros nos pares de extensômetros. Devido a dificuldades de instrumentação do concreto, as armaduras inferiores também foram instrumentadas com vista a se obter resultados adicionais do nível de solicitação nesta região. Na série 2, baseado em outros estudos e em observações experimentais, adicionalmente foram instrumentadas as barras que passam por uma linha diagonal em relação ao canto do pilar e quina da laje, por suspeita-se que esta região seria mais solicitada devido a provável formação de um mecanismo neste local. O posicionamento da instrumentação das barras de aço está representados nas Figura 3.10 e Figura 3.11.

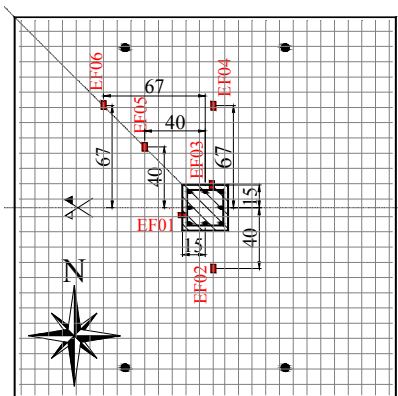


a) Armadura superior

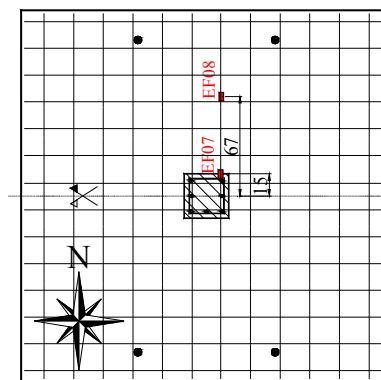


b) Armadura inferior

Figura 3.10 – Extensometria - Série 1



a) Armadura superior



b) Armadura inferior

Figura 3.11 - Extensometria - Série 2

### 3.4.3. Deformações no concreto

As deformações específicas no concreto foram medidas com extensômetros posicionados na região adjacente ao pilar. Os extensômetros utilizados foram da marca *Kyowa* modelo KC-70-120-A1-11, sendo dois para registrar as deformações radiais e dois para registrar as deformações tangenciais no concreto.

As posições dos extensômetros instalados na superfície de concreto estão detalhadas na Figura 3.12. A variação destas posições está relacionada as dificuldades de instalação, devido interferências causadas pela resina utilizada para o reforço e do graute utilizado para o preenchimento dos furos, conforme visualizado na Figura 3.13.

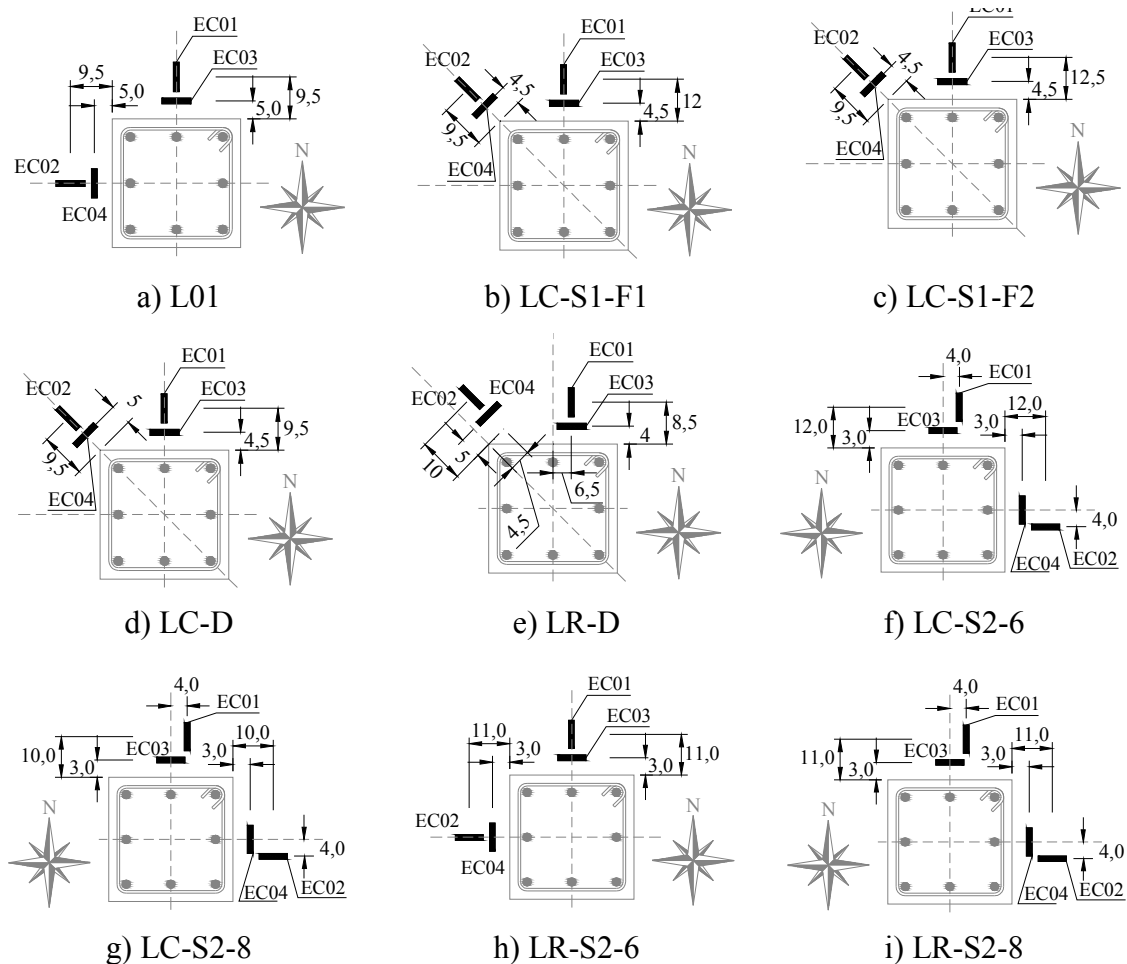


Figura 3.12 – Posicionamento dos extensômetros de concreto na face inferior da laje





a) Laje LR-D



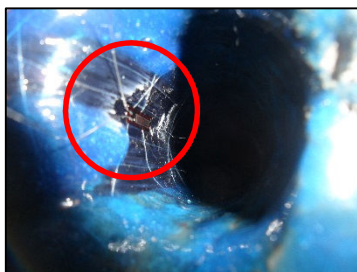
b) LC-S1-F1

Figura 3.13 – Interferências na instalação dos extensômetros de concreto

#### 3.4.4. Deformações na amadura de cisalhamento

Como não existe um procedimento padrão para instrumentação do compósito de carbono, além das dificuldades de se instrumentar a região central de um furo com 25mm de diâmetro e altura de 180mm, foram utilizadas duas técnicas diferentes de instalação do extensômetro no compósito de carbono.

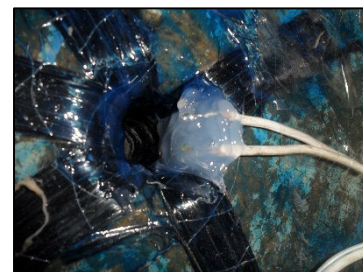
Na série 1, os extensômetros foram colados depois do reforço estar curado. Porém, esta técnica não permitiu a leitura das deformações do compósito na altura média do furo, uma vez que estavam posicionados em média a uma distância de 30mm a partir da face superior da laje. O procedimento consistiu na limpeza da área instrumentada, seguida por colagem e proteção mecânica com araldite e silicone, conforme representado na Figura 3.14.



a) Colagem do extensômetro



b) Fio soldado



c) Proteção mecânica

Figura 3.14 – Instrumentação antes da aplicação do reforço na série 1

Na série 2, optou-se pela colagem dos extensômetros no compósito antes da aplicação do reforço de forma que a deformação fosse aferida exatamente na altura média da laje. A técnica consiste na pré-impregnação com *saturant* da fibra a ser instrumentada. Como a fibra devia manter o formato do furo, na cura do *saturant* a fibra foi apoiada sobre um tubo de PVC de mesmo diâmetro. Após a cura da resina foram realizados os processos de colagem, proteção mecânica com araldite e silicone. Este processo está representado na Figura 3.15.



Figura 3.15 – Instrumentação antes da aplicação do reforço na série 2

As lajes ensaiadas apresentavam seis ou oito camadas de armadura de PRFC, dispostas em distribuição radial e em cruz. A Figura 3.16 apresenta a posição dos furos em que foram instrumentadas os compósitos de fibra de carbono.

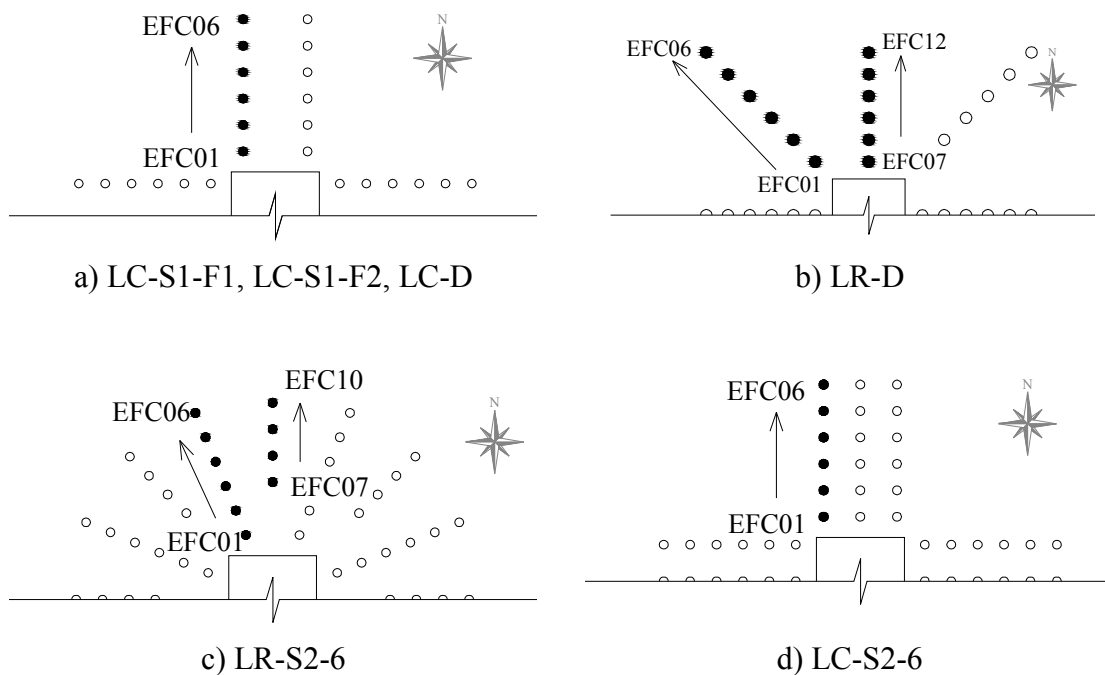


Figura 3.16 – Posição de instrumentação das armaduras de cisalhamento - continua

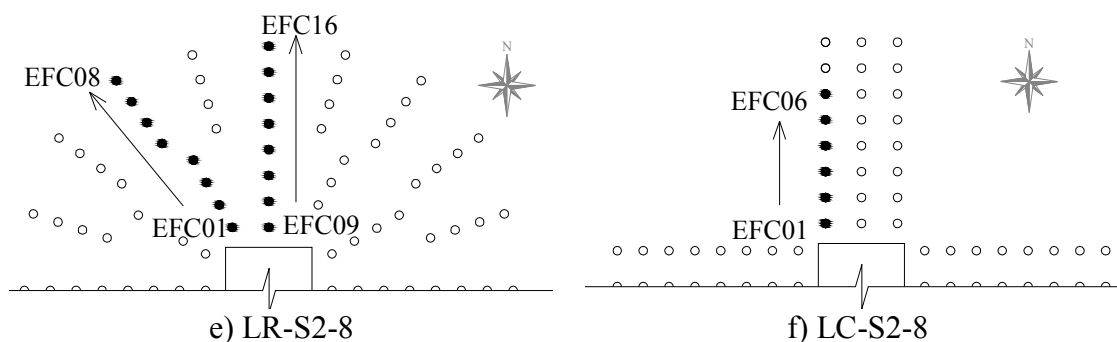


Figura 3.16 – Posição de instrumentação das armaduras de cisalhamento

### 3.5. FABRICAÇÃO DOS MODELOS

#### 3.5.1. Formas

Foram utilizadas formas metálicas, fabricadas no Laboratório de Estruturas da Universidade de Brasília, para confecção dos modelos ensaiados permitindo a concretagem simultânea de quatro modelos por lote, conforme ilustrado na Figura 3.17.

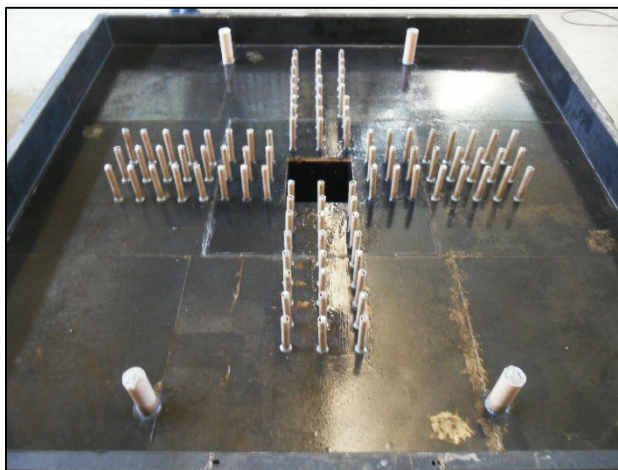
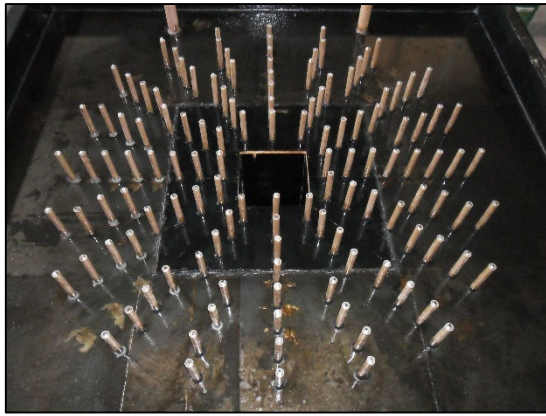


Figura 3.17 – Formas metálicas

Os furos das lajes foram previamente posicionados na forma metálica através da soldagem de barras rosqueadas. Nestas barras foram inseridos tubos e cones de PVC fixos pelo centro com porcas. Um método semelhante para criar furos com tubos de PVC antes da concretagem das lajes também foi utilizado em estudos anteriores (SISSAKIS e SHEIKH, 2007; BINICI, 2003; BINICI e BAYRAK, 2005). A Figura 3.18 ilustra o detalhe de fixação dos tubos nas formas metálicas.



a) Furos posicionados LC-S2-8



b) Detalhe da fixação dos tubos de PVC

Figura 3.18 – Posicionamento dos tubos

### 3.5.2. Concretagem

As lajes foram moldadas em grupos de quatro modelos utilizando concreto usinado. No total, 24 corpos-de-prova cilíndricos 100 x 200 mm, foram moldados por lote de concretagem, para a determinação das características mecânicas do concreto (resistência à compressão simples e tração por compressão diametral). O adensamento dos corpos de prova e dos modelos foi realizado por meio de vibradores de imersão com 25 mm de diâmetro.

O processo de cura das lajes e dos corpos de prova consistiu na colocação de panos sobre a superfície do concreto e molhagem três vezes ao dia durante sete dias. A Figura 3.19 apresenta o detalhe de concretagem das lajes.



a)Ensaio abatimento de tronco de cone



b)Moldagem corpos de prova

Figura 3.19 – Concretagem das lajes - continua



c) Início da concretagem



d) Acabamento da concretagem



e) Cura das lajes

Figura 3.19 – Concretagem das lajes

### 3.6. REFORÇO DOS MODELOS

#### 3.6.1. Perfuração e preparação da superfície

Com objetivo de avaliar a viabilidade prática da perfuração, nos modelos LC-S1-F1 e LC-S1-F2 não foram deixados previamente a posição dos furos com tubos de PVC, necessitando assim sua perfuração após a cura da laje. Para execução desses furos foi contratada uma empresa especializada para esta finalidade.

A perfuração foi iniciada após serem posicionados os locais dos furos com auxílio de um pacômetro da marca HILTI modelo PS20, aparelho que é específico para detecção de armaduras. Durante a realização da perfuração foi tomado extremo cuidado para não se danificar armaduras longitudinais e o cobrimento do concreto nas proximidades dos locais dos furos. O processo de perfuração está representado na Figura 3.20.



a) Marcação da posição das armaduras



b) Perfuração com furadeira

Figura 3.20 – Perfuração das lajes

Para aplicação do reforço de PRFC, o concreto deve estar totalmente curado, isento de partículas soltas, sem contaminação de óleos, agentes desmoldantes ou cura química e totalmente seco. A limpeza do substrato foi realizada com uma lixadeira até se obter a total eliminação de impurezas ou contaminações superficiais (Figura 3.21a).

As quinas vivas nas bordas também devem ser evitadas devido a concentração de tensões no reforço para esta região, o raio de arredondamento deve ser cerca de 12,5mm (Figura 3.21b). O procedimento de arredondamento das quinas foi realizado com furadeira, na qual era acoplada uma ponta montada, conforme Figura 3.21c.



a) Superfície lixada



b) Cantos arredondados



c) Ponta montada

Figura 3.21 – Preparo da superfície

Com a superfície limpa, seca e isenta de contaminações o próximo procedimento é aplicação do *primer*. Este produto é necessário para ancorar física e quimicamente o adesivo aos poros da superfície de concreto e melhorar dessa forma a capacidade adesiva do substrato. Ele deve ser distribuído uniformemente sobre toda superfície com

ajuda de uma trincha ou de um rolo, garantindo uma impregnação completa da porosidade e dos vazios do concreto .

Quando necessário, foi utilizado um regularizador de superfície, também conhecido como *putty*, que são especialmente formulados para correção de pequenas imperfeições existentes no substrato, evitando a formação de bolhas de ar e garantindo uma superfície plana e adequada para colagem do reforço.

Por último, foi aplicada a resina de colagem, também denominado de *saturant*, criando uma matriz altamente resistente. A adesão à superfície existente, previamente impregnada com o primer, é feita por aplicação direta da folha flexível de fibras de carbono. As etapas de aplicação dos produtos estão ilustradas na Figura 3.22. Após o reforço das lajes os furos foram preenchidos com argamassa de alta resistência, com intuito de evitar uma zona de fragilidade nesta região.



a) Aplicação do *primer*

b) Aplicação do *putty*

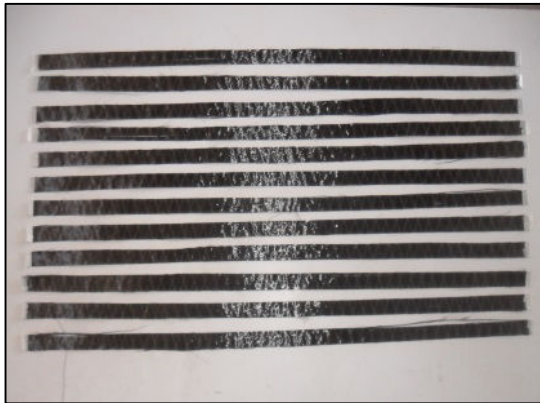
c) Aplicação do *saturant*

Figura 3.22 – Reforço dos modelos

### 3.6.2. Reforço com a técnica *Stitch*

Nesta técnica de reforço as mantas de fibras de carbono foram cortadas em pequenas tiras com largura de 25 mm, ver Figura 3.23a, o comprimento era variável em função da região reforçada e possuía dimensões suficientes para garantir o trespasse adotado de 125 mm, superior ao valor mínimo de 50 mm recomendado pelo fabricante e com o mesmo comprimento da menor distância entre furos da armadura de cisalhamento. O *saturant* foi distribuído sobre superfície da laje com auxílio de um rolo de espuma (Figura 3.23b) e dentro dos furos através de uma haste metálica com esponja fixada na ponta (Figura 3.23h).

As tiras foram fixadas sobre o *saturant* ainda fresco (Figura 3.23b), utilizando-se um dispositivo com garras para passá-las entre furos (Figura 3.23c). Por fim, outra camada de *saturant* foi distribuída uniformemente sobre a fibra de carbono dentro e fora dos furos. As camadas posteriores de fibras foram coladas no mínimo 30 minutos após a aplicação da última camada de *saturant*, de acordo com recomendações do fabricante.



a) Fibras cortadas



b) 1º aplicação do *saturant*



c) Fitas presas com garras



c) Fitas presas com garras



e) Fixação fibras no *saturant*



f) Trespasse das fibras

Figura 3.23 – Aplicação da técnica Stitch - contínua





g) 2º camada de *saturant*



h) Aplicação interna de *saturant*



i) Laje reforçada

Figura 3.23 – Aplicação da técnica *Stitch*

### 3.6.3. Reforço com a técnica *Dowel*

Com base nas observações feitas por ERDOGAN (2010) e na experiência prática, a técnica de reforço do tipo *Dowel*, que utiliza pinos de mantas de fibra de carbono, foi adaptada nesta pesquisa de maneira a proporcionar uma considerável economia de material e mão de obra, optando por não utilizar as mantas adicionais coladas nas faces da laje, que segundo o autor, tinham objetivo de melhorar a distribuição de tensão entre a laje e os pinos *Dowel*.

Neste método adaptado, as mantas de PRFC foram cortadas em faixas retangulares com dimensões de 320 x 100mm para que pudessem ser fabricados os pinos de PRFC (Figura 3.24a), as extremidades livres da manta, cerca de 70mm de comprimento de ancoragem, foram cortadas no sentido longitudinal das fibras para que pudessem ser abertas e coladas diretamente na face superior e inferior das lajes. Esta dimensão de manta equivale a quatro camadas da técnica *Stitch* com 25mm de largura.

Posteriormente as mantas de PRFC eram enroladas formando-se uma espécie de tubo de 12 mm de diâmetro utilizando-se de um tubo de PVC para orientar todo o processo (Figura 3.24b). As barras de PVC não foram utilizadas com função estrutural e sim como um material de baixo custo para servir como suporte rígido para facilitar a inserção dos pinos de PRFC nos furos das lajes. Essas barras de PVC foram removidas após a instalação dos pinos. O processo de aplicação *saturant* e preenchimento dos furos é o mesmo da técnica *Stitch*. A Figura 3.24 ilustra todo processo de instalação.



a) Fibras cortadas



b) Tubo de PVC



c) Pino enrolado



d) 1º aplicação do *saturant*

Figura 3.24 – Aplicação da técnica Dowel - continua



e) Acabamento das pontas



f) Ancoragem do pino



g) 2º aplicação do *saturant*



h) 2º aplicação do *saturant*



i) Laje reforçada

Figura 3.24 – Aplicação da técnica *Dowel*

### 3.7. MATERIAIS

#### 3.7.1. Concreto

As lajes foram moldadas com concreto usinado, confeccionado para atingir aos 28 dias uma resistência à compressão em torno de 40 MPa. Para determinação das propriedades mecânicas do concreto utilizado nas lajes foram realizados ensaios de resistência à

compressão simples de acordo com a ABNT NBR 5739 (2007), resistência à tração por compressão diametral de acordo com ABNT NBR 7222 (2011). Estes ensaios foram realizados em corpos de prova cilíndricos, de dimensões 100 mm x 200 mm. A Tabela 3.2 apresenta os valores médios de cada propriedade mecânica do concreto nas idades de controle.

Tabela 3.2 – Propriedades mecânicas do concreto

Série	Modelo	Idade* (dias)	$f_c$ (MPa)	$f_{ct}$ (MPa)
Lima (2012)	L0-1	136	43,2	3,3
Série 1	LC-D	128	48,2	3,6
	LR-D	128	48,2	3,6
	LC-S1-F1	128	48,2	3,6
	LC-S1-F2	128	48,2	3,6
Série 2	LC-S2-8	66	57,9	4,3
	LC-S2-6	66	57,9	4,3
	LR-S2-6	66	57,9	4,3
	LR-S2-8	66	57,9	4,3

\* Idade de rompimento dos corpos de prova

### 3.7.2. Aço

Para obter as propriedades mecânicas dos aços utilizados nos modelos, três amostras de corpo de prova, com comprimento de 50 mm. Para cada diâmetro utilizado na confecção das armaduras das lajes foram ensaiadas, de acordo com as recomendações da NBR 6892 (2002). A Tabela 3.3 apresenta a média dos resultados à tração dos aços utilizados na confecção das lajes.

Tabela 3.3 – Propriedades mecânicas do aço

Série	Modelos	$\varnothing$ 8,0 mm			$\varnothing$ 16,0 mm		
		$f_{ys}$	$E_s$	$\epsilon_{ys}$	$f_{ys}$	$E_s$	$\epsilon_{ys}$
		(MPa)	(GPa)	(‰)	(MPa)	(GPa)	(‰)
Lima (2012)	L0-1	601	214	2,80	593	209	2,84
Série 1	LC-D	599	193	3,10	570	196	2,90
	LR-D						
	LC-S1-F1						
	LR-S1-F2						
Série 2	LC-S2-6	663	198	3,34	614	198	3,10
	LC-S2-8						
	LR-S2-6						
	LR-S2-8						

A Figura 3.25 representa os diagramas tensão deformação para as barras ensaiadas.

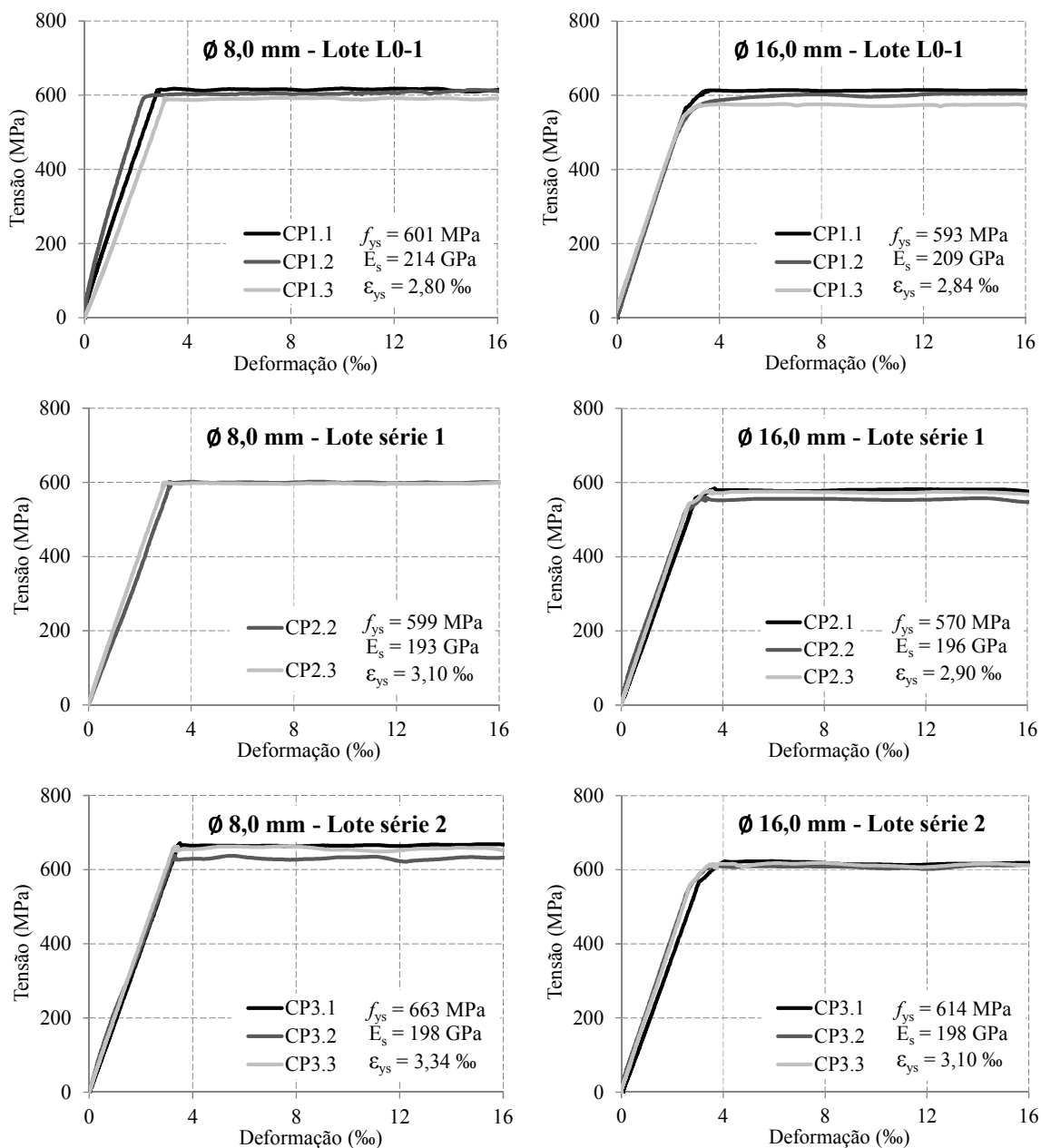


Figura 3.25 – Diagramas tensão deformação

### 3.7.3. Polímero Reforçado com Fibra de Carbono (PRFC)

As lajes foram reforçadas com o sistema compósito MBrace® CF 130, fornecido pela empresa BASF S/A. Foram consideradas as propriedades mecânicas fornecidas no catálogo do fabricante, que estão sumarizadas na Tabela 3.4 e representadas graficamente na Figura 3.26.

Tabela 3.4 – Propriedades mecânicas do material compósito

Propriedades	Mantas de FC CF 130	Mbrace Saturante
Resistência à tração (MPa)	3800	14
Módulo de elasticidade (MPa)	227000	1138
Deformação última (‰)	16,7	5,3

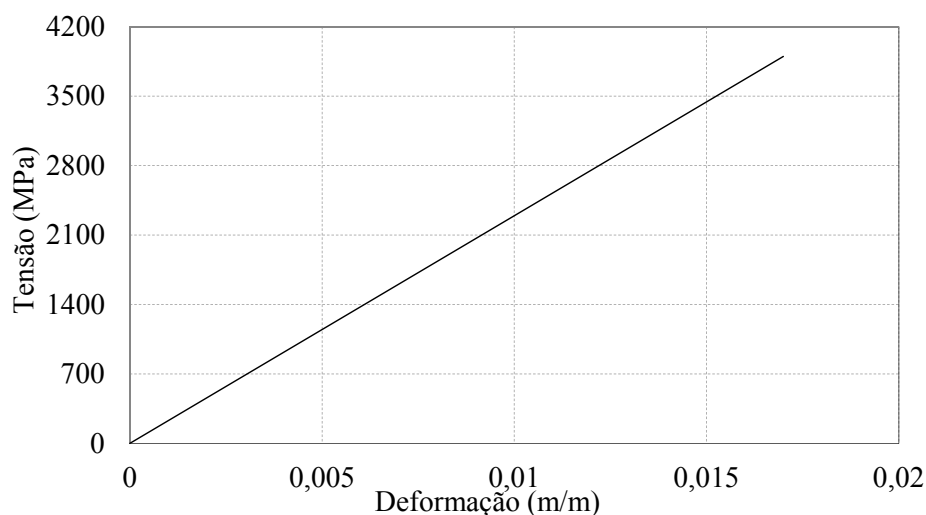


Figura 3.26 – Diagrama tensão versus deformação Fibra de carbono CF 130 (adaptado de BASF S/A, 2013)

### 3.8. SISTEMA DE ENSAIO

Os ensaios foram realizados em um pórtico metálico montado sobre a laje de reação do Laboratório de Estruturas da Universidade de Brasília. O sistema de ensaio utilizado nesse programa experimental foi o mesmo adaptado por FERREIRA (2010).

Os dados de deformações, deslocamentos e carregamentos aplicados foram lidos por um sistema de aquisição de dados *Spider 8*, em conjunto com o *software catman*. As leituras eram acionadas manualmente a cada passo de carga.

O carregamento foi aplicado de forma simétrica com passos de carga de 20 kN para as cinco primeiras leituras e 40 kN até a ruptura. Quatro atuadores hidráulicos, marca *Enerpac*, acionados por duas bombas elétricas, aplicaram o carregamento em vigas

metálicas rígidas que distribuíam o carregamento aplicado em 2 chapas de aço, totalizando 8 pontos de aplicação do carregamento.

O monitoramento da aplicação do carregamento foi realizado com células de carga Kratos, com capacidade de 1000 kN, alinhada a cada atuador hidráulico. As leituras realizadas para cada passo de carga foram realizadas com um conjunto de indicadores digitais, marca Kratos, com capacidade de 1000 kN.

O sistema de ensaio está representado na Figura 3.27, e no Apêndice A estão detalhadas as vistas superior e cortes que compõem o projeto de adaptação realizado por FERREIRA (2010).

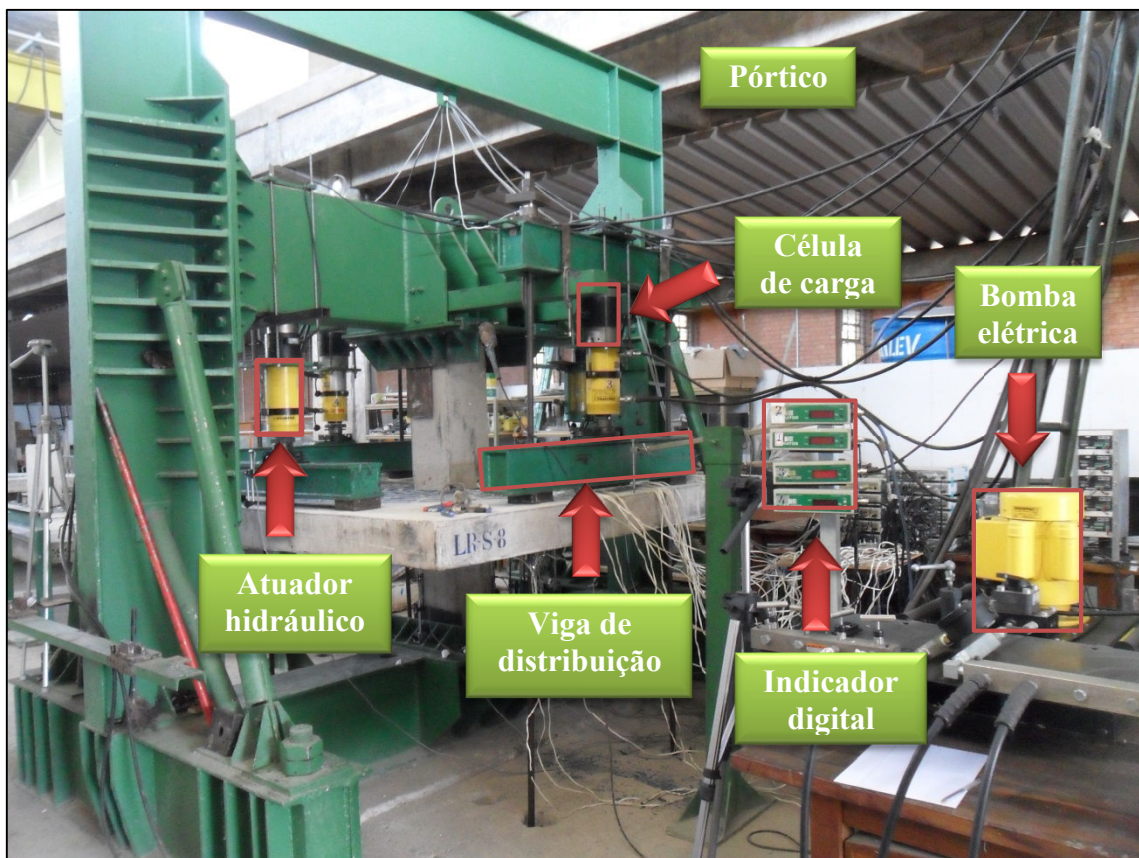


Figura 3.27 – Sistema de ensaio

### 3.9. RESISTÊNCIA À FLEXÃO DAS LAJES

Para a determinação da resistência a flexão das lajes, foi utilizada a teoria das linhas de rupturas expressa em uma formulação analítica usada por GUANDALINI *et. al.* (2009), conforme Equação 3.1 e Equação 3.2. Os resultados dos cálculos de  $V_{flex}$  estão representados na Tabela 3.5. O mecanismo de colapso está representado na Figura 3.28

e foi adotado com base nas observações experimentais por representar de forma adequada o comportamento das lajes na ruptura.

$$V_{flex} = \frac{4m_u}{r_q(\cos\theta + \operatorname{sen}\theta) - c} \left( \frac{B^2 - Bc - \frac{c^2}{4}}{B - c} \right) \quad \text{Equação 3.1}$$

$$m_u = \rho f_y d^2 \left( 1 - 0,5\rho \frac{f_y}{f_c} \right) \quad \text{Equação 3.2}$$

Onde  $m_u$  é momento último e as variáveis  $B$ ,  $c$  e  $r_q$  estão definidas na Figura 3.28:

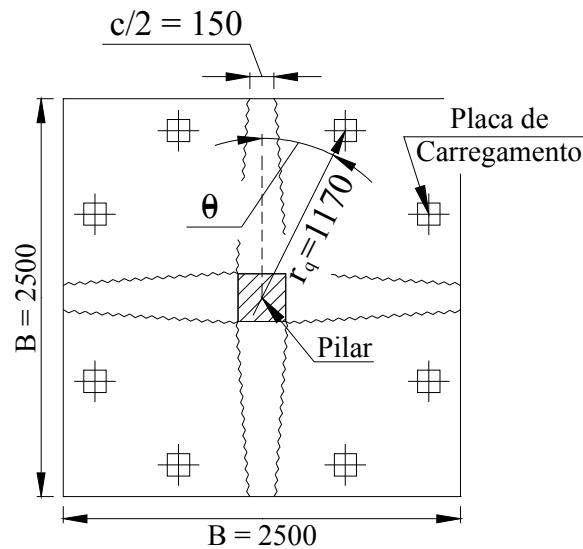


Figura 3.28 – Mecanismo de colapso

Tabela 3.5 - Resistência a flexão das lajes

Série	Modelos	d (mm)	$\rho$ (%)	Materiais		$m_u$ kNm/m	$V_{flex}$ kN
				$f_c$ (MPa)	$f_y$ (MPa)		
Lima (2012)	L0-1	144	1,45	43,2	593	158	1263
Série 1	LC-D	145	1,44	48,2	570	155	1243
	LR-D	144	1,45	48,2	570	154	1236
	LC-S1-F1	143	1,46	48,2	570	153	1228
	LC-S1-F2	142	1,47	48,2	570	152	1214
Série 2	LC-S2-6	140	1,49	57,9	614	162	1301
	LC-S2-8	141	1,49	57,9	614	164	1316
	LR-S2-6	140	1,49	57,9	614	163	1308
	LR-S2-8	135	1,55	57,9	614	152	1216



## 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo são apresentados os resultados experimentais de oito lajes ensaiadas no Laboratório de Estruturas da Universidade de Brasília. Serão apresentadas as informações de deslocamentos verticais, deformações na armadura de flexão, na armadura de cisalhamento, na superfície do concreto, mapa de fissuração, superfície de ruptura, cargas últimas e o modo de ruptura das lajes.

### 4.1. DESLOCAMENTOS VERTICAIS

Os deslocamentos das lajes da série 1 foram medidos com 12 LVDTs posicionados na face inferior das lajes ensaiadas, conforme apresentado no Capítulo 3. Próximo ao encerramento do ensaio as leituras dos deslocamentos foram interrompidas, com a retirada dos equipamentos da face inferior da laje, com o objetivo de manter sua integridade. As leituras foram realizadas a cada passo de carga. Na série 2 os LVDTs extremos 1, 6,7 e 12 foram deslocados para a face superior da laje com o objetivo de medir os deslocamentos nas bordas até o final do ensaio. E em sua representação gráfica de deslocamentos, após a retirada dos LVDTs inferiores, foram representados apenas estes pontos extremos. Na Figura 4.1 à Figura 4.9 são apresentados, os deslocamentos verticais de cada laje na direção Sul – Norte (S-N) e na direção Oeste - Leste (O-L).

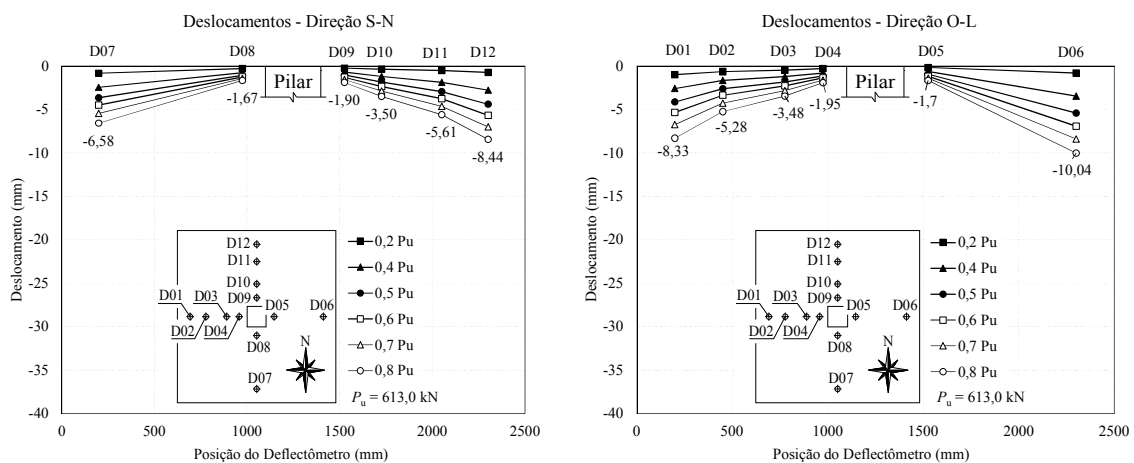


Figura 4.1 - Deslocamentos verticais da laje L0-1

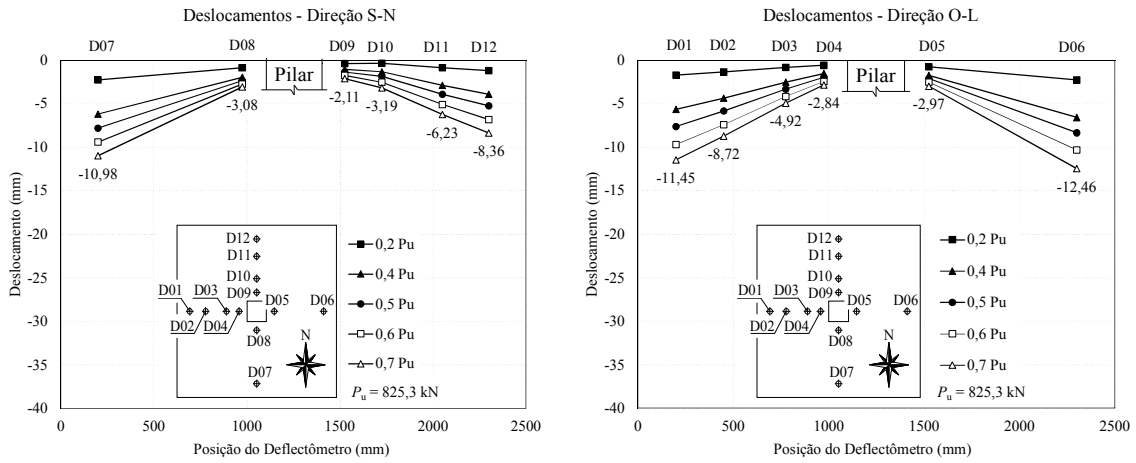


Figura 4.2 - Deslocamentos verticais da laje LC-S1-F1.

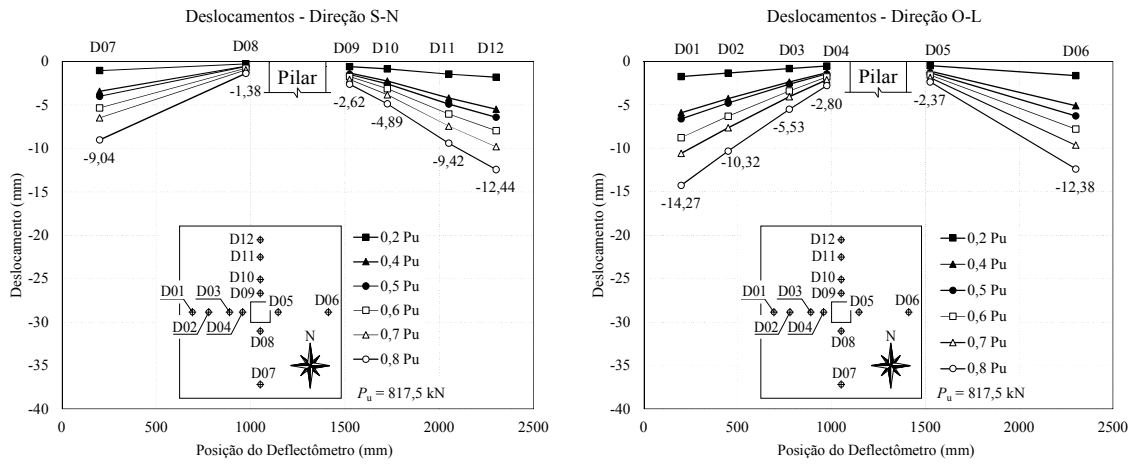


Figura 4.3 - Deslocamentos verticais da laje LC-S1-F2.

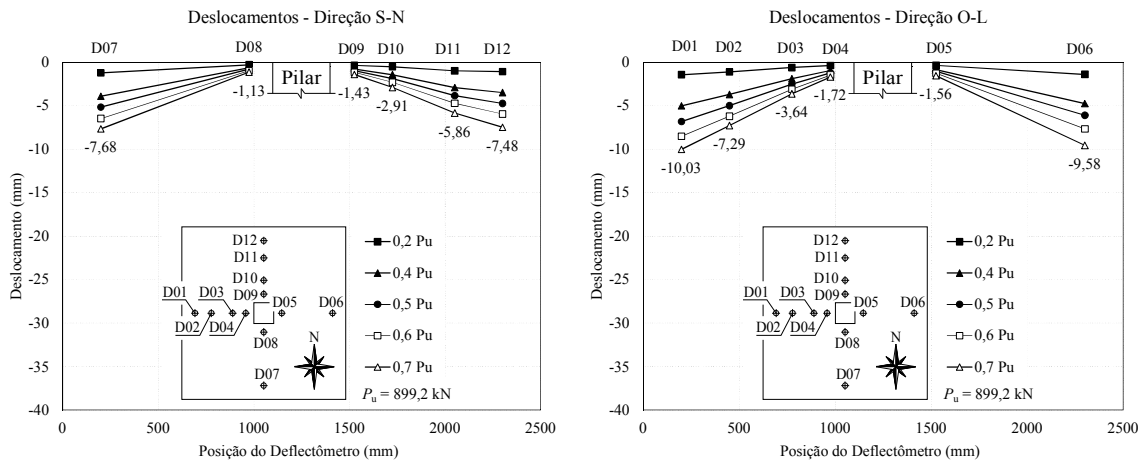


Figura 4.4 - Deslocamentos verticais da laje LC-D.

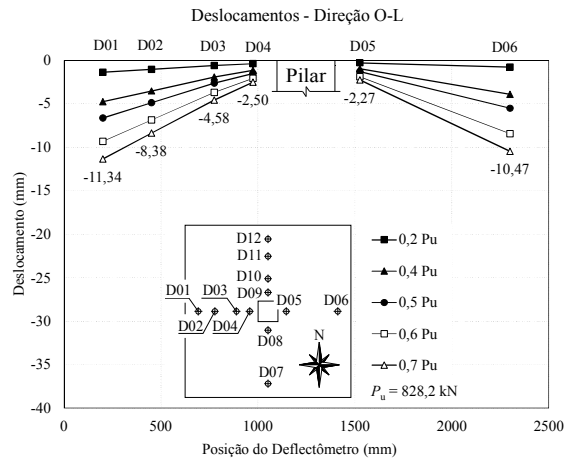
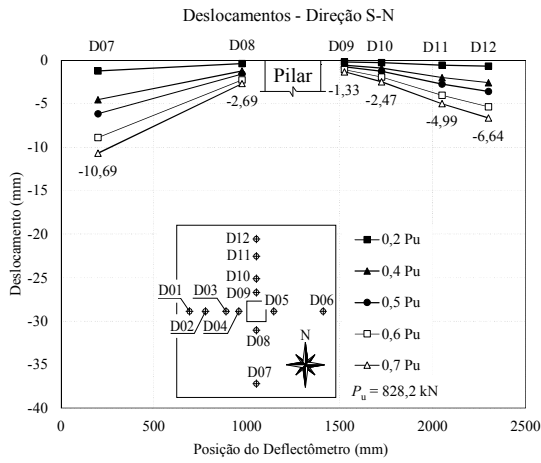


Figura 4.5 - Deslocamentos verticais da laje LR-D.

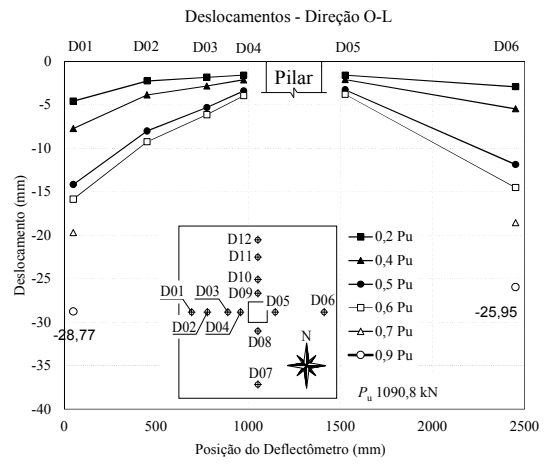
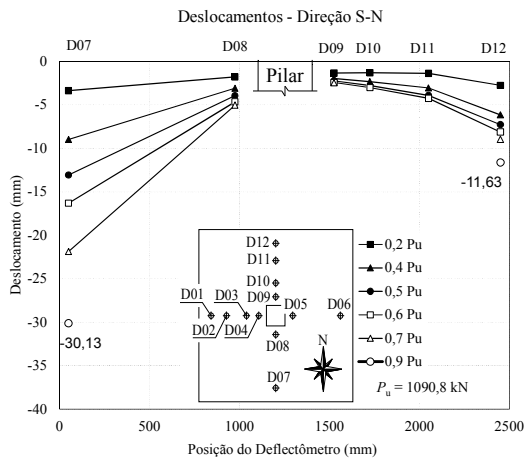


Figura 4.6 - Deslocamentos verticais da laje LC-S2-6.

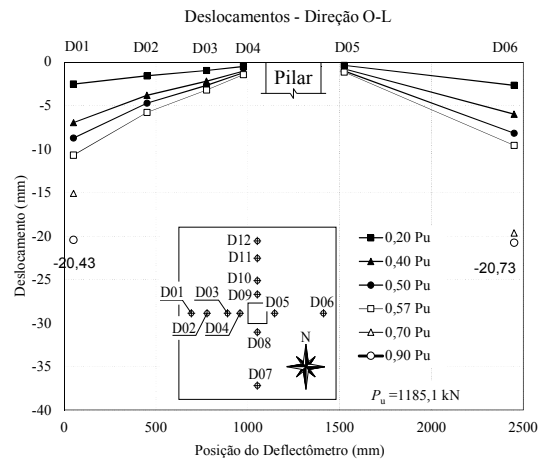
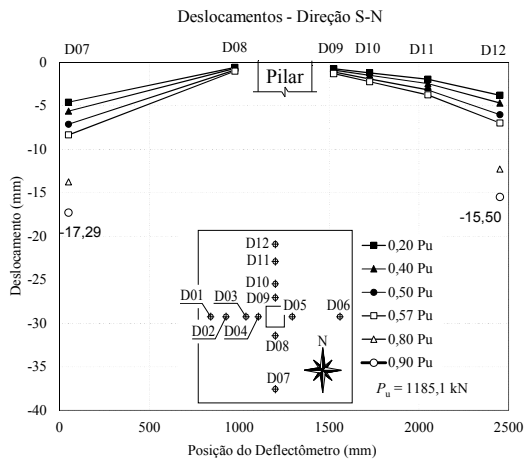


Figura 4.7 - Deslocamentos verticais da laje LC-S2-8.

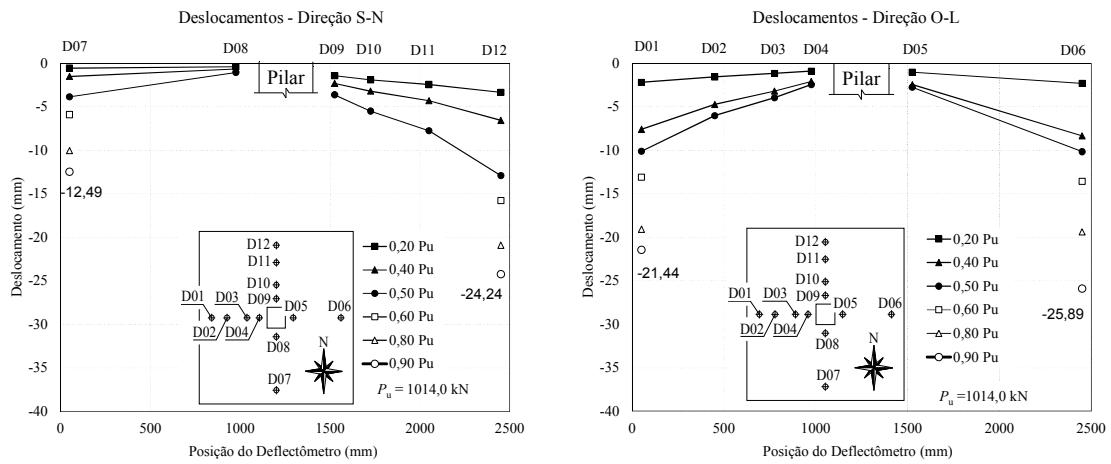


Figura 4.8 - Deslocamentos verticais da laje LR-S2-6.

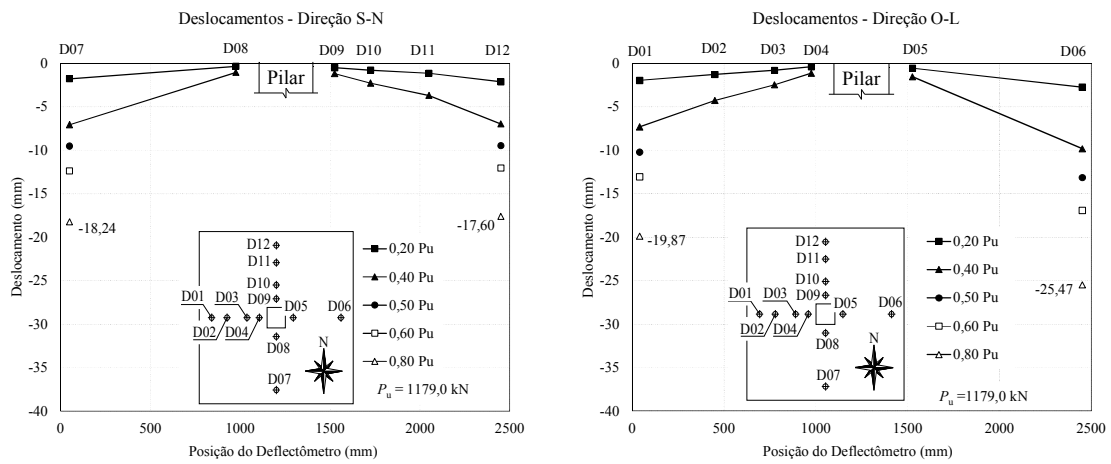


Figura 4.9 - Deslocamentos verticais da laje LR-S2-8.

A Figura 4.10 e Figura 4.11 apresenta uma comparação entre as lajes para os deslocamentos médios calculados a partir das leituras dos LVDTs dispostos nos extremos de cada laje (D01, D06, D07 e D12). Para todas as lajes o deslocamento aumentou de forma similar.

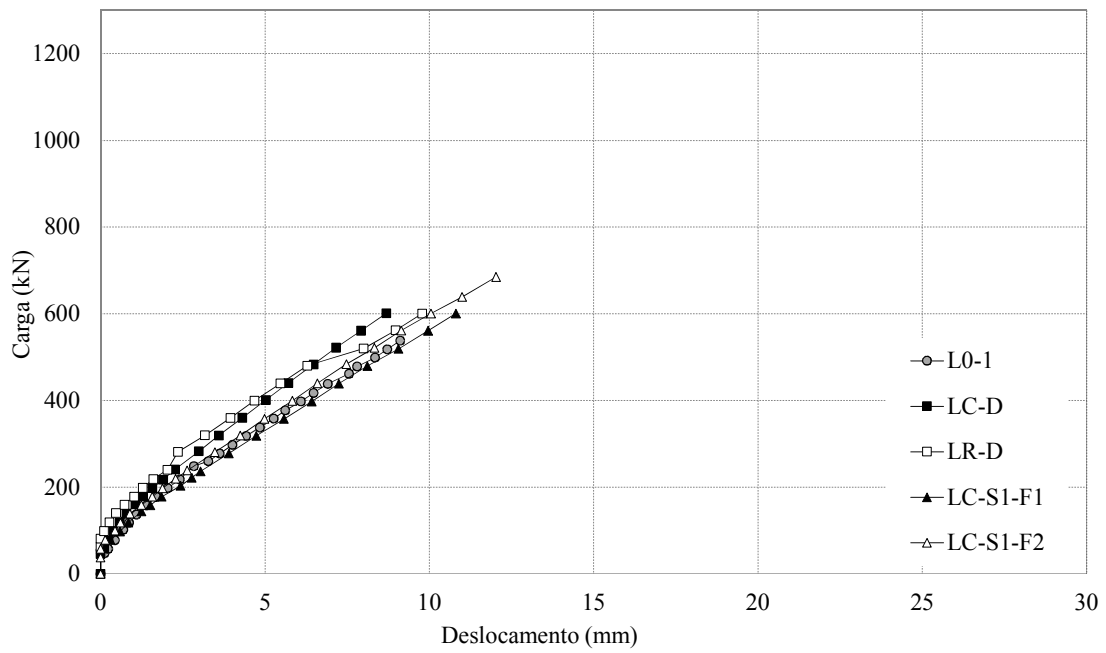


Figura 4.10 - Deslocamentos verticais médios das lajes da Série 1

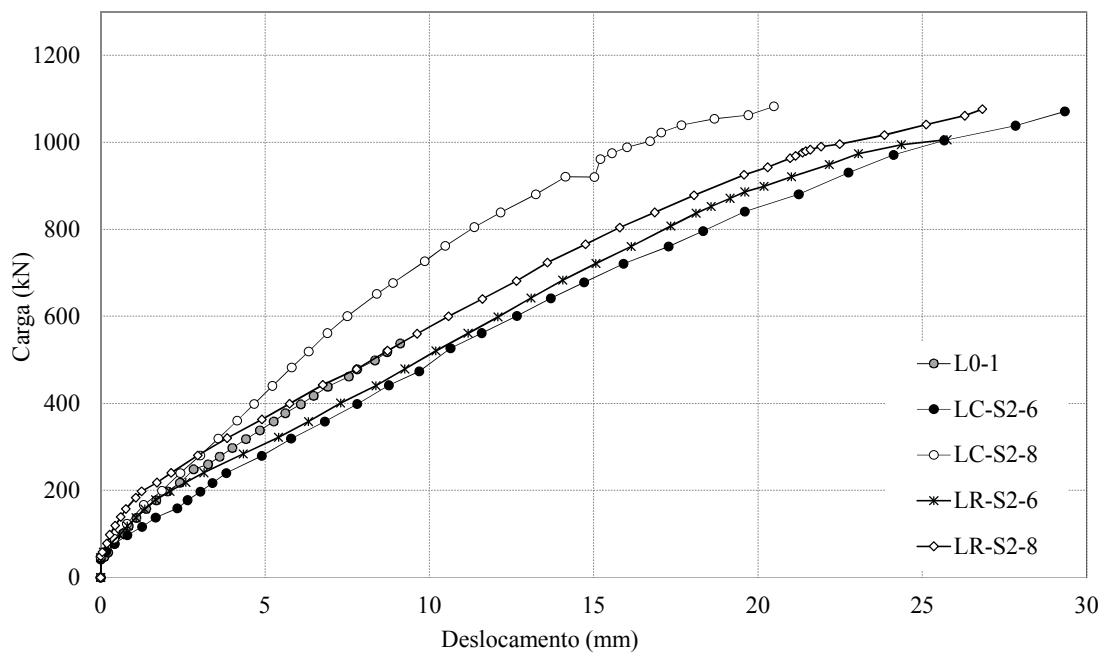


Figura 4.11 – Deslocamentos verticais médios das lajes da Série 2

## 4.2. DEFORMAÇÕES NA SUPERFÍCIE DO CONCRETO

As deformações específicas no concreto foram medidas com extensômetros posicionados na superfície inferior das lajes, na região adjacente ao pilar. Os extensômetros utilizados foram da marca *Kyowa* modelo KC-79-120-A1-11, e posicionados de forma a registrar as deformações radiais e tangenciais no concreto.

As posições dos extensômetros para cada laje variaram em função das interferências causadas pela resina utilizada para o reforço e do graute utilizado para o preenchimento dos furos. Na Figura 4.12 a Figura 4.20 são apresentados os resultados da leitura de deformações na superfície do concreto de todas as lajes.

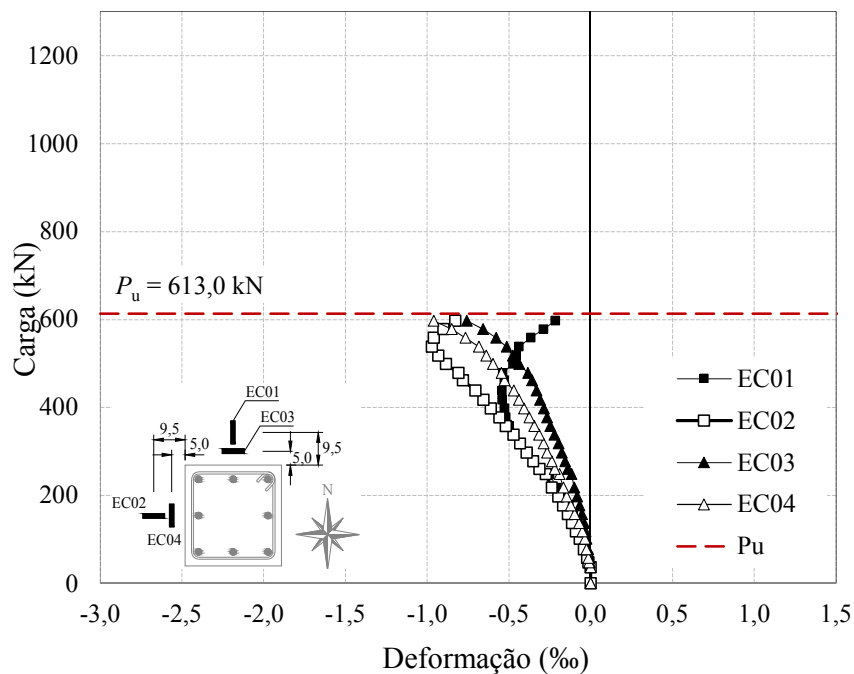


Figura 4.12 – Deformações na superfície do concreto da laje L0-1

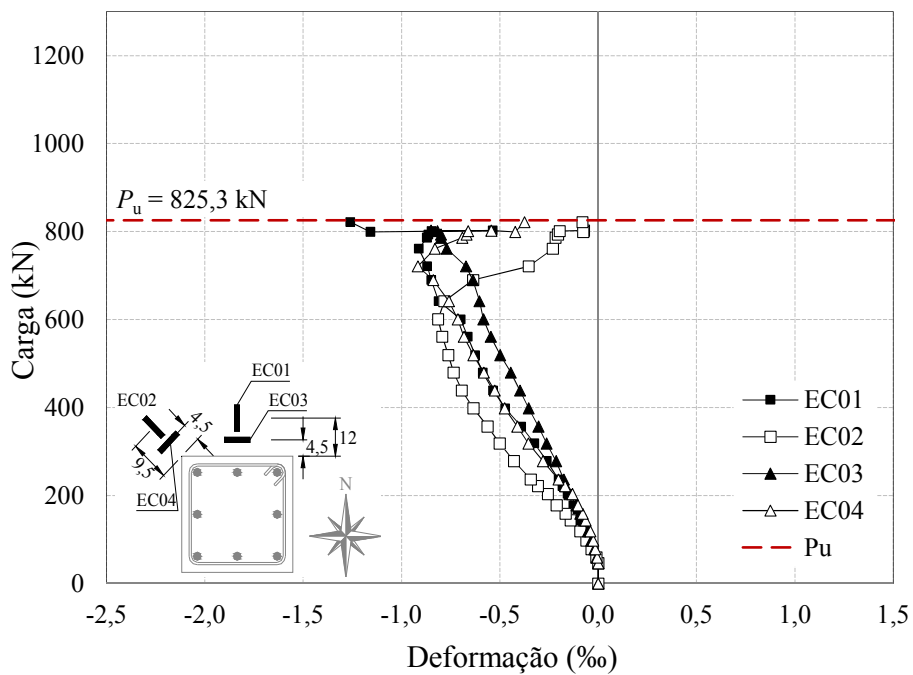


Figura 4.13 – Deformações na superfície do concreto da laje LC-S1-F1

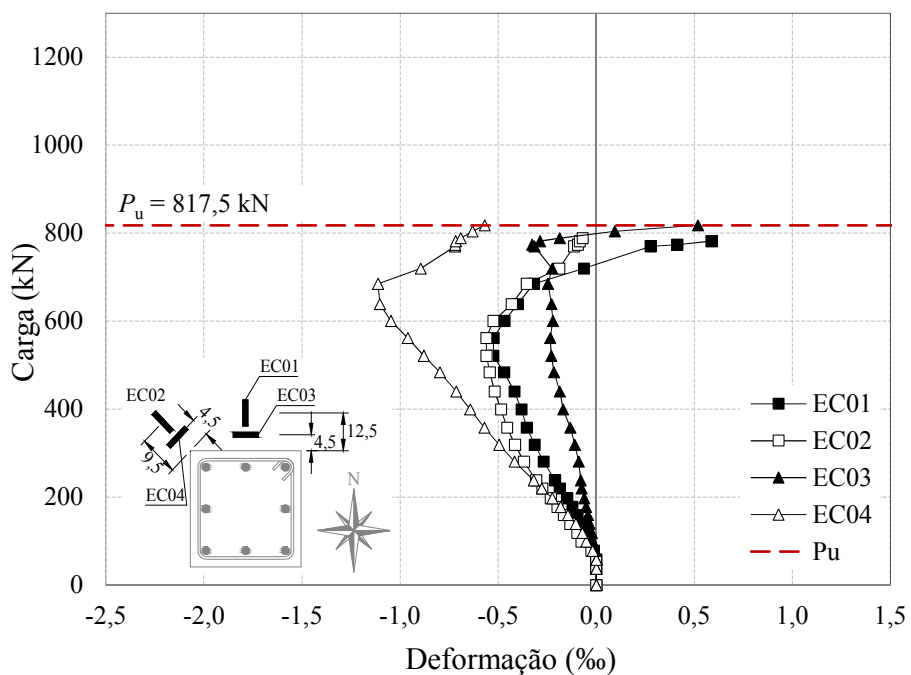


Figura 4.14– Deformações na superfície do concreto da laje LC-S1-F2

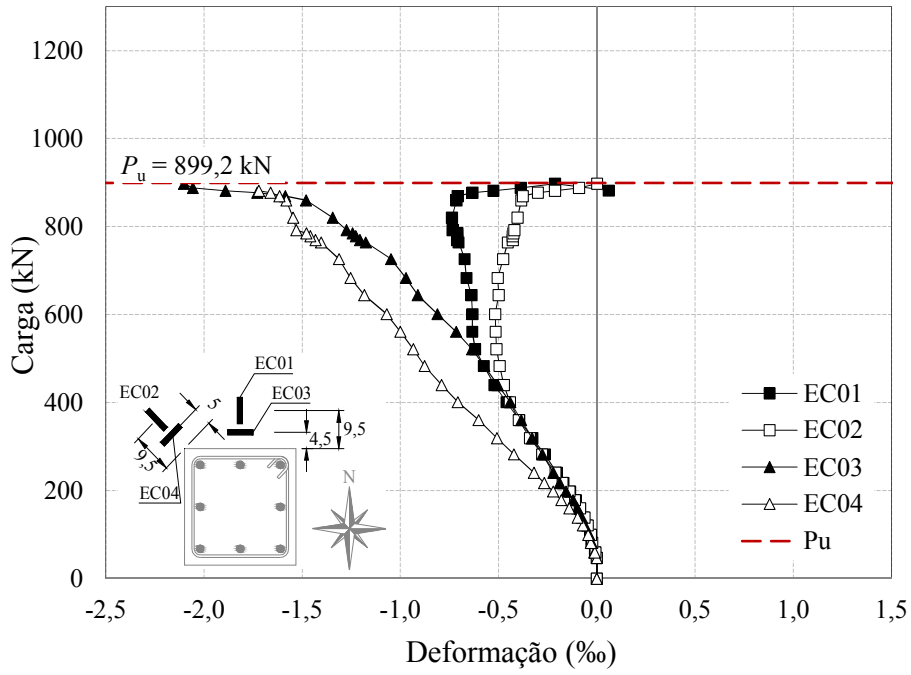


Figura 4.15– Deformações na superfície do concreto da laje LC-D

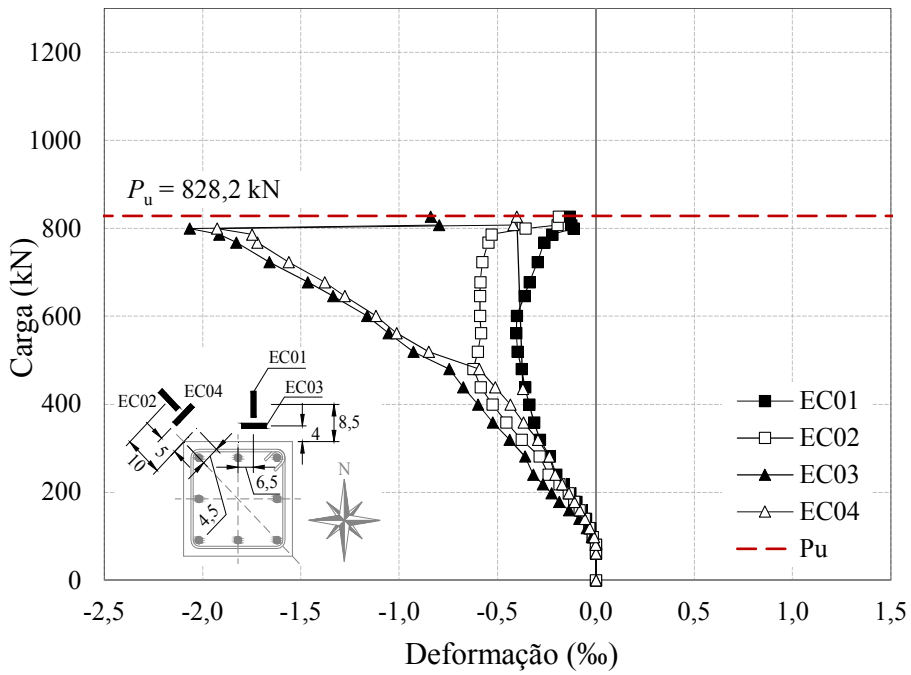


Figura 4.16 – Deformações na superfície do concreto da laje LR-D



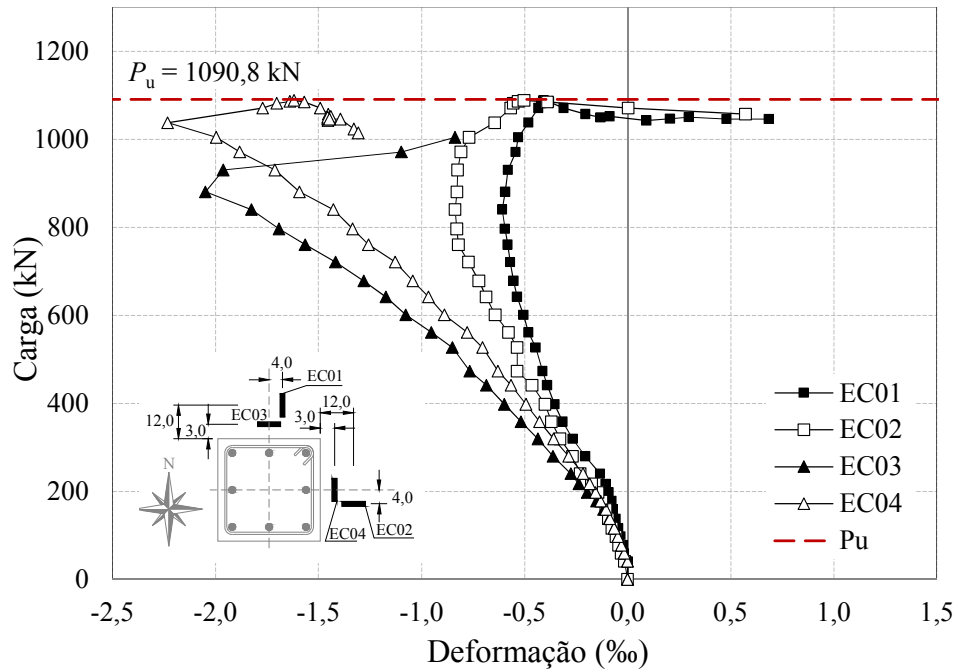


Figura 4.17 – Deformações na superfície do concreto da laje LC-S2-6

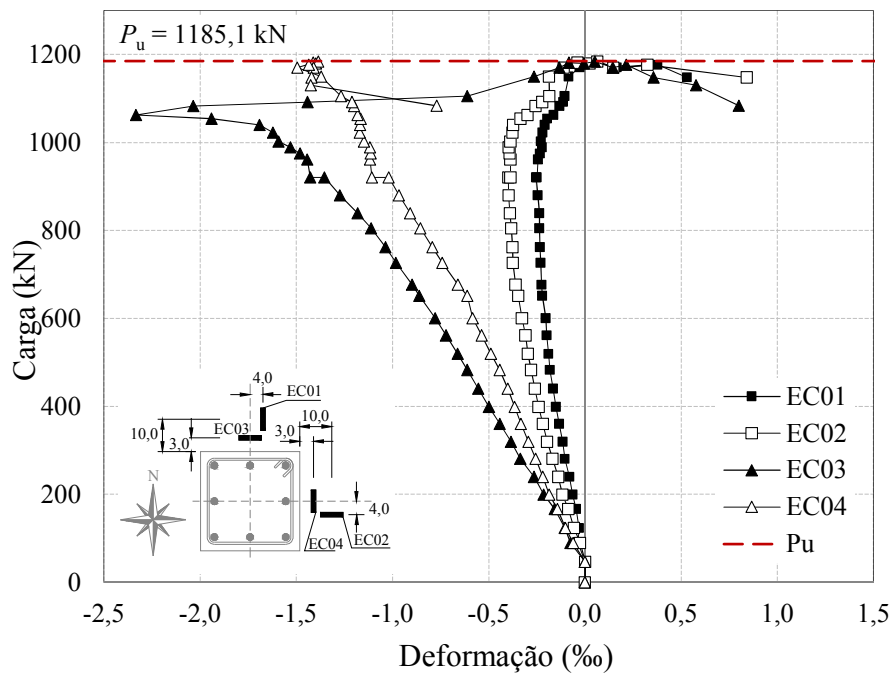


Figura 4.18 – Deformações na superfície do concreto da laje LC-S2-8

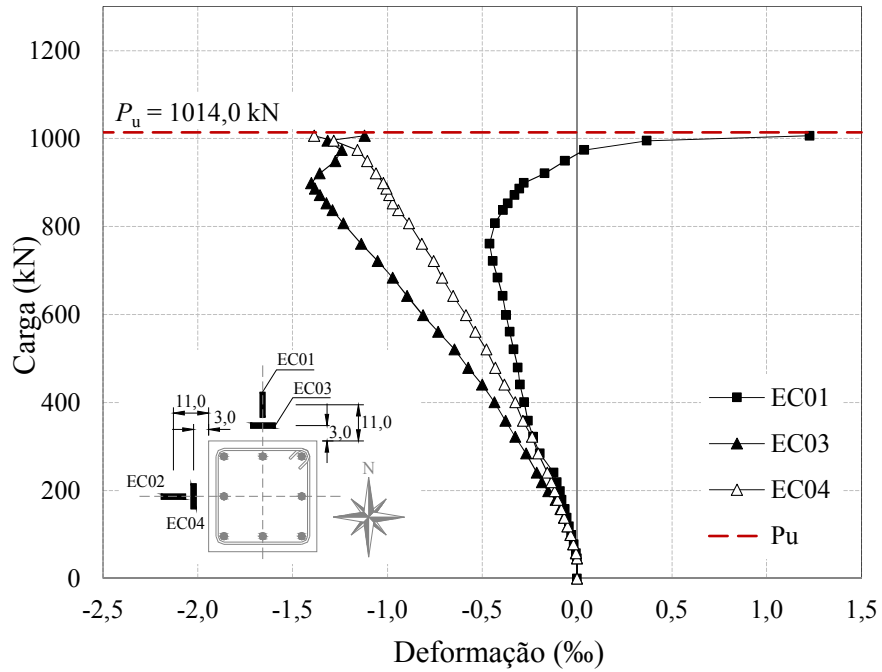


Figura 4.19 – Deformações na superfície do concreto da laje LR-S2-6

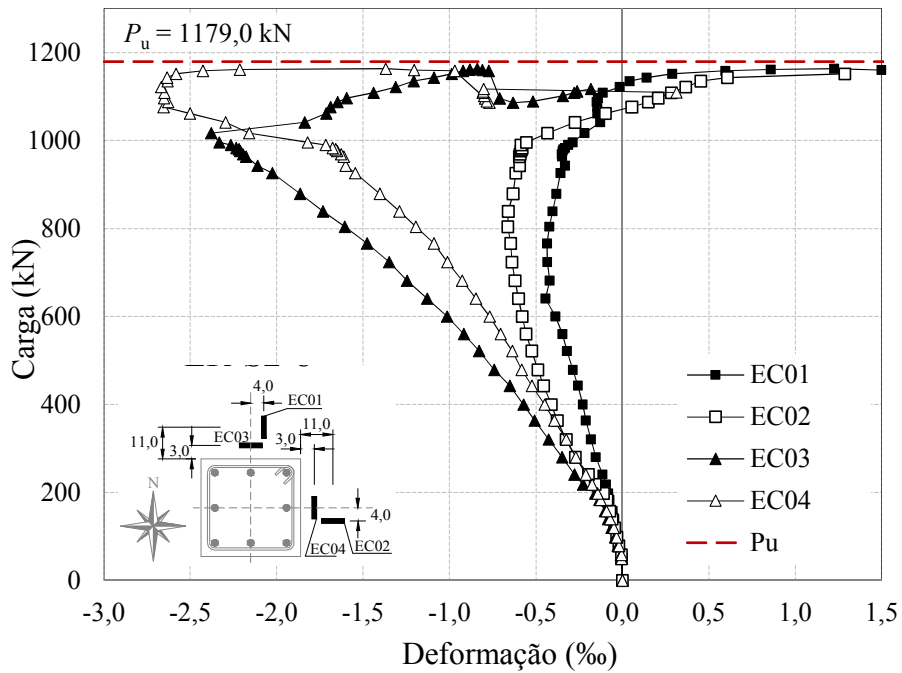


Figura 4.20 – Deformações na superfície do concreto da laje LR-S2-8

### 4.3. DEFORMAÇÕES NAS ARMADURAS DE FLEXÃO

Nas lajes da Série 1 as deformações nas armaduras de flexão foram monitoradas em quatro pontos distintos nas armaduras superiores e quatro nas inferiores, totalizando oito pontos de leitura. Para as lajes da Série 2, foram monitorados seis pontos na armadura superior e dois na inferior. Essa mudança levou em consideração os resultados pouco representativos dos extensômetros posicionados nas barras inferiores da Série 1.

Na Figura 4.22 a Figura 4.29 são apresentados gráficos das deformações nas armaduras de flexão superiores da laje em função da posição do extensômetro na barra. Nestes gráficos são visualizadas as deformações para diferentes estágios de carregamento dos extensômetros EF3, EF2 e EF4. Na Figura 4.21 à Figura 4.38 são apresentadas as curvas de carga *versus* deformação para as armaduras de flexão de todas as lajes.

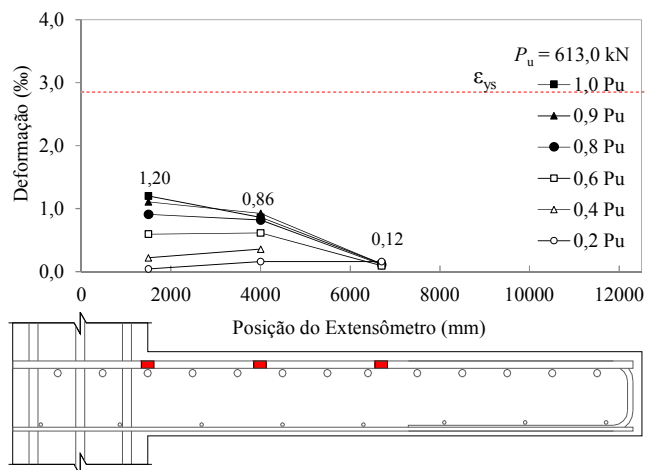


Figura 4.21 – Deformações na armaduras de flexão da laje L0-1

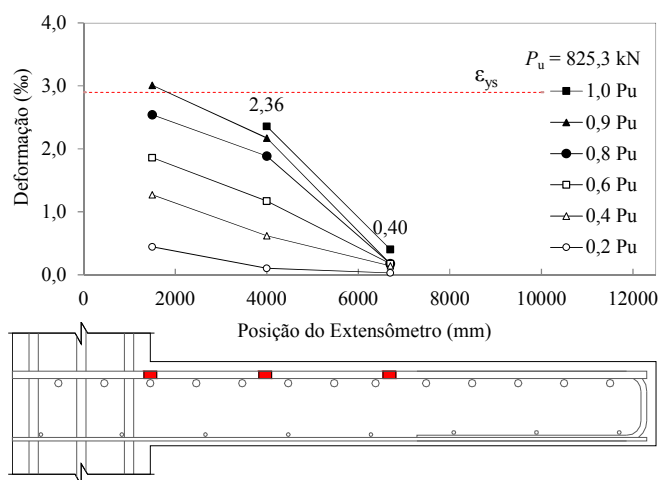


Figura 4.22 – Deformações na armaduras de flexão da laje LC-S1-F1

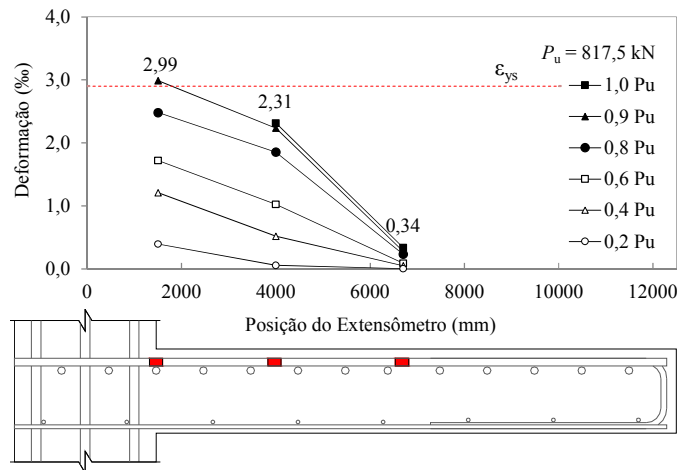


Figura 4.23 – Deformações na armaduras de flexão da laje LC-S1-F2

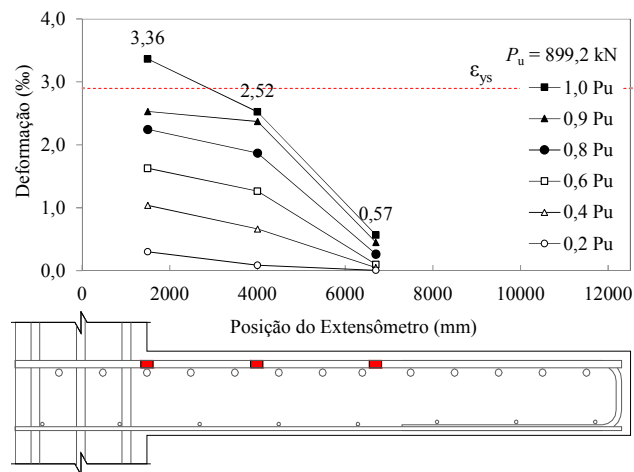


Figura 4.24 – Deformações na armaduras de flexão da laje LC-D

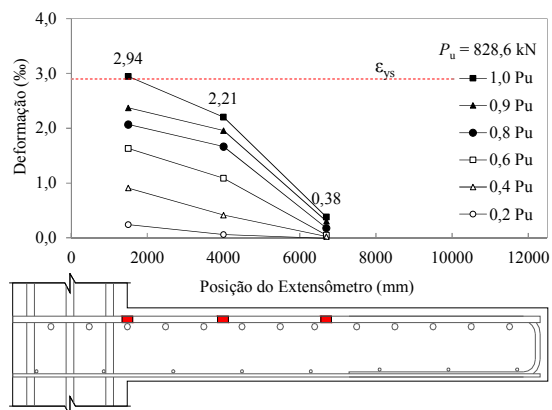


Figura 4.25 – Deformações na armaduras de flexão da laje LR-D

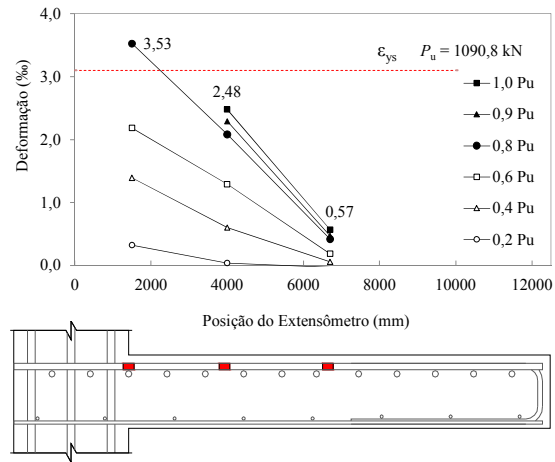


Figura 4.26 – Deformações na armaduras de flexão da laje LC-S2-6

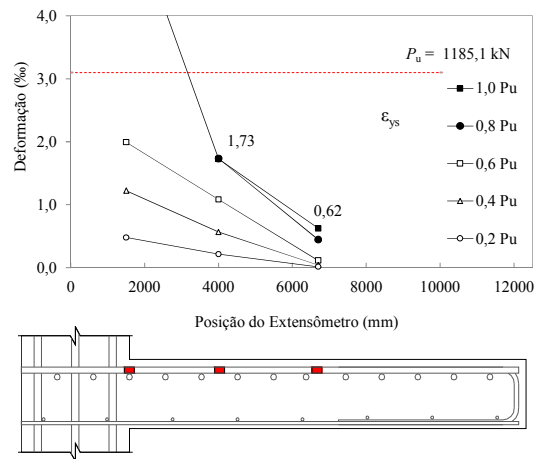


Figura 4.27 – Deformações na armaduras de flexão da laje LC-S2-8

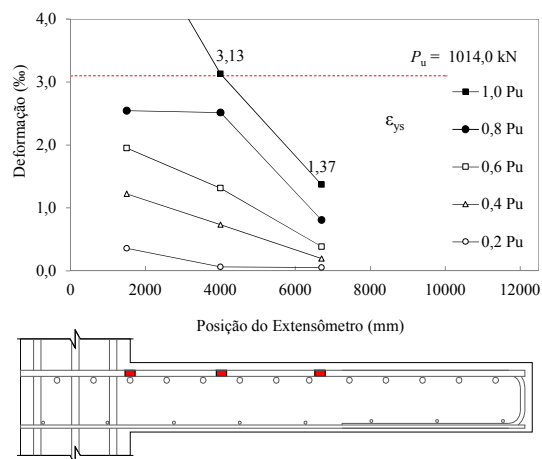


Figura 4.28 – Deformações na armaduras de flexão da laje LR-S2-6

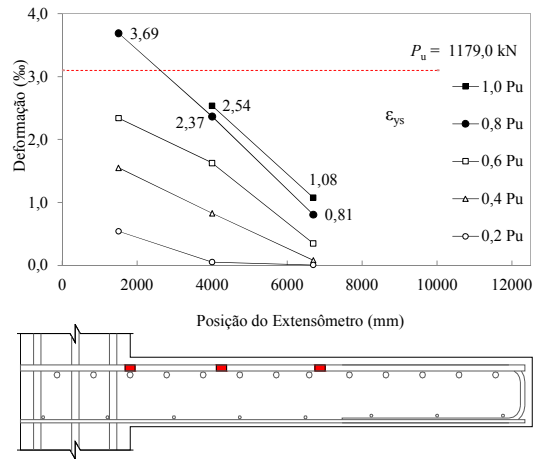


Figura 4.29 – Deformações na armaduras de flexão da laje LR-S2-8

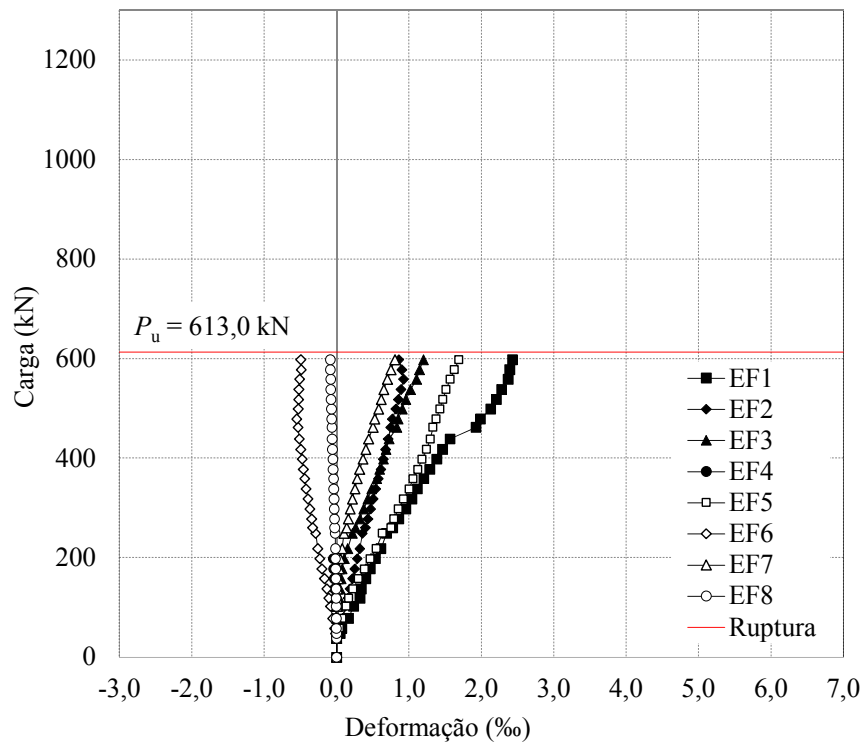


Figura 4.30 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje L0-1

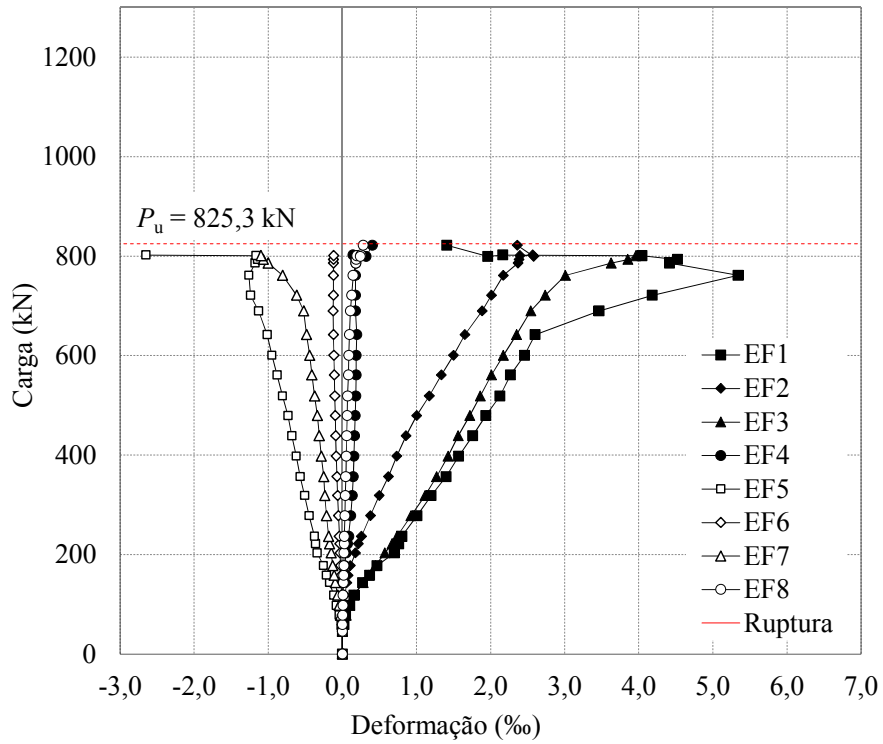


Figura 4.31 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LC-S1-F1

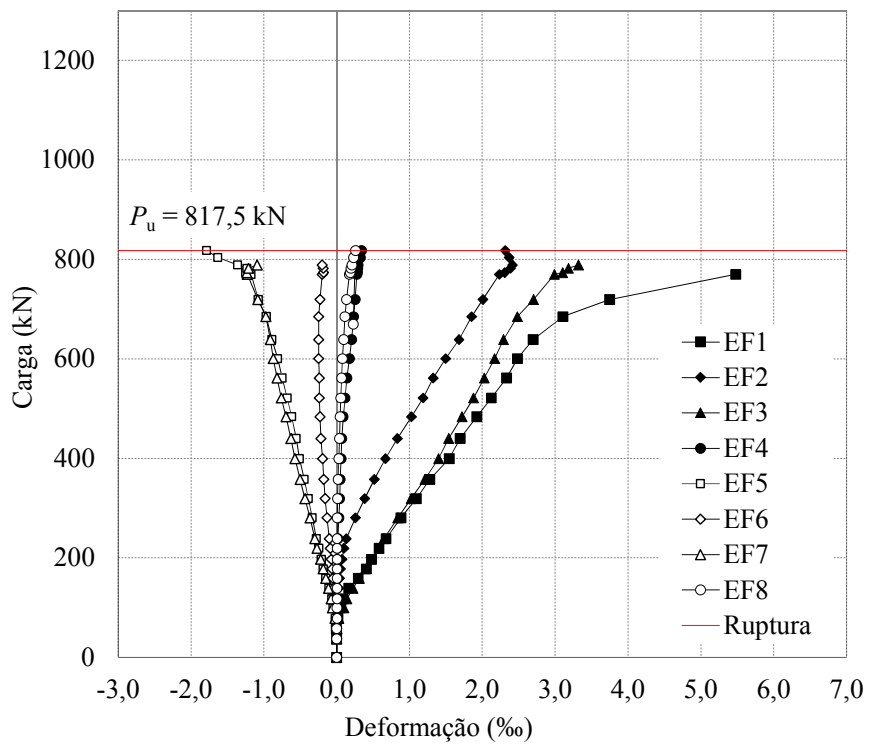


Figura 4.32 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LC-S1-F2

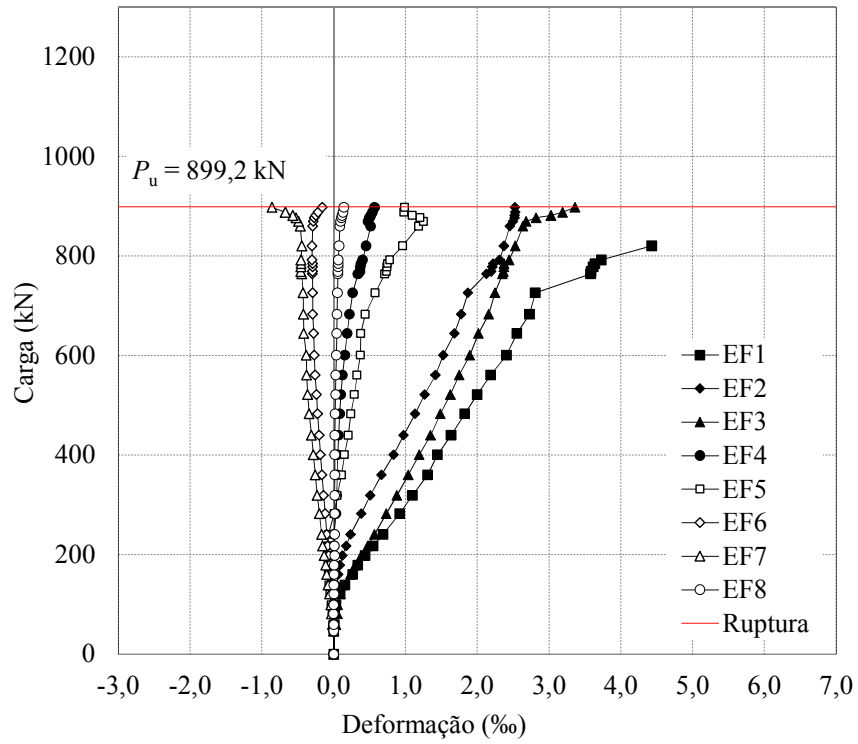


Figura 4.33 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LC-D

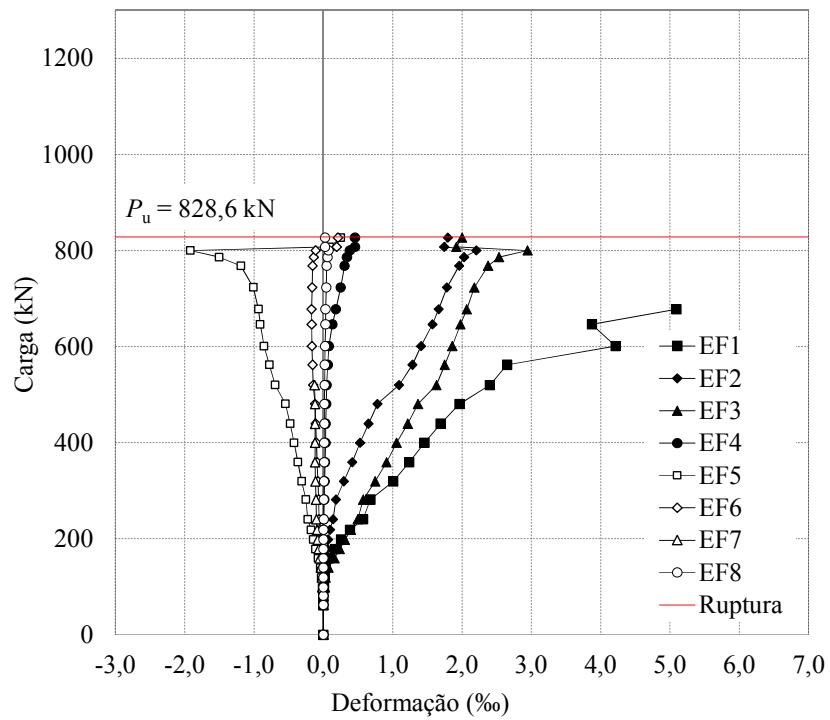


Figura 4.34 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LR-D



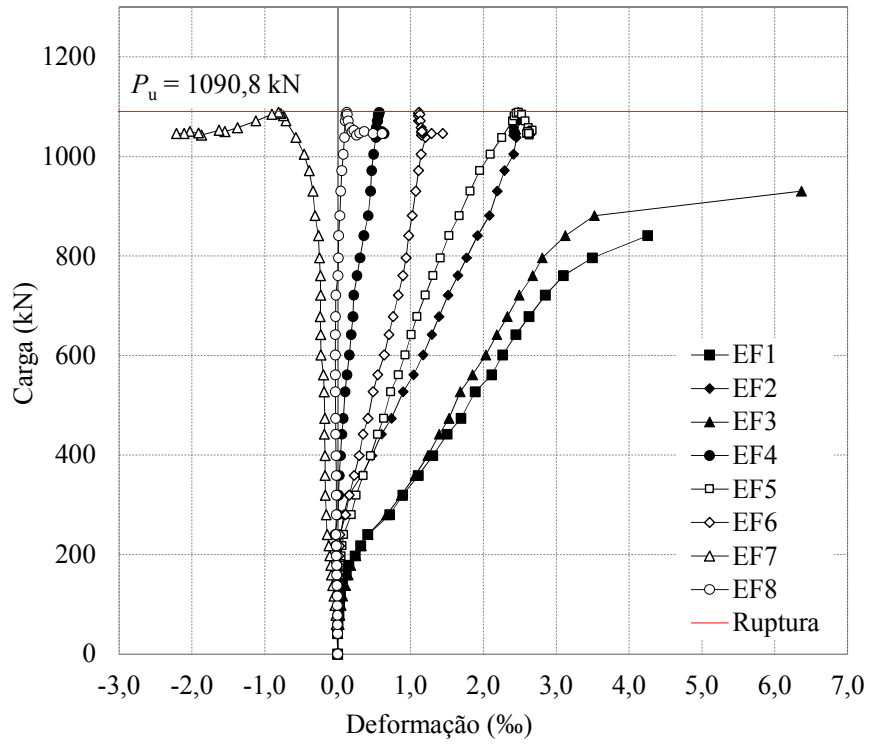


Figura 4.35 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LC-S2-6

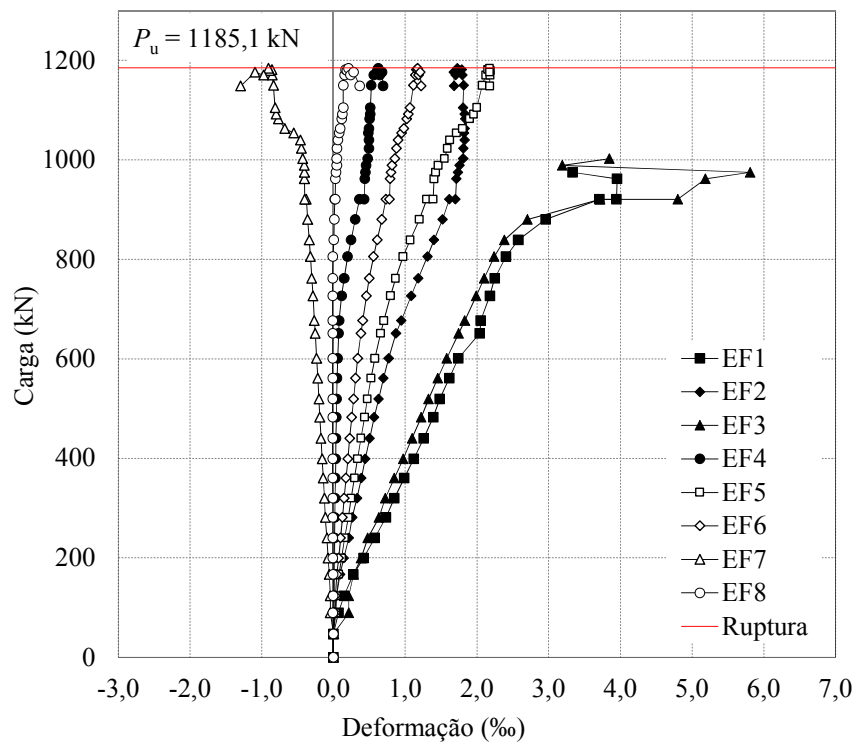


Figura 4.36 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LC-S2-8

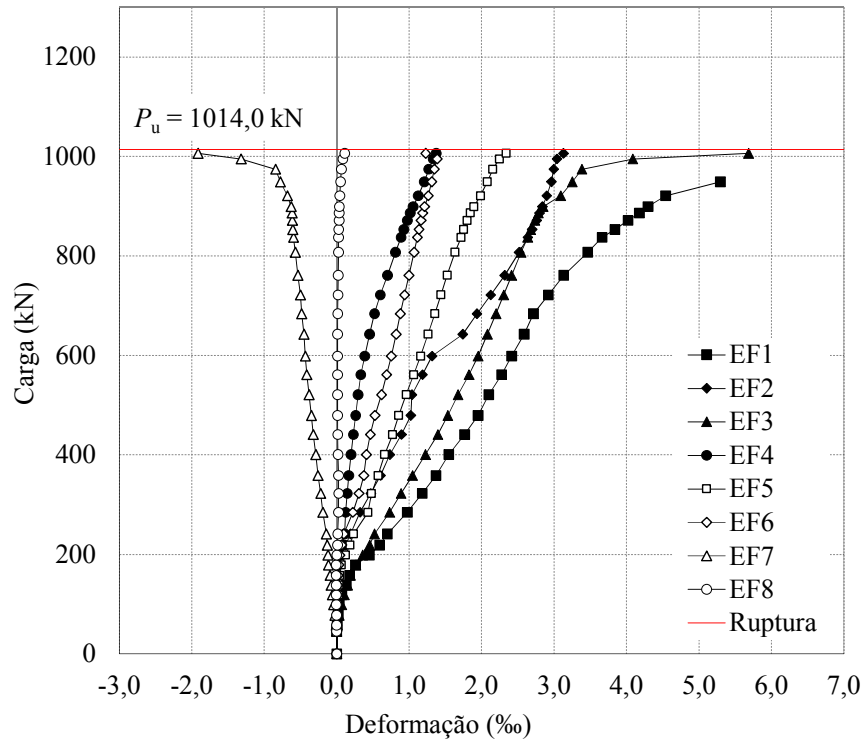


Figura 4.37 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LR-S2-6

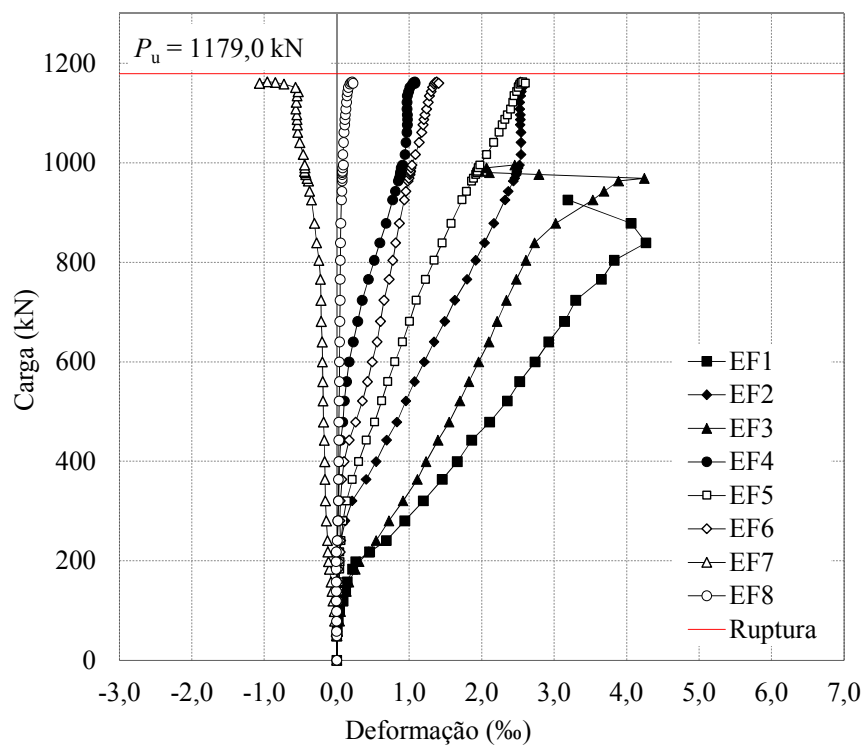


Figura 4.38 – Curvas carga-deformação na armadura de flexão para laje LR-S2-8

#### 4.4. DEFORMAÇÕES NAS ARMADURAS DE CISALHAMENTO

A técnica de instalação dos extensômetros, para leitura das deformações no compósito da fibra de carbono foi aprimorada com o desenvolvimento dos ensaios. Nas lajes da Série 1 os extensômetros foram instalados após a cura do reforço e ficaram posicionados a uma distância média de 30mm a partir da face superior da laje. A instrumentação da Série 2 foi realizada antes da aplicação do reforço com os extensômetros localizados exatamente na altura média do furo, distante 90mm da face superior da laje.

Na Figura 4.39 à Figura 4.46 são apresentados gráficos das deformações no compósito em função da posição dos furos na laje. Nestes gráficos são visualizadas as deformações para diferentes estágios de carregamento. Na Figura 4.47 à Figura 4.54 são apresentadas as curvas de carga *versus* deformação para os compósitos de todas as lajes.

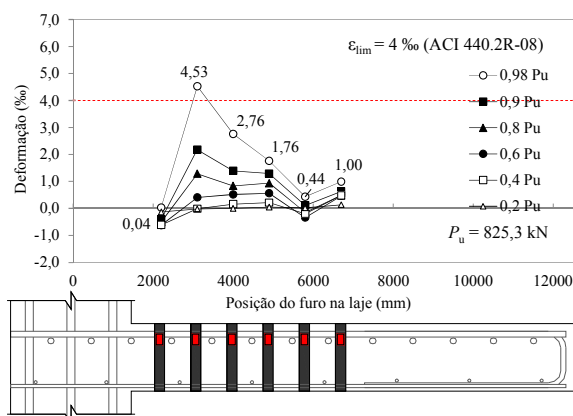


Figura 4.39 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LC-S1-F1

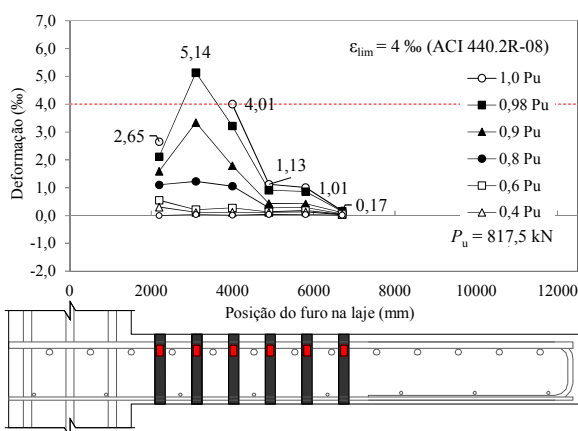


Figura 4.40 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LC-S1-F2

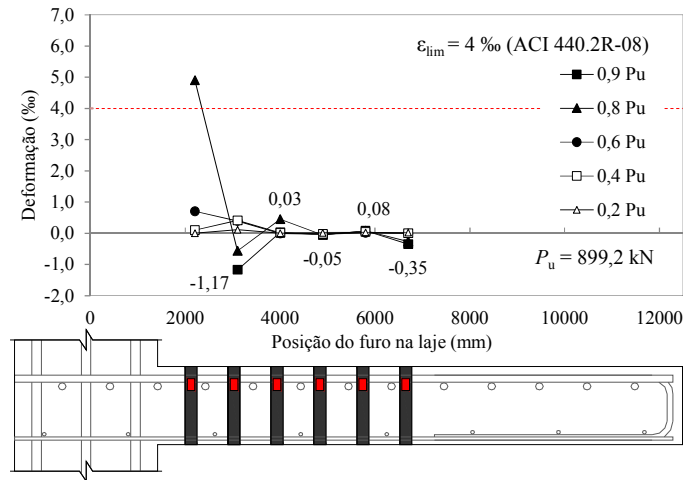
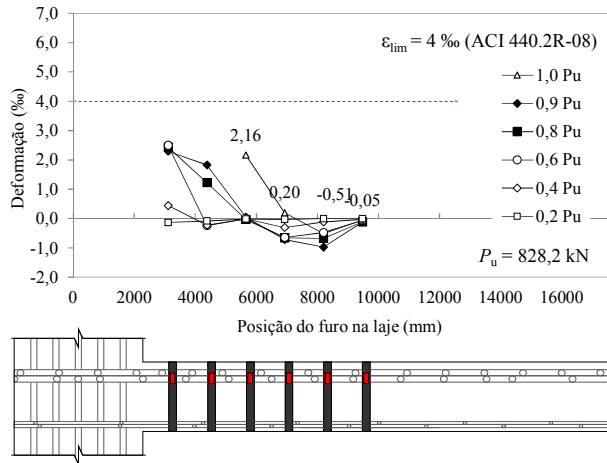
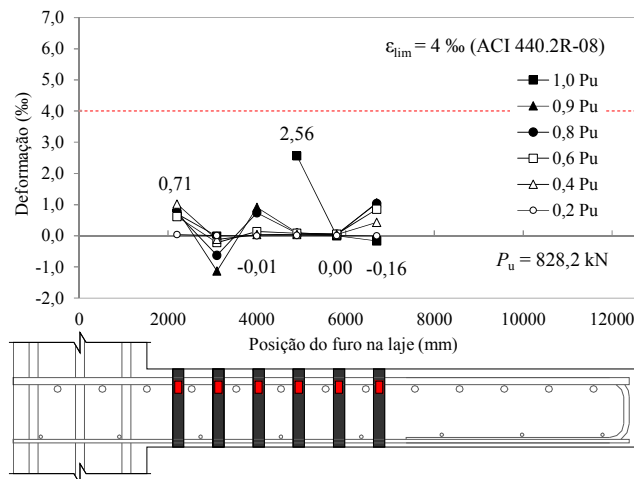


Figura 4.41 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LC-D



(a) Extensômetros EFC01 a EFC06



(b) Extensômetros EFC07 a EFC12

Figura 4.42 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LR-D

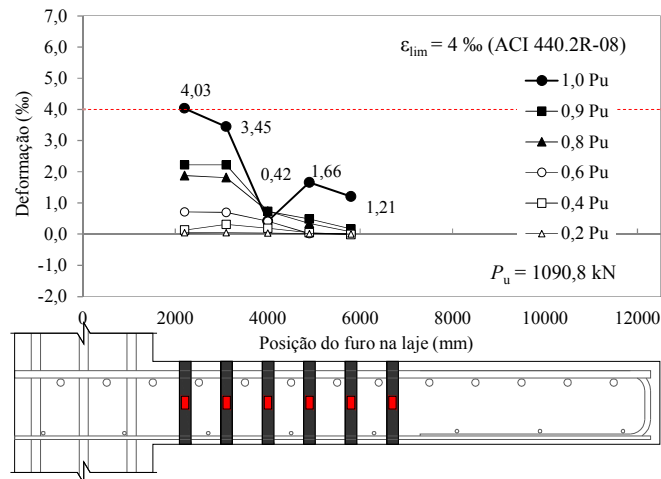


Figura 4.43 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LC-S2-6

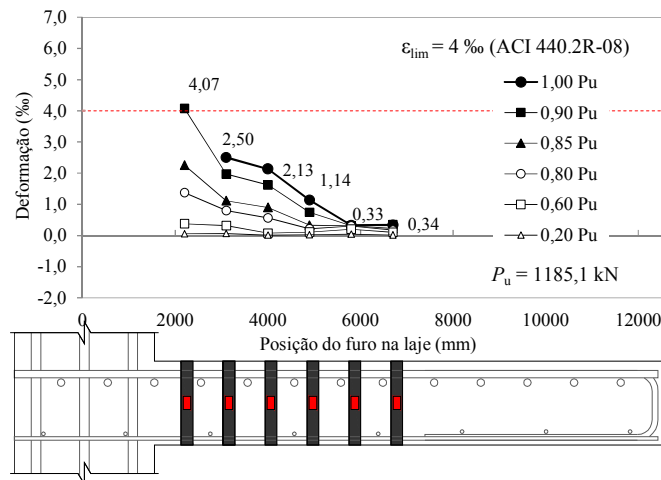
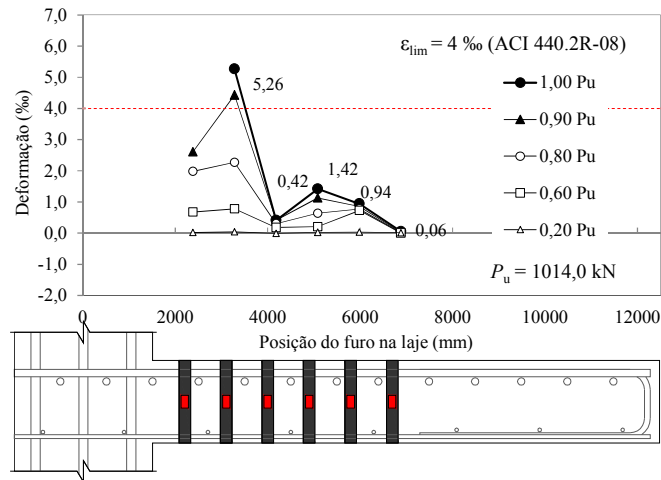
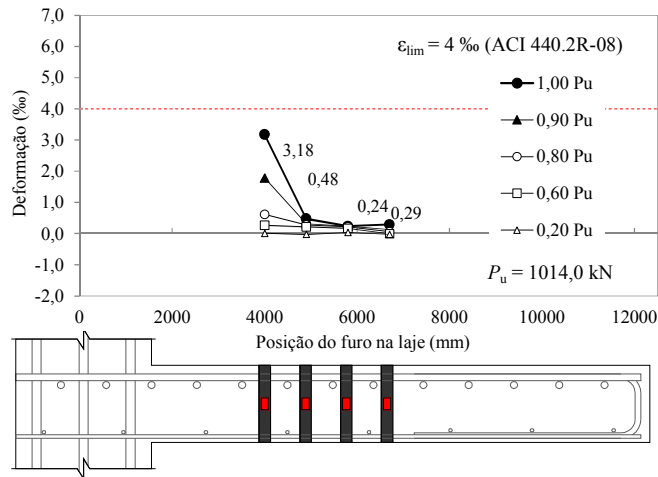


Figura 4.44 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LC-S2-8

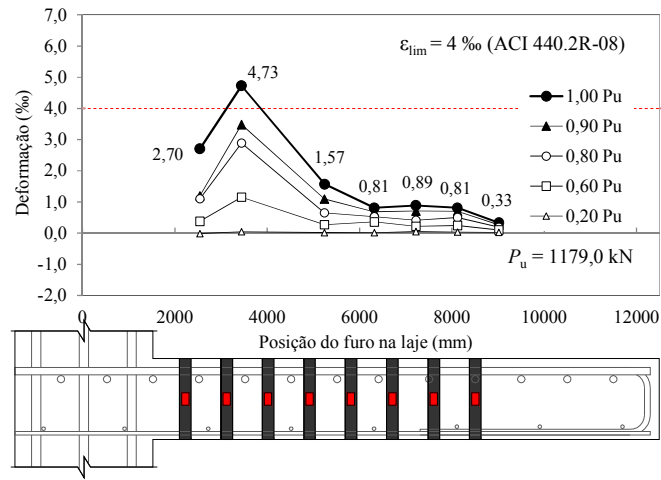


(a) Extensômetros EFC01 a EFC06

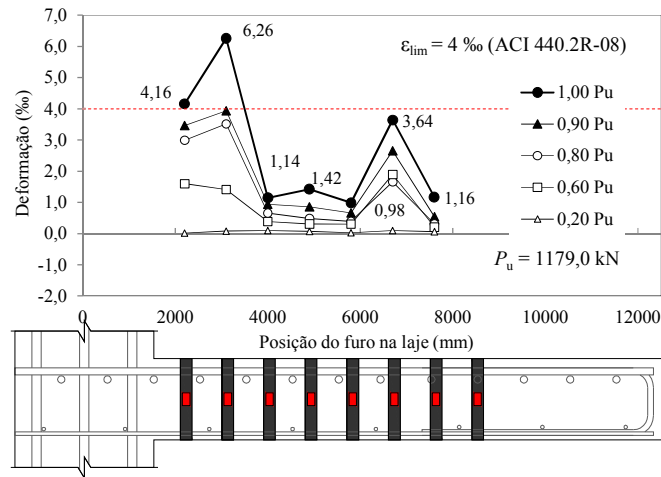


(b) Extensômetros EFC07 a EFC10

Figura 4.45 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LR-S2-6



(b) Extensômetros EFC01 a EFC08



(b) Extensômetros EFC09 a EFC15

Figura 4.46 – Deformações nas armaduras de cisalhamento da laje LR-S2-8

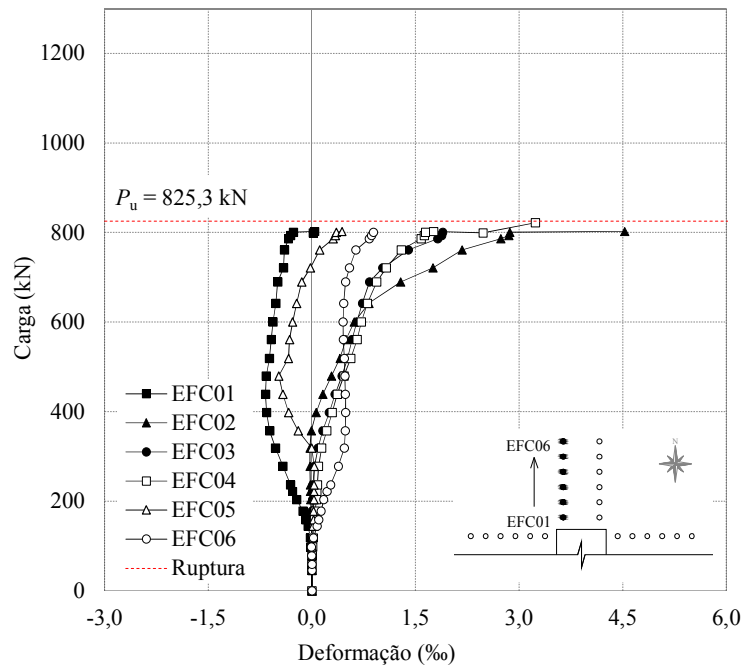


Figura 4.47 – Curvas carga-deformação para a laje LC-S1-F1

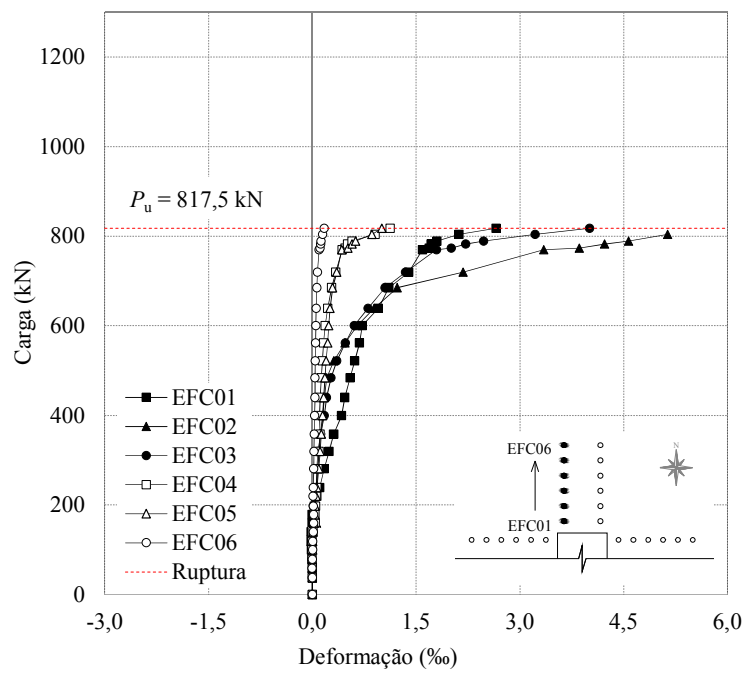


Figura 4.48 – Curvas carga-deformação para a laje LC-S1-F2



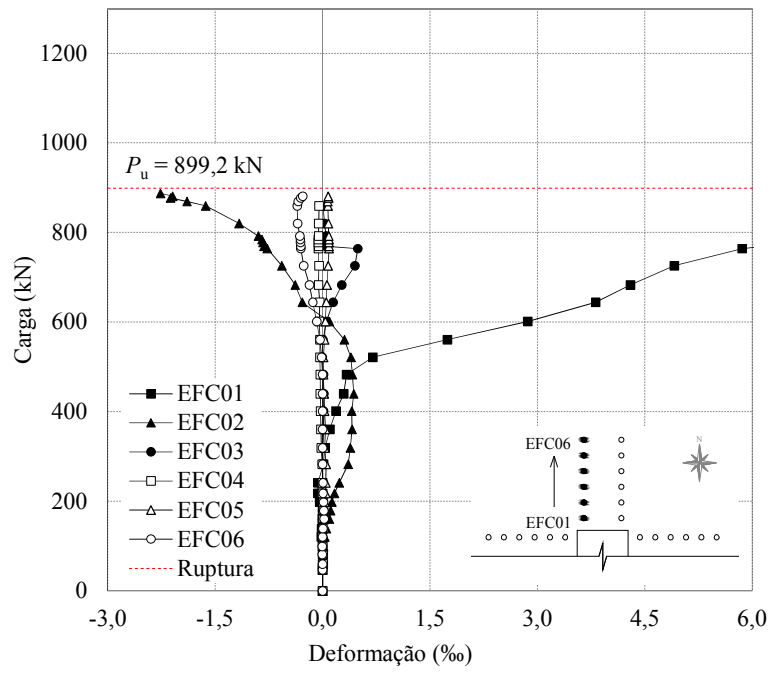
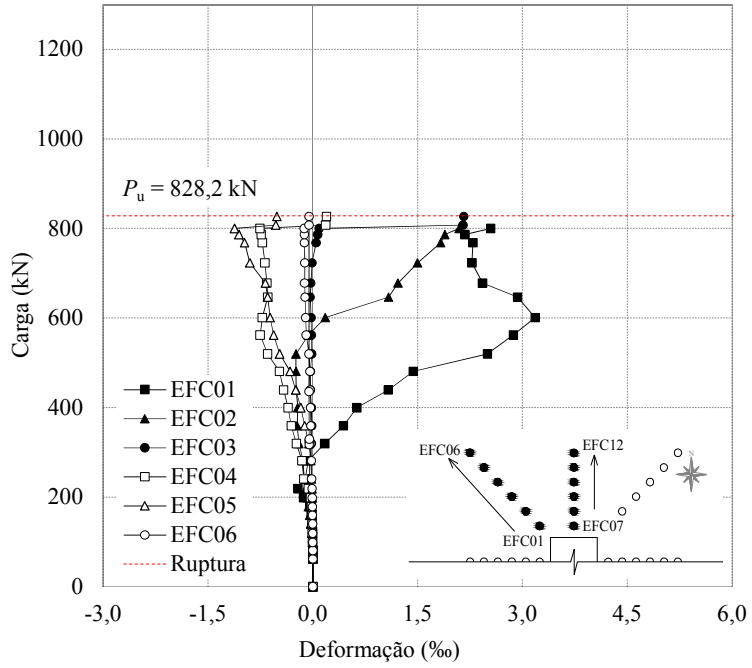
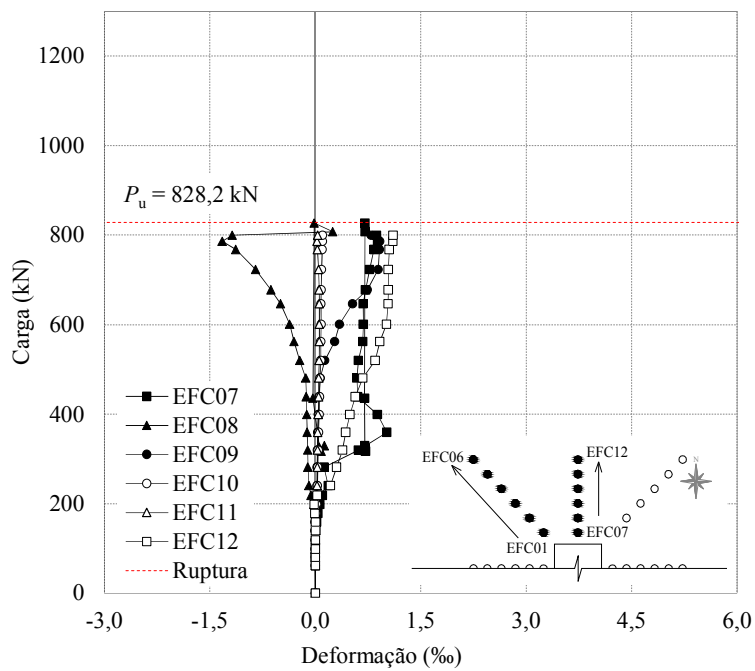


Figura 4.49 – Curvas carga-deformação para a laje LC-D



(a) Extensômetros EFC01 a EFC06



(b) Extensômetros EFC07 a EFC12

Figura 4.50 – Curvas carga-deformação para a laje LR-D

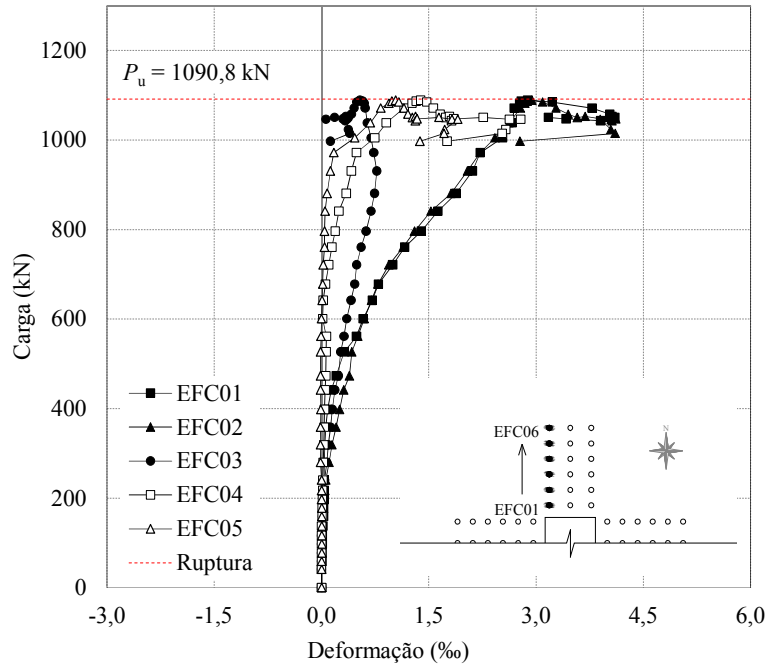


Figura 4.51 – Curvas carga-deformação para a laje LC-S2-6

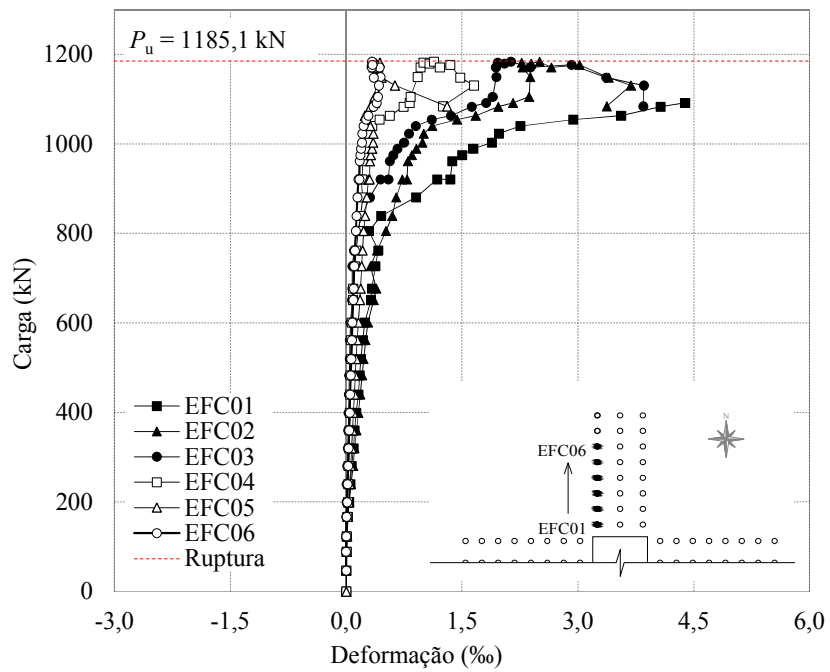
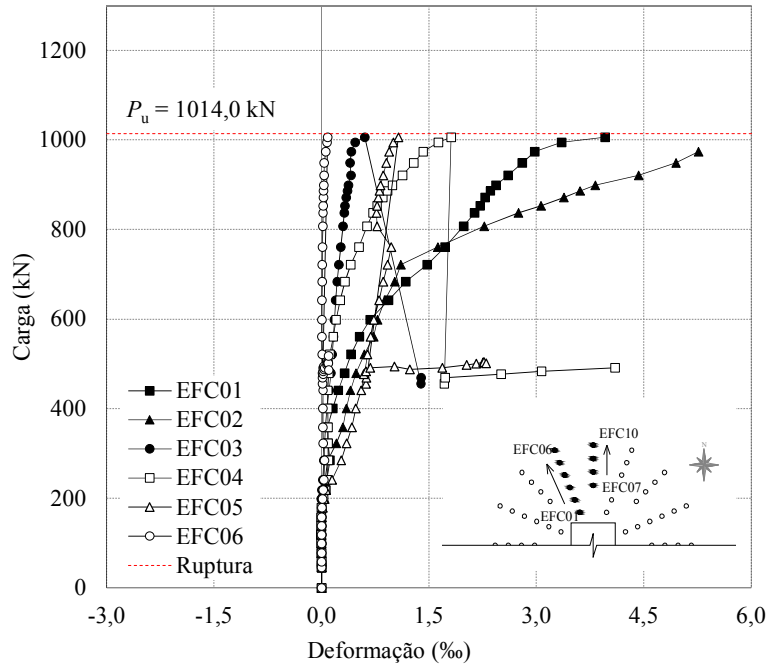
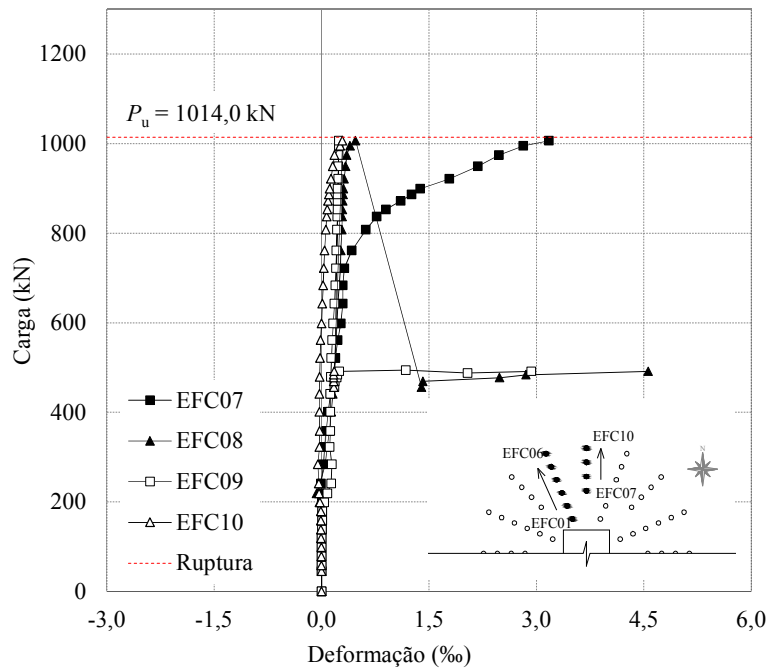


Figura 4.52 – Curvas carga-deformação para a laje LC-S2-8

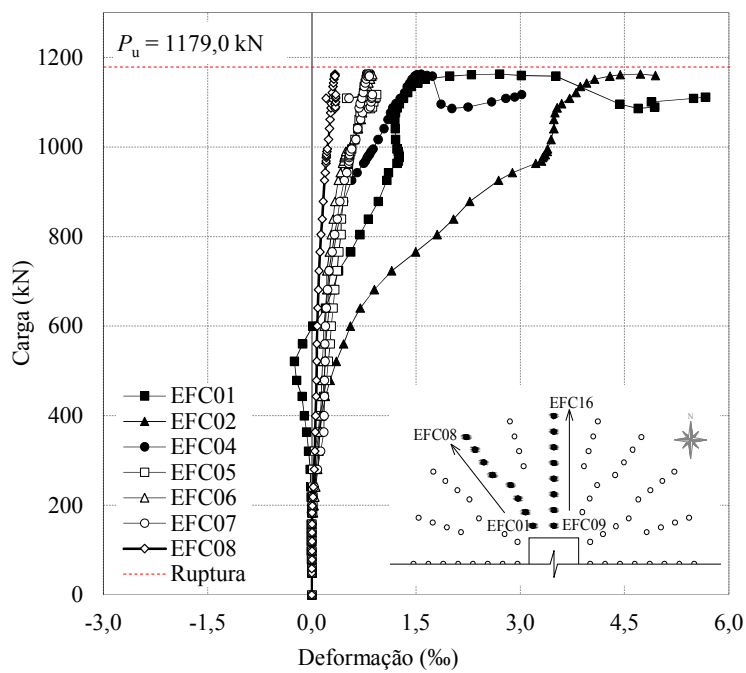


(a) Extensômetros EFC01 a EFC06

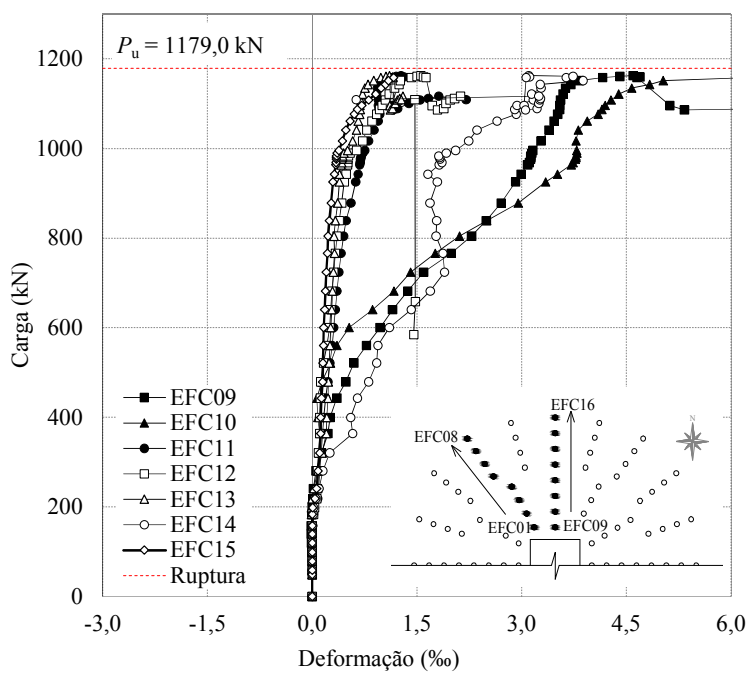


(b) Extensômetros EFC07 a EFC10

Figura 4.53 – Curvas carga-deformação para a laje LR-S2-6



(a) Extensômetros EFC01 a EFC08



(b) Extensômetros EFC09 a EFC15

Figura 4.54 – Curvas carga-deformação para a laje LR-S2-8

#### 4.5. MAPA DE FISSURAÇÃO

O processo de mapeamento das fissuras consistiu no acompanhamento da abertura de fissuras à medida que o carregamento aumentava. Foram marcados na superfície superior os pontos de início e fim das fissuras, assim como o respectivo nível de carga. Porém, deve-se ressaltar a dificuldade de marcação de fissuras na região reforçada devido à alta concentração de resina. Os mapas de fissuração das lajes são mostrados na Figura 4.55 à Figura 4.63.

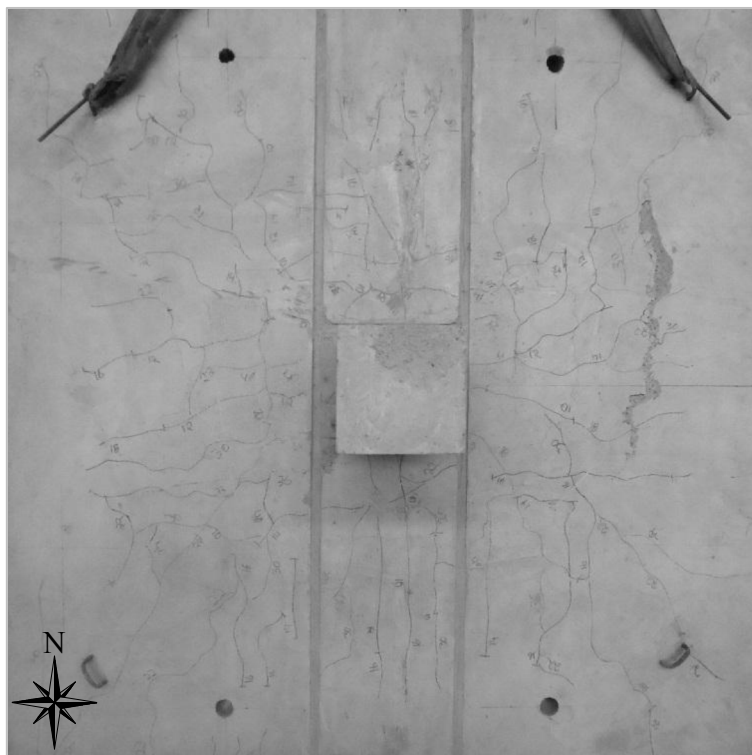


Figura 4.55 – Mapa de fissuração da laje L0-1

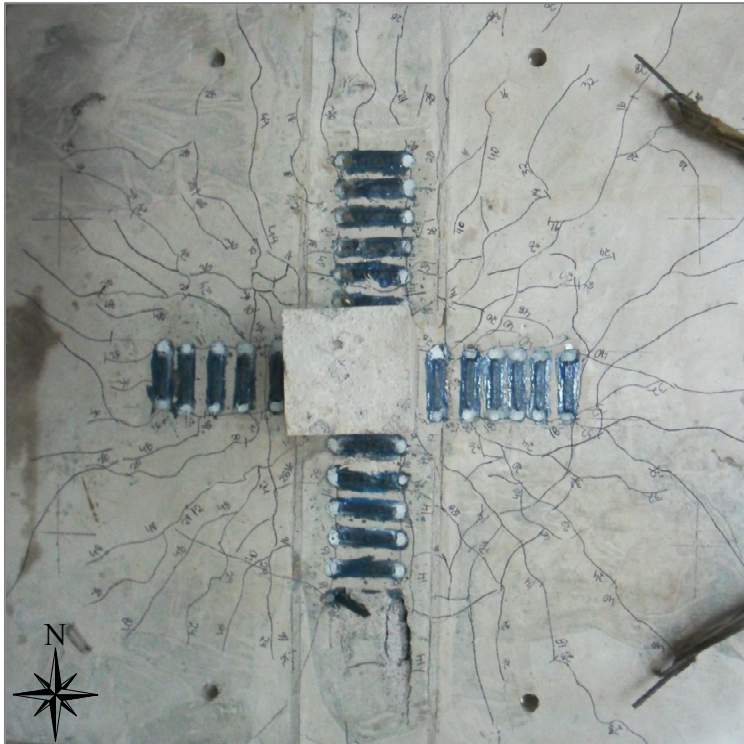


Figura 4.56 – Mapa de fissuração da laje LC-S1-F1

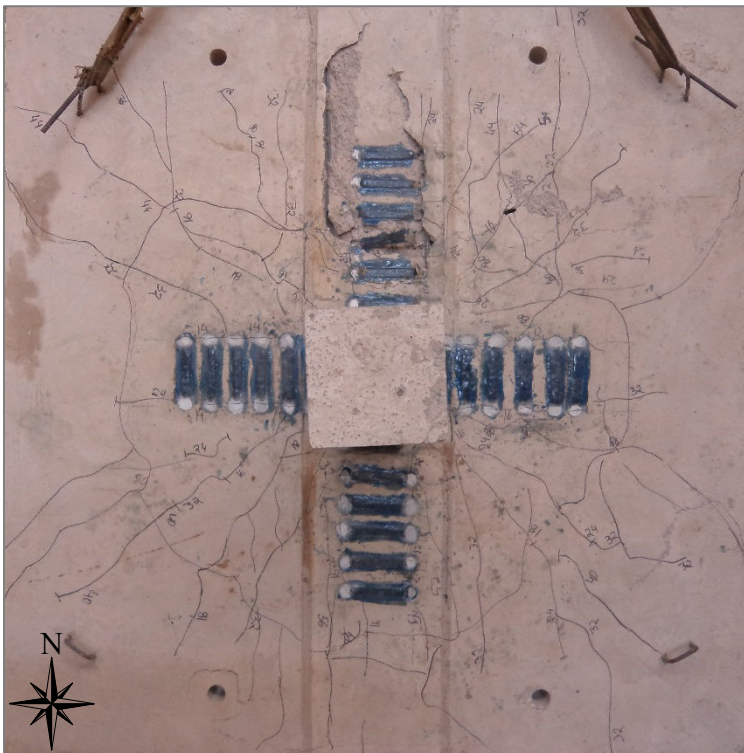


Figura 4.57 – Mapa de fissuração da laje LC-S1-F2



Figura 4.58 – Mapa de fissuração da laje LC-D

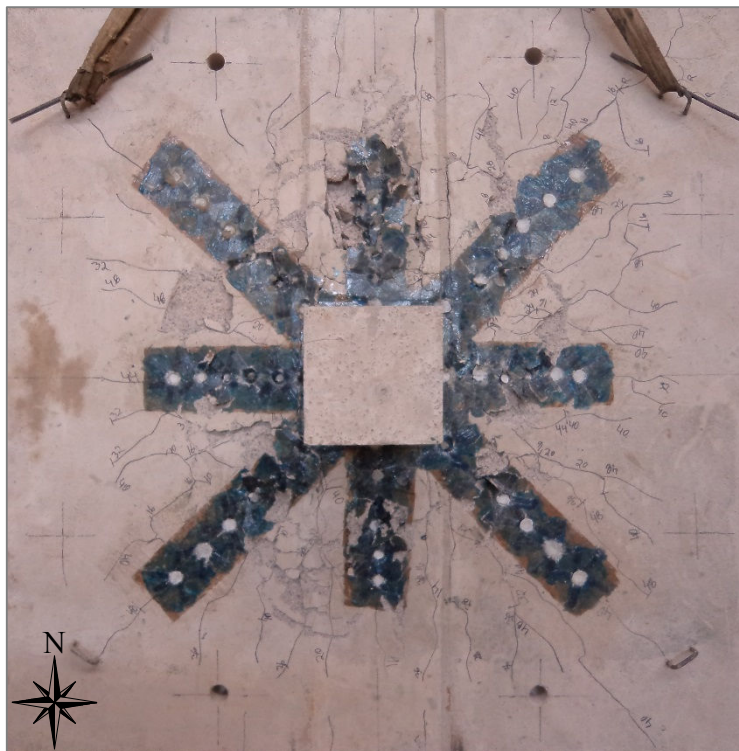


Figura 4.59 – Mapa de fissuração da laje LR-D



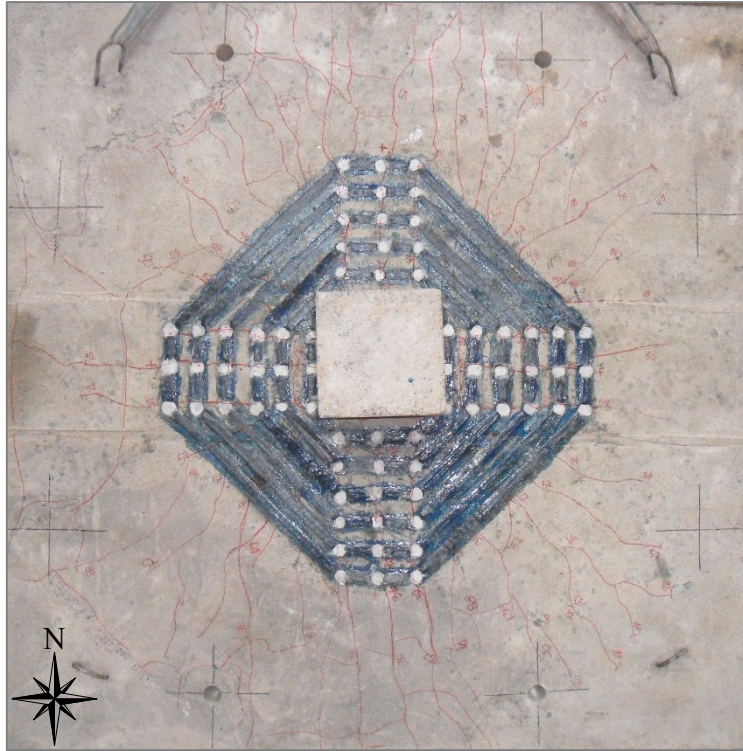


Figura 4.60 – Mapa de fissuração da laje LC-S2-6

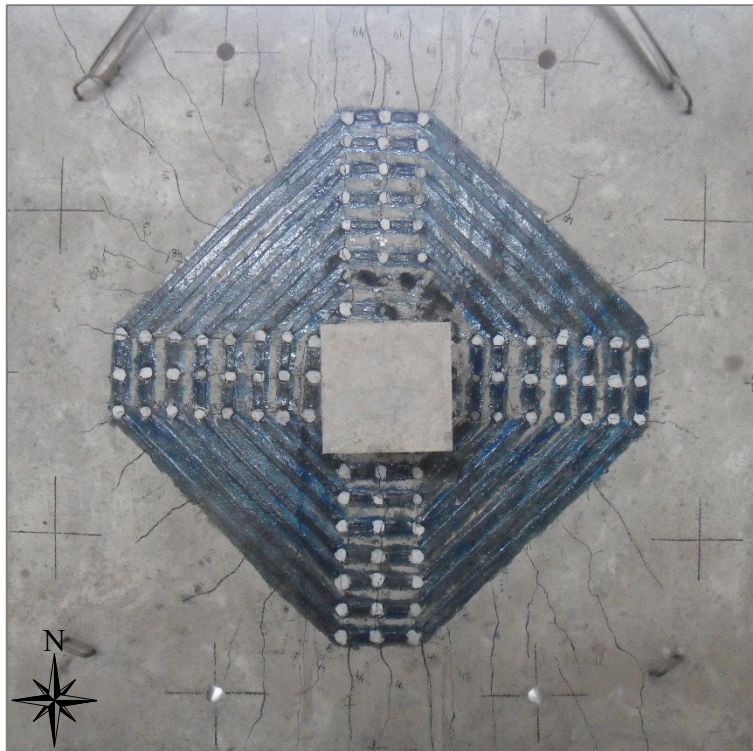


Figura 4.61 – Mapa de fissuração da laje LC-S2-8

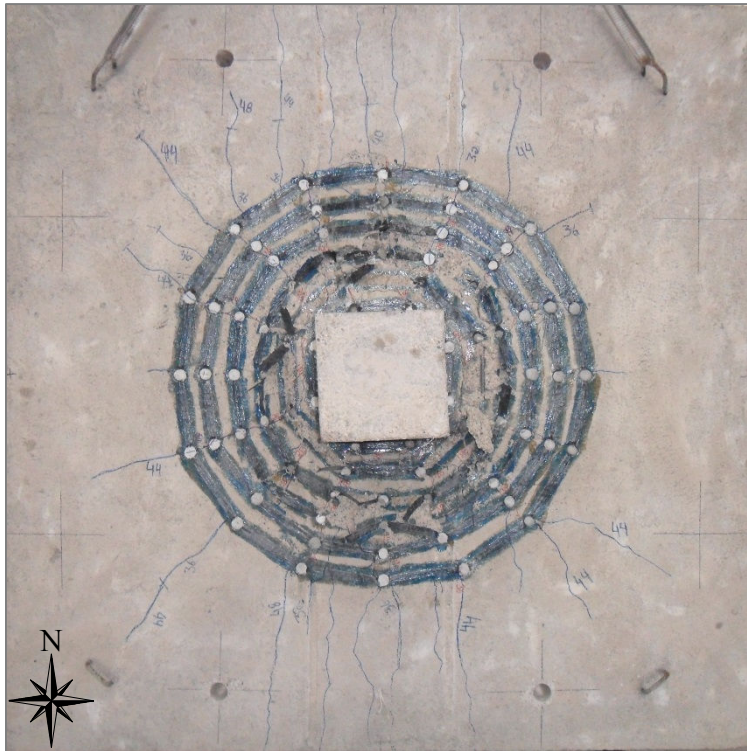


Figura 4.62 – Mapa de fissuração da laje LR-S2-6

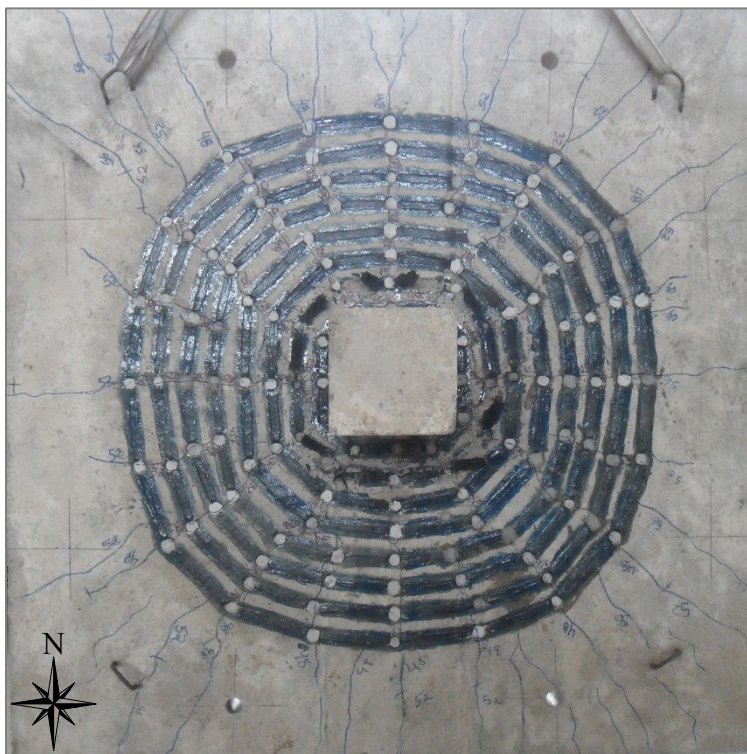


Figura 4.63 – Mapa de fissuração da laje LR-S2-8

#### 4.6. SUPERFÍCIE DE RUPTURA

A identificação da posição e inclinação da superfície de ruptura das lajes foi realizada após os serviços de corte executados pela empresa Locbras LTDA. Em todas as lajes foram cortados os quadrantes nordeste, conforme Figura 4.64. Na Figura 4.65 à Figura 4.73 são apresentadas as seções cortadas das lajes.

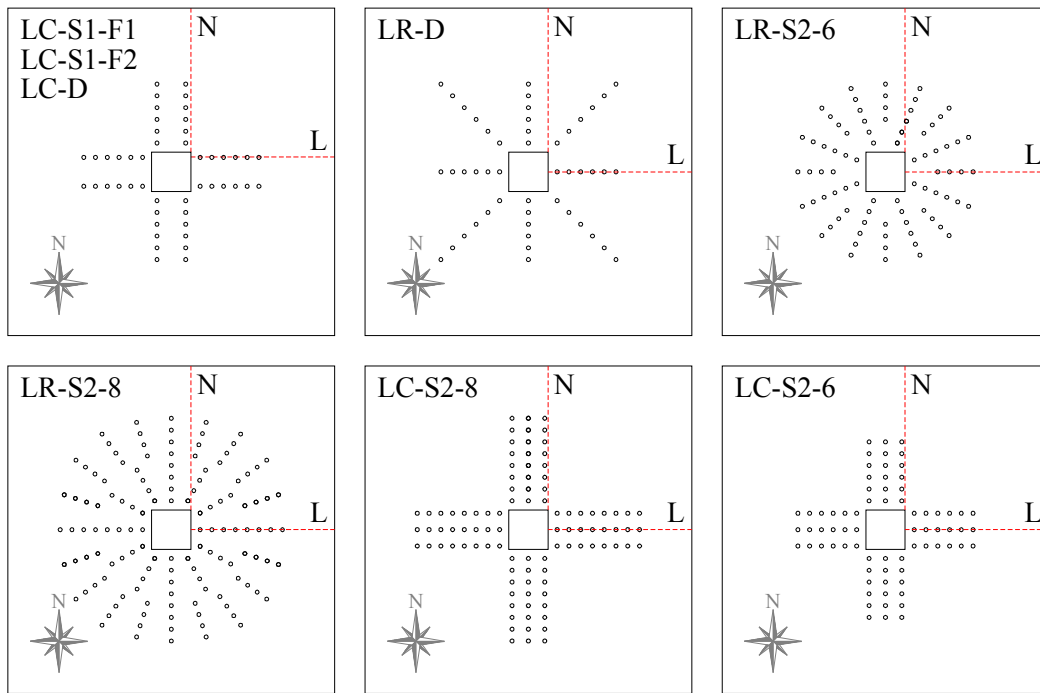


Figura 4.64 – Posição dos cortes

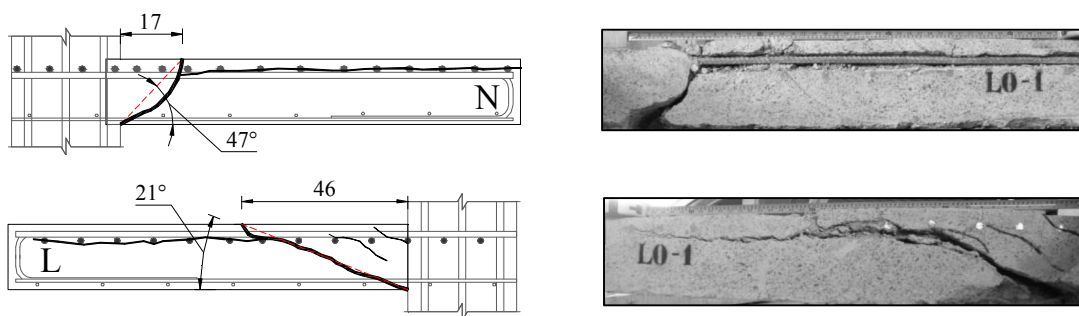


Figura 4.65 – Superfície de ruptura da laje L0-1

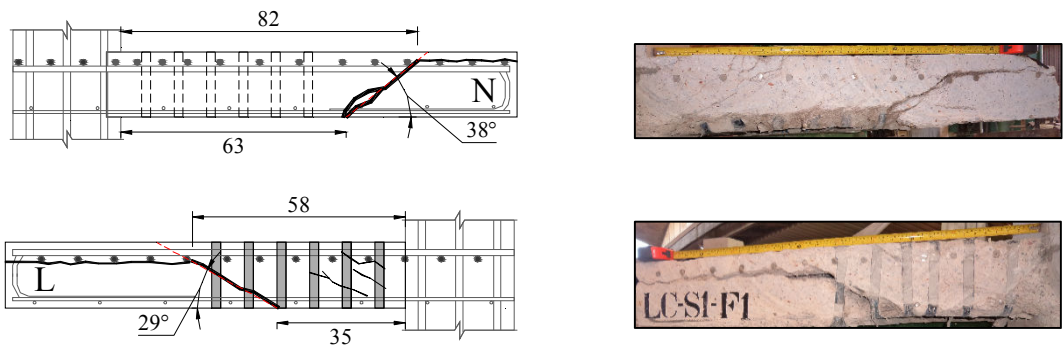


Figura 4.66 – Superfície de ruptura da laje LC-S1-F1

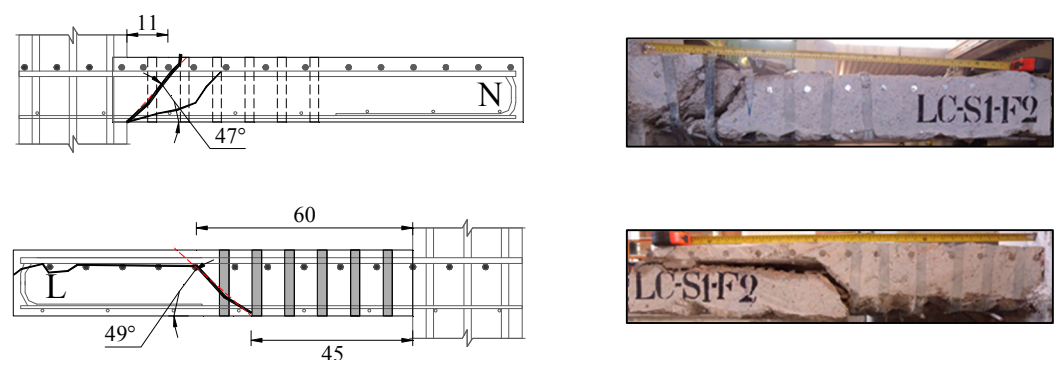


Figura 4.67 – Superfície de ruptura da laje LC-S1-F2

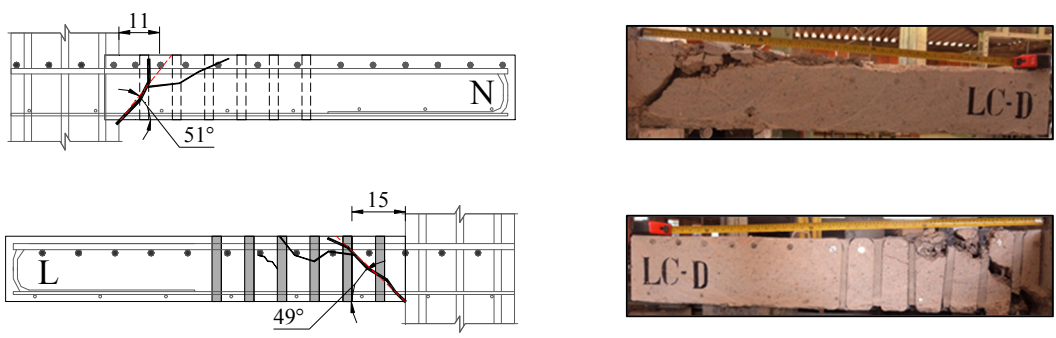


Figura 4.68 – Superfície de ruptura da laje LC-D

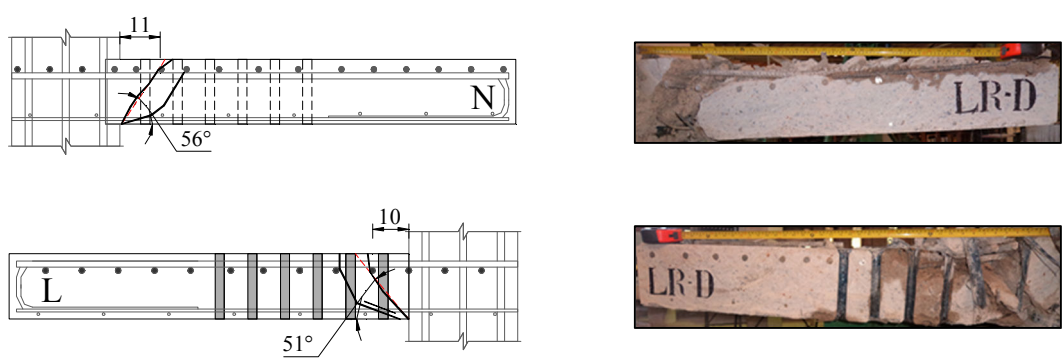


Figura 4.69 – Superfície de ruptura da laje LR-D

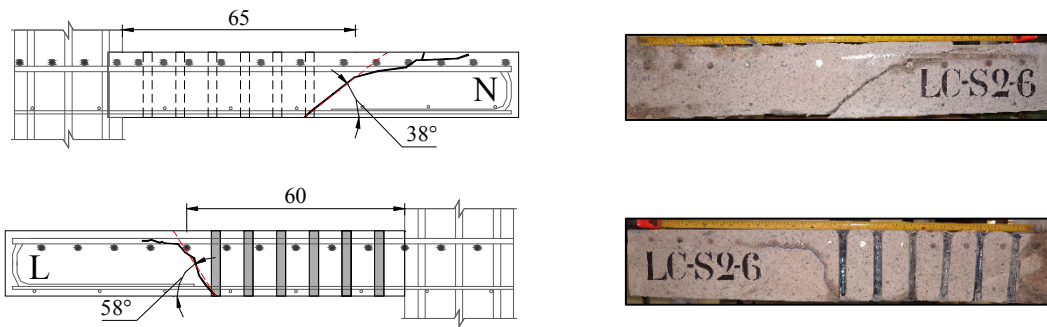


Figura 4.70 – Superfície de ruptura da laje LC-S2-6

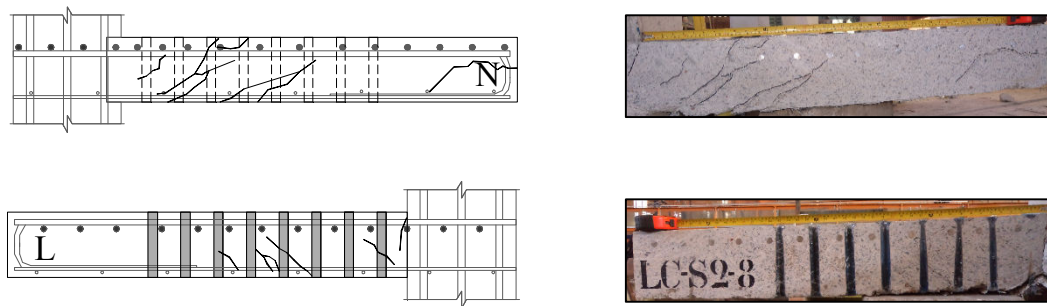


Figura 4.71 – Superfície de ruptura da laje LC-S2-8

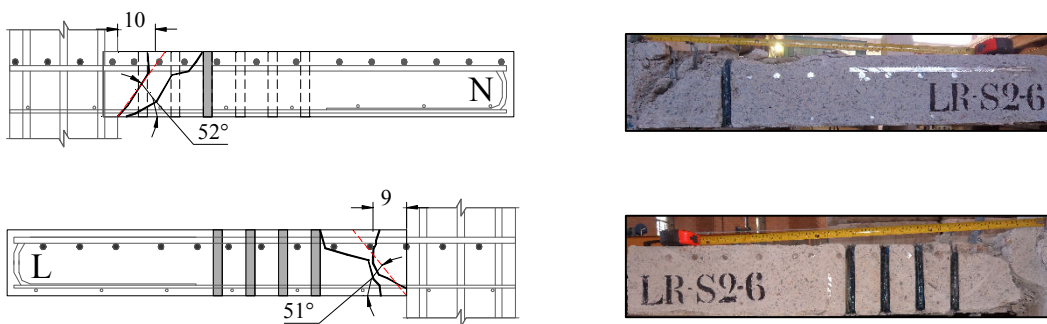


Figura 4.72 – Superfície de ruptura da laje LR-S2-6

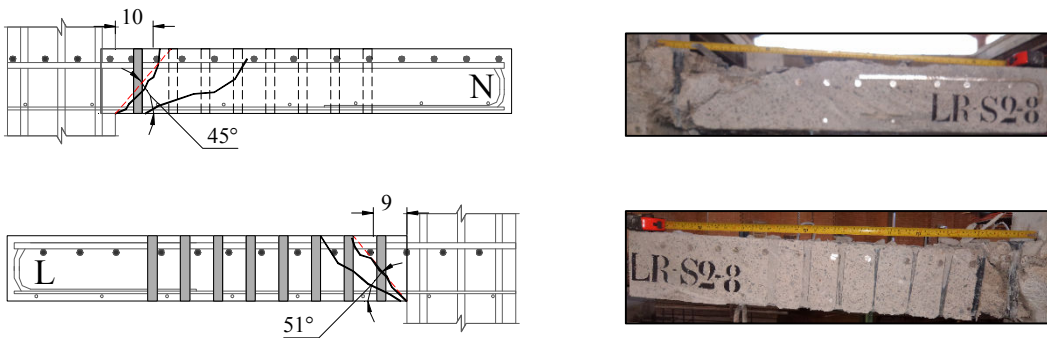


Figura 4.73 – Superfície de ruptura da laje LR-S2-8

Na Tabela 4.1 é apresentado um resumo dos resultados visualizados, onde “in” representa a forma de ruptura dentro da zona reforçada, “out” ruptura fora desta região, e “in/out” um modo de ruptura intermediário observado apenas na laje LC-S1-F2 por apresentar características de ruptura “in” em uma direção e “out” em outra.

Tabela 4.1 – Resumo das superfícies de ruptura

Série	Laje	Direção	Inclinação $\theta$ (°)	Superfície de ruptura
Lima (2012)	L0-1	Norte	47	-
		Leste	21	
Série 1	LC-D	Norte	51	in
		Leste	49	
	LR-D	Norte	56	in
		Leste	51	
	LC-S1-F1	Norte	38	out
		Leste	29	
	LC-S1-F2	Norte	47	in/out
		Leste	49	
Série 2	LC-S2-6	Norte	38	out
		Leste	58	
	LC-S2-8	Norte	-	-
		Leste	-	
	LR-S2-6	Norte	52	in
		Leste	51	
	LR-S2-8	Norte	45	in
		Leste	51	

#### 4.7. MODO DE RUPTURA

A determinação do modo de ruptura foi realizada por meio da observação do comportamento das lajes durante os ensaios, levando-se em consideração a fissuração, a superfície de ruptura, as deformações na armadura e no concreto, e comparando-se com a carga última resistente por flexão, calculada utilizando o método das linhas de ruptura.

Foram definidos basicamente dois modos de ruptura: punção e flexo-punção. O critério de determinação do modo de ruptura por punção foi estabelecido atribuindo maior relevância a visualização do cone de punção. A ruptura por flexo-punção foi definida de acordo com os critérios de OLIVEIRA (2003) como sendo o modo onde as lajes

apresentam a predominância das fissuras de flexão, rotações elevadas, deformações nas armaduras de flexão superiores a de escoamento do aço utilizado, e cargas últimas próximas das cargas estimadas para ruptura por flexão. Na Tabela 4.2 são apresentados os modos de ruptura das lajes.

Tabela 4.2 – Modos de ruptura das lajes

Série	Laje	$\epsilon_{cu}$ (‰)	$V_u$ (kN)	$V_{flex}$ (kN)	$V_u / V_{flex}$	Superfície de ruptura	Modo de ruptura
Lima (2012)	L0-1	-0,97	613	1263	0,49	-	<b>Punção</b>
Série 1	LC-D	-2,10	899	1243	0,72	in	<b>Punção</b>
	LR-D	-2,07	828	1236	0,67	in	<b>Punção</b>
	LC-S1-F1	-0,91	825	1228	0,67	out	<b>Punção</b>
	LC-S1-F2	-1,11	818	1214	0,67	in/out	<b>Punção</b>
Série 2	LC-S2-6	-2,23	1091	1301	0,84	out	<b>Punção</b>
	LC-S2-8	-2,33	1185	1316	0,90	-	<b>Flexo-Punção</b>
	LR-S2-6	-1,32	1014	1308	0,78	in	<b>Punção</b>
	LR-S2-8	-2,65	1179	1216	0,97	in	<b>Punção</b>

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, apresenta-se a análise dos resultados relativos às oito lajes ensaiadas no Laboratório de Estruturas da Universidade de Brasília.

### 5.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

#### 5.1.1. Carga de Ruptura

Todas as lajes possuíam as mesmas dimensões e taxa de armadura e foram ensaiadas até a ruptura. As lajes reforçadas foram comparadas com a laje de referência (L0-1). Na Tabela 5.1 apresentam-se as cargas últimas e a resistência à flexão das lajes ensaiadas. Pode-se notar que as lajes reforçadas tiveram cargas de ruptura superiores quando comparadas ao modelo de referência L0-1, sem reforço. Os ganhos variaram de 33% para o modelo LC-S1-F1 a 93% para o modelo LC-S2-8, indicando que a aplicação do reforço foi eficiente no aumento da carga de ruptura destas lajes.

Tabela 5.1 – Cargas de ruptura

Série	Modelos	$f_c$ (MPa)	$V_{flex}$ (kN)	$V_u$ (kN)	$V_u / V_{flex}$	Ganho de carga (%)
Lima (2012)	L0-1	43,2	1263	613	0,49	-
Série 1	LC-D	48,2	1243	899	0,72	47%
	LR-D	48,2	1236	828	0,67	35%
	LC-S1-F1	48,2	1228	825	0,67	35%
	LC-S1-F2	48,2	1214	818	0,67	33%
Série 2	LC-S2-6	57,9	1301	1091	0,84	78%
	LC-S2-8	57,9	1316	1185	0,90	93%
	LR-S2-6	57,9	1308	1014	0,78	65%
	LR-S2-8	57,9	1216	1179	0,97	92%

Na Tabela 5.1,  $f_c$  é a resistência à compressão do concreto,  $V_{flex}$  é carga de ruptura por flexão e  $V_u$  a carga última de ensaio.

As lajes com perfuração após a concretagem, LC-S1-F1 e LC-S1-F2, romperam fora da região reforçada e tiveram praticamente os mesmos ganhos de resistência, com valores de 35% e 33% respectivamente, evidenciando que o aumento da área de reforço por camada para estes modelos não implicou necessariamente em maiores cargas de ruptura. O método de perfuração para estes modelos também pôde ser considerado eficiente,



levando em consideração sua facilidade de perfuração sem causar danos à armadura de flexão tracionada e ao cobrimento do concreto, confirmando assim que a utilização de tubos de PVC para simular a perfuração das lajes é um método aceitável para fins experimentais.

Para lajes reforçadas com a técnica *Dowel*, a laje LC-D com armaduras de cisalhamento distribuídas em padrão cruz alcançou ganho de carga de 47%, que foi superior ao da laje LR-D, com ganho de 35%, com padrão radial e mesma área de reforço.

Na série 2, as lajes LR-S2-8 e LR-S2-6 alcançaram ganhos de cargas 92% e 65% em relação carga de ruptura da laje L0-1 sem reforço. Para as lajes LC-S2-8 e LC-S2-6 o ganho de carga foi 93% e 78%, respectivamente. Estes valores indicam que o aumento do número de perímetros proporciona maiores ganhos da capacidade de carga. Na Figura 5.1 apresenta-se a capacidade de carga última em relação à carga de flexão calculada.

Para as lajes que variaram a forma de distribuição das armaduras, as lajes com distribuição em forma de cruz obtiveram ganhos de carga última superiores aos das lajes com distribuição radial. O que é um bom resultado pois o arranjo em cruz, do ponto de vista construtivo, na maioria das vezes é mais simples de se executar do que o arranjo radial que é distribuído em torno da superfície de ruptura.

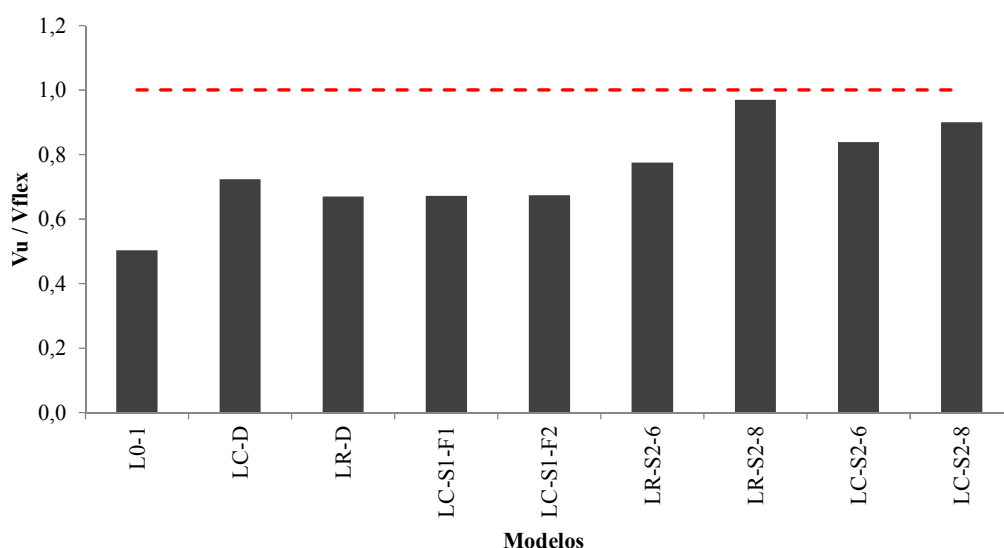


Figura 5.1 - Relação  $V_u/V_{flex}$  dos modelos ensaiados

### **5.1.2. Deslocamentos Verticais**

Para as lajes da série 1 e 2 com um mesmo nível de carga, o deslocamento aumentou de forma similar para todas as lajes. A mudança da inclinação da curva deve estar relacionada ao surgimento das primeiras fissuras radiais e tangenciais para um determinado carregamento, a partir deste nível os deslocamentos continuaram praticamente lineares, mas com maiores acréscimos para um mesmo incremento de carga. É importante ressaltar que estes resultados foram obtidos para um carregamento menor do que a carga de ruptura, pois os equipamentos eram retirados para não danificá-los.

Na série 1, as lajes com a mesma técnica de reforço apresentaram comportamentos muito semelhantes entre si. As lajes LC-D e LR-D reforçadas com a técnica *Dowel* apresentaram comportamento ligeiramente mais rígido em relação às lajes LC-S1-F1 e LC-S1-F2 reforçadas com a técnica *Stitch*.

Analisando a série 2 é possível notar que a laje LC-S2-6 obteve os maiores deslocamentos para um mesmo nível de carga em relação às demais. A LC-S2-6 possuía a mesma área de PRFC por perímetro que a laje LC-S2-8, diferenciando-se apenas no número de camadas. No entanto, a laje LC-S2-8 apresenta maior rigidez e este fato pode possivelmente estar associado ao maior número de camadas. Fato que também pode ser notado para laje LR-S2-8, que possui rigidez ligeiramente superior à da laje LR-S2-6, para um mesmo nível de carregamento.

Na laje LC-S2-6 foi observado que os deslocamentos na direção Sul foram superiores aos da direção Norte, mesmo com carregamento simétrico e mesmo nível de carga, e este comportamento também foi observado na laje LR-S2-6 com deslocamento superior na direção Norte em relação à Sul. Acredita-se que este fato pode estar associado a folgas no travamento superior dos pilares durante a montagem do sistema de ensaio.

### **5.1.3. Deformações na superfície do concreto**

De um modo geral, a análise das deformações na superfície do concreto permitiram afirmar que o comportamento da relação carga *versus* deformação em ambas as direções foram similares até um nível de carregamento em torno de 200 kN. Porém, após este

nível, as deformações tangenciais apresentam valores superiores às radiais. Para níveis de carga próximos ao valor máximo,  $V_u$ , as deformações radiais diminuem, chegando a ser registradas deformações de alongamento.

Segundo MUTTONI (2008), a constatação de deformações radiais de alongamento na face comprimida da laje, próximo ao pilar, é um possível indício de ruína por punção. Este fenômeno pode ser explicado pelo surgimento de uma biela em forma de cotovelo que gera uma componente de tração ao longo da face comprimida da laje devido ao desenvolvimento de uma fissura crítica de cisalhamento, conforme ilustrado na Figura 5.2.

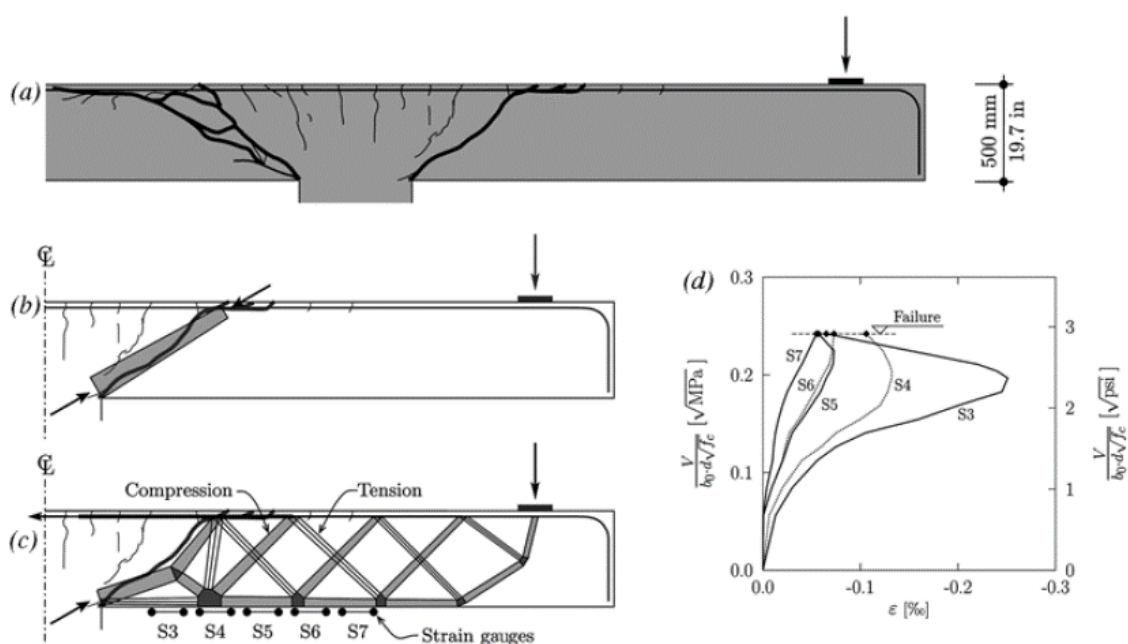


Figura 5.2 – Modelo de bielas e tirantes para ruptura por punção (MUTTONI, 2008)

É importante ressaltar que em algumas regiões, o posicionamento dos extensômetros variou em função da interferência causada pela resina utilizada para o reforço e do graute utilizado para o preenchimento dos furos.

Na série 1, as lajes com perfuração após concretagem, LC-S1-F1 e LC-S1-F2, apresentaram as menores deformações tangenciais com valores máximos de 0,91‰ e 1,1‰, respectivamente. Analisando as lajes do tipo *Dowel*, nota-se que estas lajes apresentaram deformações muito semelhantes entre si com deformações tangenciais máximas de compressão de 2,05‰ (LC-D) e 2,06‰ (LR-D).

Dentre as lajes da série 2, a laje LR-S2-8 foi a que apresentou o maior nível de deformação tangencial na superfície do concreto, com valor máximo de 2,65 ‰ para o extensômetro EC04. É possível notar que nos últimos passos de carga houve um alívio significativo das deformações radiais, após atingir deformação máxima, registrando deformações de tração que alcançaram valores próximos de 1,50 ‰ nos extensômetros EC01 e EC02.

#### **5.1.4. Deformações na armadura de flexão**

Analisando as Figuras 4.21 a 4.29, é possível observar que, para um mesmo nível de carregamento, as deformações medidas na armadura de flexão decrescem com o aumento da distância do extensômetro em relação ao eixo do pilar. Em todas as lajes reforçadas foram registradas deformações superiores a de escoamento para os pares de extensômetros localizados na face do pilar (EF01 e EF03) e, em geral, deformações inferiores a esta para o restante dos extensômetros, excetuando EF02 afastado 250mm da face do pilar, que registrou deformações de 3,13‰ para a laje LR-S2-6.

A laje L0-1, sem armadura de cisalhamento, foi aquela que apresentou menor nível de solicitação das armaduras de flexão, registrando deformação máxima de 2,43‰ no momento da ruptura. Estes resultados evidenciam que ligações laje-pilar sem armadura de cisalhamento estão mais suscetíveis a ruptura frágil sem maiores avisos relacionados às deformações.

Na série 1, o nível de deformações na armadura de flexão na ruptura foi relativamente semelhante para os modelos reforçados com a mesma técnica de reforço. Comparando as lajes LC-D e LR-D com as demais, verifica-se que antes da ruptura as lajes reforçadas com técnica *Dowel* apresentaram menores deformações na armadura de flexão do que as reforçadas com a técnica *Stitch*.

As lajes LC-S2-6, LC-S2-8, LR-S2-6 e LR-S2-8 da série 2, também apresentaram comportamento semelhante para um mesmo nível de carregamento. Porém, é possível notar que as lajes LC-S2-8 e LR-S2-8, com maior número de perímetros, apresentaram maiores deformações.

### **5.1.5. Deformações na armadura de cisalhamento**

De um modo geral, as maiores deformações na armadura de cisalhamento foram registradas no primeiro ou segundo perímetro das lajes, decrescendo à medida que se aumenta a distância do furo à face do pilar. Analisando as Figuras 4.47 a 4.54, pode-se afirmar que as armaduras de cisalhamento passam a ser solicitadas para valores de carga em torno de 200 kN. Abaixo destes valores as deformações para todos os extensômetros são aproximadamente iguais.

As deformações na armadura de cisalhamento para as lajes LC-D e LR-D, instrumentadas com instalação de extensômetros após a aplicação do reforço, apresentaram resultados incoerentes com os valores obtidos por outros autores e demais modelos, o que nos levou a desconsiderá-los na análise por serem inconclusivos. Porém, os resultados das lajes LC-S1-F1 e LC-S1-F2 foram mais coerentes e apresentam resultados de deformações satisfatórios, com tendência geral de apresentarem deformações decrescentes a partir do segundo perímetro de reforço onde foram registradas as deformações máximas do compósito para estas lajes, com valores de 4,53‰ e 5,14‰ respectivamente.

Comparando as lajes da série 2, verifica-se que as lajes LC-S2-6 e LC-S2-8, com distribuição em cruz, registraram as maiores deformações no compósito para o primeiro perímetro de reforço com valores de deformação próximo à ruptura de 4,03‰ e 4,07‰ respectivamente, decrescendo a partir deste perímetro. Já as lajes LR-S2-6 e LR-S2-8, reforçadas radialmente, apresentaram deformações máximas no segundo perímetro de reforço, com valores de 4,73‰ e 6,26‰. Em todas as lajes, próximo à ruptura, foram observadas deformações no compósito, na primeira ou segunda linha de reforço, superiores ao limite de 4‰ estabelecido pelo ACI 440.2R (2008).

## **5.2. ANÁLISE DAS EXPRESSÕES NORMATIVAS**

Na Tabela 5.2 e até a Tabela 5.4 são apresentadas comparações entre as cargas obtidas experimentalmente e as estimadas pelas diversas normas. É importante ressaltar que as normas atuais não tratam do reforço ao cisalhamento com armaduras de cisalhamento do tipo PRFC, e foram realizadas adaptações da parcela de resistência ao cisalhamento dentro da região reforçada de acordo com as recomendações do ACI 440.2R (2008).

Tabela 5.2 – Cargas de ruptura previstas pelo ACI 318 (2011)

Série	Modelos	$V_u$ (kN)	$V_{R,C PRFC}$ (kN)	$V_u /$ $V_{R,C PRFC}$	$V_{R,out}$ (kN)	$V_u /$ $V_{R,out}$	$V_{R,máx}$ (kN)	$V_u /$ $V_{R,máx}$	$V_{ACI}$ (kN)	$V_u /$ $V_{ACI}$	Méd.	C.V.
Lima (2012)	L0-1	613	-	-	-	-	-	-	561	1,09	1,15	0,08
Série 1	LC-D	899	821	1,10	772	1,17	1182	0,76	772	1,17		
	LR-D	828	816	1,02	1007	0,82	1173	0,71	816	1,02		
	LC-S1-F1	825	903	0,91	763	1,08	1164	0,71	763	1,08		
	LC-S1-F2	818	709	1,15	755	1,08	1148	0,71	709	1,15		
Série 2	LC-S2-6	1091	1278	0,85	826	1,32	1235	0,88	826	1,32		
	LC-S2-8	1185	1286	0,92	1012	1,17	1244	0,95	1012	1,17		
	LR-S2-6	1014	830	1,22	855	1,19	1239	0,82	830	1,22		
	LR-S2-8	1179	1231	0,96	1039	1,13	1181	1,00	1039	1,13		

Tabela 5.3 - Cargas de ruptura previstas pelo Eurocode 2 (2004)

Série	Modelos	$V_u$ (kN)	$V_{R,C PRFC}$ (kN)	$V_u /$ $V_{R,C PRFC}$	$V_{out}$ (kN)	$V_u /$ $V_{out}$	$V_{R,máx}$ (kN)	$V_u /$ $V_{R,máx}$	$V_{EC02}$ (kN)	$V_u /$ $V_{EC02}$	Méd.	C.V.
Lima (2012)	L0-1	613	-	-	-	-	-	-	613	1,00	1,15	0,19
Série 1	LC-D	899	1040	0,86	723	1,24	2030	0,44	723	1,24		
	LR-D	828	1034	0,80	751	1,10	2018	0,41	751	1,10		
	LC-S1-F1	825	1166	0,71	718	1,15	2007	0,41	718	1,15		
	LC-S1-F2	818	878	0,93	713	1,15	1986	0,41	713	1,15		
Série 2	LC-S2-6	1091	1703	0,64	780	1,40	2238	0,49	780	1,40		
	LC-S2-8	1185	1713	0,69	783	1,51	2251	0,53	783	1,51		
	LR-S2-6	1014	1030	0,98	1235	0,82	2244	0,45	1030	0,98		
	LR-S2-8	1179	1642	0,72	1469	0,80	2164	0,54	1469	0,80		

Tabela 5.4 - Cargas de ruptura previstas pela ABNT NBR 6118 (2007)

Série	Modelos	$V_u$ (kN)	$V_{R,C PRFC}$ (kN)	$V_u /$ $V_{R,C PRFC}$	$V_{out}$ (kN)	$V_u /$ $V_{out}$	$V_{máx}$ (kN)	$V_u /$ $V_{máx}$	$V_{NBR}$ (kN)	$V_u /$ $V_{NBR}$	Méd.	C.V.
Lima (2012)	L0-1	613	-	-	-	-	-	-	675	0,91	0,96	0,15
Série 1	LC-D	899	1088	0,83	898	1,00	2192	0,41	898	1,00		
	LR-D	828	1082	0,77	929	0,89	2180	0,38	929	0,89		
	LC-S1-F1	825	1214	0,68	894	0,92	2168	0,38	894	0,92		
	LC-S1-F2	818	927	0,88	890	0,92	2145	0,38	890	0,92		
Série 2	LC-S2-6	1091	1757	0,62	974	1,12	2417	0,45	974	1,12		
	LC-S2-8	1185	1767	0,67	976	1,21	2431	0,49	976	1,21		
	LR-S2-6	1014	1084	0,94	1462	0,69	2423	0,42	1084	0,94		
	LR-S2-8	1179	1699	0,69	1715	0,69	2337	0,50	1699	0,69		

Tabela 5.5 – Resumo das previsões normativas

Série	Modelos	Superfície de Ruptura	ACI 318 (2011)		Eurocode 2 (2004)		NBR 6118 (2007)	
			$V_u/V_{ACI}$	Ruptura ACI	$V_u/V_{EC02}$	Ruptura EC02	$V_u/V_{NBR}$	Ruptura NBR
Lima (2012)	L0-1	-	1,09	-	1,00	-	0,91	-
Série 1	LC-D	in	1,17	out	1,24	out	1,00	out
	LR-D	in	1,02	in	1,10	out	0,89	out
	LC-S1-F1	out	1,08	out	1,15	out	0,92	out
	LC-S1-F2	in/out	1,15	in	1,15	out	0,92	out
Série 2	LC-S2-6	out	1,32	out	1,40	out	1,12	out
	LC-S2-8	-	1,17	out	1,51	out	1,21	out
	LR-S2-6	in	1,22	in	0,98	in	0,94	in
	LR-S2-8	in	1,13	out	0,80	out	0,69	in

Analisando os resultados das estimativas do ACI 318 (2011), foi verificado que seus resultados dentre as normas analisadas são os mais adequados apresentando média para a relação  $V_u/V_{ACI}$  de 1,15, coeficiente de variação de 0,08 e nenhum resultado contra a segurança. A Figura 5.3 representa graficamente a relação entre as cargas experimentais e as previstas por normas. Vale ressaltar que para esta norma foram utilizadas as recomendações de dimensionamento de armaduras de cisalhamento para lajes do tipo *studs*, por considerar melhores condições de ancoragem em relação a armaduras do tipo estribo. Com relação à previsão da superfície de ruptura o ACI foi uma das normas mais eficientes, prevendo corretamente 57% dos casos.

Avaliando as estimativas da norma Eurocode 2 (2004), observa-se que seus resultados também foram adequados, com a mesma relação média  $V_u/V_{EC2}$  de 1,15 do ACI, porém o coeficiente de variação foi alto, com valor 0,19, e 22% dos resultados foram contra a segurança. Quanto à superfície de ruptura, esta norma tende a prever rupturas no perímetro fora da região da armadura de cisalhamento, tendo previsto este tipo de ruptura em 86% dos casos, com número de acertos de 43%. Este comportamento está associado à estimativa da verificação da região fora da armadura de cisalhamento considerando um perímetro afastado a uma distância de 1,5d da última camada da armadura de cisalhamento.

Utilizando as estimativas da ABNT NBR 6118 (2007) observa-se que esta norma não apresenta bom nível de precisão, apresentando 66% dos resultados contra a segurança, com média da relação  $V_u/V_{NBR}$  igual a 0,96 e coeficiente de variação de 0,15. Avaliando a previsão das superfícies de ruptura, esta norma obteve o mesmo rendimento que o

ACI 318 (2011), acertando 57% dos casos, porém se comparados com os resultados do Eurocode 2, nota-se que o número de previsões das rupturas ocorrendo fora da região reforçada ao cisalhamento é um pouco menor. Contudo, ainda prevê este tipo de ruptura para 71% das lajes.

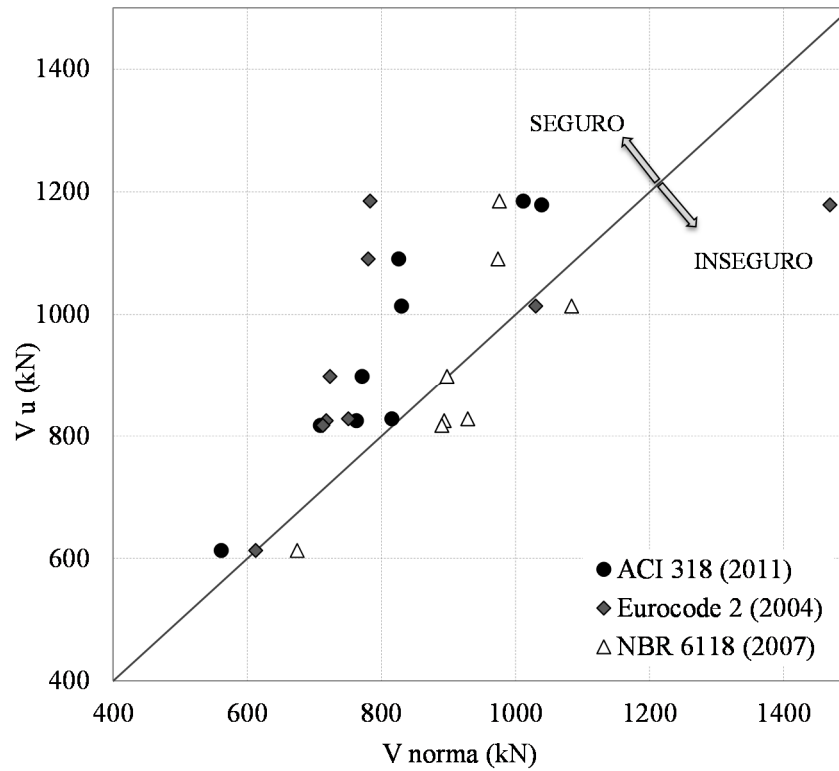


Figura 5.3 – Comparação entre carga última experimental e estimada



## **6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

### **6.1. CONCLUSÕES**

#### **6.1.1. Programa experimental**

##### **6.1.1.1. Eficiência do reforço**

As lajes reforçadas com a técnica do tipo *Stitch* e o método adaptado da técnica *Dowel*, apresentaram bom rendimento no reforço de ligações laje-pilar interiores submetidas a carregamento simétrico. O ganho de carga última em relação à laje sem reforço variou de 33% para a laje LC-S1-F1 a 93% para a laje LC-S2-8, indicando que a aplicação do reforço foi eficiente no aumento da carga última. A eficiência máxima do reforço foi alcançada nas lajes LC-S2-8 e LR-S2-8, que possuíam oito linhas de perímetro e elevada área de reforço, com 1800 mm<sup>2</sup>/perímetro. Todas as lajes reforçadas apresentaram sinais audíveis ocorrendo próximo à carga última, que podem ser atribuídos à ruptura parcial do compósito na superfície da laje à medida que era deformado.

Nas lajes LC-S1-F1 e LC-S1-F2, que romperam fora da região reforçada, a quantidade de camadas de reforço não influenciou em seus resultados uma vez que estas apresentaram praticamente o mesmo comportamento dos parâmetros analisados. Levando em consideração a eficiência e rapidez do método de perfuração destas lajes após a concretagem, a utilização de tubos de PVC para simular a perfuração foi considerada aceitável para fins experimentais.

Para as lajes que variaram a forma de distribuição das armaduras, as lajes com distribuição em forma de cruz obtiveram ganhos de carga última superiores aos das lajes com distribuição radial. Esse resultado contrasta com os resultados obtidos através de códigos como o Eurocode 2 (2004) e a ABNT NBR 6118 (2007), uma vez que este tipo de distribuição proporciona espaçamentos elevados entre as últimas linhas de furos e tende a apresentar resistências menores do que lajes reforçadas radialmente.

#### **6.1.1.2. Deslocamentos verticais**

Os resultados dos deslocamentos permitiram afirmar que a distribuição e quantidade de LVDTs utilizadas neste estudo atendeu às expectativas. Porém, em alguns ensaios os LVDTs foram retirados de forma precoce antes da carga de ruptura, recomendando-se assim que em pesquisas futuras seja utilizado um sistema que permita o acompanhamento dos deslocamentos até o final do ensaio. Foi observado que as lajes reforçadas com a técnica Dowel apresentaram rigidezes ligeiramente superiores as outras lajes. Comportamento esse que também variou, aumentando em função do número de perímetros de reforço.

#### **6.1.1.3. Deformações na superfície do concreto**

Em algumas lajes o posicionamento dos extensômetros foi comprometido pela interferência da resina utilizada para o reforço e do graute utilizado para o preenchimento dos furos. Contudo, as lajes apresentaram um comportamento similar ao de outros estudos, com deformações crescendo igualmente até um determinado nível de carregamento. E após este nível, as deformações tangenciais apresentaram valores superiores às radiais. Para níveis de carga próximos a carga de ruptura as deformações radiais diminuem, registrando em alguns casos, deformações de alongamento.

As análises das relações carga-deformação também mostraram que os valores máximos acontecem nas lajes com maior número de perímetros de cisalhamento. Para pesquisas futuras seria recomendado instalar mais extensômetros radiais e tangenciais na face comprimida, variando a distância a partir da face do pilar, além de proteger previamente as regiões a serem instrumentadas.

#### **6.1.1.4. Deformações na armadura de flexão**

Dentre os pontos monitorados na armadura de flexão, registrou-se para todas as lajes que deformações superiores à deformação de escoamento do aço foram lidas para os pares de extensômetros localizados na face do pilar. Em alguns casos estas deformações foram observadas nos extensômetros adjacentes, afastado 250 mm da face do pilar. O maior número de perímetros de armadura de cisalhamento também gerou aumento na

solicitação na armadura de flexão. Portanto, de um modo geral, pode-se considerar que a instrumentação utilizada nas armaduras forneceu dados satisfatórios sobre o comportamento das lajes.

#### **6.1.1.5. Deformações na armadura de cisalhamento**

A técnica de instalação dos extensômetros após a cura do reforço, gerou resultados de deformação incoerentes para o sistema *Dowel*. A segunda técnica, com instalação de extensômetros antes da aplicação do reforço, foi considerada uma boa técnica de instalação, gerando resultados mais coerentes.

De um modo geral, as maiores deformações na armadura de cisalhamento foram registradas no primeiro ou no segundo perímetro das lajes, decrescendo à medida que se aumenta a distância do furo à face do pilar. Nas lajes reforçadas com a técnica *Stitch*, com ruptura bem definida dentro da região reforçada, as deformações na armadura de cisalhamento foram superiores às daquelas com ruptura fora desta região, indicando que para níveis de deformação em torno de 4‰, a contribuição do concreto dentro da região reforçada é mantida, com tendência da ruptura se desenvolver fora desta região. Outros autores também fizeram observações semelhantes. Portanto, este pode ser considerado um limite aceitável para o dimensionamento de lajes lisas reforçadas ao cisalhamento com PRFC, mas são necessários mais ensaios para generalização desta consideração.

#### **6.1.1.6. Fissuração e modo de ruptura**

O mapeamento de fissuras foi realizado a cada passo de carga. Porém, foi encontrada muita dificuldade na marcação de fissuras dentro da região reforçada devido à concentração de resina sobre a laje, ocultando a marcação das primeiras fissuras nesta região e podendo induzir conclusões precipitadas sobre o nível de carregamento para o qual elas surgiram.

De um modo geral, as primeiras fissuras tangenciais e radiais foram encontradas para um mesmo nível de carregamento, em torno de 22% da carga última, com tendência das fissuras se propagarem preferencialmente entre os furos de reforço e se desenvolverem radialmente até as bordas das lajes.

No que diz respeito à classificação do modo de ruptura, foi atribuída maior relevância ao critério de identificação do cone de punção, seguido da avaliação da relação das cargas de ruptura experimentais com as cargas estimadas para ruptura por flexão. Baseado nestes critérios, conclui-se que a laje LC-S2-8 rompeu por flexo-punção, enquanto as demais romperam por punção.

### **6.1.2. Análise das expressões normativas**

Com base nos estudos experimentais realizados, a performance das normas com a adaptação da parcela de resistência ao cisalhamento dentro da região reforçada pode ser considerada satisfatória. Porém é recomendada uma análise estatística mais refinada com maior número de lajes no banco de dados.

As estimativas do ACI 318 (2011) foram as mais adequadas, apresentando melhor média e coeficiente de variação, sem nenhum resultado contra a segurança, e a previsão da superfície de ruptura também foi mais eficiente dentre as normas. Quanto à norma Eurocode 2 (2004), observa-se que seus resultados também foram satisfatórios, porém com alguns resultados contra a segurança e tendência de previsão de rupturas fora da região da armadura de cisalhamento. As estimativas da ABNT NBR 6118 (2007) foram as menos precisas dentre todas, com a maioria dos resultados contra a segurança, e com relação à previsão das superfícies de ruptura nota-se a mesma tendência do Eurocode 2 de prever rupturas fora da região reforçada ao cisalhamento.

## **6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Avaliar a influência que a colagem de mantas PRFC exerce na resistência à flexão das lajes.

Avaliar a aplicação do reforço ao cisalhamento com PRFC para lajes sujeitas a carregamento desbalanceado.

Avaliar o reforço de lajes com a utilização de barras de fibra de carbono, substituindo as mantas de PRFC.

Avaliar a aplicabilidade das prescrições normativas do CEB-FIP Model Code 2010 no dimensionamento de lajes lisas reforçadas ao cisalhamento com PRFC.

Realizar análise numérica das lajes ensaiadas através do método dos elementos finitos.

Utilizar sistema de medição de deslocamentos que garanta o registro de deslocamentos até a ruptura do modelo.

Aumentar a instrumentação da face comprimida da laje em torno do pilar, protegendo os locais previstos para instalação dos extensômetros elétricos de resistência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI Committee 318, *Building code requirements for structural concrete and commentary* – American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2011, 509p.

ACI Committee 440.2R. *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. – American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2008, 80p.

ACI 421.1R. *Shear-Reinforcement for Slabs*. Reported by Joint ACI-ASCE Committee 421, – American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2008, 27p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 - *Concreto - Ensaíos de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, Brasil, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – *Projeto de estruturas de concreto - procedimentos*. Rio de Janeiro, Brasil, 2007, 221 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6892 – *Materiais metálicos - Método de ensaio à temperatura ambiente*. Rio de Janeiro, Brasil, 2002, 70 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222 - *Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, Brasil, 2011, 5 p.

BASF S/A. *MBrace - Ficha Técnica* – Disponível em: <http://www.basf-cc.com.br/PT/produtos/grautes/MBrace/Documents/MBRACE.pdf> Acessado em: 26/04/2013.

BINICI, B., *Punching shear strengthening of reinforced concrete slabs using fiber reinforced polymers*. PhD Thesis, University of Texas at Austin, USA, 2003, 284p.

BINICI, B.; BAYRAK, O. *Upgrading of slab-column connections using fiber reinforced polymers*. *Engineering Structures* v. 27, p. 97–107, 2005.

ERDOGAN, H. OZCEBE, G. BINICI, B. *Punching shear strengthening of flat-slabs with CFRP dowels. Magazine of Concrete Research*, Magazine of Concrete Research v. 62, n. 7, p. 465–478, 2010.

ERDOGAN, H., *Improvement of punching strength of flat plates by using carbon fiber reinforced polymer (CFRP) dowels*. PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2010, 224p.

Eurocode 2, *Design of Concrete Structures—Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*, CEN, EN 1992-1-1, Brussels, Belgium, 2004, 225 p.

FERREIRA, M. P. *Punção em Lajes Lisas de Concreto Armado com Armaduras de Cisalhamento e Momentos Desbalanceados*. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2010, 275p.

LIMA, A. W. *Estudo experimental e analítico de punção em lajes lisas de concreto armado utilizando polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC) como armadura de cisalhamento*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2012, 188 p.

MORAES NETO, B. N. *Comportamento à Punção de Lajes Lisas em Concreto Reforçado com Fibras de Aço sob Carregamento Simétrico*. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2013, 349 p.

MUTTONI, A., *Punching shear strength of reinforced concrete slabs without transverse reinforcement*, ACI Structural Journal, vol. 105, No. 4, 2008, pp. 440–450.

OLIVEIRA, D. R. C. *Análise Experimental de Lajes Cogumelo de Concreto Armado com Pilares Retangulares*. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2003, 237p.

PRIESTLEY, M. J. N. SEIBLE, F. CALVI, M. *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, John Wiley e Sons, USA, 1996, 705 p.

SANTOS, G. S. *Aplicação de mantas de polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC) como armadura de cisalhamento em lajes lisas de concreto armado: avaliação experimental e analítica*. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, em andamento.

SISSAKIS, K.; SHEIKH, S. A. *Strengthening Concrete Slabs for Punching Shear with Carbon Fiber-Reinforced Polymer Laminates*. ACI Structural Journal n. 104, 2007, p. 49–59,

SISSAKIS. K.; *Strengthening concrete slabs for punching shear with CFRP laminates*. M. A. Sc. Thesis, University of Toronto, Toronto, Canadá, 2002, 226p.



## APÊNDICE A – DETALHAMENTO DO PÓRTICO DE ENSAIO

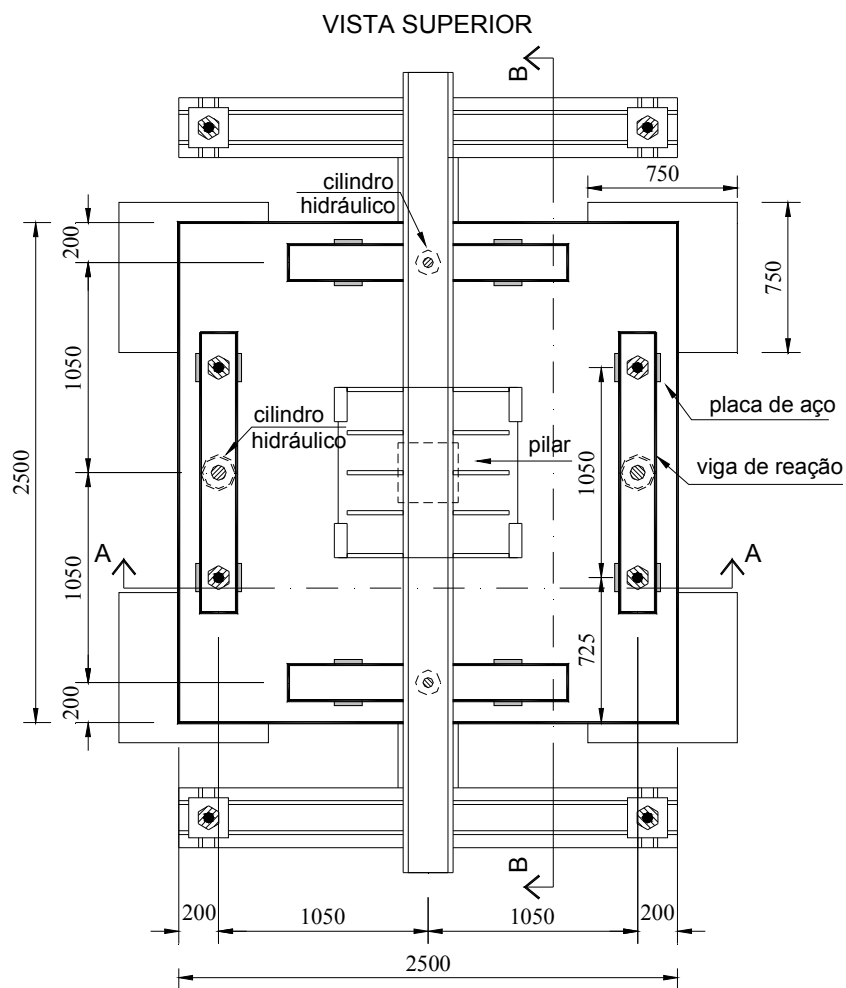


Figura 0.1 – Vista Superior do pórtico de ensaio (FERREIRA, 2010)

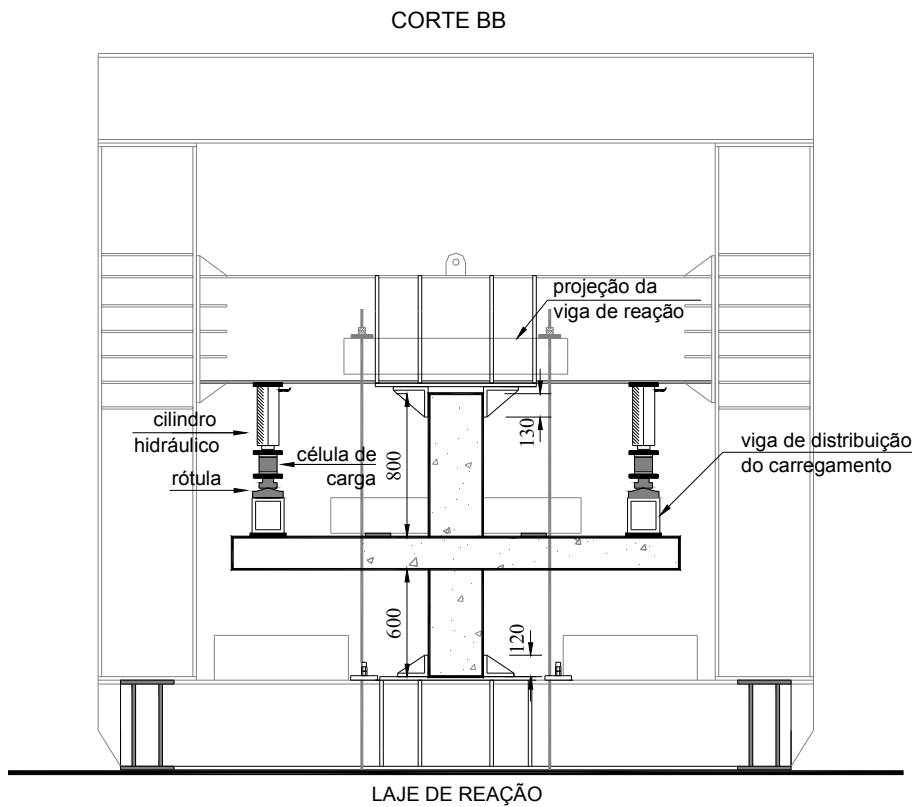
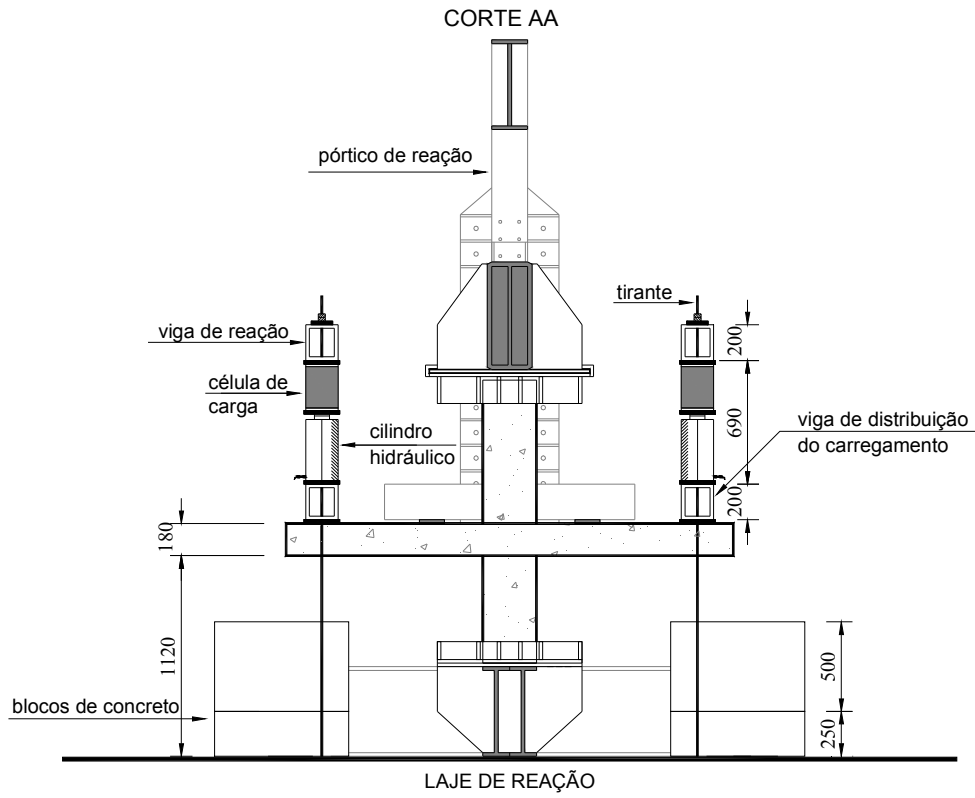


Figura 0.2 - Cortes do pórtico de ensaio (FERREIRA, 2010)

## APÊNDICE B – TEMPO DE EXECUÇÃO E CUSTOS DE REFORÇO

<b>CARACTERÍSTICAS</b>									
Modelo	LC-D	LR-D	LC-S1-F1	LC-S1-F2	LR-S2-6	LR-S2-8	LC-S2-6	LC-S2-8	LC-S2-8
Tipo	Dowel	Dowel	Stitch	Stitch	Stitch	Stitch	Stitch	Stitch	Stitch
Quantidade de furos (unid)	48	48	48	48	80	128	72	96	96
Área total de fibras (m <sup>2</sup> )	1,54	1,54	3,06	1,84	2,26	6,85	5,19	7,52	7,52
<b>TEMPO DE EXECUÇÃO</b>									
Atividade	Rendimento								
Quantidade (horas)									
<b>Perfuração</b>									
Deteção das armaduras	1,00	1,00	1,00	1,00	1,67	2,67	1,50	2,00	2,00
Perfuração	3,00	3,00	3,00	3,00	5,00	8,00	4,50	6,00	6,00
Limpeza	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
<b>Subtotal (horas)</b>	<b>4,50</b>	<b>4,50</b>	<b>4,50</b>	<b>4,50</b>	<b>7,17</b>	<b>11,17</b>	<b>6,50</b>	<b>8,50</b>	<b>8,50</b>
<b>Preparação da superfície</b>									
Arredondamento dos cantos	2,00	2,00	2,00	2,00	3,33	5,33	3,00	4,00	4,00
Lixamento	0,50	0,50	0,50	0,50	0,83	1,33	0,75	1,00	1,00
Limpeza	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
<b>Subtotal (horas)</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>4,67</b>	<b>7,17</b>	<b>4,25</b>	<b>5,50</b>	<b>5,50</b>
<b>Reforço</b>									
Corte das fibras	2,00	2,00	2,23	1,34	1,64	4,98	3,77	5,47	5,47
Aplicação do <i>primer</i>	0,66	0,66	0,69	0,69	0,65	1,06	0,60	0,87	0,87
Aplicação do <i>putty</i>	0,72	0,72	0,76	0,76	0,71	1,16	0,65	0,95	0,95
Colagem das fibras	4,00	4,00	6,00	3,60	4,43	13,43	10,17	14,75	14,75
<b>Subtotal (horas)</b>	<b>7,38</b>	<b>7,38</b>	<b>9,68</b>	<b>6,39</b>	<b>7,42</b>	<b>20,63</b>	<b>15,20</b>	<b>22,04</b>	<b>22,04</b>
<b>TEMPO TOTAL (horas)</b>	<b>14,88</b>	<b>14,88</b>	<b>17,18</b>	<b>13,89</b>	<b>19,26</b>	<b>38,96</b>	<b>25,95</b>	<b>36,04</b>	<b>36,04</b>
<b>CUSTO PARA O REFORÇO</b>									
Atividade	Custo unitário								
Quantidade (R\$)									
Material composto (PRFC)	434,37	434,37	865,35	519,21	638,28	1.937,38	1.467,19	2.127,74	2.127,74
Materiais de consumo	195,00	195,00	195,00	195,00	195,00	195,00	195,00	195,00	195,00
Perfuração	465,60	465,60	465,60	465,60	776,00	1.241,60	698,40	931,20	931,20
<b>CUSTO TOTAL (R\$)</b>	<b>1.094,97</b>	<b>1.094,97</b>	<b>1.525,95</b>	<b>1.179,81</b>	<b>1.609,28</b>	<b>3.373,98</b>	<b>2.360,59</b>	<b>3.253,94</b>	<b>3.253,94</b>

# APÊNDICE C – LEITURAS REGISTRADAS NOS ENSAIOS

## C.1 – DESLOCAMENTOS VERTICAIS

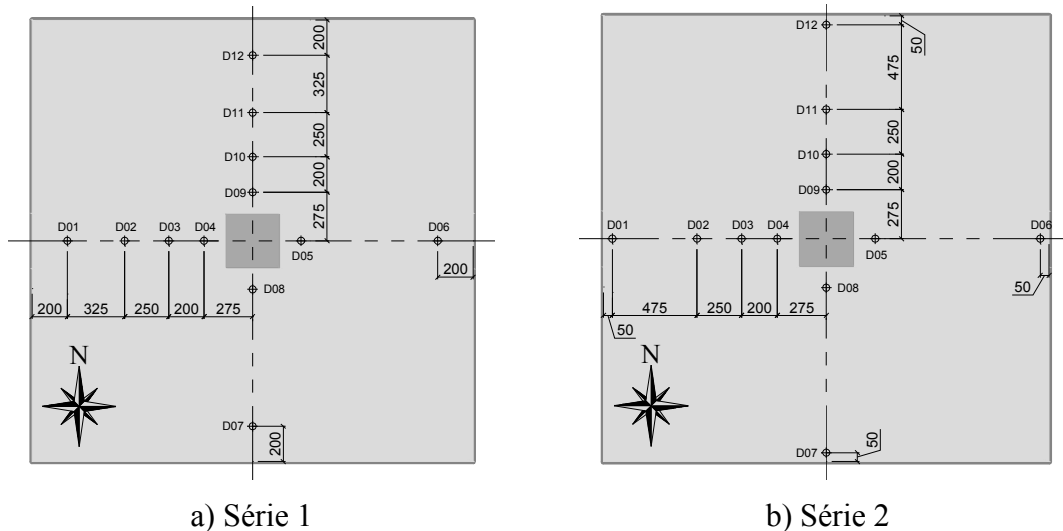


Figura 0.1 – Posicionamento dos LVDTs nas lajes

Tabela 0.1 – Laje LC-S1-F1

Passo de Carga	Carga Total (KN)	D01 mm	D02 mm	D03 mm	D04 mm	D05 mm	D06 mm	D07 mm	D08 mm	D09 mm	D10 mm	D11 mm	D12 mm
1	46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	59	0,03	0,04	0,03	0,02	0,06	0,19	0,17	0,07	0,02	0,02	0,04	0,04
3	78	0,19	0,18	0,11	0,08	0,16	0,42	0,37	0,16	0,09	0,09	0,20	0,23
4	98	0,43	0,36	0,23	0,20	0,31	0,79	0,77	0,35	0,16	0,12	0,29	0,40
5	118	0,71	0,60	0,36	0,28	0,40	1,06	1,04	0,47	0,20	0,16	0,41	0,57
6	144	1,13	0,93	0,55	0,39	0,54	1,55	1,44	0,63	0,28	0,24	0,63	0,85
7	158	1,32	1,09	0,65	0,47	0,64	1,91	1,80	0,73	0,34	0,30	0,72	1,03
8	178	1,70	1,36	0,83	0,57	0,75	2,28	2,27	0,87	0,39	0,36	0,87	1,19
9	203	1,96	1,55	1,01	0,67	1,00	3,39	2,93	1,08	0,48	0,45	1,11	1,46
10	222	2,47	1,96	1,24	0,81	1,07	3,63	3,24	1,18	0,56	0,55	1,33	1,75
11	237	2,93	2,31	1,43	0,91	1,11	3,75	3,52	1,27	0,62	0,63	1,49	1,99
12	278	3,93	3,07	1,83	1,12	1,29	4,63	4,44	1,52	0,76	0,83	1,94	2,60
13	319	4,82	3,73	2,19	1,33	1,51	5,59	5,30	1,74	0,91	1,09	2,44	3,26
14	357	5,65	4,35	2,52	1,52	1,74	6,58	6,18	1,96	1,05	1,32	2,89	3,92
15	398	6,74	5,17	2,96	1,76	1,89	7,38	6,94	2,15	1,22	1,62	3,45	4,65
16	439	7,62	5,83	3,32	1,96	2,10	8,34	7,80	2,35	1,37	1,87	3,92	5,26
17	480	8,66	6,62	3,74	2,19	2,28	9,20	8,55	2,53	1,55	2,19	4,50	6,05
18	519	9,68	7,38	4,17	2,44	2,53	10,32	9,42	2,75	1,75	2,53	5,08	6,82
19	561	10,77	8,19	4,62	2,68	2,73	11,25	10,25	2,93	1,94	2,86	5,66	7,58
20	600	11,45	8,72	4,92	2,84	2,97	12,46	10,98	3,08	2,11	3,19	6,23	8,36

Tabela 0.2 – Laje LC-S1-F2

Passo de Carga	Carga Total (KN)	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1,0	37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,0	58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,0	78	0,17	0,13	0,08	0,05	0,03	0,11	0,11	0,02	0,05	0,08	0,14	0,17
4,0	99	0,59	0,45	0,29	0,19	0,14	0,36	0,26	0,09	0,20	0,27	0,44	0,55
5,0	118	0,78	0,59	0,38	0,25	0,18	0,50	0,40	0,13	0,26	0,36	0,59	0,73
6,0	139	1,09	0,83	0,53	0,35	0,28	0,81	0,58	0,18	0,37	0,53	0,88	1,08
7,0	159	1,42	1,08	0,69	0,45	0,40	1,25	0,83	0,24	0,49	0,71	1,18	1,47
8,0	178	1,77	1,34	0,84	0,54	0,50	1,65	1,05	0,29	0,60	0,88	1,46	1,82
9,0	197	2,16	1,63	1,00	0,63	0,57	1,93	1,25	0,33	0,69	1,03	1,74	2,18
10,0	219	2,64	1,98	1,20	0,74	0,66	2,35	1,44	0,33	0,82	1,26	2,14	2,71
11,0	239	3,06	2,28	1,36	0,83	0,73	2,73	1,72	0,38	0,89	1,38	2,38	3,03
12,0	281	4,17	3,07	1,78	1,03	0,87	3,50	2,33	0,44	1,06	1,70	3,03	3,90
13,0	319	5,02	3,68	2,09	1,18	1,02	4,37	2,90	0,49	1,21	1,99	3,64	4,69
14,0	358	5,90	4,30	2,40	1,33	1,13	5,12	3,43	0,56	1,34	2,27	4,22	5,48
15,0	399	6,62	4,81	2,65	1,45	1,33	6,27	4,01	0,58	1,50	2,60	4,91	6,41
16,0	440	7,77	5,62	3,05	1,64	1,41	6,84	4,73	0,68	1,60	2,82	5,38	7,07
17,0	484	8,77	6,33	3,41	1,80	1,57	7,81	5,35	0,78	1,75	3,15	6,06	7,98
18,0	521	9,74	7,03	3,76	1,97	1,71	8,67	5,99	0,88	1,90	3,49	6,74	8,92
19,0	562	10,60	7,64	4,08	2,12	1,88	9,64	6,51	0,97	2,06	3,84	7,43	9,83
20,0	601	11,88	8,58	4,57	2,35	2,00	10,34	7,32	1,11	2,23	4,16	8,06	10,67
21,0	639	12,88	9,30	4,97	2,54	2,20	11,49	8,22	1,27	2,39	4,46	8,63	11,41
22,0	685	14,27	10,32	5,53	2,80	2,37	12,38	9,04	1,38	2,62	4,89	9,42	12,44

Tabela 0.3 - Laje LC-D

Passo de Carga	Carga Total (KN)	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1,00	47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	59	0,08	0,07	0,07	0,04	0,05	0,13	-0,14	-0,03	0,11	0,16	0,28	0,35
3,00	81	0,29	0,23	0,13	0,10	0,07	0,15	0,04	0,01	0,14	0,21	0,38	0,47
4,00	99	0,41	0,33	0,19	0,14	0,12	0,32	0,30	0,08	0,17	0,22	0,40	0,47
5,00	121	0,62	0,48	0,28	0,20	0,20	0,60	0,48	0,14	0,23	0,31	0,56	0,63
6,00	139	0,81	0,64	0,37	0,25	0,26	0,85	0,73	0,20	0,26	0,37	0,67	0,73
7,00	160	1,12	0,87	0,50	0,33	0,34	1,22	1,00	0,26	0,32	0,46	0,85	0,90
8,00	179	1,44	1,12	0,63	0,40	0,38	1,41	1,23	0,30	0,37	0,54	1,00	1,09
9,00	198	1,80	1,38	0,76	0,46	0,43	1,71	1,46	0,34	0,42	0,64	1,21	1,34
10,00	218	2,16	1,65	0,90	0,53	0,49	2,10	1,77	0,38	0,47	0,73	1,44	1,58
11,00	241	2,59	1,96	1,05	0,59	0,56	2,55	2,04	0,42	0,52	0,85	1,68	1,88
12,00	283	3,50	2,62	1,37	0,73	0,67	3,33	2,73	0,51	0,61	1,04	2,07	2,38
13,00	319	4,26	3,16	1,63	0,85	0,76	3,95	3,28	0,58	0,70	1,23	2,49	2,91
14,00	360	5,03	3,72	1,89	0,96	0,88	4,78	3,93	0,65	0,79	1,44	2,92	3,50
15,00	401	6,12	4,50	2,28	1,13	0,93	5,29	4,61	0,74	0,88	1,66	3,37	4,09
16,00	440	6,83	5,00	2,52	1,23	1,06	6,12	5,16	0,81	0,98	1,89	3,85	4,75
17,00	483	7,74	5,65	2,83	1,37	1,17	6,93	5,93	0,91	1,07	2,09	4,26	5,32
18,00	522	8,52	6,21	3,10	1,48	1,28	7,68	6,49	0,98	1,17	2,33	4,73	5,96
19,00	561	9,38	6,83	3,41	1,62	1,39	8,50	7,21	1,07	1,27	2,57	5,21	6,61
20,00	601	10,03	7,29	3,64	1,72	1,56	9,58	7,68	1,13	1,43	2,91	5,86	7,48

Tabela 0.4 – Laje LR-D

Passo de Carga	Carga Total (KN)	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0,0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,0	64	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,0	84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,0	102	0,13	0,09	0,06	0,03	0,03	0,08	0,03	0,02	0,04	0,07	0,14	0,19
4,0	123	0,38	0,28	0,17	0,11	0,08	0,17	0,33	0,11	0,06	0,07	0,17	0,20
5,0	145	0,69	0,52	0,32	0,21	0,13	0,29	0,59	0,20	0,10	0,12	0,26	0,31
6,0	165	1,02	0,77	0,46	0,30	0,21	0,52	0,86	0,29	0,16	0,20	0,43	0,51
7,0	185	1,38	1,04	0,62	0,40	0,29	0,78	1,22	0,39	0,20	0,27	0,57	0,68
8,0	206	1,68	1,28	0,75	0,50	0,37	1,05	1,57	0,50	0,26	0,32	0,69	0,83
9,0	227	2,07	1,57	0,90	0,59	0,45	1,39	1,94	0,59	0,30	0,38	0,84	1,02
10,0	249	2,51	1,89	1,08	0,69	0,57	1,91	2,35	0,70	0,37	0,51	1,08	1,36
11,0	292	2,93	2,20	1,23	0,78	0,63	2,20	2,71	0,79	0,41	0,58	1,24	1,56
12,0	332	3,81	2,84	1,58	0,96	0,83	3,18	3,62	1,00	0,50	0,75	1,63	2,08
13,0	373	4,76	3,54	1,93	1,16	0,98	3,92	4,52	1,22	0,59	0,92	1,99	2,58
14,0	415	5,67	4,20	2,28	1,33	1,13	4,69	5,32	1,40	0,67	1,08	2,34	3,04
15,0	456	6,63	4,88	2,63	1,51	1,29	5,52	6,14	1,59	0,76	1,27	2,75	3,59
16,0	499	7,41	5,43	2,94	1,67	1,50	6,58	7,03	1,82	0,86	1,49	3,17	4,15
17,0	539	9,34	6,87	3,70	2,07	1,89	8,44	8,88	2,26	1,08	1,93	4,02	5,37
18,0	583	10,58	7,79	4,26	2,33	2,08	9,39	9,89	2,50	1,21	2,21	4,53	6,04
19,0	623	11,34	8,38	4,58	2,50	2,27	10,47	10,69	2,69	1,33	2,47	4,99	6,64

Tabela 0.5 – Laje LC-S2-6

Passo de Carga	Carga Total (KN)	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	59	0,15	0,11	0,09	0,08	0,10	0,14	0,18	0,08	0,09	0,11	0,14	0,23
3	78	0,38	0,28	0,23	0,22	0,26	0,43	0,61	0,27	0,19	0,19	0,18	0,28
4	98	0,71	0,54	0,46	0,44	0,51	0,82	1,03	0,53	0,40	0,40	0,40	0,70
5	117	1,17	0,90	0,77	0,74	0,80	1,18	1,50	0,84	0,73	0,69	0,70	1,19
6	138	1,64	1,23	1,04	1,02	1,05	1,52	1,94	1,12	0,98	0,93	0,94	1,60
7	159	3,32	1,61	1,34	1,25	1,23	1,73	2,31	1,33	1,15	1,10	1,11	1,98
8	178	3,62	1,73	1,49	1,36	1,37	2,13	2,63	1,47	1,21	1,15	1,17	2,21
9	197	4,16	2,03	1,69	1,49	1,48	2,43	2,97	1,60	1,29	1,23	1,28	2,58
10	217	4,57	2,27	1,84	1,59	1,58	2,92	3,37	1,78	1,35	1,30	1,37	2,76
11	240	5,12	2,57	2,03	1,70	1,69	3,40	3,78	1,91	1,43	1,39	1,50	3,00
12	280	6,83	3,37	2,53	1,96	1,90	4,35	4,74	2,16	1,47	1,61	1,84	3,70
13	319	7,74	3,87	2,84	2,13	2,10	5,46	5,65	2,38	1,59	1,81	2,18	4,35
14	358	8,97	4,56	3,24	2,34	2,29	6,54	6,80	2,63	1,75	1,99	2,47	4,98
15	398	10,09	5,18	3,61	2,53	2,48	7,71	7,82	2,85	1,86	2,18	2,80	5,59
16	442	11,23	5,83	3,98	2,72	2,66	8,71	8,98	3,09	1,97	2,33	3,05	6,16
17	473	12,39	6,46	4,35	2,90	2,86	9,83	10,16	3,36	2,01	2,43	3,26	6,41
18	527	13,41	7,18	4,81	3,13	3,05	10,78	11,56	3,63	2,17	2,61	3,58	6,84
19	561	14,16	8,02	5,30	3,40	3,26	11,87	13,07	3,94	2,24	2,78	3,92	7,28
20	601	14,66	8,60	5,66	3,73	3,56	13,43	14,72	4,31	2,37	2,96	4,11	7,85
21	642	15,86	9,26	6,15	3,95	3,79	14,52	16,31	4,65	2,42	3,02	4,26	8,13
22	678	17,05	9,95	6,57	4,22	4,02	15,51	18,02	5,03	2,47	3,07	4,36	8,26
23	721	18,70					16,59	19,78					8,57
24	761	19,72					18,56	21,86					8,97
25	796	21,37					19,35	23,57					9,03
26	841	22,87					20,87	25,18					9,49
27	881	24,67					22,91	27,36					10,01
28	930	27,29					24,13	28,73					10,86
29	971	28,77					25,95	30,13					11,63
30	1004	31,95					27,07	31,98					11,67
31	1038	33,79					30,29	34,18					13,07
32	1071	36,48					31,13	35,24					14,47

Tabela 0.6 – Laje LC-S2-8

Passo de Carga	Carga Total (KN)	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	89	0,19	0,23	0,16	0,10	0,10	0,55	-0,15	0,01	0,23	0,38	0,54	1,06
3	123	0,43	0,42	0,28	0,17	0,19	1,20	0,71	0,13	0,22	0,32	0,44	0,89
4	167	1,02	0,77	0,49	0,28	0,26	1,72	1,33	0,22	0,29	0,42	0,60	1,20
5	199	1,67	1,13	0,70	0,38	0,33	2,30	1,92	0,30	0,36	0,54	0,80	1,57
6	240	2,53	1,58	0,96	0,50	0,37	2,66	2,67	0,39	0,42	0,63	0,95	1,86
7	281	3,36	2,00	1,19	0,61	0,44	3,19	2,99	0,43	0,54	0,85	1,32	2,58
8	320	3,99	2,31	1,37	0,68	0,52	3,82	3,63	0,50	0,59	0,94	1,47	2,88
9	360	4,72	2,68	1,57	0,77	0,59	4,40	4,18	0,55	0,67	1,08	1,72	3,33
10	399	5,49	3,06	1,78	0,86	0,64	4,84	4,59	0,60	0,75	1,23	1,97	3,79
11	440	6,21	3,43	1,98	0,94	0,70	5,40	5,08	0,65	0,83	1,36	2,21	4,23
12	483	6,96	3,81	2,19	1,03	0,77	5,98	5,62	0,71	0,91	1,50	2,46	4,69
13	520	7,42	4,04	2,31	1,08	0,86	6,76	6,06	0,76	0,97	1,62	2,67	5,08
14	561	8,09	4,38	2,50	1,15	0,93	7,38	6,59	0,82	1,05	1,77	2,92	5,55
15	601	8,73	4,71	2,68	1,22	1,02	8,17	7,12	0,88	1,13	1,92	3,18	6,03
16	651	10,68	5,65	3,20	1,45	1,04	8,51	7,85	0,97	1,25	2,13	3,55	6,58
17	677	10,68	5,78	3,20	1,44	1,15	9,56	8,35	1,03	1,31	2,25	3,76	6,98
18	727	11,34					11,15	9,24					7,73
19	762	11,49					12,31	9,88					8,28
20	805	12,23					13,48	10,75					9,03
21	839	13,01					14,53	11,45					9,67
22	880	14,10					15,90	12,42					10,54
23	921	14,79					17,36	13,06					11,37
24	921	14,97					19,26	13,67					12,19
25	962	15,09					19,64	13,78					12,31
26	975	16,08					19,74	13,94					12,46
27	989	17,26					19,96	14,19					12,67
28	1003	18,32					20,40	14,86					13,29
29	1023	18,58					20,81	15,23					13,62
30	1040	20,43					20,73	15,62					13,91
31	1054	24,26					19,27	16,47					14,68
32	1063	27,74					18,28	17,29					15,50
33	1083	29,74					17,29	18,22					16,67

Tabela 0.7 – Laje LR-S2-6

Passo de Carga	Carga Total (KN)	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	58	0,11	0,07	0,06	0,04	0,03	0,08	0,09	-0,02	0,03	0,05	0,04	0,07
3	78	0,31	0,25	0,18	0,16	0,14	0,28	0,17	0,07	0,20	0,28	0,33	0,46
4	99	0,52	0,41	0,31	0,28	0,28	0,58	0,29	0,11	0,39	0,54	0,68	0,94
5	118	0,80	0,60	0,46	0,38	0,42	0,81	0,30	0,19	0,57	0,78	0,98	1,34
6	138	1,07	0,80	0,62	0,50	0,57	1,07	0,36	0,24	0,77	1,06	1,34	1,82
7	158	1,29	0,98	0,76	0,61	0,71	1,37	0,47	0,30	0,95	1,31	1,66	2,25
8	179	1,63	1,21	0,93	0,75	0,86	1,73	0,53	0,34	1,24	1,63	2,08	2,82
9	198	2,19	1,56	1,17	0,91	1,03	2,32	0,57	0,39	1,43	1,91	2,45	3,34
10	219	2,76	1,92	1,42	1,08	1,21	2,87	0,78	0,47	1,65	2,23	2,86	3,98
11	241	3,25	2,19	1,64	1,21	1,40	3,63	1,28	0,57	1,82	2,45	3,16	4,42
12	284	4,53	2,99	2,15	1,55	1,73	4,76	1,51	0,66	2,31	3,21	4,31	6,57
13	322	5,59	3,58	2,51	1,73	2,02	6,18	2,15	0,78	2,62	3,71	5,01	7,73
14	358	6,63	4,16	2,89	1,93	2,20	7,07	2,69	0,88	2,91	4,18	5,71	8,91
15	401	7,60	4,72	3,20	2,10	2,45	8,34	2,92	0,92	3,20	4,71	6,50	10,35
16	441	8,89	5,43	3,60	2,29	2,62	9,32	3,52	1,00	3,47	5,17	7,21	11,79
17	479	10,10	6,01	3,96	2,45	2,75	10,16	3,86	1,05	3,63	5,51	7,75	12,90
18	521	10,98	6,46	4,20	2,54	2,92	11,36	4,63	1,16	3,76	5,78	8,20	13,81
19	561	12,19	7,04	4,53	2,68	3,07	12,39	5,28	1,26	3,92	6,10	8,73	14,87
20	599	13,09	7,53	4,80	2,78	3,23	13,57	5,91	1,35	4,07	6,41	9,23	15,78
21	642	14,29	8,20	5,19	2,95	3,39	14,61	6,69	1,47	4,24	6,77	9,82	16,79
22	684	15,24					15,78	7,52					17,70
23	722	16,59					16,75	8,29					18,64
24	761	17,82					17,92	9,12					19,71
25	807	19,06					19,37	10,04					20,91
26	837	19,97					20,12	10,65					21,71
27	853	20,57					20,70	10,94					22,09
28	872	20,94					21,88	11,27					22,53
29	886	21,13					22,87	11,52					22,88
30	899	21,29					24,10	11,92					23,41
31	921	21,44					25,89	12,49					24,24
32	949	21,67					28,38	13,20					25,39
33	974	21,98					30,18	13,80					26,26
34	995	22,33					32,79	14,62					27,69
35	1006	22,63					35,40	15,02					29,95
36	456	24,71					35,56	29,38					38,68

Tabela 0.8 - Laje LR-S2-8

Passo de Carga	Carga Total (KN)	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	58	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	0,02	0,04	0,05	0,10
3	79	0,15	0,14	0,08	0,06	0,05	0,19	0,08	0,02	0,08	0,13	0,19	0,35
4	98	0,15	0,17	0,12	0,06	0,09	0,36	0,20	0,06	0,11	0,16	0,22	0,42
5	119	0,32	0,30	0,20	0,09	0,13	0,49	0,36	0,09	0,16	0,24	0,33	0,61
6	139	0,44	0,36	0,25	0,10	0,19	0,74	0,49	0,13	0,21	0,31	0,42	0,78
7	158	0,50	0,43	0,29	0,13	0,25	0,98	0,65	0,17	0,25	0,37	0,50	0,96
8	183	0,81	0,62	0,41	0,20	0,32	1,28	0,98	0,23	0,33	0,48	0,66	1,23
9	198	0,97	0,70	0,46	0,23	0,37	1,53	1,10	0,24	0,36	0,54	0,76	1,41
10	218	1,52	1,02	0,65	0,32	0,46	2,17	1,41	0,29	0,43	0,67	0,96	1,78
11	241	1,96	1,28	0,80	0,40	0,54	2,73	1,79	0,35	0,49	0,79	1,15	2,12
12	280	2,68	1,74	1,06	0,52	0,69	3,78	2,55	0,45	0,60	1,01	1,51	2,81
13	321	3,57	2,25	1,35	0,65	0,84	4,86	3,25	0,54	0,74	1,30	2,00	3,72
14	363	4,53	2,79	1,65	0,78	1,03	6,16	4,26	0,67	0,87	1,58	2,49	4,68
15	400	5,35	3,24	1,90	0,89	1,18	7,25	5,14	0,78	0,95	1,76	2,80	5,27
16	443	6,17	3,68	2,13	0,98	1,37	8,63	6,16	0,92	1,06	2,00	3,22	6,08
17	479	7,30	4,27	2,46	1,12	1,53	9,82	7,06	1,04	1,18	2,28	3,69	6,97
18	521	8,43	4,87	2,79	1,26	1,66	10,83	7,85	1,15	1,30	2,54	4,14	7,83
19	560	9,21	5,28	3,02	1,36	1,83	12,05	8,65	1,25	1,41	2,78	4,57	8,62
20	600	10,21	5,83	3,33	1,49	1,97	13,13	9,52	1,37	1,53	3,05	5,02	9,48
21	640	11,10	6,32	3,61	1,60	2,16	14,53	10,43	1,50	1,66	3,36	5,53	10,42
22	681	12,22					15,74	11,46					11,21
23	724	13,05					16,91	12,37					12,04
24	766	14,42					18,06	13,49					13,03
25	804	15,16					19,68	14,34					13,99
26	839	16,14					21,14	15,35					14,81
27	879	17,15					22,85	16,40					15,81
28	926	18,73					24,69	17,78					17,11
29	943	19,87					25,47	18,24					17,60



## C.2 – DEFORMAÇÕES NO CONCRETO

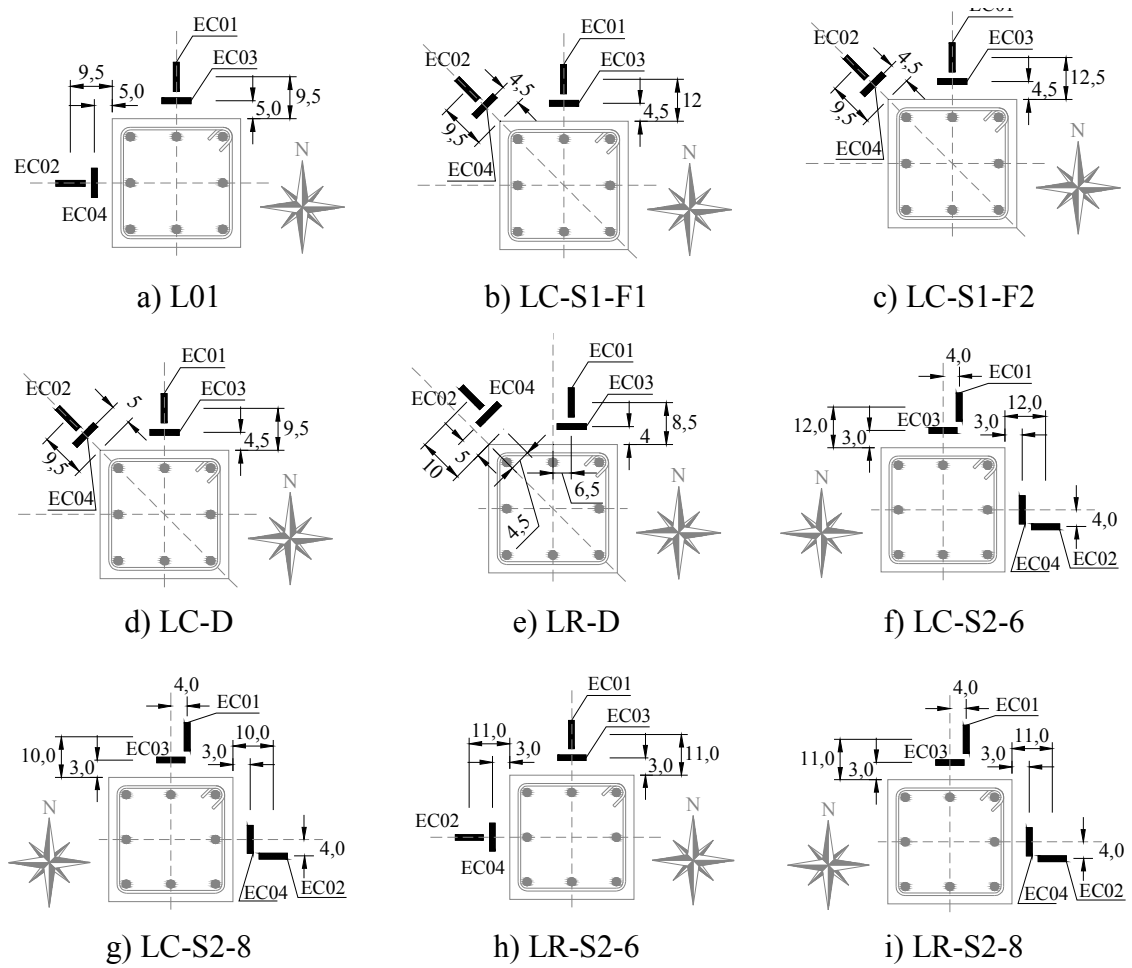


Figura 0.2 – Posicionamento dos extensômetros de concreto na face inferior da laje

Tabela 0.9 – Laje LC-S1-F1

Passo de Carga	Carga Total	EC01	EC02	EC03	EC04
		µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
1	46	0,2	-0,2	-0,2	0,2
2	59	-6,7	-8,7	-8,0	-4,8
3	78	-21,4	-32,8	-20,0	-14,5
4	98	-44,1	-59,9	-35,6	-24,8
5	118	-59,9	-91,2	-51,4	-39,7
6	144	-88,0	-140,1	-72,1	-64,1
7	158	-104,7	-166,0	-90,3	-78,8
8	178	-125,9	-211,5	-110,2	-102,4
9	203	-154,6	-255,8	-145,4	-131,4
10	222	-180,5	-306,1	-164,0	-168,3
11	237	-200,7	-342,9	-175,5	-201,4
12	278	-260,2	-428,1	-214,5	-280,2
13	319	-323,1	-500,7	-261,6	-354,8
14	357	-390,7	-562,4	-303,8	-411,1
15	398	-472,2	-633,9	-352,5	-474,5
16	439	-533,3	-693,1	-397,3	-525,7
17	480	-585,6	-734,5	-444,4	-580,6
18	519	-624,5	-761,1	-497,2	-634,8
19	561	-663,0	-791,9	-546,4	-682,6
20	600	-698,9	-814,2	-583,6	-712,9
21	642	-811,6	-781,3	-603,8	-759,3
22	689	-848,4	-636,2	-636,9	-837,4
23	721	-868,8	-353,2	-671,3	-916,8
24	761	-911,3	-230,1	-768,9	-829,3
25	786	-870,7	-216,3	-799,0	-690,1
26	793	-863,5	-204,9	-799,5	-669,5
27	801	-846,1	-195,2	-816,5	-661,0
28	802	-535,8	-72,3	-849,5	-543,6
29	799	-1158,0	-76,5	-579,2	-421,9
30	822	-1259,3	-79,5	-330,0	-374,8

Tabela 0.10 – Laje LC-S1-F2

Passo de Carga	Carga Total	EC1	EC2	EC3	EC4
		$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$
1	37	0,00	-0,23	0,00	0,00
2	58	0,23	-0,69	0,46	0,00
3	78	-12,86	-25,26	-5,28	-18,37
4	99	-33,53	-74,18	-16,54	-50,76
5	118	-46,85	-96,00	-22,74	-70,05
6	139	-71,20	-132,52	-32,61	-104,27
7	159	-96,46	-164,21	-42,95	-144,23
8	178	-121,95	-197,97	-52,36	-181,67
9	197	-149,05	-232,19	-61,09	-224,15
10	219	-185,80	-275,37	-74,18	-278,12
11	239	-209,68	-307,52	-78,09	-319,46
12	281	-268,02	-369,30	-90,03	-417,30
13	319	-313,26	-415,00	-109,55	-495,62
14	358	-353,91	-454,51	-131,83	-570,26
15	399	-380,33	-485,51	-168,34	-642,83
16	440	-416,84	-517,67	-186,49	-713,57
17	484	-468,98	-542,93	-215,43	-796,94
18	521	-525,24	-559,00	-229,21	-879,16
19	562	-523,41	-561,07	-234,26	-961,61
20	601	-467,60	-524,78	-221,63	-1047,27
21	639	-401,45	-429,93	-227,37	-1103,54
22	685	-317,86	-353,91	-246,89	-1113,19
23	720	-62,93	-188,56	-224,84	-894,78
24	770	277,44	-113,22	-314,87	-720,69
25	773	412,94	-93,70	-326,81	-719,77
26	782	587,94	-84,29	-287,54	-716,78
27	789	1125,36	-68,67	-186,72	-691,75
28	804		-69,82	94,62	-630,66
29	818		-94,62	518,81	-569,34
30	670		-91,64	1397,51	-261,59
31	607		-73,26	1344,92	-247,58
32	521		-36,98	1307,71	-233,57
33	434		-33,30		-184,19

Tabela 0.11 – Laje LC-D

Passo de Carga	Carga Total	EC01	EC02	EC03	EC04
		$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$
1	47	-1E-13	-0,2297	9E-14	0,22967
2	59	-9,6459	-6,89	-13,78	-11,483
3	81	-27,56	-23,196	-25,952	-31,005
4	99	-33,301	-29,856	-37,895	-44,325
5	121	-51,675	-47,081	-60,172	-71,656
6	139	-69,359	-63,617	-76,249	-97,837
7	160	-86,584	-86,354	-99,445	-141,47
8	179	-107,71	-110,93	-121,26	-180,75
9	198	-137,11	-139,64	-156,63	-222,09
10	218	-171,1	-174,55	-189,01	-268,94
11	241	-204,86	-211,29	-221,17	-320,61
12	283	-265,72	-279,73	-277,21	-422,12
13	319	-328,65	-340,13	-329,57	-508,25
14	360	-396,17	-397,09	-384,46	-601,95
15	401	-459,79	-443,02	-440,73	-708,29
16	440	-521,34	-474,03	-504,34	-789,82
17	483	-576	-494,47	-572,78	-877,32
18	522	-619,41	-510,78	-635,94	-934,74
19	561	-635,02	-515,6	-716,33	-1001,1
20	601	-633,65	-518,35	-810,95	-1070,7
21	644	-638,47	-500,9	-911,54	-1184,4
22	683	-664,42	-504,8	-972,4	-1253,5
23	726	-672,92	-477,93	-1047	-1313,2
24	764	-703,69	-453,59	-1175,7	-1404,6
25	769	-711,73	-428,56	-1206	-1432,7
26	778	-710,35	-427,64	-1227,3	-1458,6
27	785	-710,12	-425,34	-1242,9	-1478,8
28	792	-735,39	-419,83	-1274,6	-1530,5
29	820	-737,68	-404,44	-1345,8	-1546,3
30	860	-714,72	-385,38	-1480,4	-1581,7
31	869	-708,29	-377,57	-1586,5	-1616,6
32	877	-633,42	-300,17	-1728,2	-1661,9
33	881	-527,31	-212,9	-1890,4	-1720,9
34	888	-388,36	-90,718	-2057,6	-1717,4
35	898	-213,13	1,60766	-2101,4	-1685,5
36	882	59,9426	279,273	-1524,3	-1680,5
37	467	5,97129	67,5215	-815,08	-794,41
38	390	6,66029	66,8325	-742,05	-740,21

Tabela 0.12 – Laje LR-D

Passo de Carga	Carga Total	EC1	EC2	EC3	EC4
		$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	62	0,00	0,00	0,00	0,00
2	81	0,00	0,23	0,00	-0,46
3	99	-15,39	-15,39	-21,59	-9,88
4	119	-28,94	-34,91	-47,31	-32,38
5	140	-50,30	-56,27	-85,67	-57,19
6	159	-73,03	-81,76	-136,65	-82,68
7	178	-100,36	-110,47	-186,26	-108,86
8	198	-129,76	-137,34	-225,76	-138,49
9	219	-164,21	-185,80	-269,86	-171,79
10	240	-201,88	-241,38	-318,09	-206,47
11	281	-234,72	-285,24	-360,34	-237,47
12	320	-284,78	-377,34	-438,89	-294,89
13	359	-314,64	-455,89	-524,10	-367,92
14	400	-338,07	-526,16	-599,43	-435,44
15	439	-360,34	-585,19	-674,76	-512,61
16	481	-378,03	-624,00	-745,49	-593,91
17	520	-398,47	-600,57	-928,54	-849,76
18	562	-404,90	-584,50	-1054,16	-1014,43
19	601	-402,83	-589,32	-1162,79	-1118,70
20	646	-362,87	-588,86	-1336,42	-1277,40
21	678	-337,38	-587,71	-1465,49	-1378,45
22	723	-296,50	-576,69	-1660,48	-1561,03
23	768	-263,20	-547,29	-1829,05	-1721,11
24	786	-222,55	-530,53	-1915,87	-1747,98
25	800	-113,68	-357,36	-2066,30	-1926,66
26	807	-126,32	-194,53	-796,94	-420,29
27	827	-134,35	-189,93	-839,89	-402,14
28	436	-132,75	-173,63	-844,71	-371,37
29	327	-129,53	-157,78	-846,09	-352,31
30	323	-124,25	-145,61	-841,03	-353,91
31	318	-116,90	-132,06	-828,40	-353,68
32	330	-109,78	-118,05	-813,01	-353,00

Tabela 0.13 – Laje LC-S2-6

Passo de Carga	Carga Total	EC01	EC02	EC03	EC04
		µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
1,00	41,04	0,46	-15,62	0,00	-0,46
2,00	59,14	-17,00	-31,92	-16,31	-16,08
3,00	77,64	-21,36	-42,95	-28,02	-29,40
4,00	97,54	-33,30	-56,73	-46,16	-47,31
5,00	116,64	-45,01	-75,10	-64,77	-65,00
6,00	137,84	-57,42	-92,78	-88,88	-85,89
7,00	158,84	-71,43	-105,65	-115,29	-105,42
8,00	177,84	-78,09	-125,17	-150,20	-131,14
9,00	197,24	-91,41	-143,08	-196,82	-156,63
10,00	217,24	-106,11	-175,00	-237,24	-184,19
11,00	240,14	-133,44	-230,35	-275,60	-216,34
12,00	279,74	-206,01	-268,25	-361,72	-286,85
13,00	319,24	-265,72	-327,73	-436,13	-359,20
14,00	358,44	-314,64	-369,30	-517,21	-428,10
15,00	398,34	-354,83	-401,22	-597,36	-492,63
16,00	441,64	-389,51	-463,69	-685,78	-565,67
17,00	473,44	-412,94	-536,04	-765,70	-628,59
18,00	526,84	-446,47	-536,04	-850,68	-703,69
19,00	561,44	-481,15	-578,07	-952,88	-777,42
20,00	600,94	-505,72	-642,83	-1076,67	-889,95
21,00	641,74	-535,58	-686,70	-1172,67	-965,97
22,00	678,14	-553,95	-722,07	-1280,15	-1043,14
23,00	721,04	-569,34	-772,36	-1417,49	-1127,66
24,00	760,64	-581,74	-821,05	-1565,40	-1257,88
25,00	796,34	-594,83	-828,63	-1691,02	-1333,44
26,00	840,74	-608,84	-837,13	-1825,38	-1428,06
27,00	880,94	-593,91	-827,94	-2048,38	-1592,27
28,00	930,44	-580,36	-825,19	-1962,49	-1711,46
29,00	971,44	-542,70	-808,42	-1097,11	-1882,11
30,00	1004,44	-530,30	-769,15	-837,59	-1996,02
31,00	1038,14	-480,92	-644,67		-2232,80
32,00	1071,34	-432,69	-567,04		-1769,80
33,00	1082,04	-418,45	-555,10		-1701,82
34,00	1086,34	-406,97	-530,99		-1638,20
35,00	1088,84	-406,74	-502,74		-1618,45
36,00	1084,84	-380,33	-388,13		-1569,30
37,00	1071,34	-310,51	2,07		-1491,44
38,00	1057,74	-204,40	572,10		-1451,94
39,00	1049,84	-130,91	1258,56		-1444,82
40,00	1052,54	-86,35	2014,62		-1439,77
41,00	1042,94	91,41			-1453,55
42,00	1046,94	206,70			-1454,24
43,00	1050,44	298,33			-1454,70
44,00	1046,24	480,92			-1446,20
45,00	1046,04	685,32			-1392,69
47,00	1023,34	1113,19			-1327,92
48,00	1014,44	1180,48			-1307,02
49,00	996,74	969,65			-1084,48
50,00	532,04	1069,78			-1015,12
51,00	506,84	1083,33			-990,09

Tabela 0.14 – Laje LC-S2-8

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EC1	EC2	EC3	EC4
		µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	47	-0,23	2,07	0,92	0,46
2	89	-35,37	-25,26	-74,64	-60,86
3	123	-30,32	-57,19	-103,58	-101,74
4	167	-45,93	-85,89	-156,86	-143,54
5	199	-62,93	-115,98	-214,51	-184,19
6	240	-80,61	-138,72	-264,80	-217,72
7	281	-104,04	-167,66	-334,85	-256,54
8	320	-115,52	-196,36	-384,00	-293,74
9	360	-133,21	-218,64	-442,79	-331,87
10	399	-150,20	-240,23	-497,68	-364,48
11	440	-165,59	-260,67	-553,49	-401,00
12	483	-182,58	-279,73	-610,68	-442,11
13	520	-189,47	-296,27	-661,89	-488,50
14	561	-199,35	-308,67	-720,69	-535,35
15	601	-203,48	-327,04	-777,65	-583,35
16	651	-220,71	-346,11	-860,33	-610,68
17	677	-225,30	-360,57	-898,45	-659,83
18	727	-229,89	-374,35	-981,82	-740,67
19	762	-233,11	-375,96	-1036,25	-791,66
20	805	-236,33	-382,85	-1111,35	-855,27
21	839	-237,01	-389,05	-1180,48	-907,41
22	880	-244,36	-396,40	-1272,80	-965,97
23	921	-252,40	-398,24	-1354,11	-1019,94
24	921	-248,96	-386,76	-1427,37	-1107,44
25	962	-243,22	-386,30	-1442,76	-1116,86
26	975	-233,80	-391,12	-1480,19	-1112,73
27	989	-222,09	-396,40	-1530,03	-1116,40
28	1003	-228,06	-386,53	-1591,58	-1147,87
29	1023	-219,33	-375,73	-1621,21	-1169,68
30	1040	-208,31	-373,21	-1691,02	-1168,77
31	1054	-195,67	-334,16	-1939,52	-1165,55
32	1063	-162,83	-297,19	-2333,17	-1181,40
33	1083	-132,06	-255,39	-2035,52	-1198,85
34	1092	-113,00	-220,48	-1440,92	-1210,56
35	1105	-105,42	-185,11	-610,45	-1266,83
36	1150	-84,06	-185,80	-264,34	-1371,10
37	1170	-27,10	-109,78	-131,60	-1494,20
38	1181	5,74	-38,81	-82,68	-1412,21
39	1179	19,06	24,57	-5,74	-1398,20
40	1184	60,17	64,77	52,36	-1386,26
41	1171	165,82	148,13	145,15	-1409,68
42	1176	378,03	324,75	215,20	-1434,26
43	1148	531,90	841,72	356,67	-1420,02
44	1130	1239,50	-8690,30	579,22	-1424,15
45	1084	-9031,35	-8690,30	800,61	-770,07

Tabela 0.15 – Laje LR-S2-6

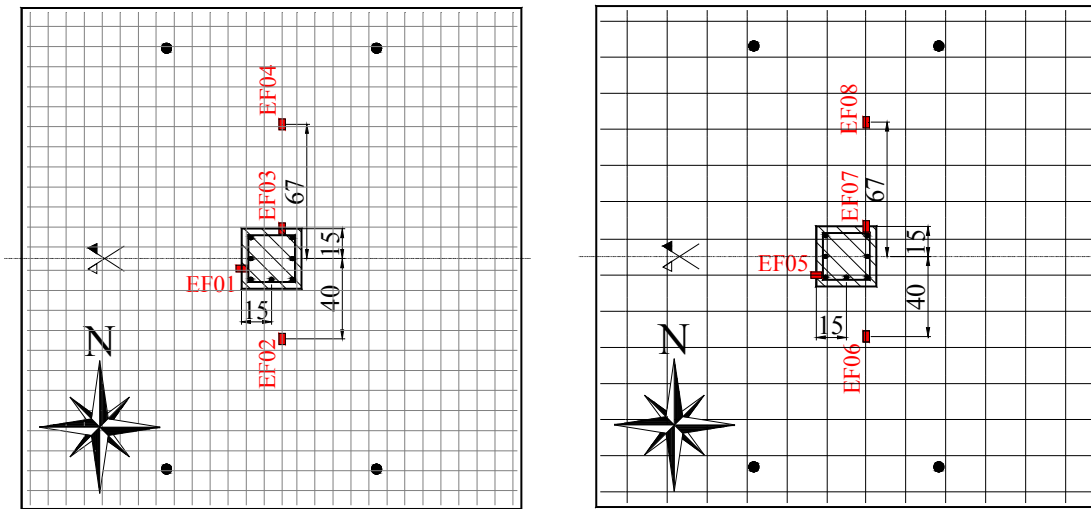
Passo de Carga	Carga Total (KN)	EC1	EC3	EC4
		$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$
0	0	0,00	0,00	0,00
1	45	-0,46	-0,69	0,00
2	58	-5,51	-6,89	-5,74
3	78	-17,68	-20,44	-19,06
4	99	-30,55	-36,29	-33,76
5	118	-42,95	-51,90	-50,07
6	138	-54,43	-70,05	-67,75
7	158	-65,45	-87,50	-83,60
8	179	-81,99	-113,22	-102,89
9	198	-90,03	-152,96	-118,28
10	219	-106,56	-186,03	-136,88
11	241	-124,25	-211,98	-156,40
12	284	-197,51	-269,86	-204,86
13	322	-231,73	-325,67	-237,47
14	358	-259,52	-376,88	-286,16
15	401	-278,35	-435,22	-326,12
16	441	-301,09	-501,13	-383,08
17	479	-312,80	-573,70	-431,54
18	521	-333,93	-646,28	-479,31
19	561	-355,52	-731,94	-536,50
20	599	-374,81	-812,33	-585,19
21	642	-392,96	-896,15	-652,94
22	684	-418,68	-972,63	-711,50
23	722	-446,01	-1051,41	-756,29
24	761	-462,55	-1137,99	-818,07
25	807	-433,38	-1232,84	-886,51
26	837	-389,28	-1289,57	-943,23
27	853	-364,94	-1321,49	-971,94
28	872	-330,95	-1356,86	-991,69
29	886	-303,62	-1382,12	-1005,01
30	899	-280,19	-1401,65	-1022,47
31	921	-171,56	-1358,01	-1060,59
32	949	-64,77	-1274,18	-1106,99
33	974	37,67	-1241,80	-1157,97
34	995	367,46	-1315,98	-1283,14
35	1006	1226,41	-1120,54	-1386,72
36	456		-381,24	
37	469		-394,11	



Tabela 0.16 – LR-S2-8

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EC1	EC2	EC3	EC4
		$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$
1	49	-2,76	-5,51	-3,67	-3,90
2	58	-6,66	-5,51	-8,96	-5,05
3	79	-21,36	-19,29	-28,25	-19,52
4	98	-26,64	-32,61	-41,80	-33,76
5	119	-37,67	-44,56	-63,39	-49,84
6	139	-47,08	-60,40	-83,37	-71,66
7	158	-56,04	-73,72	-101,51	-91,41
8	183	-75,33	-90,49	-134,35	-125,86
9	198	-83,14	-108,40	-157,32	-143,77
10	218	-94,39	-157,78	-227,14	-176,15
11	241	-115,52	-196,59	-277,21	-211,52
12	280	-154,33	-272,38	-348,86	-268,94
13	321	-182,35	-325,44	-427,18	-325,21
14	363	-211,29	-377,57	-507,56	-393,88
15	400	-229,21	-411,33	-571,87	-450,83
16	443	-257,45	-456,80	-650,64	-522,72
17	479	-286,39	-488,73	-742,28	-583,12
18	521	-320,61	-524,78	-828,86	-636,63
19	560	-347,02	-558,09	-917,74	-704,15
20	600	-388,13	-579,44	-1014,66	-767,31
21	640	-445,32	-601,03	-1129,03	-848,15
22	681	-420,98	-621,47	-1246,62	-927,39
23	724	-434,30	-639,16	-1349,51	-1012,36
24	766	-435,90	-646,74	-1477,67	-1090,68
25	804	-421,44	-663,04	-1605,82	-1194,95
26	839	-403,52	-660,98	-1731,90	-1290,49
27	879	-381,24	-632,50	-1865,57	-1404,40
28	926	-357,59	-617,57	-2025,88	-1545,19
29	943	-332,33	-594,83	-2111,31	-1601,22
30	964	-349,09	-596,44	-2177,68	-1612,02
31	969	-349,78	-591,85	-2195,37	-1628,78
32	976	-345,19	-587,02	-2210,76	-1649,68
33	980	-340,36	-584,50	-2219,25	-1660,02
34	983	-330,95	-580,59	-2234,18	-1676,33
35	990	-312,80	-586,56	-2264,96	-1716,52
36	996	-287,31	-556,02	-2333,17	-1821,93
37	1017	-219,56	-432,69	-2379,10	-2159,54
38	1041	-127,69	-273,76	-1838,47	-2297,11
39	1061	-144,46	-98,30	-1713,30	-2501,97
40	1076	-145,38	54,89	-1688,27	-2655,39
41	1087	-147,22	149,97	-1648,77	-2628,52
42	1097	-141,93	207,16	-1596,17	-2652,63
43	1108	-114,14	283,18	-1438,85	-2650,56
44	1122	-15,16	365,86	-1311,16	-2669,40
45	1135	42,95	453,82	-1207,81	-2631,50
46	1143	140,10	608,15	-1091,14	-2634,49
47	1152	287,77	1286,81	-987,79	-2582,81
48	1158	595,06	3786,49	-922,33	-2427,56
49	1161	859,41		-883,29	-2213,74
50	1163	1226,41		-840,34	-1369,95
51	1160	1498,56		-809,57	-1205,97
52	1158	1643,71		-773,28	-969,88
53	1096	1988,67		-710,12	-793,72
54	1086	2382,09		-632,27	-770,30
55	1089			-516,75	-785,00
56	1101			-344,73	-798,55
57	1108			-278,58	-808,65
58	1112			-262,05	-805,67
59	1117			-181,67	-801,99
60	1109				313,26
61	658				283,87
62	584				289,15

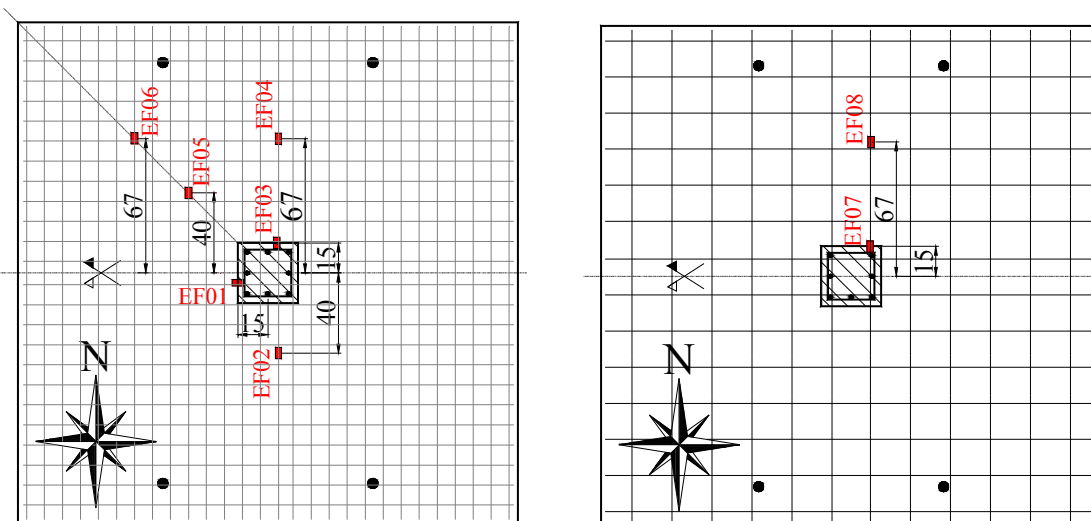
### C.3 – DEFORMAÇÕES NA ARMADURA DE FLEXÃO



a) Armadura superior

b) Armadura inferior

Figura 0.3 – Extensometria - Série 1



a) Armadura superior

b) Armadura inferior

Figura 0.4 - Extensometria - Série 2

Tabela 0.17 – LC-S1-F1

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5	EF6	EF7	EF8
		(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)
1	46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	59	0,02	0,01	0,01	0,00	-0,02	0,00	-0,01	0,00
3	78	0,04	0,01	0,05	0,00	-0,04	-0,01	-0,03	0,00
4	98	0,10	0,02	0,10	0,00	-0,08	-0,01	-0,05	0,01
5	118	0,16	0,03	0,16	0,00	-0,12	-0,01	-0,07	0,01
6	144	0,27	0,06	0,28	0,01	-0,17	-0,02	-0,10	0,01
7	158	0,37	0,08	0,35	0,02	-0,21	-0,02	-0,11	0,02
8	178	0,47	0,11	0,45	0,03	-0,26	-0,02	-0,13	0,02
9	203	0,70	0,17	0,57	0,05	-0,34	-0,03	-0,15	0,02
10	222	0,76	0,22	0,67	0,07	-0,36	-0,04	-0,17	0,02
11	237	0,80	0,26	0,74	0,08	-0,38	-0,04	-0,19	0,03
12	278	1,01	0,38	0,93	0,11	-0,45	-0,05	-0,21	0,03
13	319	1,20	0,50	1,11	0,13	-0,51	-0,07	-0,24	0,04
14	357	1,40	0,62	1,27	0,14	-0,57	-0,07	-0,25	0,04
15	398	1,57	0,73	1,42	0,15	-0,63	-0,08	-0,28	0,05
16	439	1,76	0,86	1,56	0,16	-0,68	-0,09	-0,31	0,06
17	480	1,93	1,00	1,72	0,17	-0,73	-0,10	-0,34	0,06
18	519	2,12	1,17	1,86	0,18	-0,81	-0,10	-0,37	0,07
19	561	2,27	1,34	2,01	0,18	-0,88	-0,11	-0,41	0,08
20	600	2,46	1,50	2,17	0,19	-0,95	-0,12	-0,44	0,09
21	642	2,60	1,65	2,35	0,20	-1,02	-0,12	-0,48	0,10
22	689	3,46	1,89	2,54	0,18	-1,13	-0,12	-0,52	0,11
23	721	4,18	2,01	2,74	0,18	-1,24	-0,12	-0,62	0,13
24	761	5,34	2,17	3,01	0,18	-1,26	-0,12	-0,81	0,14
25	786	4,42	2,37	3,63	0,18	-1,18	-0,12	-1,00	0,18
26	793	4,52	2,39	3,85	0,18	-1,15	-0,12	-1,07	0,19
27	801	4,04	2,40	3,96	0,18	-1,17	-0,12	-1,10	0,19
28	802	2,16	2,57	-7,61	0,14	-2,65	-0,60	-3,61	0,25
29	799	1,96	2,58	-7,61	0,32	-3,11	-0,48	-4,65	0,24
30	822	1,40	2,36	-7,61	0,40	-4,97	-0,41	-4,50	0,28

Tabela 0.18 – Laje LC-S1-F2

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5	EF6	EF7	EF8
		(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	78	0,02	0,00	0,03	0,00	-0,02	-0,01	-0,02	0,01
4	99	0,06	0,01	0,10	0,00	-0,05	-0,02	-0,06	0,00
5	118	0,09	0,02	0,14	0,00	-0,07	-0,03	-0,08	0,00
6	139	0,16	0,03	0,22	0,00	-0,11	-0,04	-0,11	0,01
7	159	0,30	0,04	0,31	0,00	-0,15	-0,05	-0,15	0,01
8	178	0,41	0,06	0,40	0,00	-0,18	-0,06	-0,18	0,01
9	197	0,48	0,07	0,47	0,01	-0,21	-0,07	-0,22	0,01
10	219	0,58	0,10	0,58	0,01	-0,25	-0,09	-0,27	0,01
11	239	0,68	0,13	0,65	0,02	-0,28	-0,10	-0,30	0,01
12	281	0,88	0,26	0,84	0,03	-0,33	-0,13	-0,37	0,01
13	319	1,09	0,39	1,02	0,04	-0,39	-0,16	-0,44	0,01
14	358	1,28	0,52	1,21	0,05	-0,45	-0,18	-0,50	0,02
15	399	1,55	0,67	1,40	0,06	-0,51	-0,20	-0,57	0,03
16	440	1,70	0,83	1,54	0,07	-0,56	-0,22	-0,63	0,04
17	484	1,93	1,03	1,72	0,09	-0,62	-0,23	-0,69	0,05
18	521	2,12	1,19	1,88	0,11	-0,68	-0,24	-0,76	0,06
19	562	2,33	1,33	2,03	0,14	-0,75	-0,24	-0,82	0,07
20	601	2,48	1,50	2,17	0,18	-0,81	-0,25	-0,87	0,08
21	639	2,70	1,68	2,29	0,21	-0,89	-0,25	-0,91	0,09
22	685	3,11	1,85	2,48	0,23	-0,97	-0,25	-0,97	0,11
23	720	3,75	2,01	2,70	0,26	-1,07	-0,23	-1,08	0,13
24	770	5,48	2,23	2,99	0,28	-1,18	-0,20	-1,23	0,17
25	773		2,31	3,10	0,29	-1,25	-0,18	-1,23	0,19
26	782		2,39	3,18	0,29	-1,23	-0,18	-1,21	0,20
27	789		2,41	3,32	0,29	-1,36	-0,20	-1,09	0,21
28	804		2,37	4,76	0,33	-1,63	-0,19	-0,77	0,23
29	818		2,31		0,34	-1,79	-4,09	-0,96	0,26
30	670		2,35		0,40		1,06	-1,51	0,23

Tabela 0.19 – Laje LC-D

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5	EF6	EF7	EF8
		(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)
0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	47	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	59	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	81	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	99	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	121	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0
6	139	0,2	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0
7	160	0,3	0,1	0,2	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0
8	179	0,3	0,1	0,3	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
9	198	0,4	0,1	0,4	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
10	218	0,6	0,2	0,5	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	0,0
11	241	0,7	0,2	0,6	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	0,0
12	283	0,9	0,4	0,7	0,0	0,0	-0,1	-0,2	0,0
13	319	1,1	0,5	0,9	0,0	0,0	-0,1	-0,2	0,0
14	360	1,3	0,7	1,0	0,0	0,1	-0,2	-0,3	0,0
15	401	1,4	0,8	1,2	0,1	0,2	-0,2	-0,3	0,0
16	440	1,6	1,0	1,4	0,1	0,2	-0,2	-0,3	0,0
17	483	1,8	1,1	1,5	0,1	0,2	-0,2	-0,3	0,0
18	522	2,0	1,3	1,6	0,1	0,3	-0,2	-0,4	0,0
19	561	2,2	1,4	1,7	0,1	0,3	-0,3	-0,4	0,0
20	601	2,4	1,5	1,9	0,2	0,4	-0,3	-0,4	0,0
21	644	2,6	1,7	2,0	0,2	0,4	-0,3	-0,4	0,0
22	683	2,7	1,8	2,2	0,2	0,4	-0,3	-0,4	0,0
23	726	2,8	1,9	2,2	0,3	0,6	-0,3	-0,4	0,1
24	764	3,6	2,1	2,4	0,3	0,7	-0,3	-0,4	0,1
25	769	3,6	2,2	2,4	0,4	0,7	-0,3	-0,5	0,1
26	778	3,6	2,2	2,4	0,4	0,7	-0,3	-0,5	0,1
27	785	3,6	2,2	2,4	0,4	0,8	-0,3	-0,5	0,1
28	792	3,7	2,3	2,4	0,4	0,8	-0,3	-0,5	0,1
29	820	4,4	2,4	2,5	0,5	1,0	-0,3	-0,4	0,1
30	860		2,5	2,6	0,5	1,2	-0,3	-0,5	0,1
31	869		2,5	2,7	0,5	1,3	-0,3	-0,5	0,1
32	877		2,5	2,8	0,5	1,2	-0,3	-0,5	0,1
33	881		2,5	3,0	0,5	1,1	-0,3	-0,6	0,1
34	888		2,5	3,2	0,5	1,0	-0,2	-0,7	0,1
35	898		2,5	3,4	0,6	1,0	-0,2	-0,9	0,1
36	882		2,3	3,3	0,6	2,5	0,1		0,2
37	467		1,9	2,4	0,7	0,4	0,6		0,1
38	390		1,9	2,4	0,7		0,9		0,1

Tabela 0.20 – Laje LR-D

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5	EF6	EF7	EF8
		(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)
0	0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1	62,0	-0,0001	0,0000	0,0002	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002
2	80,9	0,0002	0,0000	-0,0001	-0,0002	0,0002	0,0000	0,0002	-0,0001
3	98,6	0,0110	0,0031	0,0245	0,0002	-0,0152	-0,0033	-0,0154	-0,0007
4	118,9	0,0202	0,0101	0,0366	-0,0022	-0,0281	-0,0093	-0,0206	-0,0006
5	140,0	0,0354	0,0198	0,0768	-0,0034	-0,0463	-0,0149	-0,0340	0,0005
6	159,4	0,0796	0,0344	0,1605	-0,0051	-0,0788	-0,0226	-0,0525	0,0002
7	178,4	0,1658	0,0595	0,2390	-0,0065	-0,1140	-0,0319	-0,0665	0,0014
8	198,2	0,2554	0,0702	0,3112	-0,0079	-0,1441	-0,0411	-0,0791	0,0021
9	218,7	0,3860	0,0975	0,3972	0,0002	-0,1784	-0,0508	-0,0887	0,0039
10	240,4	0,5716	0,1427	0,4979	0,0076	-0,2242	-0,0601	-0,0996	0,0057
11	281,4	0,6791	0,1816	0,5761	0,0117	-0,2501	-0,0671	-0,1076	0,0073
12	319,6	1,0074	0,2960	0,7470	0,0195	-0,3133	-0,0788	-0,1115	0,0103
13	359,4	1,2413	0,4181	0,9109	0,0269	-0,3667	-0,0913	-0,1179	0,0122
14	399,7	1,4594	0,5302	1,0570	0,0312	-0,4201	-0,0994	-0,1180	0,0140
15	439,1	1,6919	0,6528	1,2165	0,0363	-0,4780	-0,1084	-0,1205	0,0158
16	480,5	1,9655	0,7806	1,3665	0,0409	-0,5460	-0,1198	-0,1202	0,0170
17	519,9	2,4028	1,0906	1,6305	0,0464	-0,6934	-0,1462	-0,1241	0,0200
18	562,0	2,6503	1,2833	1,7500	0,0625	-0,7773	-0,1544	-3,8193	0,0226
19	600,7	4,2185	1,4105	1,8583	0,0791	-0,8562	-0,1628	-3,8013	0,0255
20	646,4	3,8731	1,5747	1,9781	0,1326	-0,9100	-0,1657	-3,7803	0,0303
21	677,8	5,0928	1,6651	2,0674	0,1784	-0,9353	-0,1704	0,0172	0,0330
22	723,0		1,7820	2,1784	0,2503	-1,0087	-0,1618	0,0638	0,0400
23	768,1		1,9607	2,3769	0,3036	-1,1875	-0,1538	0,0643	0,0495
24	786,2		2,0316	2,5348	0,3419	-1,4990	-0,1391	0,0762	0,0598
25	799,7		2,2054	2,9442	0,3812	-1,9172	-0,1085	0,0730	0,0744
26	807,4		1,7448	1,9179	0,4560	0,0937	0,1941	1,9586	0,0239
27	826,9		1,7960	2,0008	0,4545	0,2510	0,2113	1,9717	0,0254
28	435,6		1,8444	2,0410	0,4600	0,3367	0,2137	2,0286	0,0224
29	326,6		1,8911	2,0776	0,4660	0,5388	0,2193	2,1258	0,0192
30	322,8		1,9241	2,1140	0,4743	0,7763	0,2354	2,1972	0,0154
31	317,5		1,9512	2,1253	0,4930	0,9908	0,2660	2,2213	0,0111
32	329,5		1,9691	2,1684	0,5148	1,1646	0,3042	2,2085	0,0071

Tabela 0.21 – Laje LC-S2-6

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5	EF6	EF7	EF8
		(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	41,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	59,1	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	-0,02	0,00
3	77,6	0,02	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	-0,02	0,00
4	97,5	0,03	0,01	0,05	0,00	0,02	0,01	-0,04	0,00
5	116,6	0,04	0,02	0,07	0,01	0,02	0,01	-0,05	-0,01
6	137,8	0,07	0,02	0,11	0,00	0,02	0,01	-0,07	-0,01
7	158,8	0,12	0,02	0,14	0,00	0,03	0,01	-0,08	-0,01
8	177,8	0,15	0,03	0,18	0,00	0,04	0,02	-0,09	-0,01
9	197,2	0,24	0,03	0,25	-0,02	0,05	0,02	-0,11	-0,02
10	217,2	0,32	0,04	0,32	-0,03	0,06	0,03	-0,12	-0,02
11	240,1	0,41	0,05	0,42	-0,04	0,08	0,03	-0,14	-0,02
12	279,7	0,71	0,09	0,67	0,00	0,19	0,11	-0,16	-0,02
13	319,2	0,89	0,16	0,88	0,01	0,25	0,16	-0,17	-0,02
14	358,4	1,11	0,33	1,06	0,02	0,35	0,23	-0,17	-0,02
15	398,3	1,31	0,47	1,24	0,04	0,45	0,30	-0,17	-0,02
16	441,6	1,51	0,60	1,39	0,06	0,55	0,35	-0,18	-0,03
17	473,4	1,69	0,74	1,53	0,08	0,63	0,42	-0,18	-0,03
18	526,8	1,89	0,90	1,69	0,10	0,73	0,49	-0,18	-0,03
19	561,4	2,12	1,04	1,85	0,13	0,83	0,55	-0,19	-0,03
20	600,9	2,27	1,17	2,04	0,16	0,93	0,64	-0,23	-0,03
21	641,7	2,45	1,29	2,19	0,19	1,01	0,70	-0,23	-0,03
22	678,1	2,63	1,39	2,33	0,21	1,09	0,76	-0,24	-0,03
23	721,0	2,85	1,52	2,49	0,22	1,20	0,83	-0,23	-0,03
24	760,6	3,10	1,65	2,68	0,27	1,31	0,90	-0,23	0,00
25	796,3	3,50	1,77	2,81	0,31	1,41	0,94	-0,25	0,01
26	840,7	4,26	1,92	3,13	0,36	1,53	0,98	-0,26	0,01
27	880,9		2,08	3,53	0,42	1,67	1,02	-0,31	0,03
28	930,4		2,19	6,36	0,45	1,82	1,07	-0,34	0,04
29	971,4		2,29		0,47	1,95	1,11	-0,39	0,06
30	1004,4		2,42		0,49	2,10	1,15	-0,46	0,08
31	1038,1		2,45		0,53	2,25	1,21	-0,57	0,09
32	1071,3		2,49		0,55	2,40	1,11	-0,71	0,11
33	1082,0		2,49		0,56	2,42	1,11	-0,74	0,11
34	1086,3		2,48		0,57	2,45	1,11	-0,78	0,12
35	1088,8		2,48		0,57	2,48	1,12	-0,81	0,12
36	1084,8		2,47		0,56	2,53	1,13	-0,90	0,13
37	1071,3		2,44		0,54	2,57	1,14	-1,12	0,15
38	1057,7		2,42		0,53	2,62	1,15	-1,37	0,17
39	1049,8		2,42		0,53	2,65	1,15	-1,55	0,20
40	1052,5		2,42		0,54	2,67	1,16	-1,63	0,22
41	1042,9		2,42		0,56	2,63	1,15	-1,87	0,26
42	1046,9		2,42		0,58	2,63	1,16	-1,91	0,30
43	1050,4		2,43		0,61	2,61	1,15	-2,03	0,37
44	1046,2		2,44		0,64	2,60	1,29	-2,11	0,49
45	1046,0		2,45		0,63	2,62	1,44	-2,21	0,61
47	1023,3		2,47		0,68	2,46	1,67	-2,79	1,31
48	1014,4		2,46		0,69	2,43	1,72	-3,24	1,58
49	996,7		1,56		0,63	1,29	1,09		
50	532,0		1,41			1,01	1,28		
51	506,8		1,37			1,16	1,28		

Tabela 0.22 – Laje LC-S2-8

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5	EF6	EF7	EF8
		(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	46,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	89,2	0,07	0,01	0,21	0,01	0,04	0,02	-0,04	-0,01
3	123,4	0,15	0,05	0,21	0,01	0,04	0,03	-0,04	0,00
4	167,0	0,28	0,09	0,28	0,01	0,08	0,05	-0,06	-0,01
5	199,4	0,42	0,14	0,39	0,01	0,11	0,07	-0,08	-0,01
6	239,9	0,57	0,21	0,48	0,02	0,16	0,10	-0,09	-0,01
7	280,7	0,73	0,26	0,63	0,02	0,21	0,13	-0,11	-0,01
8	319,7	0,85	0,33	0,72	0,02	0,25	0,15	-0,12	-0,01
9	360,3	0,99	0,39	0,85	0,03	0,29	0,18	-0,14	-0,01
10	399,0	1,12	0,44	0,97	0,03	0,34	0,20	-0,16	-0,01
11	440,2	1,26	0,50	1,09	0,03	0,38	0,23	-0,17	-0,01
12	482,7	1,39	0,57	1,22	0,04	0,43	0,26	-0,19	-0,01
13	519,5	1,48	0,63	1,33	0,04	0,47	0,28	-0,20	-0,01
14	561,4	1,61	0,70	1,45	0,05	0,52	0,31	-0,22	-0,01
15	600,6	1,74	0,77	1,58	0,06	0,58	0,34	-0,23	-0,01
16	651,4	2,04	0,87	1,75	0,07	0,66	0,38	-0,25	-0,01
17	676,7	2,05	0,95	1,83	0,08	0,70	0,41	-0,27	-0,01
18	726,7	2,18	1,08	1,99	0,11	0,79	0,46	-0,29	-0,01
19	761,7	2,25	1,18	2,10	0,15	0,86	0,50	-0,30	-0,01
20	805,1	2,40	1,31	2,24	0,20	0,97	0,56	-0,32	-0,01
21	838,9	2,58	1,40	2,38	0,25	1,07	0,61	-0,34	0,00
22	880,2	2,96	1,52	2,70	0,30	1,20	0,67	-0,36	0,01
23	920,9	3,71	1,61	3,72	0,36	1,30	0,73	-0,38	0,02
24	920,5	3,94	1,70	4,80	0,43	1,39	0,78	-0,40	0,03
25	961,5	3,95	1,71	5,18	0,44	1,40	0,79	-0,40	0,03
26	975,1	3,33	1,73	5,81	0,45	1,43	0,80	-0,40	0,04
27	988,7		1,76	3,19	0,46	1,46	0,82	-0,41	0,05
28	1002,6		1,81	3,85	0,48	1,55	0,86	-0,43	0,05
29	1022,6		1,81		0,49	1,59	0,88	-0,44	0,05
30	1039,8		1,83		0,49	1,62	0,90	-0,46	0,06
31	1053,9		1,82		0,49	1,72	0,95	-0,56	0,08
32	1062,5		1,83		0,49	1,80	0,98	-0,68	0,09
33	1082,7		1,84		0,50	1,90	1,02	-0,77	0,11
34	1091,6		1,83		0,51	1,95	1,04	-0,80	0,13
35	1105,0		1,81		0,51	2,00	1,07	-0,81	0,14
36	1149,6		1,81		0,53	2,08	1,12	-0,84	0,14
37	1170,4		1,80		0,56	2,12	1,14	-0,85	0,16
38	1181,3		1,79		0,62	2,15	1,16	-0,86	0,17
39	1179,3		1,74		0,62	2,19	1,17	-0,89	0,19
40	1183,5		1,73		0,62	2,18	1,17	-0,91	0,21
41	1170,5		1,70		0,65	2,18	1,19	-0,97	0,24
42	1176,3		1,68		0,68	2,18	1,21	-1,09	0,28
43	1148,1		1,68		0,69	2,18	1,22	-1,29	0,37
44	1130,4		2,14		0,71	2,19	1,24	-1,47	0,51
45	1083,6		3,37		0,91	2,19	1,12	-1,67	0,98



Tabela 0.23 – Laje LR-S2-6

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5	EF6	EF7	EF8
		(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	45,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	57,7	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
3	77,7	0,02	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	-0,02	0,00
4	98,5	0,04	0,01	0,07	0,00	0,02	0,01	-0,04	0,00
5	118,3	0,07	0,02	0,10	0,00	0,02	0,01	-0,06	-0,01
6	137,9	0,13	0,02	0,15	0,00	0,03	0,02	-0,08	-0,01
7	157,9	0,18	0,03	0,19	0,00	0,04	0,02	-0,09	-0,01
8	178,7	0,26	0,03	0,26	0,01	0,07	0,03	-0,12	-0,01
9	198,4	0,45	0,06	0,36	0,05	0,12	0,04	-0,12	0,00
10	218,6	0,59	0,12	0,45	0,09	0,18	0,07	-0,13	0,01
11	240,9	0,70	0,19	0,52	0,11	0,23	0,10	-0,14	0,01
12	284,3	0,97	0,32	0,73	0,12	0,43	0,22	-0,19	0,02
13	322,3	1,18	0,47	0,89	0,15	0,48	0,31	-0,22	0,03
14	358,3	1,37	0,61	1,05	0,17	0,57	0,37	-0,26	0,02
15	400,7	1,55	0,73	1,23	0,20	0,66	0,41	-0,29	0,02
16	440,9	1,77	0,89	1,40	0,23	0,77	0,46	-0,32	0,01
17	479,2	1,95	1,02	1,53	0,26	0,86	0,53	-0,35	0,01
18	520,9	2,10	1,04	1,67	0,29	0,96	0,62	-0,38	0,01
19	561,0	2,27	1,18	1,83	0,33	1,06	0,69	-0,41	0,01
20	598,5	2,42	1,32	1,95	0,39	1,16	0,75	-0,43	0,01
21	642,3	2,59	1,74	2,08	0,46	1,26	0,82	-0,45	0,01
22	683,6	2,72	1,94	2,20	0,52	1,35	0,88	-0,48	0,01
23	721,6	2,92	2,13	2,31	0,60	1,44	0,94	-0,50	0,02
24	760,8	3,13	2,32	2,41	0,70	1,52	1,00	-0,54	0,02
25	807,4	3,46	2,52	2,55	0,81	1,63	1,07	-0,57	0,02
26	837,1	3,66	2,64	2,63	0,89	1,72	1,11	-0,60	0,02
27	852,9	3,84	2,70	2,68	0,93	1,75	1,14	-0,61	0,03
28	871,5	4,02	2,76	2,74	0,97	1,80	1,16	-0,61	0,03
29	886,1	4,18	2,80	2,78	1,01	1,84	1,19	-0,61	0,04
30	899,0	4,30	2,84	2,85	1,05	1,89	1,21	-0,63	0,04
31	921,0	4,54	2,90	3,09	1,13	1,98	1,26	-0,68	0,04
32	948,8	5,29	2,96	3,25	1,21	2,08	1,31	-0,78	0,05
33	974,1		2,99	3,38	1,27	2,15	1,35	-0,84	0,06
34	994,7		3,04	4,09	1,33	2,25	1,39	-1,32	0,08
35	1006,1		3,13	5,68	1,37	2,34	1,23	-1,91	0,11
36	455,5		3,89	5,52	1,20	0,89	0,46	0,48	0,04
37	468,8		3,94	5,59	1,20	0,91	0,47	0,28	0,06
38	477,3		4,57		1,40	1,07	0,57	-0,24	0,02
39	483,5		4,72		1,51	1,06	0,56	-0,30	0,01
40	491,4				1,78	1,03	0,55	-0,33	0,01
41	493,9				2,32	0,96	0,51	-0,44	-0,01
42	487,5				2,48	0,93	0,49	1,52	-0,01
43	491,3				2,64	0,90	0,47	-4,18	-0,02
44	497,7				4,39	0,92	0,48	-4,17	-0,02
45	500,5				0,80	0,92	0,48	-4,17	-0,02
46	503,4				0,65	0,93	0,48	-4,14	-0,02
47	504,2				0,77	0,94	0,48	-4,11	-0,02
48	501,5				0,93	0,92	0,47	-4,07	-0,02
49	517,8				1,07	0,89	0,45	-4,04	-0,02
50	486,1				1,11	0,85	0,42	-3,98	0,01

Tabela 0.24 – Laje LR-S2-8

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5	EF6	EF7	EF8
		(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)	(‰)
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	49,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	58,2	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00
3	78,5	0,02	0,00	0,04	0,00	0,01	0,01	-0,02	0,00
4	98,1	0,04	0,01	0,05	0,00	0,01	0,01	-0,03	0,00
5	119,4	0,09	0,01	0,09	0,01	0,02	0,01	-0,04	0,00
6	139,0	0,12	0,01	0,13	0,01	0,03	0,01	-0,06	-0,01
7	157,7	0,15	0,01	0,17	0,01	0,03	0,02	-0,07	-0,01
8	183,3	0,22	0,02	0,26	0,01	0,04	0,02	-0,09	-0,01
9	198,3	0,26	0,02	0,31	0,00	0,05	0,03	-0,10	-0,01
10	218,1	0,45	0,03	0,44	0,00	0,04	0,05	-0,10	-0,01
11	240,7	0,68	0,05	0,54	0,01	0,06	0,05	-0,10	0,01
12	280,4	0,94	0,12	0,72	0,02	0,09	0,04	-0,10	0,02
13	320,5	1,20	0,21	0,91	0,02	0,13	0,05	-0,09	0,02
14	363,4	1,46	0,41	1,11	0,03	0,22	0,07	0,01	0,02
15	399,5	1,66	0,54	1,23	0,04	0,30	0,10	0,03	0,03
16	442,7	1,86	0,69	1,40	0,06	0,41	0,17	0,07	0,03
17	478,9	2,11	0,83	1,55	0,08	0,52	0,26	0,11	0,03
18	521,4	2,35	0,95	1,70	0,10	0,62	0,35	0,15	0,03
19	560,2	2,52	1,07	1,82	0,13	0,70	0,42	0,20	0,04
20	600,2	2,74	1,21	1,96	0,17	0,80	0,49	0,25	0,04
21	640,3	2,93	1,34	2,10	0,23	0,91	0,56	0,31	0,04
22	681,4	3,15	1,49	2,21	0,29	1,00	0,61	0,35	0,04
23	723,7	3,30	1,63	2,34	0,35	1,10	0,65	0,40	0,05
24	765,9	3,65	1,80	2,48	0,44	1,23	0,72	0,46	0,05
25	804,2	3,83	1,92	2,61	0,52	1,35	0,78	0,51	0,05
26	839,0	4,27	2,04	2,73	0,59	1,45	0,81	0,54	0,05
27	878,6	4,06	2,17	3,02	0,68	1,58	0,87	0,59	0,06
28	925,7	3,19	2,32	3,54	0,77	1,73	0,93	0,67	0,06
29	942,8	-4,29	2,37	3,69	0,81	1,79	0,95	0,70	0,07
30	963,6	0,06	2,44	3,89	0,85	1,86	0,98	0,77	0,08
31	968,9	0,10	2,46	4,24	0,87	1,89	1,00	0,77	0,07
32	976,3	0,13	2,48	2,79	0,88	1,92	1,01	0,78	0,07
33	980,0	0,15	2,48	2,11	0,88	1,93	1,01	0,79	0,08
34	983,1	0,18	2,49	1,97	0,88	1,94	1,02	0,79	0,08
35	990,0	0,20	2,50	2,07	0,89	1,96	1,03	0,81	0,08
36	995,8	0,21	2,52	2,46	0,91	1,98	1,04	0,82	0,09
37	1016,8	0,22	2,54	-4,57	0,94	2,07	1,08	0,88	0,09
38	1041,1	0,23	2,54	-4,40	0,96	2,17	1,14	0,93	0,09
39	1061,3	0,23	2,54	-4,41	0,97	2,24	1,17	0,99	0,10
40	1076,4	0,24	2,53	-4,29	0,97	2,29	1,19	1,04	0,11
41	1087,4	0,22	2,53	-4,26	0,98	2,32	1,20	1,08	0,11
42	1096,6	0,21	2,53	-5,22	0,97	2,36	1,22	1,12	0,12
43	1108,3		2,53	-5,35	0,97	2,40	1,24	1,19	0,13
44	1121,6		2,53	-5,38	0,97	2,43	1,26	1,27	0,14
45	1134,8		2,54	-5,37	0,97	2,45	1,28	1,35	0,14
46	1143,1		2,55	-5,34	0,99	2,48	1,30	1,46	0,15
47	1151,5		2,57	-5,35	1,01	2,51	1,32	1,54	0,16
48	1158,3		2,57		1,05	2,53	1,34	1,64	0,18
49	1161,3		2,56		1,06	2,55	1,36	1,74	0,20
50	1162,9		2,54		1,08	2,57	1,38	1,89	0,21
51	1159,9		2,52		1,08	2,60	1,41	2,01	0,23
52	1158,2		2,49		1,06	2,63	1,43	2,13	0,23
53	1095,9		2,42		1,01	2,67	1,46	2,32	0,23
54	1085,9		2,43		1,00	2,69	1,48	2,36	0,25
55	1089,0		2,50		1,00	2,74	1,51	2,47	0,27
56	1101,0		2,55		1,03	2,82	1,54	2,47	0,28
57	1108,3		2,97		1,06	2,85	1,55	2,51	0,28
58	1111,7		3,03		1,09	2,88	1,56	2,54	0,29
59	1117,2		3,10		1,12	2,89	1,57	2,58	0,29
60	1108,9		5,00		1,21	1,46	0,97		0,20
61	658,3		5,14		1,22	1,49	0,99		0,20
62	584,4		5,56		1,27	1,52	1,02		0,19

## C.4 – DEFORMAÇÕES NA ARMADURA DE CISALHAMENTO

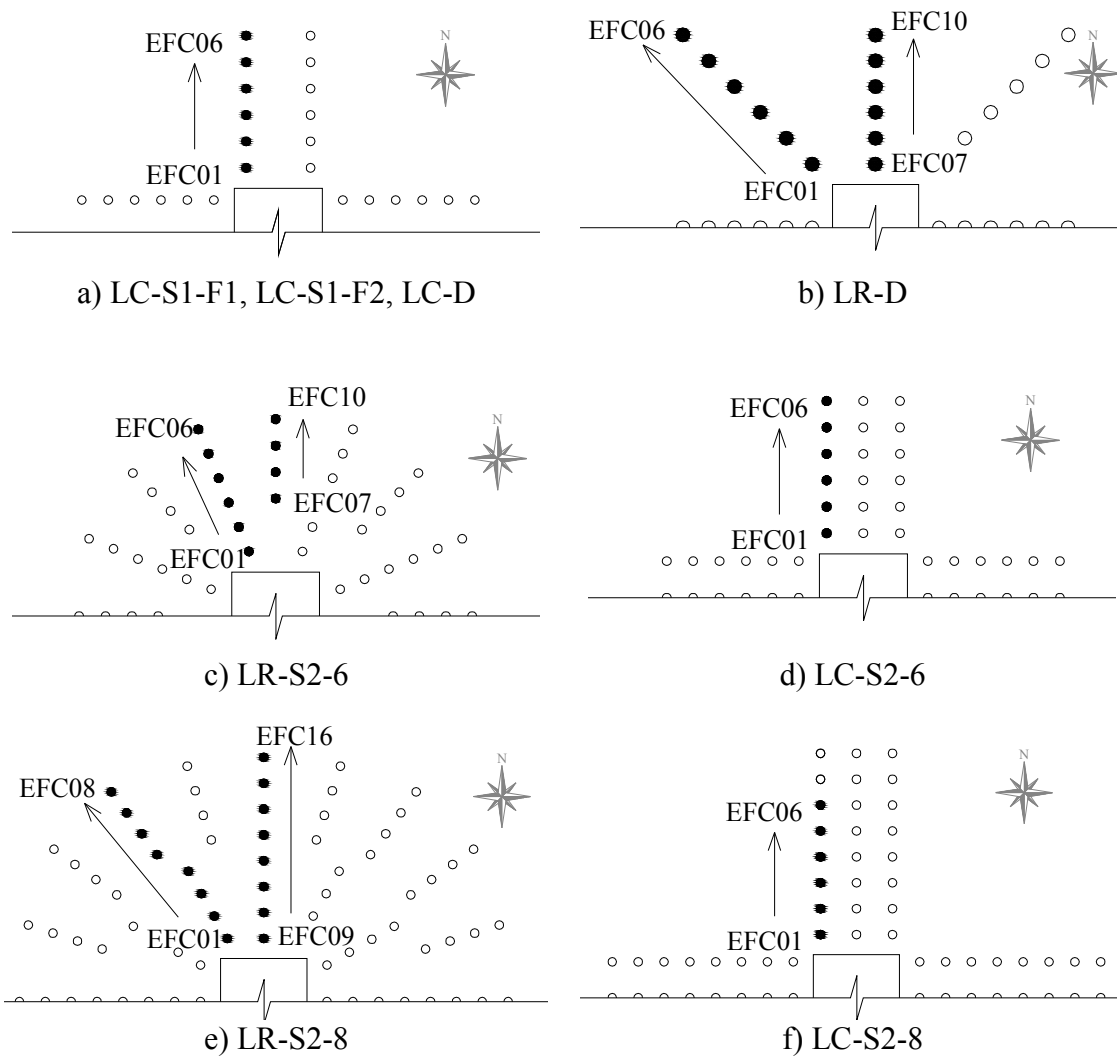


Figura 0.5 – Posição de instrumentação das armaduras de cisalhamento

Tabela 0.25 – Laje LC-S1-F1

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EFC01	EFC02	EFC03	EFC04	EFC05	EFC06
		µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
1	46	0,00	-0,23	0,00	-0,23	0,23	0,00
2	59	0,69	0,46	-0,23	0,92	-2,07	2,53
3	78	3,67	-2,07	-0,69	4,59	0,00	-2,76
4	98	-13,55	-2,76	0,46	10,79	5,05	-7,35
5	118	-23,43	-2,07	0,92	19,98	11,25	23,20
6	144	-53,97	-8,50	2,30	33,30	18,37	75,79
7	158	-87,50	-12,17	2,76	39,96	21,82	100,13
8	178	-129,07	-15,16	4,13	48,00	24,11	135,04
9	203	-217,72	-17,22	10,11	66,37	28,71	170,87
10	222	-279,50	-20,90	12,63	72,11	30,55	219,10
11	237	-306,14	-22,97	18,37	78,55	32,38	272,84
12	278	-419,60	-29,63	37,89	97,84	32,84	385,38
13	319	-525,93	-28,02	91,64	140,78	-2,07	468,98
14	357	-612,75	-9,88	155,02	215,43	-195,67	484,82
15	398	-654,55	62,93	253,09	293,74	-334,39	486,20
16	439	-672,23	158,01	336,69	367,69	-417,53	483,90
17	480	-660,06	285,70	435,44	463,00	-477,24	477,24
18	519	-614,81	406,51	517,44	561,99	-339,90	469,44
19	561	-589,78	495,16	580,36	655,46	-324,52	454,05
20	600	-562,45	614,12	651,10	716,56	-279,73	451,06
21	642	-520,42	824,96	731,25	803,83	-220,25	460,02
22	689	-494,24	1284,52	834,83	937,72	-148,13	486,43
23	721	-408,34	1752,11	1026,83	1077,82	-24,11	543,62
24	761	-399,39	2173,78	1397,28	1293,70	112,54	635,94
25	786	-337,61	2733,70	1821,01	1582,16	305,91	831,39
26	793	-310,51	2849,45	1880,50	1627,64	337,61	864,92
27	801	-268,71	2864,61	1895,66	1645,09	353,45	890,64
28	802	38,12	4529,45	2763,56	1761,53	435,67	997,67
29	799	21,13	4307,14	2778,95	2477,63	1449,65	1110,20
30	822	0,00	4138,56	2891,71	3234,60	3060,29	1293,47

Tabela 0.26 – Laje LC-S1-F2

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EFC01	EFC02	EFC03	EFC04	EFC05	EFC06
		µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
1	37	0,23	0,00	0,00	0,23	0,00	-0,23
2	58	0,23	0,46	0,00	0,23	-0,46	-0,69
3	78	-4,13	-4,36	-1,38	-0,69	0,23	2,53
4	99	-12,86	-10,79	-3,90	-1,61	2,99	4,59
5	118	-18,37	-14,70	-4,82	-2,07	4,36	7,81
6	139	-19,29	-17,68	-6,89	10,79	10,33	15,39
7	159	-5,97	58,79	8,73	39,96	28,94	17,91
8	178	-1,84	38,58	7,58	39,04	37,89	17,00
9	197	26,64	40,42	14,70	46,39	44,10	14,47
10	219	63,62	50,53	36,52	56,50	55,58	10,11
11	239	107,94	57,88	59,94	62,93	67,52	11,48
12	281	169,49	72,34	63,85	79,92	91,64	20,90
13	319	242,30	99,67	77,86	94,62	113,68	24,34
14	358	307,75	114,60	119,43	109,78	129,30	27,79
15	399	422,35	149,28	174,78	103,58	150,43	33,53
16	440	470,35	173,63	206,24	114,37	164,67	38,58
17	484	546,60	206,93	271,92	129,30	181,67	39,27
18	521	613,89	310,97	353,91	145,38	200,50	40,88
19	562	681,65	472,65	478,85	162,83	223,46	46,39
20	601	721,84	651,79	606,09	185,11	236,33	49,38
21	639	956,33	893,17	804,75	223,46	255,62	55,58
22	685	1106,30	1226,64	1053,01	279,04	293,74	63,16
23	720	1393,38	2182,74	1348,13	338,07	354,14	74,18
24	770	1592,73	3344,61	1793,00	432,69	426,49	96,46
25	773	1688,27	3859,06	2007,96	471,73	513,07	113,68
26	782	1718,58	4223,77	2216,50	510,78	575,54	120,80
27	789	1801,49	4573,09	2473,49	574,16	627,44	124,02
28	804	2119,58	5136,46	3220,36	910,16	863,08	148,36
29	818	2654,47	5836,25	4007,66	1125,59	1007,08	171,10
30	670	3160,19	3617,91	4499,37	791,66	1091,60	106,33
31	607	2948,67	3258,26	-7962,49	698,87	971,02	41,11
32	521	2954,64	2930,53	-7962,49	-7732,36	1505,91	-315,33
33	434	2874,03	4697,80	-7962,49	-7732,36	2433,53	-547,52

Tabela 0.27 – Laje LC-D

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EFC01	EFC02	EFC03	EFC04	EFC05	EFC06
		µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
1	47	-0,23	0,23	0,00	0,00	-0,23	0,00
2	59	-0,46	3,22	-0,69	7,58	0,69	-2,16
3	81	-2,99	5,51	-2,76	8,04	2,30	-4,56
4	99	-3,44	10,56	-2,99	-3,44	3,22	-5,52
5	121	-19,52	29,17	-3,90	-5,05	0,00	-2,88
6	139	-13,09	53,28	-2,99	5,05	6,43	2,16
7	160	-4,82	93,70	-1,38	8,04	17,00	18,96
8	179	-2,99	112,54	-1,84	12,40	23,66	16,56
9	198	-41,11	129,53	-2,30	5,97	31,69	10,08
10	218	-65,22	164,67	-2,30	-0,23	42,95	4,56
11	241	-65,45	233,11	-3,67	-2,53	46,85	4,80
12	283	11,94	358,51	-1,15	-5,28	48,00	-0,24
13	319	35,14	387,44	5,97	-17,68	29,86	-0,72
14	360	100,82	410,87	13,78	-23,43	40,65	1,20
15	401	185,80	406,51	15,62	-27,56	27,10	-3,84
16	440	293,51	433,84	16,31	-30,32	20,67	0,72
17	483	334,16	415,69	10,33	-34,91	11,71	-3,12
18	522	700,94	394,11	-4,59	-37,44	11,71	-13,92
19	561	1742,70	303,16	6,43	-36,52	26,64	-38,64
20	601	2863,46	95,77	54,20	-45,24	36,98	-83,76
21	644	3812,44	-283,64	146,30	-40,42	50,30	-138,72
22	683	4301,17	-382,85	269,86	-56,50	60,40	-183,12
23	726	4910,93	-568,65	453,13	-51,22	76,25	-264,00
24	764	5859,90	-773,05	492,63	-59,71	88,42	-304,32
25	769	6160,08	-819,22	46,85	-58,56	89,57	-303,84
26	778	6236,78	-833,68	27,56	-61,32	87,96	-307,68
27	785	6307,29	-845,63	25,49	-59,48	87,27	-311,52
28	792		-895,00	48,23	-57,42	86,35	-316,56
29	820		-1168,08	25,03	-53,74	81,07	-349,92
30	860		-1634,07	5,05	-48,69	74,18	-355,92
31	869		-1893,59	132,98	-47,08	70,97	-340,56
32	877		-2122,11	338,30	-34,91	82,91	-303,60
33	881		-2094,09	508,94	-33,99	78,32	-277,68
34	888		-2263,81	639,85	-28,02	70,74	-246,72
35	898		-2788,82	674,99	-26,64	59,71	-215,76
36	882		367,46	2454,20	-20,44	56,73	-114,48
37	467				802,68	-64,08	-3,36
38	390				757,67	-86,12	-6,00

Tabela 0.28 – Laje LR-D

Passo de Carga	Carga Total (K.N)	EFC01	EFC02	EFC03	EFC04	EFC05	EFC06	EFC07	EFC08	EFC09	EFC10	EFC11	EFC12
		$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$	$\mu\text{m/m}$
1	62	0,00	0,23	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	-0,23	0,00	0,00
2	81	0,00	0,23	-0,23	0,00	0,00	0,00	-0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	99	-0,23	-4,36	-2,99	-3,22	-1,15	-0,96	0,23	-1,15	-1,38	-2,07	0,00	0,23
4	119	-1,38	-17,00	-4,59	-6,66	-1,61	-1,68	2,30	3,44	-0,69	-2,76	0,69	0,92
5	140	-10,79	-29,86	-7,12	-11,02	-2,76	-2,40	8,04	6,66	0,92	-3,90	0,69	5,05
6	159	-22,74	-45,24	-11,94	-9,88	-4,13	-3,84	19,06	8,50	1,38	-4,13	1,15	2,76
7	178	-42,95	-64,77	-14,01	-19,52	-6,43	-4,32	39,73	3,22	1,38	12,86	6,20	-3,44
8	198	-133,89	-79,46	-16,31	-32,38	-5,74	-7,20	65,45	-19,52	3,90	19,06	12,86	-14,70
9	219	-212,21	-103,35	-25,26	-64,54	-9,42	-10,80	105,42	-61,78	6,89	24,57	18,83	26,87
10	240	-108,17	-122,41	-48,46	-127,92	-19,29	-15,60	183,27	-90,72	23,43	31,23	26,18	215,89
11	281	-65,91	-139,87	-45,01	-155,02	-26,41	-18,96	124,71	-105,42	24,34	35,83	29,63	303,62
12	320	170,87	-197,05	-19,29	-234,49	-54,43	-26,88	616,19	-106,33	29,86	40,88	32,84	387,90
13	359	439,58	-223,23	-11,94	-305,68	-117,36	-27,36	1017,88	-116,90	36,75	46,62	36,75	432,23
14	400	632,04	-213,82	-21,13	-353,91	-171,56	-34,32	884,44	-121,49	43,64	54,20	41,57	493,55
15	439	1081,95	-237,93	-31,92	-415,23	-243,44	-36,24	601,49	-126,09	52,13	61,09	46,16	570,49
16	481	1438,16	-241,84	-32,15	-477,93	-323,60	-40,08	593,22	-136,88	68,67	66,14	48,92	676,36
17	520	2499,22	-241,84	-16,31	-646,51	-473,11	-54,48	613,67	-221,63	135,27	78,55	55,12	851,37
18	562	2870,35	-62,47	-20,21	-753,76	-559,23	-92,88	676,59	-300,40	275,83	79,69	57,42	918,89
19	601	3181,09	181,21	-25,26	-722,30	-609,30	-102,00	683,02	-364,02	343,35	84,75	59,02	1012,59
20	646	2930,99	1085,63	-36,52	-644,21	-643,98	-112,32	680,04	-494,24	528,92	80,61	58,33	1035,56
21	678	2431,00	1221,13	-27,10	-658,68	-679,58	-116,16	716,10	-629,28	741,82	83,60	56,50	1038,32
22	723	2277,82	1500,17	-9,19	-683,71	-900,98	-115,20	773,74	-848,61	896,15	90,72	47,77	1037,40
23	768	2291,37	1829,51	48,92	-721,61	-974,01	-118,80	835,75	-1129,26	913,61	97,15	28,94	1052,33
24	786	2176,54	1889,91	71,20	-739,06	-1055,54	-120,24	887,66	-1323,33	914,07	100,82	24,80	1104,46
25	800	2543,54	2096,15	91,41	-755,60	-1119,39	-121,92	871,35	-1180,02	794,41	105,42	34,68	1107,67
26	807			2151,50	185,11	-527,77	-53,28	709,89	249,88		2553,19	-14,47	-290,30
27	827			2160,69	196,36	-514,22	-52,56	705,53	-14,47		2564,67	-1,38	-161,22
28	436			2170,33	204,17	-502,74	-52,08	702,55	-32,15		2604,86	4,59	-127,92
29	327			2176,31	209,22	-491,25	-51,84	703,00	59,48		2673,76	12,17	-112,54
30	323			2182,74	215,20	-477,70	-51,12	708,52	41,34		2915,60	38,81	-111,39
31	318			2192,84	220,94	-462,32	-49,92	714,03	83,83		3122,53	158,93	-138,26
32	330			2178,14	225,53	-445,55	-48,72	704,38	130,91		3121,61	187,87	-175,92

Tabela 0.29 – Laje LC-S2-6

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EFC01	EFC02	EFC03	EFC04	EFC05
		µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
1	41	-0,92	-1,15	-1,61	-0,69	0,96
2	59	3,44	-0,23	-0,69	-0,46	1,68
3	78	4,59	0,69	-0,46	0,00	3,12
4	98	8,73	1,61	0,46	0,46	3,60
5	117	12,86	2,99	2,30	1,15	3,60
6	138	19,29	5,97	5,05	1,61	2,64
7	159	26,18	18,60	12,40	6,66	5,28
8	178	26,18	26,87	16,54	10,79	3,60
9	197	35,37	38,12	28,48	11,25	1,68
10	217	39,27	45,47	33,99	15,85	2,16
11	240	38,81	59,25	40,65	18,83	1,44
12	280	36,06	105,65	76,25	25,03	-12,48
13	319	45,24	144,46	94,85	31,23	-14,88
14	358	58,79	201,88	125,63	35,37	-13,68
15	398	84,98	252,86	152,73	41,80	-10,80
16	442	134,12	310,74	186,72	49,61	-12,24
17	473	205,32	390,20	236,56	56,50	-13,20
18	527	314,64	424,19	267,56	63,85	-13,20
19	561	488,96	505,95	313,95	67,75	-7,44
20	601	582,20	599,20	353,45	14,93	-1,44
21	642	710,12	697,26	412,94	23,43	6,48
22	678	793,72	789,59	463,00	56,04	15,60
23	721	995,83	940,48	492,63	101,28	24,72
24	761	1162,33	1139,83	554,64	144,00	41,52
25	796	1395,22	1298,99	620,33	190,16	40,56
26	841	1628,33	1531,64	693,36	242,30	49,68
27	881	1882,11	1812,52	740,67	343,35	78,24
28	930	2112,69	2040,57	770,99	417,53	122,16
29	971	2218,56	2219,71	728,50	487,35	170,40
30	1004	2529,53	2426,41	691,29	743,20	463,20
31	1038	2665,03	2620,94	641,22	905,57	681,12
32	1071	2695,58	2778,49	611,37	1154,99	828,72
33	1082	2769,53	2843,25	596,67	1263,62	941,76
34	1086	2792,96	2875,87	575,31	1324,94	985,44
35	1089	2882,30	2945,45	536,96	1387,64	1034,64
36	1085	3224,04	3091,75	493,55	1470,78	1081,20
37	1071	3783,50	3277,55	453,59	1562,64	1150,56
38	1058	4033,15	3447,04	417,99	1657,03	1207,20
39	1050	4102,74	3576,34	373,89	1736,73	1270,08
40	1053	4059,79	3686,58	339,67	1788,40	1313,04
41	1043	3903,85	4062,32	328,42	1816,42	1312,80
42	1047	3418,79	4116,06	299,71	1848,11	1336,32
43	1050	3169,61	4018,68	181,21	2261,97	1641,84
44	1046	1852,71	4050,60	61,55	2626,45	1821,84
45	1046	1647,62	3898,11	356,44	2784,69	1903,68
47	1023	1280,38	4044,86	373,89	2575,00	1721,76
48	1014	2668,25	4106,41	391,35	2524,48	1713,36
49	997	331,64	2773,21	122,87	1754,64	1375,20
50	532	340,13	2598,89	101,97	1649,22	1277,76
51	507	414,32	2566,74	104,50	1630,62	1259,52



Tabela 0.30 – Laje LC-S2-8

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EFC01	EFC02	EFC03	EFC04	EFC05	EFC06
		µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
1	47	-0,23	0,23	-1,61	0,00	0,48	0,00
2	89	4,13	4,13	-0,69	3,67	6,48	-0,46
3	123	9,65	7,12	-0,92	6,43	12,48	0,46
4	167	21,82	21,59	1,61	13,09	22,80	4,82
5	199	37,89	41,57	4,36	19,98	34,56	11,25
6	240	53,74	61,78	8,04	26,64	45,36	17,22
7	281	69,36	90,49	14,93	32,61	59,04	25,26
8	320	95,08	110,70	19,29	36,98	70,08	31,23
9	360	109,09	134,81	25,03	41,57	82,32	38,12
10	399	130,22	158,47	30,32	47,31	93,36	45,01
11	440	158,24	182,81	35,14	52,13	105,60	52,13
12	483	173,40	207,16	41,11	57,65	117,84	59,48
13	520	190,16	227,14	44,56	61,09	129,60	66,14
14	561	214,28	251,71	49,15	64,77	141,60	72,57
15	601	239,31	282,26	55,81	70,05	155,76	80,15
16	651	319,46	355,98	76,02	86,81	178,56	91,87
17	677	332,56	389,28	78,09	91,41	188,64	95,77
18	727	378,95	315,33	79,69	111,39	202,08	104,96
19	762	415,46	399,62	101,05	127,69	212,88	112,77
20	805	296,96	514,68	146,53	155,48	227,28	124,94
21	839	451,52	594,83	205,32	187,87	246,00	133,44
22	880	904,65	649,03	308,21	215,66	268,08	146,99
23	921	1180,25	725,97	443,71	193,84	288,72	159,39
24	921	1346,53	786,37	545,45	210,83	302,88	171,56
25	962	1374,55	799,69	564,75	215,43	306,48	174,55
26	975	1502,70	849,30	609,30	228,98	316,80	182,12
27	989	1644,86	910,39	662,35	245,28	333,36	194,07
28	1003	1884,40	988,48	750,09	277,67	348,24	205,09
29	1023	1977,19	1005,01	811,41	290,76	352,08	209,68
30	1040	2254,39	1114,56	901,44	333,70	311,04	227,37
31	1054	2939,94	1436,33	1108,13	432,69	249,12	256,77
32	1063	3559,12	1677,70	1355,71	566,35	240,72	288,00
33	1083	4071,04	1968,00	1625,57	742,74	313,68	353,00
34	1092	4387,29	2160,46	1810,45	819,90	367,68	395,02
35	1105	-9394,91	2368,54	1896,11	834,83	366,96	412,71
36	1150	-9394,91	2384,15	1942,74	926,24	394,56	441,88
37	1170	-9394,91	2283,56	1939,52	963,67	414,72	432,46
38	1181	-9394,91	2271,85	1959,27	1002,72	434,40	354,60
39	1179	-9394,91	2395,41	2048,15	1076,90	327,84	337,38
40	1184	-9394,91	2501,74	2134,05	1137,53	329,52	335,08
41	1171	-9394,91	2656,54	2381,86	1212,17	354,72	333,01
42	1176	-9394,91	3021,47	2916,06	1348,36	394,08	340,82
43	1148	-9394,91	3397,21	3367,35	1477,89	456,24	356,44
44	1130	-9394,91	3687,27	3854,70	1654,51	632,88	423,27
45	1084	-9394,91	3374,24	3846,66	1252,59	1304,88	406,74

Tabela 0.31 – Laje LR-S2-6

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EFC01	EFC02	EFC03	EFC04	EFC05	EFC06	EFC07	EFC08	EFC09	EFC10
		µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
1	45	0,00	2,30	0,00	0,00	0,24	-0,23	-0,69	-0,69	-0,46	-1,15
2	58	-0,46	1,38	0,69	0,23	0,72	0,00	0,23	-0,69	-0,46	-2,07
3	78	-2,30	-0,69	1,84	-0,23	0,00	0,23	0,92	-0,92	-0,23	-3,44
4	99	-5,51	-2,53	3,22	-1,38	-0,48	0,46	2,07	-1,38	2,99	-4,59
5	118	-7,81	-4,82	4,82	-1,61	-0,24	0,46	3,44	-1,38	3,67	-6,20
6	138	-5,97	-3,90	6,20	-2,07	0,72	-0,46	5,51	-3,44	5,28	-7,81
7	158	-4,13	-0,46	7,58	-3,22	4,08	1,38	8,04	-5,05	7,81	-8,50
8	179	0,46	16,77	0,46	1,84	11,04	6,66	10,11	-8,27	8,04	-9,65
9	198	19,98	42,26	-4,82	27,79	34,80	11,02	5,97	-30,32	36,06	-22,51
10	219	57,65	44,33	7,35	50,99	62,64	23,66	-4,59	-69,82	79,92	-33,53
11	241	74,41	50,76	17,91	75,33	145,44	31,46	-7,35	-19,06	133,44	-36,98
12	284	116,90	87,50	28,02	94,85	274,56	40,19	25,03	50,53	142,62	-52,82
13	322	88,88	206,93	42,26	89,11	350,88	24,80	42,49	77,63	115,29	-29,86
14	358	82,91	297,42	55,81	92,33	422,88	18,83	65,00	107,02	121,49	-26,64
15	401	158,93	345,88	74,87	85,44	478,80	18,37	90,72	136,88	119,66	-29,17
16	441	235,87	404,90	107,02	87,50	551,52	19,75	125,40	155,48	122,87	-27,79
17	479	321,76	482,53	131,14	97,15	602,16	13,09	161,00	175,92	127,69	-25,26
18	521	411,79	598,51	149,28	118,97	641,28	8,50	191,08	188,78	135,50	-21,59
19	561	528,92	726,43	165,36	162,60	685,92	6,89	225,07	202,79	148,36	-14,01
20	599	678,89	781,78	180,29	204,40	731,04	7,12	268,48	214,51	163,06	-0,92
21	642	936,80	884,21	199,35	260,67	804,96	7,35	295,81	229,21	178,68	11,71
22	684	1177,49	1022,47	217,03	327,50	863,04	8,04	296,96	245,74	190,85	22,97
23	722	1477,89	1108,36	240,00	406,51	920,88	10,33	316,02	261,59	200,96	31,92
24	761	1726,62	1621,89	268,94	522,72	973,68	13,55	420,29	267,10	209,68	42,49
25	807	1982,01	2272,31	301,55	636,86	777,36	17,68	616,42	282,03	214,28	58,56
26	837	2137,26	2750,01	319,69	718,85	767,76	20,67	770,30	287,31	219,56	69,82
27	853	2214,43	3065,11	326,58	777,42	775,92	22,97	897,76	290,99	222,78	80,38
28	872	2283,33	3385,49	343,12	853,44	793,44	25,49	1103,08	297,88	225,76	91,64
29	886	2357,74	3610,33	360,57	920,73	807,12	27,33	1256,96	302,24	223,92	101,97
30	899	2434,68	3821,86	376,65	990,32	824,88	31,92	1379,37	305,00	226,45	113,00
31	921	2608,08	4429,55	410,87	1129,72	860,88	36,52	1783,35	314,87	231,96	131,83
32	949	2803,75	4949,97	398,01	1287,27	904,80	38,58	2183,43	333,47	235,41	156,17
33	974	2977,61	5264,38	415,23	1419,56	944,16	58,11	2477,63	352,54	238,39	180,29
34	995	3353,80	-8678,12	469,21	1630,85	1001,52	78,09	2818,68	398,24	240,69	260,44
35	1006	3961,49	-8678,12	603,56	1809,07	1073,76	86,12	3176,50	475,41	239,08	291,44
36	456		-8678,12	1388,10	1713,76	620,64	14,24		1394,99	180,29	169,95
37	469		-8678,12	1391,08	1727,31	623,52	14,24		1416,80	183,73	170,41
38	477		4910,24	1525,21	2508,17	591,36	23,20		2485,67	211,98	168,57
39	484		4907,02	1536,46	3074,07	621,84	23,89		2855,43	218,87	169,03
40	491		4996,82	1565,63	4100,67	680,40	24,57		4558,62	246,66	176,61
41	494		5055,85	1483,87	405,82	1019,28	28,71		882,37	1178,18	357,36
42	488		5040,46	1434,95	333,93	1235,04	36,52		839,89	2038,97	442,33
43	491		5058,60	1390,62	298,33	1684,56	46,39		785,22	2930,30	528,69
44	498		5132,56	1359,39	276,75	2027,52	78,09			1883,02	990,55
45	501		5129,57	1351,81	278,58	2162,16	85,21			1993,03	1222,97
46	503		5110,97	1346,76	269,40	2254,56	90,26			1389,70	1544,96
47	504		5100,86	1343,08	262,51	2266,32	91,64			1155,22	1860,29
48	502		5109,13	1341,47	256,31	2298,00	95,08			1100,10	2516,44
49	518		5093,51	1336,65	254,70	2301,36	98,53			1096,42	3225,65
50	486		5098,79	1339,41	247,35	2286,00	101,97			991,92	2217,19

Tabela 0.32 – LR-S2-8

Passo de Carga	Carga Total (KN)	EFC01	EFC02	EFC04	EFC05	EFC06	EFC07	EFC08	EFC09	EFC10	EFC11	EFC12	EFC13	EFC14	EFC15
		µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m	µm/m
1	49,1	0,69	0,92	0,69	0,48	0,69	0,69	0,69	0,92	0,69	1,38	0,96	0,48	1,20	0,48
2	58,2	-1,38	0,23	0,69	0,00	0,46	0,46	0,92	0,46	-0,46	1,15	0,96	0,72	0,00	0,72
3	78,5	-5,28	0,46	2,07	-0,24	-0,23	0,23	1,38	-2,99	-2,07	1,38	0,24	0,48	-0,72	1,68
4	98,1	-7,35	-0,46	2,76	-1,20	-1,38	-0,23	1,84	-5,28	-4,36	1,84	-0,24	0,48	-0,96	2,16
5	119,4	-12,63	-1,84	3,22	-1,44	-2,07	-0,92	2,07	-10,79	-7,81	1,61	-0,72	-0,72	-1,92	2,64
6	139,0	-11,94	-1,38	0,00	-1,44	-1,38	-0,92	1,84	-14,70	-7,81	1,84	-0,72	-2,40	1,92	2,16
7	157,7	-12,63	1,61	-0,46	-0,96	-1,84	-1,15	2,07	-13,78	-8,96	4,82	1,68	-3,84	5,52	2,16
8	183,3	-4,36	21,82	-4,59	8,16	1,61	1,61	3,67	-5,74	-0,69	18,14	17,04	-9,36	12,72	2,64
9	198,3	1,84	30,32	-4,13	15,84	14,24	3,44	4,59	-0,23	2,99	35,37	34,08	-12,00	17,28	5,52
10	218,1	-8,50	33,99	6,89	15,12	43,64	17,45	17,00	11,02	6,20	78,55	61,92	-2,16	51,12	38,88
11	240,7	-16,08	45,93	21,13	12,96	54,43	33,53	22,74	16,54	79,46	91,87	70,80	23,76	97,20	64,32
12	280,4	-24,34	55,35	56,27	11,04	83,14	78,55	33,53	53,51	86,35	107,02	73,20	80,40	153,36	84,24
13	320,5	-46,39	63,85	89,57	40,80	102,43	128,38	43,64	131,83	96,23	129,07	87,84	142,32	249,36	104,88
14	363,4	-75,56	107,94	122,64	89,76	108,17	172,02	49,15	223,69	106,11	148,59	105,84	200,40	578,88	121,20
15	399,5	-108,40	143,08	140,78	113,28	125,17	175,23	56,04	256,31	80,38	165,13	108,00	208,08	550,56	119,76
16	442,7	-140,33	194,99	158,93	170,16	135,27	181,21	62,47	351,39	65,22	193,61	114,00	227,04	649,20	131,52
17	478,9	-218,41	262,74	176,84	210,00	143,08	182,12	66,83	481,38	137,11	225,07	124,56	231,36	808,32	149,04
18	521,4	-251,25	352,77	189,47	236,88	155,02	189,93	72,11	596,90	260,90	254,24	162,00	241,44	921,84	153,60
19	560,2	-131,60	455,66	200,27	262,32	164,67	188,33	72,57	776,27	354,83	284,33	210,96	252,00	939,12	160,32
20	600,2	15,62	555,10	221,17	281,28	175,92	196,36	77,86	971,25	528,23	307,98	251,04	264,00	1104,96	165,12
21	640,3	197,51	694,97	252,17	305,76	198,20	209,22	85,67	1152,00	866,53	330,49	264,72	278,16	1418,64	179,04
22	681,4	299,25	898,22	240,00	330,72	213,13	224,15	95,54	1367,43	1169,91	353,45	282,96	290,88	1690,08	190,32
23	723,7	382,85	1151,08	269,17	363,60	216,57	246,89	104,73	1595,48	1410,14	382,39	306,96	303,60	1895,52	202,56
24	765,9	556,71	1495,12	315,56	386,88	253,32	290,99	118,97	1989,59	1761,53	416,15	331,44	319,20	1870,80	220,08
25	804,2	690,14	1802,64	348,17	420,00	278,12	325,67	132,06	2282,87	2112,46	448,77	355,44	310,32	1772,64	227,76
26	839,0	811,18	2040,80	399,16	424,80	307,06	367,69	149,51	2493,24	2501,05	484,59	386,64	331,44	1782,24	244,08
27	878,6	955,18	2273,45	459,79	454,80	332,10	405,82	164,21	2705,00	2950,74	552,57	421,20	366,24	1688,16	270,96
28	925,7	1079,89	2687,54	576,00	503,04	380,56	468,98	182,58	2912,38	3344,84	622,39	457,92	390,00	1790,16	297,84
29	942,8	1104,92	2886,43	653,17	529,20	409,95	501,36	193,61	2991,39	3515,02	657,76	483,36	393,12	1655,76	317,04
30	963,6	1223,89	3221,51	745,03	525,60	443,02	528,46	203,25	3082,56	3708,86	681,42	505,68	415,92	1819,92	336,24
31	968,9	1244,10	3302,81	772,13	529,20	454,05	537,19	205,78	3111,04	3736,65	686,70	508,32	420,24	1858,32	340,32
32	976,3	1253,97	3322,33	797,17	536,40	463,23	535,12	208,08	3127,12	3768,80	693,13	511,20	424,80	1831,68	344,40
33	980,0	1253,74	3335,43	809,57	540,24	468,98	538,33	209,45	3130,11	3778,22	696,80	514,08	428,40	1823,76	345,36
34	983,1	1251,22	3357,01	829,09	546,72	476,56	540,17	211,29	3131,02	3777,76	702,09	519,36	434,16	1810,32	347,76
35	990,0	1241,57	3386,18	851,83	557,04	486,43	550,74	215,43	3146,87	3792,46	722,99	543,12	453,60	1921,44	357,12
36	995,8	1224,34	3392,84	880,77	574,56	526,39	573,24	223,00	3162,03	3787,87	752,15	637,68	508,56	2053,20	381,84
37	1016,8	1203,67	3441,99	953,80	617,52	601,72	632,04	240,92	3276,40	3780,52	808,19	724,32	579,12	2242,32	431,76
38	1041,1	1199,54	3480,57	1036,25	660,96	666,26	659,83	253,55	3392,38	3811,52	885,36	780,48	635,04	2361,12	481,44
39	1061,3	1197,24	3481,49	1095,73	680,64	711,04	701,17	263,43	3465,42	3938,53	942,09	856,32	661,20	2647,68	540,48
40	1076,4	1204,13	3495,96	1130,87	695,28	732,17	728,50	271,00	3515,94	4096,77	970,33	922,08	681,60	2923,44	601,20
41	1087,4	1224,34	3528,34	1161,42	705,84	749,86	679,81	275,83	3545,34	4152,11	957,47	963,84	689,28	2902,56	648,48
42	1096,6	1260,63	3593,34	1206,43	713,76	769,61	697,49	280,19	3546,26	4194,14	950,12	1001,28	682,08	2933,28	709,68
43	1108,3	1317,59	3707,71	1268,21	726,72	794,64	720,00	286,85	3558,43	4280,27	948,29	1048,32	694,56	3167,04	807,36
44	1121,6	1377,30	3799,12	1330,91	741,12	812,10	739,06	296,04	3595,87	4390,28	923,71	1100,88	721,92	3141,84	909,60
45	1134,8	1427,60	3862,05	1371,33	753,60	801,99	755,14	303,62	3628,48	4579,06	934,51	1177,44	754,08	3276,24	987,60
46	1143,1	1525,67	3952,08	1409,45	769,20	824,73	768,92	312,11	3704,04	4836,52	982,51	1242,00	800,16	3265,20	1048,32
47	1151,5	1629,70	4068,29	1442,76	781,20	843,33	780,86	318,32	3822,78	5029,67	1057,15	1262,16	878,16	3881,28	1093,44
48	1158,3	1982,01	4288,08	1481,11	791,52	861,47	793,49	324,06	4159,46	6256,77	1144,65	1419,84	983,52	3637,44	1164,96
49	1161,3	2296,65	4438,05	1511,43	800,88	874,33	801,76	327,96	4408,65		1203,44	1499,28	1054,80	3735,84	1226,64
50	1162,9	2702,24	4726,97	1571,83	811,68	889,72	810,95	331,64	4597,44		1270,74	1553,52	1106,64	3100,80	1286,64
51	1159,9	3013,21	4944,46	1655,89	828,24	909,47	822,20	335,54	4692,75		1314,14	1595,52	1154,88	3111,84	1344,96
52	1158,2	3512,04		1732,59	835,92	920,73	825,19	335,77	4652,33		1252,82	1629,36	1152,48	3063,36	1385,28
53	1095,9	4428,40		1857,53	837,36	929,00	818,07	332,10	5123,60		1141,21	1720,56	1109,28	3035,76	1466,88
54	1085,9	4696,19		2015,08	847,20	946,22	819,90	333,70	5332,82		1152,92	1794,96	1117,68	3054,24	1523,52
55	1089,0	4931,83		2248,19	870,72	987,79	839,66	340,36	6611,37		1221,82	1883,04	1151,52	3220,56	1605,12
56	1101,0	4885,21		2586,95	890,40	1013,28	852,52	343,12			1383,73	1915,20	1189,44	3244,80	1674,00
57	1108,3	5492,67		2792,04	909,12	1027,98	858,72	344,04			1547,02	1974,72	1221,84	3260,64	1712,88
58	1111,7	5664,23		2917,89	921,12	1039,00	864,23	344,96			1665,07	2038,32	1250,64	3270,96	1751,28
59	1117,2	-8287,92		3020,33	930,48	1046,12	868,36	344,96			1811,83	2124,00	1299,12	3246,48	1786,80
60	1108,9	1158,43		1812,29	502,08	556,71	534,89	203,71			2202,95	1472,16	1274,40	629,76	1213,20
61	658,3	1018,33		1824,00	502,32	562,45	539,02	206,24			2282,41	1476,48	1304,40	616,56	1230,72
62	584,4	1046,35		1824,23	500,40	557,40	530,53	201,42			2368,54	1454,64	1287,60	600,72	1212,48