

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

Sabrina Moreira Villela

**Determinação das Propriedades Mecânicas das Placas de OSB e do
Comportamento da Ligação entre as Placas de OSB e o Reticulado de Aço
do Sistema *Light Steel Framing***

Belo Horizonte

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

"DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS PLACAS DE OSB E DO COMPORTAMENTO DA LIGAÇÃO ENTRE AS PLACAS DE OSB E O RETICULADO DE AÇO DO SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING"

Sabrina Moreira Villela

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Francisco Carlos Rodrigues
DEES - UFMG (Orientador)

Prof. Dr. Rodrigo Barreto Caldas
DEES - UFMG (Coorientador)

Prof. Dr. Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco
TAU - ARQUITETURA - UFMG

Prof. Dr. Paulo Gustavo Von Krüger
TAU - ARQUITETURA - UFMG

Belo Horizonte, 11 de setembro de 2015

V735d

Villela, Sabrina Moreira.

Determinação das propriedades mecânicas das placas de OSB e do comportamento da ligação entre as placas de OSB e o reticulado de aço do sistema *Light Steel Framing* [manuscrito] / Sabrina Moreira Villela. - 2015.

xxi, 147 f., enc.: il.

Orientador: Francisco Carlos Rodrigues.

Coorientador: Rodrigo Barreto Caldas.

Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 144-147.

1. Engenharia de estruturas - Teses. I. Rodrigues, Francisco Carlos. II. Caldas, Rodrigo Barreto. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 624(043)

*Dedico este trabalho à minha mãe
(in memorian) que foi meu grande
exemplo de força, dedicação e amor
para eu chegar até aqui.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de crescimento pessoal e intelectual.

Ao Rodrigo Barbosa Villela, meu pai, pelo carinho e amor incondicional, por me ensinar a nunca desistir dos meus sonhos, pelos incentivos e principalmente pelos ensinamentos que me moldaram.

Ao André Dias, meu marido, pela compreensão, apoio e incentivo que recebi, por caminhar ao meu lado todos os dias e principalmente pelo amor.

Ao meu irmão, Henrique Moreira Villela, à minha família e meus amigos pela compreensão, carinho e incentivo que sempre me deram.

Ao Professor Dr. Francisco Carlos Rodrigues, ao Professor Dr. Rodrigo Barreto Caldas e ao Professor Dr. Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco pela dedicação e suporte que me deram no desenvolver deste trabalho.

À CONSTRUSECO e à LP *Building Products* pelo fornecimento do material necessário e pela fabricação dos modelos para o desenvolvimento dos ensaios.

Aos técnicos do LAEES, Geraldo e Afonso, à Laís e ao Leandro pelo indispensável apoio nos ensaios.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais que contribuíram com a minha formação.

Aos meus amigos da Pós-Graduação, José, Bárbara e Euler que compartilharam comigo as felicidades e as angústias dessa jornada.

À FAPEMIG, à CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

RESUMO

VILLELA, S. M. *Determinação das Propriedades Mecânicas das Placas de OSB e do Comportamento da Ligação entre as Placas de OSB e o Reticulado de Aço do Sistema Light Steel Framing*. Belo Horizonte, 2015 - Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

Esta pesquisa tem como objetivo um estudo experimental para a determinação das propriedades mecânicas das placas de *Oriented Strand Board* (OSB) e do comportamento da ligação entre as placas de OSB e o reticulado de aço do sistema construtivo *Light Steel Framing* (LSF). Foram realizados 360 ensaios de flexão de 3 pontos em corpos de prova de placas de OSB para a determinação do Módulo de Elasticidade e da Tensão de Ruptura de placas de OSB com diferentes espessuras fabricadas no Brasil. Foram também realizados 12 ensaios de cisalhamento (tipo "*push-test*") em modelos constituídos por placas de OSB fixadas por meio de parafusos auto-atarraxantes ao reticulado de perfil formado a frio, para a determinação do comportamento desse subsistema de ligação. Os ensaios de flexão de 3 pontos mostraram que os resultados obtidos para o Módulo de Elasticidade e para a Tensão de Ruptura variam de acordo com as espessuras das placas de OSB; mostraram ainda que a proximidade dos resultados, por meio do coeficiente de variação, é tanto maior quanto maior é a espessura do corpo de prova e maior é o vão de ensaio, com até 48 vezes a espessura nominal da placa. Dos ensaios de cisalhamento podem ser obtidos importantes resultados relacionados à rigidez e à capacidade da ligação da placa de OSB com o reticulado metálico.

ABSTRACT

This research aims an experimental study to determine the mechanical properties of Oriented Strand Board (OSB) and the behavior of the link between OSB and the building system Light Steel Framing (LSF). 360 flexure tests were performed on specimens for determination of OSB boards Resilient Modulus and Stress Rupture with different thicknesses manufactured in Brazil. 12 sliding tests were also carried out ("push-test") in LSF, these models consist of OSB boards fixed by means of self-tapping screws the profile of crosslinked formed galvanized steel for determining the behavior of this binding subsystem. The results of 3 points flexure tests showed that the obtained results for the modulus of elasticity and the breakdown voltage varies according to the thickness of the OSB boards; also showed that the proximity of the results by the coefficient of variation, is as bigger as the thickness, higher is the range of the test, up to 48 times the nominal thickness of the board. The sliding tests can be obtained important results related to rigidity and link capacity of OSB board with the metal lattice.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XVII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XX
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 GENERALIDADES SOBRE O SISTEMA CONSTRUTIVO <i>LIGHT STEEL FRAMING</i>	2
1.3 GENERALIDADES SOBRE O PAINEL DE CISALHAMENTO NO SISTEMA CONSTRUTIVO LSF	3
1.4 OBJETIVO.....	7
1.5 METODOLOGIA	8
1.6 JUSTIFICATIVA	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 PLACAS DE OSB	11
2.1.1 Pesquisa Realizada por Dias <i>et al.</i> (2004) e Dias (2005).....	13
2.1.2 Pesquisa Realizada por Bastos (2009)	18
2.2 LIGAÇÕES	24
2.3 MODOS DE RUPTURA <i>PULL-OUT</i> E <i>PULL-OVER</i>	27
2.4 DUCTILIDADE	27
2.5 ENSAIO TIPO " <i>PUSH-TEST</i> "	29
2.5.1 Pesquisa Realizada por Fuentes <i>et al.</i> (2014).....	30
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL E RESULTADOS OBTIDOS	34
3.1 ENSAIOS DE FLEXÃO.....	34
3.1.1 Definição dos Corpos de Prova.....	34
3.1.2 Realização dos Ensaios	37
3.1.2.1 Equipamentos Utilizados	37
3.1.2.2 Procedimentos Adotados	42
3.1.3 Resultados	43
3.1.3.1 Série AL: <i>t=9,5mm</i>	43

3.1.3.2	Série AT: $t=9,5\text{mm}$	44
3.1.3.3	Série BL: $t=11,1\text{mm}$	46
3.1.3.4	Série BT: $t=11,1\text{mm}$	49
3.1.3.5	Série CL: $t=15,1\text{mm}$	50
3.1.3.6	Série CT: $t=15,1\text{mm}$	54
3.1.3.7	Série DL: $t=18,3\text{mm}$	56
3.1.3.8	Série DT: $t=18,3\text{mm}$	59
3.2	ENSAIOS "PUSH-TEST"	62
3.2.1	Definição dos Modelos	62
3.2.2	Realização dos Ensaios	68
3.2.2.1	Componentes Utilizados nos Ensaios	69
3.2.2.2	Procedimentos de Ensaio	71
3.2.3	Resultados	72
3.2.3.1	Série 3: Modelos M2B 090 600 150	72
3.2.3.2	Série 4: Modelos M2B 200 600 150	84
3.2.3.3	Série 2: Modelos M2A 090 400 300	92
3.2.3.4	Série 1: Modelos M2A 200 600 150	102
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	113
4.1	ENSAIOS DE FLEXÃO	113
4.1.1	Série AL: $t=9,5\text{mm}$	113
4.1.2	Série AT: $t=9,5\text{mm}$	116
4.1.3	Série BL: $t=11,1\text{mm}$	117
4.1.4	Série BT: $t=11,1\text{mm}$	120
4.1.5	Série CL: $t=15,1\text{mm}$	121
4.1.6	Série CT: $t=15,1\text{mm}$	123
4.1.7	Série DL: $t=18,3\text{mm}$	125
4.1.8	Série DT: $t=18,3\text{mm}$	126
4.1.9	Comparação entre os Resultados da Presente Pesquisa com os Resultados Obtidos por Dias <i>et al.</i> (2004), Dias (2005) e Bastos (2009)	128
4.2	ENSAIOS "PUSH-TEST"	131
5	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	139
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	139
5.1.1	Ensaio de Flexão	139

5.1.2	Ensaio de " <i>Push-Test</i> "	141
5.2	RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS POSTERIORES	142
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
	APÊNDICES	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Esquema de uma residência em <i>Light Steel Framing</i> . Fonte: Manual CBCA - Tabelas de Dimensionamento Estrutural.	3
Figura 1.2: Painel com contraventamento em "X" (SANTIAGO <i>et al.</i> , 2012).	4
Figura 1.3: Ações laterais e condições de contorno (BREDEL, 2003).	5
Figura 1.4: Diagrama das forças do painel de cisalhamento (BREDEL, 2003).	5
Figura 1.5: Peça de ancoragem com <i>hold-down</i> (chumbador). Fonte: Fórum da Construção em: http://www.forumdaconstrucao.com.br/	6
Figura 1.6: Fixação das diagonais nos painéis com a Placa de Gusset. Fonte: Prof. Francisco Carlos Rodrigues.	6
Figura 1.7: Contraventamento em barras diagonais de perfis Ue (tipo "Zig-Zag"). Fonte: Prof. Francisco Carlos Rodrigues.	7
Figura 2.1: Fabricação da placa de OSB. Fonte: site da Global Wood em: http://www.globalwood.com.br	13
Figura 2.2: Esquema dos ensaios realizados por Dias (2005): a) Ensaio de flexão da placa de OSB cortada na direção longitudinal; b) Ensaio de flexão da placa de OSB cortada na transversal; c) Ensaio de flexão com a placa de OSB na vertical; d) Ensaio de cisalhamento (DIAS, 2005).	14
Figura 2.3: Esquema do ensaio de flexão estática (DIAS <i>et al.</i> , 2004).	15
Figura 2.4: Esquema de ensaio de flexão (EN - 310/93).	20
Figura 2.5: Gráfico para determinação das forças F_1 e F_2 (BASTOS, 2009).	21
Figura 2.6: Execução do ensaio para determinação do M_{OE} e do M_{OR} (BASTOS, 2009).	22
Figura 2.7: Equipamento para ensaio de cisalhamento à compressão (BASTOS, 2009).	22
Figura 2.8: Ensaio de cisalhamento à compressão (BASTOS, 2009).	23
Figura 2.9: Instalação do parafuso auto-atarraxante.	25
Figura 2.10: Detalhe na instalação do parafuso auto-atarraxante.	26
Figura 2.11: Tipos de pontas dos parafusos auto-atarraxantes. Fonte: site da Rebipar em: http://www.rebipar.com.br/	26
Figura 2.12: Tipos de cabeças dos parafusos auto-atarraxantes. Fonte: site da Rebipar em: http://www.rebipar.com.br/	26
Figura 2.13: Modos de falha <i>pull-out</i> e <i>pull-over</i> (RODRIGUES, 2006).	27
Figura 2.14: Gráfico Carga x Deslizamento - Comportamento de conectores dúcteis ou frágeis.	28

Figura 2.15: Gráfico Carga x Deslocamento - Comportamento de conectores flexíveis e rígidos (DAVID, 2007).....	28
Figura 2.16: Dimensões dos modelos com os dispositivos de medição de carga e deslocamento (FUENTES <i>et al.</i> , 2014).....	31
Figura 2.17: Ensaio do modelo e curva força-deslocamento (FUENTES <i>et al.</i> , 2014).	31
Figura 2.18: História do carregamento estático (FUENTES <i>et al.</i> , 2014).	32
Figura 3.1: Esquema dos ensaios de três pontos para os corpos-de-prova cortados na direção longitudinal da placa de OSB.	35
Figura 3.2: Esquema dos ensaios de três pontos para os corpos-de-prova cortados na direção transversal da placa de OSB.	35
Figura 3.3: Nomeclatura dos corpos de prova.	36
Figura 3.4: a) Máquina Universal de Ensaios, modelo 23-30; b) Tela do <i>software</i> TESC em funcionamento.	38
Figura 3.5: Corpo de prova posicionado para ensaio da Série AL, V=8xt.....	43
Figura 3.6: Gráfico de força <i>versus</i> deslocamento Pxf da Série AL com V=48xt.	44
Figura 3.7: Gráfico de força <i>versus</i> deslocamento Pxf da Série AT com V=24xt.	45
Figura 3.8: Corpo de prova da Série BL posicionado para ensaio, V=40xt.....	47
Figura 3.9: Ensaio em andamento de um corpo de prova da Série BL, V=40xt.	48
Figura 3.10: Corpo de prova da Série BL posicionado para ensaio, V=48xt.....	48
Figura 3.11: Gráfico de força <i>versus</i> deslocamento Pxf da Série BL com V=48xt.	49
Figura 3.12: Gráfico de força <i>versus</i> deslocamento Pxf da Série BT com V=32xt.	50
Figura 3.13: Corpo de prova da Série CL posicionado para ensaio, V=8xt.....	51
Figura 3.14: Corpo de prova da Série CL posicionado para ensaio, V=24xt.....	52
Figura 3.15: Corpo de prova da Série CL posicionado para ensaio, V=32xt.....	52
Figura 3.16: Corpo de prova da Série CL posicionado para ensaio, V=48xt.....	53
Figura 3.17: Ensaio em andamento de um corpo de prova da Série CL, V=48xt.	53
Figura 3.18: Ruptura típica dos CPs - Neste caso CP da Série CL, V=48xt.	54
Figura 3.19: Gráfico de força <i>versus</i> deslocamento Pxf da Série CL com V=48xt.	54
Figura 3.20: Gráfico de força <i>versus</i> deslocamento Pxf da Série CT com V=24xt.	55
Figura 3.21: Corpo de prova da Série DL posicionado para ensaio, V=24xt.....	57
Figura 3.22: Corpo de prova da Série DL posicionado para ensaio, V=32xt.....	57
Figura 3.23: Corpo de prova da Série DL posicionado para ensaio, V=40xt.....	58
Figura 3.24: Ensaio em andamento do corpo de prova da Série DL, V=48xt.....	58

Figura 3.25: Gráfico de força <i>versus</i> deslocamento Pxf da Série DL com V=48xt.....	59
Figura 3.26: Corpo de prova da Série DT posicionado para ensaio, V=8xt.	60
Figura 3.27: Corpo de prova da Série DT posicionado para ensaio da, V=24xt.	61
Figura 3.28: Ensaio em andamento de um corpo de prova da Série DT, V=24xt.	61
Figura 3.29: Gráfico de força <i>versus</i> deslocamento Pxf da Série DT com V=24xt.....	62
Figura 3.30: Nomeclatura dos modelos.	63
Figura 3.31: Série 1 - Modelo M2A 200 600 150.....	64
Figura 3.32: Série 2 - Modelo M2A 090 400 300.....	65
Figura 3.33: Série 3 - Modelo M2B 090 600 150.....	65
Figura 3.34: Série 4 - Modelo M2B 200 600 150.....	66
Figura 3.35: Modelo M2B 090 600 150 CP3 com variação na distância entre os parafusos. .	67
Figura 3.36: Modelo M2A 090 400 300 CP3, parafuso de fixação situado muito próximo à borda da placa de OSB.....	67
Figura 3.37: À esquerda, parafuso que fixa o perfil à guia metálica atrapalha fixação da placa de OSB. À direita, perfil que estava previamente deformado e sofreu instabilidade local no enrijecedor (M2B 090 600 150 CP3).....	68
Figura 3.38: À esquerda, empenamento da base (M2A090400300CP3) e à direita, guia deformada (M2B 200 600 150 CP3).....	68
Figura 3.39: Indicação da posição dos DTs e posição relativa das placas de OSB.	69
Figura 3.40: Sistema de aplicação e controle de força – Anel dinamométrico.....	70
Figura 3.41: Demonstração da montagem e do sistema de aplicação e controle de força.....	70
Figura 3.42: Sistema de aquisição de dados.	71
Figura 3.43: Instabilidade local no enrijecedor P1E.....	72
Figura 3.44: Modelo M2B 090 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento relativo entre os DTs 1, 2, 3 e 4.....	73
Figura 3.45: : Modelo M2B 090 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.....	73
Figura 3.46: Modelo M2B 090 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.....	74
Figura 3.47: Modelo M2B 090 600 150 CP3 - Rotação dos parafusos P1D e P2D.	74
Figura 3.48: Modelo M2B 090 600 150 CP3 – Parafuso superior P1D próximo à borda da placa.	75
Figura 3.49: Modelo M2B 090 600 150 CP3 - Ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos, lado direito do modelo (P1D e P2D).	75

Figura 3.50: Modelo M2B 090 600 150 CP1 - Ruptura da placa de OSB P1D - Parafuso muito próximo à borda.....	76
Figura 3.51: Modelo M2B 090 600 150 CP1 - Gráfico Força x Deslocamento - Média dos DTs 1 e 2.	77
Figura 3.52: Modelo M2B 090 600 150 CP1 - Gráfico Força x Deslocamento - Média dos DTs 3 e 4.	77
Figura 3.53: Modelo M2B 090 600 150 CP1 - Ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos e rotação do primeiro parafuso do lado direito P2D.	78
Figura 3.54: Modelo M2B 090 600 150 CP1 - Ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos no lado direito do modelo (P1D e P2D).....	79
Figura 3.55: M2B 090 600 150 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.....	80
Figura 3.56: M2B 090 600 150 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento Média dos DTs 3 e 4.	80
Figura 3.57: Modelo M2B 090 600 150 CP2 - Seqüência de rotação dos parafusos.....	81
Figura 3.58: Modelo M2B 090 600 150 CP2 - Distorção no perfil do lado esquerdo do modelo (P1E e P2E).	82
Figura 3.59: Modelo M2B 090 600 150 CP2 - Rotação do parafuso superior.....	82
Figura 3.60: Modelo M2B 090 600 150 CP2 - Ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos.	83
Figura 3.61: Modelo M2B 090 600 150 CP2 - Deslizamentos relativos, gráficos individuais dos DTs.	84
Figura 3.62: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - Perfil utilizado possui a alma com largura maior que o perfil utilizado nos modelos da Série 3.....	84
Figura 3.63: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - Rotação dos parafusos.....	85
Figura 3.64: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - À esquerda, parafusos tracionados e à direita, ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos no lado direito do modelo P1D.....	86
Figura 3.65: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - Modos de falha na placa de OSB P1D.....	86
Figura 3.66: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - Modos de falha na placa de OSB P2D.....	87
Figura 3.67: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.	87
Figura 3.68: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.	88

Figura 3.69: Modelo M2B 200 600 150 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.....	88
Figura 3.70: Modelo M2B 200 600 150 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.....	89
Figura 3.71: Modelo M2B 200 600 150 CP2 - Rotação dos parafusos no lado P2D à esquerda e P1D à direita.....	89
Figura 3.72: Modelo M2B 200 600 150 CP2 - Ruptura por " <i>pull-over</i> " no lado P2D da placa de OSB.....	90
Figura 3.73: Modelo M2B 200 600 150 CP3 - Imperfeições iniciais.....	90
Figura 3.74: Modelo M2B 200 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.....	91
Figura 3.75: Modelo M2B 200 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.....	91
Figura 3.76: Modelo M2B 200 600 150 CP3 - Rotação dos parafusos e ruptura da placa de OSB no lado P2D.....	92
Figura 3.77: Modelo M2B 200 600 150 CP3 - Desprendimento total da placa de OSB no lado esquerdo do modelo (à esquerda, P2E e à direita P1E).	92
Figura 3.78: Modelo M2A 090 400 300 CP1 - Maior distância entre parafusos e redução na espessura das placas de OSB.	93
Figura 3.79: Modelo M2A 090 400 300 CP1 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.....	94
Figura 3.80: Modelo M2A 090 400 300 CP1 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.....	94
Figura 3.81: Modelo M2A 090 400 300 CP1 - Rotação dos parafusos e ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos.	95
Figura 3.82: Modelo M2A 090 400 300 CP1 - Afastamento lateral entre a placa de OSB e o perfil de aço.....	95
Figura 3.83: Modelo M2A 090 400 300 CP1 - Modo de falha " <i>pull-over</i> ".....	96
Figura 3.84: Modelo M2A 090 400 300 CP2 - Parafuso fixado muito próximo à borda do OSB.	97
Figura 3.85: Modelo M2A 090 400 300 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.....	97
Figura 3.86: Modelo M2A 090 400 300 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.....	98

Figura 3.87: Modelo M2A 090 400 300 CP2 - À esquerda, modo de falha "pull-over" lado P2E e à direita, P1D.	98
Figura 3.88: Modelo M2A 090 400 300 CP3 - Imperfeições iniciais e guia fora de esquadro.	99
Figura 3.89: Modelo M2A 090 400 300 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.	99
Figura 3.90: Modelo M2A 090 400 300 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.	100
Figura 3.91: Modelo M2A 090 400 300 CP3 - Desvios devido às imperfeições iniciais nas placas de OSB e afastamento lateral entre as placas de OSB e o perfil do reticulado metálico.	101
Figura 3.92: Modelo M2A 090 400 300 CP3 - Ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos - Modo de falha "pull-over" no lado P1E.....	101
Figura 3.93: Modelo M2A 200 600 150 CP1.....	102
Figura 3.94: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Parafusos fixados próximos à borda das placas de OSB.....	103
Figura 3.95: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Início do giro nos parafusos.....	103
Figura 3.96: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Rotação e tração nos parafusos, ruptura pontual das placas de OSB.	104
Figura 3.97: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.	104
Figura 3.98: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.	105
Figura 3.99: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Ruptura do modelo no seu lado esquerdo.	105
Figura 3.100: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Ruptura do modelo no seu lado direito apresentando o modo de falha "pull-over".	106
Figura 3.101: Modelo M2A 200 600 150 CP2 - Modelo ajustado para ensaio.....	107
Figura 3.102: Modelo M2A 200 600 150 CP2 - Início de rotação nos parafusos.....	107
Figura 3.103: Modelo M2A 200 600 150 CP2 - Empenamento nas placas de OSB, interrupção do ensaio.	108
Figura 3.104: Modelo M2A 200 600 150 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.	109

Figura 3.105: Modelo M2A 200 600 150 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.....	109
Figura 3.106: Modelo M2A 200 600 150 CP3 - Rotação dos parafusos.....	110
Figura 3.107: Modelo M2A 200 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.....	111
Figura 3.108: Modelo M2A 200 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.....	111
Figura 3.109: Modelo M2A 200 600 150 CP3 - Empenamento nas placas de OSB, interrupção do ensaio.	112
Figura 3.110: Modelo M2A 200 600 150 CP3 - Ruptura pontual das placas de OSB.	112
Figura 4.1: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) <i>versus</i> Vão (V) da Série AL.	115
Figura 4.2: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) <i>versus</i> Vão (V) da Série AT.	117
Figura 4.3: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) <i>versus</i> Vão (V) da Série BL.	119
Figura 4.4: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) <i>versus</i> Vão (V) da Série BT.	120
Figura 4.5: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) <i>versus</i> Vão (V) da Série CL.	122
Figura 4.6: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) <i>versus</i> Vão (V) da Série CT.	124
Figura 4.7: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) <i>versus</i> Vão (V) da Série DL.	126
Figura 4.8: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) <i>versus</i> Vão (V) da Série DL.	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Bitolas e diâmetros dos parafusos auto-atarraxantes (RODRIGUES, 2006).	25
Tabela 2.2: Bitolas e comprimentos dos parafusos auto-atarraxantes (RODRIGUES, 2006).	25
Tabela 3.1: Dimensões dos corpos de prova para os ensaios de flexão.	35
Tabela 3.2: Média das dimensões reais dos CPs.	37
Tabela 3.3: Valores para os CPs AL (t=9,5mm; cortados na direção longitudinal - L).	39
Tabela 3.4: Valores para os CPs AT (t=9,5mm; cortados na direção transversal - T).	39
Tabela 3.5: Valores para os CPs BL.	40
Tabela 3.6: Valores para os CPs BT.	40
Tabela 3.7: Valores para os CPs CL.	40
Tabela 3.8: Valores para os CPs CT.	40
Tabela 3.9: Valores para os CPs DL.	41
Tabela 3.10: Valores para os CPs DT.	41
Tabela 3.11: Resultados dos ensaios dos CPs da Série AL.	44
Tabela 3.12: Resultados dos ensaios dos CPs da Série AT.	45
Tabela 3.13: Resultados dos ensaios dos CPs da Série BL.	46
Tabela 3.14: Resultados dos ensaios dos CPs da Série BT.	49
Tabela 3.15: Resultados dos ensaios dos CPs da Série CL.	51
Tabela 3.16: Resultados dos ensaios dos CPs da Série CT.	55
Tabela 3.17: Resultados dos ensaios dos CPs da Série DL.	56
Tabela 3.18: Resultados dos ensaios dos CPs da Série DT.	60
Tabela 3.19: Parâmetros adotados para cada Série de Modelos.	64
Tabela 4.1: Resultados da Série AL.	114
Tabela 4.2: Resultados da Série AT.	116
Tabela 4.3: Resultados da Série BL.	118
Tabela 4.4: Resultados da Série BT.	120
Tabela 4.5: Resultados da Série CL.	121
Tabela 4.6: Resultados da Série CT.	123
Tabela 4.7: Resultados da Série DL.	125
Tabela 4.8: Resultados da Série DT.	127
Tabela 4.9: Resultados obtidos para cada série, discrepância nos resultados - Média dos DTs de 1 a 4.	132

Tabela 4.10: Resultados obtidos em cada Série em relação aos lados direito e esquerdo do modelo.....	132
Tabela 4.11: Maior capacidade de deslocamento obtida por modelo.	133
Tabela 4.12: Valores da Série 1 para fins comparativos.....	135
Tabela 4.13: Valores da Série 2 para fins comparativos.....	135
Tabela 4.14: Valores finais adotados para fins comparativos.....	135
Tabela 4.15: Utilizando todos os valores dos ensaios obtidos para as Séries 1 e 2.	137
Tabela 4.16: Comparação entre as Séries	137

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
APA - Engineered Wood Association
ASTM - American Society for Testing and Materials
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Técnico
CP - Corpo de Prova
CSA - Canadian Standards Association
DEES - Departamento de Engenharia de Estruturas
DT - Transdutor de Deslocamento
EM - Normal Européia
EUA - Estados Unidos da América
FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
LAEES - Laboratório de Análise Experimental de Estruturas
LP - Louisiana Pacific
LSF - Light Steel Framing
NBR - Norma Brasileira
OSB - Oriented Strand Board
P1D - Placa 1 Direita
P1E - Placa 1 Esquerda
P2D - Placa 2 Direita
P2E - Placa 2 Esquerda
PFF - Perfil Formado a Frio
TP - Transdutor de Pressão
UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
ZAR - Zincado de Alta Resistência

LISTA DE SÍMBOLOS

MAIÚSCULO

AI	Aderência interna
C	Comprimento do corpo de prova
D	Largura do enrijecedor de borda
DP	Desvio padrão
E, M_{OE}	Módulo de elasticidade
E_a	Módulo de elasticidade aparente
EM	Espaçamento entre montantes
EO	Espessura do OSB
EP	Espaçamento entre parafusos
$F_1, F_{10\%}$	Carga correspondente a 10% da carga máxima aplicada ao corpo de prova
F_2	Carga correspondente a 40% da carga máxima aplicada ao corpo de prova
$F_{50\%}$	Carga correspondente a 50% da carga máxima aplicada ao corpo de prova
F_{est}	Força estimada
$F_{máx}$	Força máxima
F_{RUP}	Força de ruptura
G	Módulo de elasticidade transversal
K	Taxa de deformação da fibra
L, V	Vão entre apoios
L_1	Distância entre os pontos de aplicação de carga
L_2	Distância de referência para medição do deslocamento no vão central
L_c	Comprimento de cisalhamento das arestas do corpo de prova
$M_{máx}$	Momento máximo aplicado ao corpo de prova
M_{OR}	Módulo de ruptura
N	Taxa de movimento
P	Força
P_{Rk}	Resistência característica
$S_1, v_{10\%}$	Deslocamento no meio do vão correspondente a 10% da carga máxima
S_2	Deslocamento no meio do vão correspondente a 40% da carga máxima
V_c	Velocidade do carregamento
W_e	Módulo de resistência elástica da seção transversal do corpo de prova

MINÚSCULO

a	Distância entre o apoio e o ponto de aplicação de carga
a_p	Comprimento do painel
b	Largura da seção transversal
b_f	Largura da mesa
b_w	Largura da alma
c_v	Coefficiente de variação
f	Flecha
f_l	Flecha devido à deformação por flexão
f_M	Resistência da madeira à flexão
h	Altura da seção transversal
h_p	Altura do painel
l	Comprimento de cisalhamento de uma das arestas do corpo de prova
t, t_n, e	Espessura nominal
$v_{50\%}$	Deslocamento no meio do vão correspondente a 50% da carga máxima
x_m	Média
z	Constante

LETRAS GREGAS

$\delta_{máx}$	Deslizamento máximo
δ_u	Deslizamento de um corpo de prova
δ_{uk}	Capacidade de deslizamento característico
σ	Tensão de ruptura
τ	Resistência ao cisalhamento
Φ	Diâmetro da diagonal equivalente

1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Entre os anos de 1810 e 1860 os Estados Unidos obtiveram um crescimento acelerado; as estimativas são de que a população estadunidense se multiplicou por dez. Em consequência, houve uma crescente demanda, principalmente de habitações, em um curto espaço de tempo. Para responder a esta demanda buscou-se um sistema rápido, produtivo e prático, conceitos oriundos da revolução industrial. Visto que naquela época existiam grandes reservas florestais, recorreu-se à utilização da madeira como matéria-prima. Assim surgiu o sistema construtivo denominado *Wood Framing* (BEVILAQUA, 2005).

A costa leste dos Estados Unidos se transformou em um grande canteiro de obras quando, em 1992, foi atingida pelo furacão *Andrew*, causando enorme destruição. Houve então a necessidade de reconstruir rapidamente as áreas afetadas.

Durante a reconstrução observou-se que a substituição dos perfis de madeira utilizados no sistema *Wood Framing* não era tão rápida quanto o desejado. O aço apresentou-se como material que soma inúmeras vantagens construtivas, como elevada resistência, elevada ductilidade, canteiro de obras menor, mais limpo e organizado, facilidade de reforço e ampliação e rapidez de execução. A tecnologia dos perfis de aço galvanizado já era conhecida na época; assim, as peças de madeira começaram a ser trocadas pelos perfis de aço, que podiam ser substituídos rapidamente e possuíam boa relação resistência/peso. Incrementa-se, então, o emprego do sistema denominado *Light Steel Framing* (LSF) na construção civil.

O sistema construtivo LSF resume-se a uma composição de painéis reticulados de aço galvanizado de perfis formados a frio trabalhando em conjunto com placas de diferentes materiais, tais como as placas cimentícias e as placas de tiras orientadas de madeira, internacionalmente denominadas de *Oriented Strand Board* (OSB), resultando assim em uma estrutura com função estrutural de construção a seco.

A construção metálica ainda atravessa um período de grande expansão no mundo e, no Brasil, desde os anos oitenta esse mercado de estruturas tem crescido sensivelmente. Hoje a estrutura metálica é uma solução técnica comprovadamente viável, porém ainda pouco utilizada no Brasil.

1.2 Generalidades Sobre o Sistema Construtivo *Light Steel Framing*

Existem dois conceitos relativos ao LSF colocados por Rodrigues (2006): *Frame* é o esqueleto estrutural projetado para dar forma e suportar a edificação, sendo composto por elementos leves, que são os perfis formados a frio (PFF); *Framing* é o processo pelo qual se unem e vinculam esses elementos. Logo, pode-se encontrar na bibliografia, referindo-se às residências construídas com perfis de aço formados a frio, as seguintes expressões *Light Steel Frame Housing* ou *Residential Cold-Formed Steel Framing*.

Segundo Rodrigues (2006), o sistema estrutural total de um edifício (Figura 1.1) pode ser dividido em dois grupos de subsistemas, os verticais e os horizontais. Os subsistemas horizontais precisam ser suportados pelos subsistemas verticais. Os subsistemas horizontais recebem e transmitem, para os subsistemas verticais, as forças de piso e teto e as cargas horizontais através de ação de diafragma dos painéis de cisalhamento (internacionalmente denominados *Shear Wall*).

Os subsistemas verticais são os painéis que compõem paredes com ou sem função estrutural. Paredes com função estrutural têm capacidade de transmitir tanto forças verticais quanto forças horizontais para a fundação da edificação; paredes sem função estrutural não tem tal capacidade.

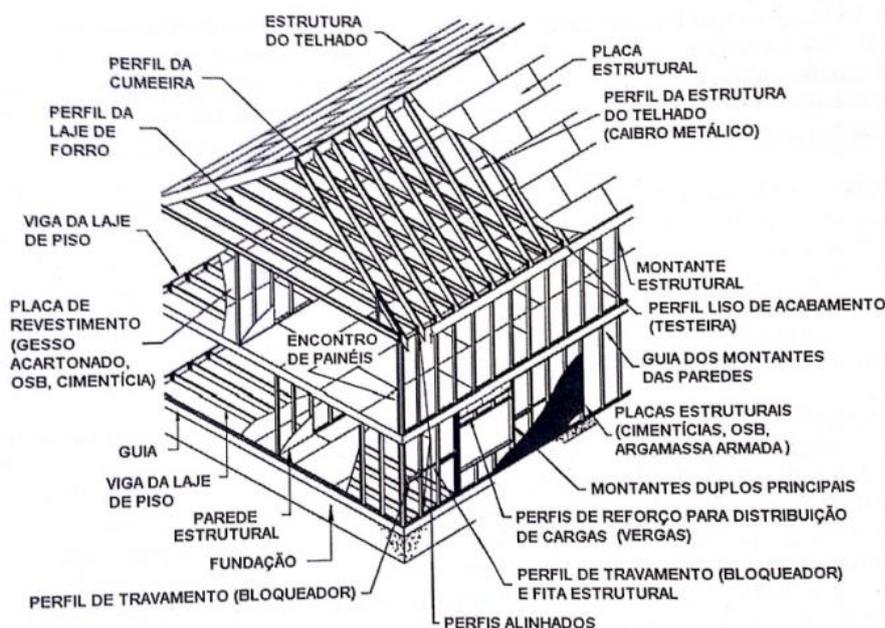


Figura 1.1: Esquema de uma residência em *Light Steel Framing*. Fonte: Manual CBCA - Tabelas de Dimensionamento Estrutural.

Para a fabricação dos perfis estruturais formados a frio do sistema LSF devem ser empregadas bobinas de aço Zincado de Alta Resistência (ZAR), revestidas com zinco ou liga alumínio-zinco pelo processo contínuo de imersão a quente. As massas mínimas de revestimento são iguais a 150g/m^2 (alumínio-zinco por imersão a quente) e 275g/m^2 (zincado por imersão a quente). As espessuras nominais das chapas mais utilizadas são 0,80mm, 0,95mm e 1,25mm. A resistência ao escoamento do aço deve ser de no mínimo 230MPa.

No manual *Steel Framing: Engenharia* (RODRIGUES, 2006, p.11-12) constam as principais definições dos PFF que constituem o sistema estrutural LSF.

1.3 Generalidades Sobre o Painel de Cisalhamento no Sistema Construtivo LSF

Os subsistemas projetados para resistir às forças laterais nas edificações em LSF são normalmente paredes contraventadas por meio de fitas ou perfis de aço galvanizados (painel "*Shear Wall*" ou Painel de Cisalhamento).

A estabilidade global de um edifício projetado segundo o sistema construtivo LSF é geralmente de responsabilidade do contraventamento em fitas de aço, que possui a função de resistir apenas à força axial de tração. No caso do contraventamento em perfis de aço, esses podem resistir às forças axiais de tração ou de compressão. Esses esforços são, então, transmitidos para a fundação da edificação.

O tipo mais comum de contraventamento em fitas de aço é o formato de "X" (Figura 1.2). Quando esse formato não é adequado devido, por exemplo, a alguma abertura, pode-se utilizar o contraventamento em outros formatos, como em "K", " Λ " e "V" (RODRIGUES, 2006).

O ângulo formado entre a fita de aço utilizada no contraventamento e a guia inferior do painel deve estar compreendido entre 30° e 60° (CONSUL STEEL, 2002). Quanto menor for o ângulo menor será a força de tração na fita (SCHAFER & HIRIYUR, 2002).

Segundo Bredel (2003) pode-se considerar que no sistema LSF o painel que trabalha como painel de cisalhamento ("*Shear Wall*") é engastado na parte inferior e livre na parte superior, servindo de apoio para a laje. Logo, as ações laterais estão aplicadas na parte superior, oriundas da presença do diafragma rígido (Figura 1.3).



Figura 1.2: Painel com contraventamento em "X" (SANTIAGO *et al.*, 2012).

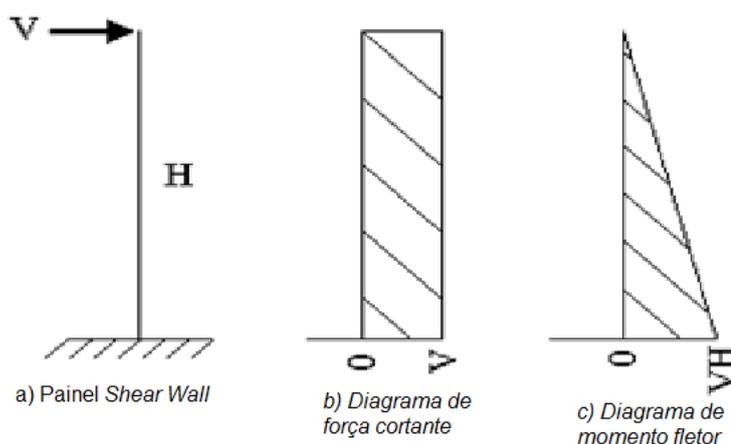


Figura 1.3: Ações laterais e condições de contorno (BREDEL, 2003).

A força aplicada na guia superior é distribuída para as placas e montantes através de parafusos auto-atarraxantes. Ao receber os esforços, a guia inferior os transmite para a fundação através do chumbador de ancoragem (Figura 1.4). Na maioria das vezes, a ancoragem dos painéis à fundação, é feita com a peça estrutural denominada *hold-down* (Figura 1.5). Este dispositivo é de extrema importância nos painéis de cisalhamento por oferecer uma maior resistência ao movimento de tombamento do painel. A instalação do *hold-down* deve ser nas extremidades de cada painel com a função de contraventamento. Parafusos auto-atarraxantes fixam este componente ao montante, na vertical, e o chumbador de ancoragem fixa a guia inferior à fundação.

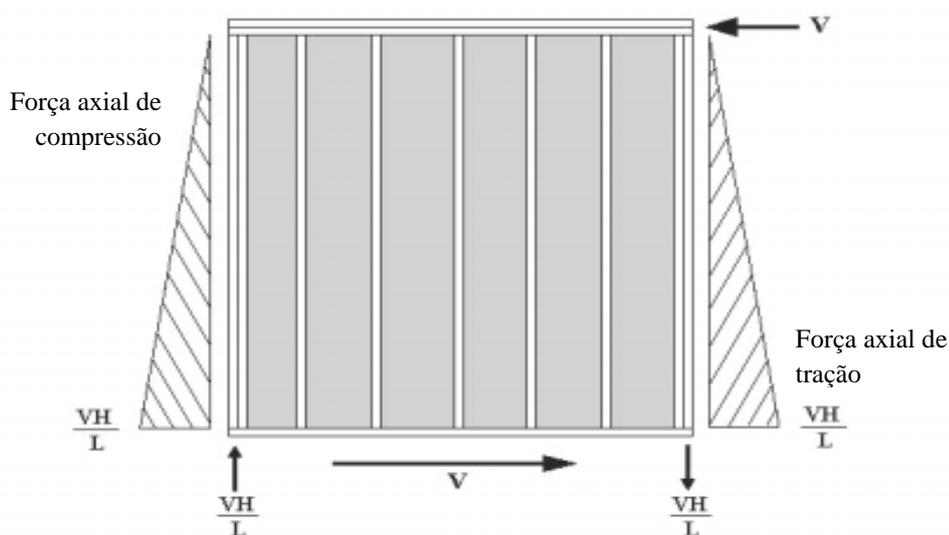


Figura 1.4: Diagrama das forças do painel de cisalhamento (BREDEL, 2003).

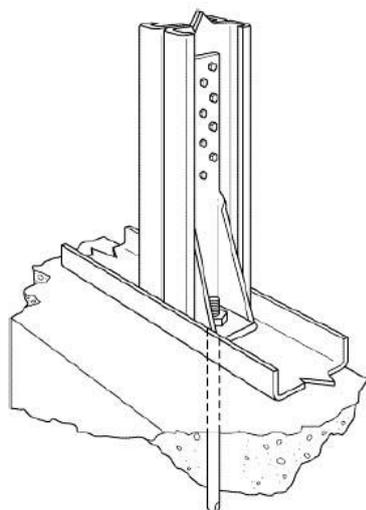


Figura 1.5: Peça de ancoragem com *hold-down* (chumbador). Fonte: Fórum da Construção em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/>.

O sistema de contraventamento do LSF com fitas (ou tiras) de aço dispostas nas diagonais dos painéis de cisalhamento necessita de placas de ligação, denominadas de Placas de Gusset, para permitir a união dessas diagonais às guias e aos montantes que formam os cantos desses painéis (Figura 1.6). Como é necessária a superposição da fita sobre a Placa de Gusset, incluindo o emprego de parafusos do tipo HEX com cabeça sextavada, forma-se uma saliência que impede o perfeito assentamento das placas de revestimento sobre o reticulado metálico, sejam elas placas cimentícias ou placas de OSB. Este problema pode ser resolvido com a execução de rebaixos nas placas de revestimento. No entanto, estes ajustes não são coerentes com o sistema construtivo LSF, que tem por princípio uma construção racional e rápida, com o mínimo de interferências de fabricação e montagem.



Figura 1.6: Fixação das diagonais nos painéis com a Placa de Gusset. Fonte: Prof. Francisco Carlos Rodrigues

Uma solução que pode eliminar essas interferências é obtida com o emprego do contraventamento em barras diagonais de perfis Ue ou U simples, do tipo "Zig-Zag", conforme apresenta a Figura 1.7. No entanto, essa solução gera um consumo adicional de perfis e parafusos de aço na construção, ocasionando um acréscimo considerável em seu custo.



Figura 1.7: Contraventamento em barras diagonais de perfis Ue (tipo "Zig-Zag"). Fonte: Prof. Francisco Carlos Rodrigues.

1.4 Objetivo

O principal objetivo do presente trabalho é investigar experimentalmente a contribuição das placas de OSB fabricadas no Brasil no contraventamento de estruturas do sistema construtivo *Light Steel Framing* (subsistema denominado de "*Shear Wall*" ou Painel de Cisalhamento), realizando para isto ensaios para determinação de algumas propriedades mecânicas do OSB e de parâmetros relacionados ao comportamento da ligação das placas de OSB com o reticulado metálico em perfis de aço galvanizado formados a frio.

Os objetivos específicos são:

- a) Determinar ou confirmar, por meio de ensaios, algumas propriedades mecânicas das placas de OSB fabricadas no Brasil, nas duas direções da placa, tais como: módulo de elasticidade longitudinal e tensão de ruptura;
- b) Analisar o comportamento do conjunto formado pelos parafusos de ligação e as placas de OSB fixadas no reticulado metálico do painel;

1.5 Metodologia

Para atingir os objetivos da presente pesquisa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para averiguar quais ensaios já foram realizados e os resultados de cada um para comparação posterior, com relação às propriedades dos materiais fabricados no Brasil e do subsistema de painel de contraventamento de maior interesse desta pesquisa.

Considerando que não existem normas técnicas brasileiras pertinentes, para a determinação das propriedades mecânicas das placas de OSB, foram seguidas as prescrições da norma *American Society for Testing and Materials* (ASTM D-3043) e as recomendações do Eurocode aplicáveis às placas de OSB, a exemplo do que fizeram Dias *et al.*(2004). As propriedades mecânicas foram determinadas através da realização de ensaios de flexão de três pontos.

O comportamento do conjunto formado pelos parafusos de ligação e as placas de OSB fixadas no reticulado metálico do painel foi verificado por meio de uma adaptação dos ensaios de cisalhamento, do tipo “*push-test*”, preconizado pelo Eurocode 4 (EN, 2004) para a determinação do comportamento e da força resistente dos parafusos auto-atarraxantes empregados no subsistema de painel de cisalhamento do sistema construtivo *Light Steel Framing*.

1.6 Justificativa

Com o aumento na utilização do sistema construtivo LSF no Brasil, atualmente, estuda-se a possibilidade da substituição das fitas de aço galvanizado, usualmente utilizadas no contraventamento, por painéis de revestimento em placas de OSB, que são consideradas como componentes estruturais pelos fabricantes. Esses materiais possuem boas propriedades mecânicas, o que pode conferir aos painéis a capacidade de resistir a esforços horizontais, sendo definido como efeito diafragma. Assim, o painel fica denominado como diafragma rígido, funcionando como contraventamento para estruturas em LSF. Porém, ainda não existem metodologias de dimensionamento e normas nacionais ou estrangeiras que fazem a regulamentação dessas placas de OSB na função de contraventamento. Ocorre que essa substituição deve ser calculada e analisada mais atentamente para realmente atender a essa função de resistir aos esforços cortantes oriundos da força do vento ou outras ações horizontais.

Na presente pesquisa, justifica-se o estudo visando à substituição das fitas por placas de OSB para a constituição dos painéis de cisalhamento, por ser esta uma inovação tecnológica para a construção civil.

O Brasil ainda não possui normatização para as placas de OSB e nem selo de qualidade que as certifique. Por isso, até o momento, a qualidade do produto é certificada com parâmetros internacionais. A APA (Engineered Wood Association) é uma certificação internacional que certifica a maioria das placas estruturais no mundo. Leva em consideração as propriedades físico-mecânicas para serem utilizadas na construção de casas, conforme as normas de construção do Canadá e dos Estados Unidos da América (EUA).

Uma vez que não existem normas brasileiras para especificação e determinação dos parâmetros de ensaio e das propriedades físicas e mecânicas necessárias para que as placas de OSB possam ter de fato uma função estrutural como componentes do painel de cisalhamento, com os resultados obtidos a partir da presente pesquisa espera-se poder contribuir e servir como base para o desenvolvimento dessas normas.

Considerando a redução do consumo de aço a ser gerada com essa inovação tecnológica, com os resultados da presente pesquisa é possível também incluir as moradias construídas segundo o Sistema Light Steel Framing no Programa de Habitação de Interesse Social (HIS) do governo

brasileiro e, assim, contribuir para a diminuição do déficit brasileiro de moradias, que ainda é expressivo e tem que ser resolvido em curto prazo.

2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Placas de OSB

O material denominado internacionalmente de *Oriented Strand Board* (OSB) surgiu no Canadá, na região dos grandes lagos, conhecida pela abundância de *Aspen* (*populus.pps*) e *pinus*. As placas de OSB são de alta tecnologia, ideais para os fechamentos externo e interno de paredes, coberturas e lajes do sistema LSF. Logo, começaram a serem difundidas como painéis estruturais de usos múltiplos. Assim, houve uma expansão da utilização desses painéis pelos Estados Unidos e acabaram ganhando notoriedade mundial.

No Brasil, as placas de OSB começaram a ser produzidas a partir de 2002 utilizando madeira de *pinus*. Contudo, a demanda pela madeira de *pinus* só cresce motivando assim pesquisas com outras espécies, principalmente eucalipto, para suprir a indústria de placas de partículas (CABRAL *et al.*, 2006). Segundo Moslemi (1974), Maloney (1993), Kelly (1977) e Hrázský e Král (2003) *apud* Cabral *et al.* (2006), entre os requisitos na escolha da matéria-prima para a fabricação de placas de madeira reconstituída, devem-se considerar densidade, estabilidade dimensional, acidez e capacidade-tampão, que é a capacidade de ácido ou base necessária para tornar o pH correto à cura do adesivo.

Atualmente, as placas de OSB já são fabricadas no Brasil e o principal fabricante é a empresa Louisiana Pacific (LP) Building Products, que possui desde Julho de 2011 a primeira fábrica brasileira de OSB, anteriormente pertencente à empresa Masisa. Segundo o fabricante, as principais vantagens de uso do LP OSB são:

- Alta resistência a impactos;
- Elevado conforto térmico devido à baixa condutibilidade do OSB;
- Elevado conforto acústico;
- Resistente à umidade;
- Garantia estrutural por 20 anos e contra cupins por 10 anos;
- Versátil: aceita diversos tipos de acabamentos;
- Rapidez de instalação;
- Produto ecologicamente correto;
- Assistência técnica garantida.

Segundo Cabral *et al.* (2006), a placa de OSB é um painel de partículas de madeira parcialmente orientadas, finas e longas, com a incorporação de adesivo à prova d'água e consolidadas pelo uso de resina, calor e pressão. As partículas normalmente possuem largura de 25mm e comprimento de 80mm a 150mm, podendo estar dispostas na camada interna, perpendiculares às camadas externas, ou de forma aleatória. As propriedades mecânicas da placa de OSB se assemelham às da madeira sólida, pois não são utilizados resíduos de serraria na sua produção. A boa resistência mecânica da placa de OSB é devida ao método de fabricação (Figura 2.1). Esse método oferece excelentes resultados de resistência à flexão e módulo de elasticidade, conforme citado por Mendes (2002).

A densidade da matéria prima utilizada é uma das propriedades mais importantes, pois afeta a densidade final do painel e as suas propriedades mecânicas. Madeiras de baixa densidade permitem razões de compactação mais elevadas, o que aumenta a superfície de contato entre as partículas de madeira, melhorando a adesão entre elas. Além do mais, madeiras de baixa densidade geram painéis com maior uniformidade, e que possuem alta capacidade de distribuição de forças, melhorando suas propriedades de resistência à flexão estática e as ligações internas (BASTOS, 2009). As madeiras utilizadas na fabricação da placa de OSB têm densidade em torno de 600 a 800kg/m³, o que é característica de madeiras macias de menos resistência mecânica.

Segundo Mendes (2002), as dimensões nominais dessas placas são de 120cm de largura por 240cm de comprimento, ou 160cm de largura por 250cm de comprimento. As espessuras usuais são: 11mm, 13mm, 15mm e 18mm.



Figura 2.1: Fabricação da placa de OSB. Fonte: site da Global Wood em: <http://www.globalwood.com.br>.

2.1.1 Pesquisa Realizada por Dias *et al.* (2004) e Dias (2005)

Dias, *et al.* (2004) realizaram ensaios em placas de OSB, produzidas no Brasil, para determinação de suas propriedades mecânicas. O enfoque foi nas placas com espessuras de 12mm e 18mm, tendo sido selecionadas 8 placas de cada espessura. Também segundo Dias *et al.* (2004), a NBR 7190/97 - Projeto de Estruturas de Madeira não apresenta procedimentos para determinação dessas propriedades das placas constituídas de madeira; por isso, foram utilizados os procedimentos propostos pelas normas norte-americanas da *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

Os ensaios feitos por Dias *et al.* (2004) foram de acordo com as prescrições da norma ASTM D3043 (1995) - *Standard methods of testing structural panels in flexure*, sendo: resistência e rigidez à flexão longitudinal; resistência e rigidez à flexão transversal; resistência e rigidez à flexão vertical. Também foram feitos ensaios de rigidez ao cisalhamento "*through-the-thickness*" ("através da espessura"), obtidos de acordo com as prescrições da norma ASTM D-2719 (1994) - *Standard Test Methods for Structural Panels in Shear Through-the-Thickness*.

Segundo Bodig e Jayne (1993) este método de ensaio foi concebido de modo a submeter o corpo de prova a um estado puro de tensões de cisalhamento no plano da placa (Figura 2.2).

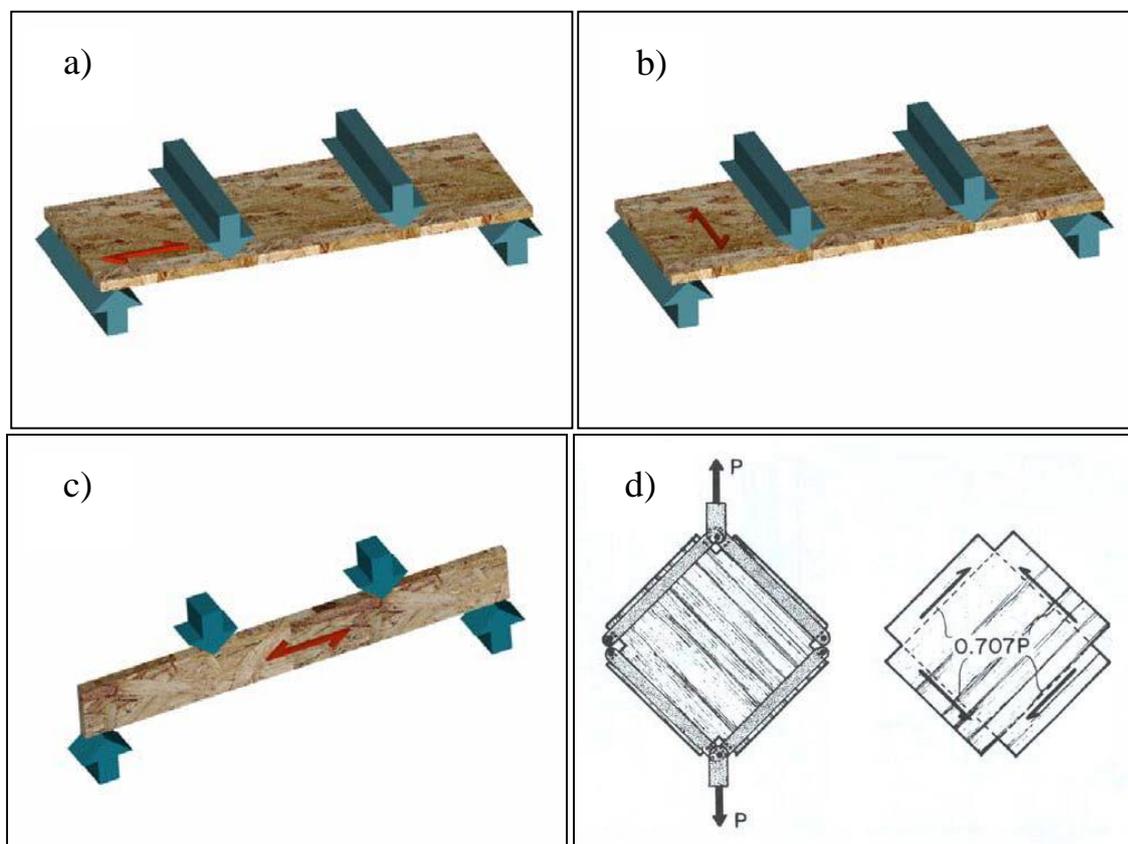


Figura 2.2: Esquema dos ensaios realizados por Dias (2005): a) Ensaio de flexão da placa de OSB cortada na direção longitudinal; b) Ensaio de flexão da placa de OSB cortada na transversal; c) Ensaio de flexão com a placa de OSB na vertical; d) Ensaio de cisalhamento (DIAS, 2005).

No ensaio de flexão com carga monotônica crescente (Figura 2.3) realizado por Dias *et al.* (2004), a resistência da madeira à flexão é dada pela máxima tensão que pode atuar em um corpo de prova. Supondo que a madeira é um material elástico até a ruptura, essa resistência é dada por:

$$f_M = \frac{M_{máx}}{W_e} \quad (2.1)$$

onde:

$M_{máx}$ é o máximo momento aplicado ao corpo de prova, em Nmm;

W_e é o módulo de resistência elástica da seção transversal do corpo de prova, dado por $bh^2/6$, em mm^3 .

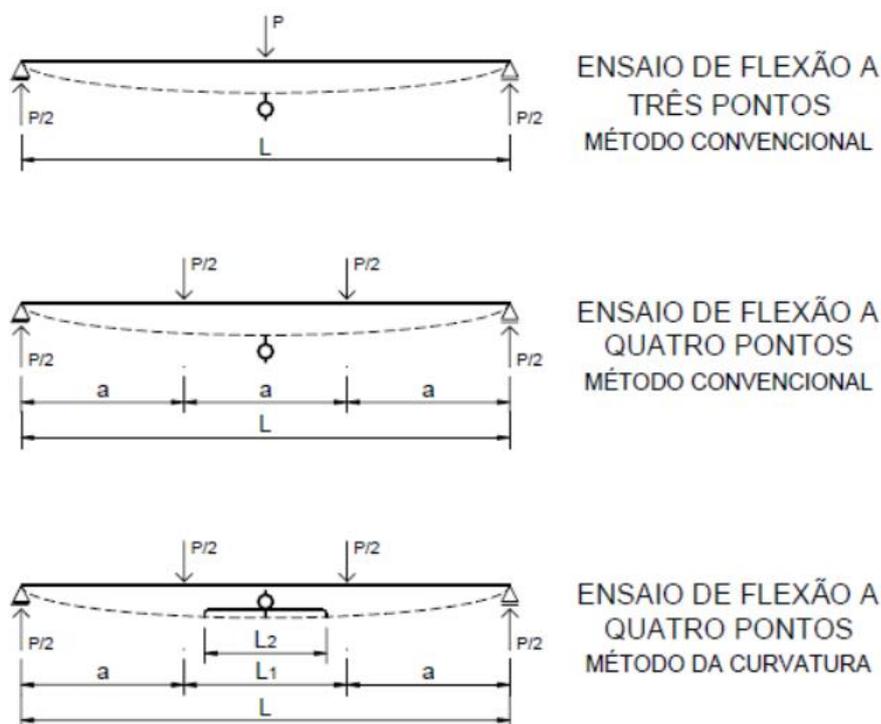


Figura 2.3: Esquema do ensaio de flexão estática (DIAS et al., 2004).

O módulo de elasticidade de um corpo de prova prismático está relacionado ao valor de sua rigidez à flexão. No esquema estrutural do ensaio de quatro pontos utilizado por Dias *et al.* (2004), apresenta um trecho central com momento fletor constante e esforço cortante nulo ao mesmo tempo. Neste caso, se for obtida a deflexão total no meio do vão, isto é, referente aos apoios extremos, obtém-se o módulo de elasticidade aparente (E_a) através da seguinte equação:

$$E_a = \frac{(F_{50\%} - F_{10\%}) \cdot a}{(v_{50\%} - v_{10\%}) \cdot 2bh^3} (3L^2 - 4a^2) \quad (2.2)$$

onde:

$F_{10\%}$ e $F_{50\%}$ são as cargas correspondentes a 10% e 50% da carga máxima aplicada ao corpo de prova, em N;

$v_{10\%}$ e $v_{50\%}$ são os deslocamentos no meio do vão correspondentes a 10% e 50% da carga máxima $F_{máx}$, em mm;

b e h correspondem respectivamente à largura e à altura da seção transversal do corpo de prova, em mm;

L é o vão entre os apoios, em mm;

a é a distância entre o apoio e o ponto de aplicação da carga, em mm.

No ensaio de quatro pontos Dias *et al.* (2004) também empregaram o Método da Curvatura, no qual é registrado o deslocamento vertical no meio do vão, porém relativo a outro ponto situado entre os pontos de atuação do carregamento (sendo preferível um ponto mais afastado possível do meio do vão). A interpretação dos resultados é feita a partir do registro da variação da curvatura em função das cargas aplicadas. Neste caso, obtém-se o módulo de elasticidade à flexão (E_x) baseada exclusivamente na deformação por momento fletor, assim, é dada a seguinte equação:

$$E_x = \frac{(F_{50\%} - F_{10\%}) \cdot a}{(v'_{50\%} - v'_{10\%}) \cdot 8bh^3} [3(L - L_1)L_2^2] \quad (2.3)$$

onde:

$F_{10\%}$ e $F_{50\%}$ são as cargas correspondentes a 10% e 50% da carga máxima aplicada ao corpo de prova, em N;

$v'_{10\%}$ e $v'_{50\%}$ são os deslocamentos no meio do vão correspondentes a 10% e 50% da carga máxima $F_{máx}$, em mm;

b e h correspondem respectivamente à largura e à altura da seção transversal do corpo de prova, em mm;

L é o vão entre os apoios, em mm;

L_1 é a distância entre os pontos de aplicação de carga, em mm;

L_2 é a distância de referência para medição do deslocamento no vão central, em mm;

a é a distância entre o apoio e o ponto de aplicação da carga, em mm.

Esses dois métodos fornecem valores diferentes para o módulo de elasticidade, devido ao fato de considerar ou não a parcela do deslocamento devido ao cisalhamento. Segundo Bodig e Jayne (1992) *apud* Dias *et al.* (2004), quanto maior for a relação entre o vão entre apoios e a altura da peça, menor a contribuição da parcela do esforço cortante na deflexão da viga.

Para o ensaio de cisalhamento, de acordo com a norma adotada por Dias *et al.* (2004), no corpo de prova a área de cisalhamento deve ter no mínimo 610mm de lado e a espessura mínima da placa para o ensaio é de 12,7mm. Quando as placas não possuem a espessura mínima deve-se

colar duas ou mais placas para a realização do ensaio. As quinas do corpo de prova devem ser arredondadas, com raio de 12,5mm. As extremidades do corpo de prova são enrijecidas através de guias de madeira maciça coladas em ambos os lados do mesmo, este enrijecimento é necessário para receber a aplicação do carregamento.

A deformação no ensaio de cisalhamento deve ser registrada posicionando-se um transdutor de deslocamento, em ambas as faces, na direção da diagonal da placa coincidente com a direção de atuação das forças de tração. Fazendo-se uma transformação adequada, esta medida pode ser usada para a determinação da deformação de cisalhamento da placa. A resistência ao cisalhamento deve ser tomada como sendo:

$$\tau = 0,707 \cdot \left(\frac{P}{Lt} \right) \quad (2.4)$$

onde:

τ é a resistência ao cisalhamento, em N/m²;

P é a força máxima aplicada, em N;

L é o comprimento de cisalhamento de uma das arestas do corpo de prova, em m;

t é a espessura do corpo de prova, em m.

O módulo de elasticidade ao cisalhamento no plano da placa é obtido a partir da relação tensão-deformação ao cisalhamento. A norma ASTM D2719-89 fornece a equação para o cálculo do módulo de elasticidade ao cisalhamento (G):

$$G = 0,3536 \cdot \frac{P}{\Delta} \cdot \frac{L_1}{L \cdot t} \quad (2.5)$$

onde:

G é o módulo de elasticidade transversal, em MPa;

P/Δ é o coeficiente angular da curva carga x deformação, em N/mm;

L_1 é a distância entre os pontos de aplicação de carga, em mm;

L é o comprimento de cisalhamento de uma das arestas do corpo de prova, em mm;

t é a espessura do corpo de prova, em mm.

Este método de ensaio de cisalhamento requer corpos de prova de grandes dimensões e um intrincado dispositivo de ensaio, por isso é pouco empregado. Entretanto, existe a ressalva de que este constitui-se num dos poucos métodos diretos de determinação do módulo de elasticidade ao cisalhamento, tornando-se uma opção promissora e que conduz a resultados satisfatórios.

Os resultados de Dias *et al.* (2004) mostraram que os coeficientes de variação das placas de OSB, tanto para os valores de resistência bem como para os de rigidez, são significativamente inferiores àqueles normalmente apresentados pela madeira maciça. Essa é uma característica típica das placas de madeira reconstituída em geral, e se deve ao processo industrial que tende a homogeneizar as propriedades do material.

Dias *et al.* (2004) observaram também que as propriedades mecânicas das placas de OSB com espessura de 18mm apresentaram valores ligeiramente superiores aos das placas de 12mm de espessura, com exceção dos resultados de resistência à flexão vertical, onde os resultados foram semelhantes. A maior diferença, de aproximadamente 18%, foi verificada nas resistências à flexão transversal e longitudinal.

Dias *et al.* (2004) observaram que os resultados obtidos de resistência e rigidez, aliados às formas coerentes de ruptura das placas, denotam a viabilidade dos procedimentos de ensaios contidos nas normas ASTM adotadas no estudo, sendo os valores de resistência e rigidez à flexão um pouco superiores aos fornecidos pelo fabricante.

2.1.2 Pesquisa Realizada por Bastos (2009)

Bastos (2009) também fez análise experimental para determinar algumas propriedades mecânicas e físicas da placa de OSB. Foram utilizados painéis nacionais produzidos pela Masisa. Pela falta de normatização brasileira específica, como já foi citado por Dias *et al.* (2004), Bastos (2009) fez adaptações das prescrições experimentais das normas brasileiras para Compensados e para Madeiras Aglomeradas, e também das normas estrangeiras para as placas de OSB: Normas Canadenses para OSB (CSA), Normas Europeias para OSB (NP-EN) e

Normas Americanas para OSB (ASTM). Por isso, foram necessárias adaptações de equipamentos e métodos experimentais.

Os materiais objetos de estudo de Bastos (2009) são as placas de OSB Form e OSB Form Plastificado, todas com 17mm de espessura. Essas placas são geralmente utilizadas como fôrma para concreto armado e ainda não possuem caracterização pelas normas da ABNT.

Bastos (2009) realizou ensaios para a determinação da densidade, do módulo de elasticidade (E) e módulo de ruptura (M_{OR}), da dureza Janka, da resistência ao impacto, da resistência ao cisalhamento por compressão, da tração paralela às faces, da tração perpendicular às faces, da resistência e da rigidez ao cisalhamento. Abaixo serão discriminados os ensaios pertinentes à presente pesquisa.

Nos ensaios de Bastos (2009), na determinação do E e do M_{OR} , na flexão estática dos painéis, a amostragem e o plano de corte dos corpos de prova foram retirados dos painéis de acordo com as prescrições da norma europeia EN-326-1/1994. As dimensões dos corpos de prova seguiram a seguinte equação:

$$L = 25e \quad (2.6)$$

onde:

L é a distância entre apoios;

e é a espessura do painel.

Ainda de acordo com a norma europeia citada acima o comprimento total dos corpos de prova de Bastos (2009) é obtido por:

$$C = L + 50 \quad (2.7)$$

onde:

C é o comprimento;

L é a distância entre apoios.

Assim, os corpos de prova ensaiados por Bastos (2009) tinham 475mm de comprimento, 75mm de largura e 17mm de espessura (Figuras 2.4).

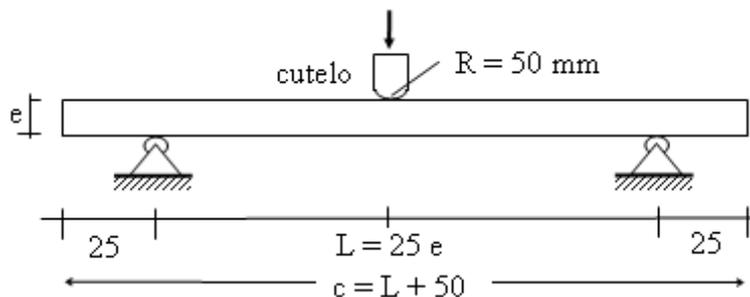


Figura 2.4: Esquema de ensaio de flexão (EN - 310/93).

Na aplicação de carga Bastos (2009) utilizou as especificações da norma canadense CSA.0437.1/1993, em que a carga deve ser aplicada através do cutelo, continuamente e a uma velocidade constante, com o cálculo feito da seguinte forma:

$$V_c = \frac{KL^2}{6e} \quad (2.8)$$

onde:

V_c corresponde à velocidade do carregamento, em mm/s;

$K=0,00005$, taxa de deformação da fibra;

L é a distância entre apoios (vão), em mm;

e é a espessura do corpo de prova, em mm.

Assim, a velocidade do carregamento foi de 0,0885mm/s.

Bastos (2009) obteve o módulo de elasticidade como determina a EN-310/1993 com a equação:

$$E = \frac{L^3(F_2 - F_1)}{4be^3(S_2 - S_1)} \quad (2.9)$$

onde:

E é o módulo de elasticidade, em N/mm²;

L é a distância entre os centros dos apoios (vão), em mm;

e é a espessura do corpo de prova, em mm;

b é a largura do corpo de prova, em mm;

$F_2 - F_1$ é o incremento de força, no trecho reto da curva força-deflexão, determinando F_1 a 10% e F_2 a 40% da carga de ruptura, em Newtons, com precisão de 1% (Figura 2.5);

$S_2 - S_1$ é o incremento de deflexão, no ponto central do vão, correspondente a $F_2 - F_1$, determinado em mm, com precisão de 0,01 mm (Figura 2.5).

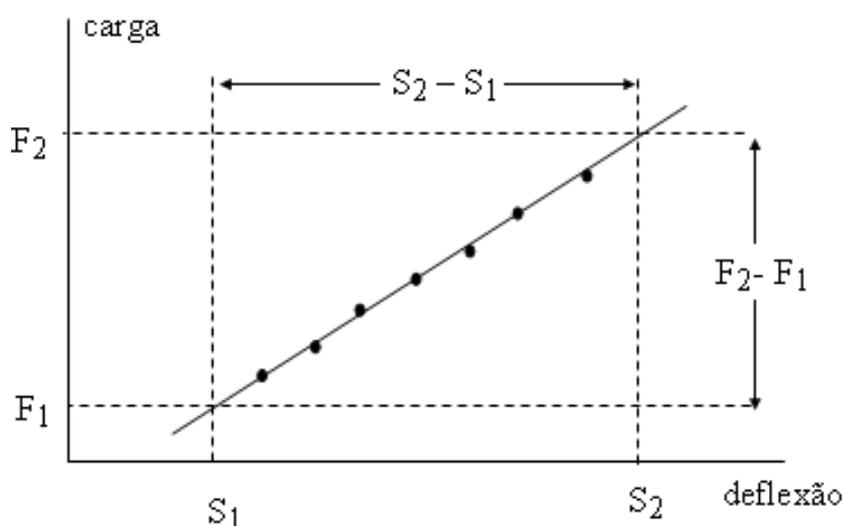


Figura 2.5: Gráfico para determinação das forças F_1 e F_2 (BASTOS, 2009).

O módulo de ruptura (M_{OR}) na flexão elástica foi obtido por Bastos (2009) pelo cálculo da média dos resultados dos ensaios de flexão (Figura 2.6). O M_{OR} foi calculado como determina a norma europeia EM-310/1993:

$$M_{OR} = \frac{3F_{RUP}L}{2be^2} \quad (2.10)$$

onde:

M_{OR} é o módulo de ruptura à flexão estática, em N/mm^2 ;

F_{RUP} é a força de ruptura, em Newtons;

L é a distância entre os centros dos apoios (vão), em mm;

e é a espessura do corpo de prova, em mm;

b é a largura do corpo de prova, em mm;



Figura 2.6: Execução do ensaio para determinação do M_{OE} e do M_{OR} (BASTOS, 2009).

Para determinar a resistência ao cisalhamento à compressão, Bastos (2009) utilizou as especificações da norma americana ASTM D-1037-06A para a fabricação dos corpos de prova. Para a realização do ensaio, foi necessário acoplar o equipamento na máquina de teste (Figuras 2.7 e 2.8).

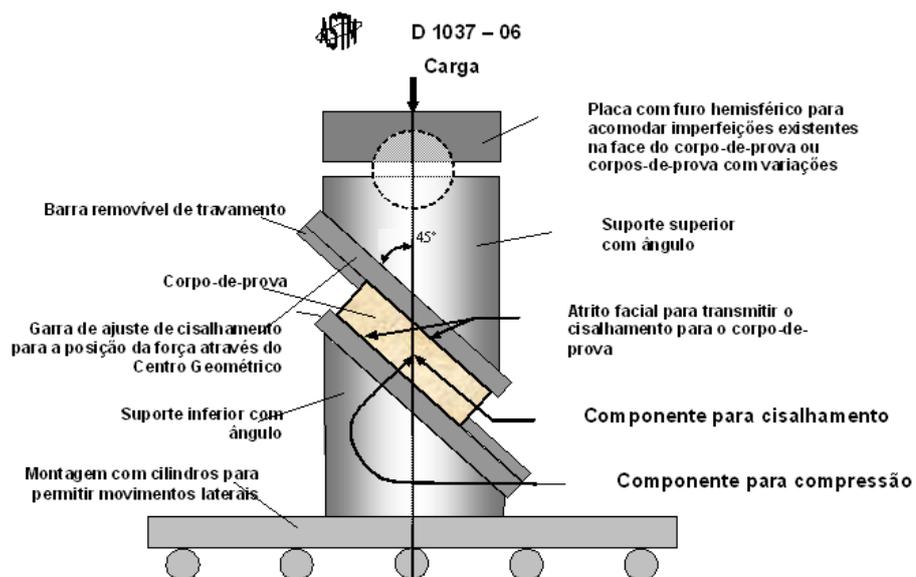


Figura 2.7: Equipamento para ensaio de cisalhamento à compressão (BASTOS, 2009).



Figura 2.8: Ensaio de cisalhamento à compressão (BASTOS, 2009).

Ainda de acordo com Bastos (2009), esse método de ensaio à compressão expõe a qualidade das ligações das partículas que compõem o painel, além de verificar a carga máxima que o painel pode resistir. Os resultados foram calculados através da equação:

$$AI = \frac{F_{RUP}}{\sqrt{2Cb}} \quad (2.11)$$

onde:

AI é a aderência interna;

F_{RUP} é a carga de ruptura, em Newton;

C é o comprimento do corpo de prova, em mm;

b é a largura do corpo de prova, em mm.

Na determinação da resistência e da rigidez ao cisalhamento, os corpos de prova e os procedimentos de ensaio seguiram as prescrições do método B da norma americana ASTM D2719-94. A resistência ao cisalhamento foi obtida através da equação:

$$\tau = 0,707 \cdot \left(\frac{P}{l \cdot e} \right) \quad (2.12)$$

onde:

τ é a resistência ao cisalhamento, em N/m²;

P é a força máxima aplicada, em N;

l é o comprimento de cisalhamento de uma das arestas do corpo de prova, em m;

e é a espessura do corpo de prova, em m.

Bastos (2009) obteve o módulo de elasticidade ao cisalhamento (G) através da relação tensão-deformação ao cisalhamento, utilizando as especificações da norma americana ASTM D2719-94 com o emprego da equação:

$$G = 0,3536 \cdot \frac{P}{\Delta} \cdot \frac{L_1}{L_c \cdot t} \quad (2.13)$$

onde:

G é o módulo de elasticidade transversal, em MPa;

P/Δ é o coeficiente angular da curva carga x deformação, em N/mm;

L_1 é o valor do deslocamento, em mm;

L_c é o comprimento de cisalhamento das arestas do corpo de prova, em mm;

t é a espessura do corpo de prova, em mm.

Os valores médios dos resultados obtidos por BASTOS (2009) são: Módulo de elasticidade na flexão (E) de 5747,158N/mm²; Módulo de ruptura na flexão (M_{OR}) de 34,715N/mm²; Resistência ao cisalhamento à compressão de 24,6833479N/mm².

2.2 Ligações

No sistema LSF, para ligação dos perfis formados a frio entre si e ligações entre outros elementos que compõem o sistema construtivo, são utilizados principalmente os parafusos autobrocantes e auto-atarraxantes (Figura 2.9).

Segundo Santiago *et al.* (2012), esses parafusos são de aço carbono com tratamento cementado e temperado, e recobertos com uma proteção zinco-eletrolítica para evitar a corrosão e manter as características similares à estrutura galvanizada.

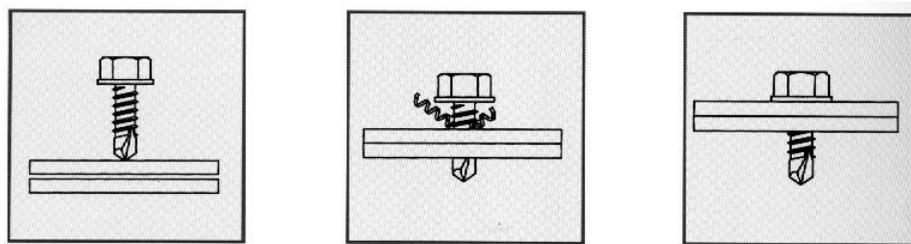


Figura 2.9: Instalação do parafuso auto-atarraxante.

Os diâmetros dos parafusos auto-atarraxantes vão do nº6 ao nº14. No entanto, os mais utilizados vão do nº8 ao nº14 (Tabela 2.1). O comprimento desses parafusos varia de ½ polegada a 3 polegadas (12,7mm a 76,2mm). Quanto maior o diâmetro do parafuso, maior sua resistência ao cisalhamento. Segundo Rodrigues (2006) o comprimento depende ainda da aplicação, pois ao ser usado para fixar os componentes de aço, o parafuso deve ultrapassar o último elemento com no mínimo em três passos de rosca (Tabela 2.2). Na fixação entre elementos de placas e perfis, o parafuso deve fixar todas as camadas e ultrapassar o perfil em pelo menos 10mm (Figura 2.10).

Tabela 2.1: Bitolas e diâmetros dos parafusos auto-atarraxantes (RODRIGUES, 2006).

Bitola	Diâmetro (mm)
#8	4,2
#10	4,8
#12	5,5
#14	6,3

Tabela 2.2: Bitolas e comprimentos dos parafusos auto-atarraxantes (RODRIGUES, 2006).

Bitola	Comprimento (mm)
#8	12,7 a 25,4
#10, #12	12,7 a 38,1

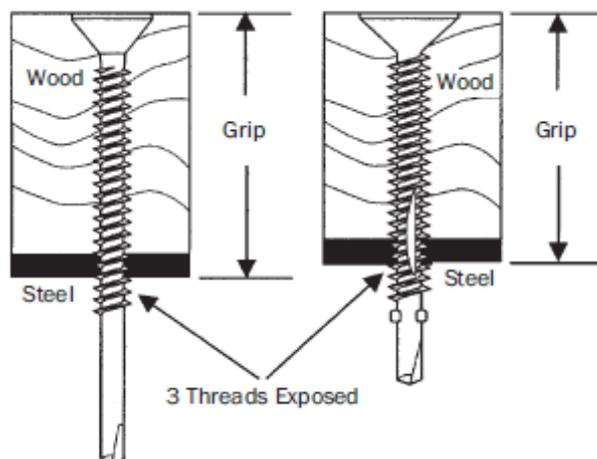


Figura 2.10: Detalhe na instalação do parafuso auto-atarraxante.

Esses parafusos possuem dois tipos de ponta: ponta broca ou self-drilling, utilizado quando a placa do perfil possuir espessura maior que 0,80mm, e ponta agulha ou self-piercing, utilizado quando a placa do perfil possuir espessura até 0,80mm (Figura 2.11).

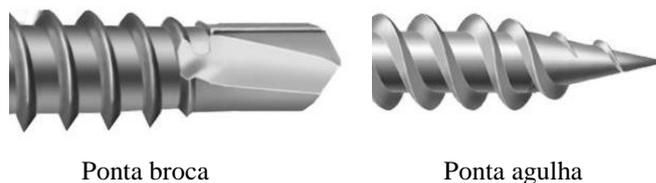


Figura 2.11: Tipos de pontas dos parafusos auto-atarraxantes. Fonte: site da Rebipar em: <http://www.rebipar.com.br/>.

A cabeça do parafuso depende do tipo de material a ser fixado. Na ligação aço-aço, utilizam-se os tipos de cabeça lentilha e sextavada. Já na fixação de placas de fechamento nos perfis de aço, utiliza-se o parafuso de cabeça tipo trombeta (Figura 2.12).



Figura 2.12: Tipos de cabeças dos parafusos auto-atarraxantes. Fonte: site da Rebipar em: <http://www.rebipar.com.br/>.

2.3 Modos de Ruptura *Pull-Out* e *Pull-Over*

Dois modos de falha são observados quando os parafusos auto-atarraxantes são submetidos à tração: o pull-out e o pull-over. O pull-out é caracterizado como o arrancamento do parafuso, de forma em que este se desvincula da base fixada; já o pull-over ocorre com o puncionamento da placa, ou seja, o parafuso fica preso à base, mas, o outro elemento fixado se desvincula da fixação soltando-se do conjunto. Ambas são mostradas na Figura 2.13.

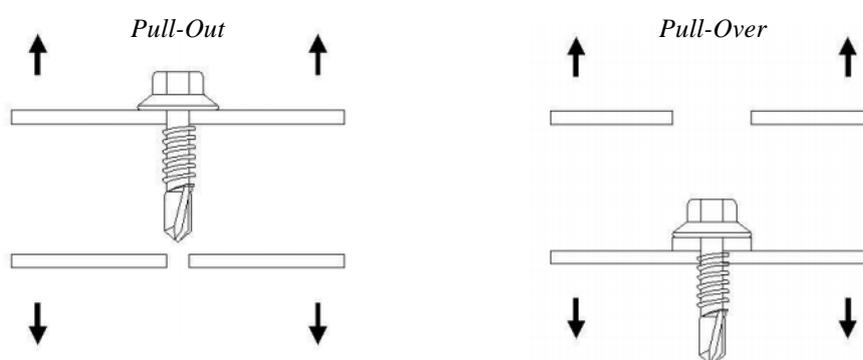


Figura 2.13: Modos de falha *pull-out* e *pull-over* (RODRIGUES, 2006).

2.4 Ductilidade

Os conectores são classificados de duas formas: dúcteis ou frágeis. A ductilidade dos conectores está associada ao seu comportamento quando submetido à ação do fluxo de cisalhamento longitudinal. A ductilidade quase não afeta o comportamento em regime elástico, mas altera a resposta da conexão em regime último ou "pós-elástico". Isso ocorre devido a redistribuição do fluxo de cisalhamento longitudinal entre os conectores. Assim, sob carregamento crescente, em conector dúctil, próximo a atingir a sua resistência máxima, pode continuar a deformar-se, sem ruptura, permitindo que conectores vizinhos absorvam, por sua vez, maior força de cisalhamento e atinjam também a sua capacidade total, num processo de uniformização da resistência da conexão. Isto justifica a hipótese de comportamento plástico ideal da conexão ao cisalhamento na estrutura, o que permite espaçar igualmente os conectores, sem diminuir a resistência máxima da conexão.

Segundo o EN 1994-1-1:2004 que padroniza o ensaio tipo "*push-test*" (ver descrição no item 2.5), um conector de cisalhamento é classificado como dúctil se apresenta deslizamento característico δ_{uk} superior a 6,0 mm. A Figura 2.14 ilustra o comportamento de um conector dúctil e um conector frágil quando submetidos a um carregamento no ensaio *push-test*.

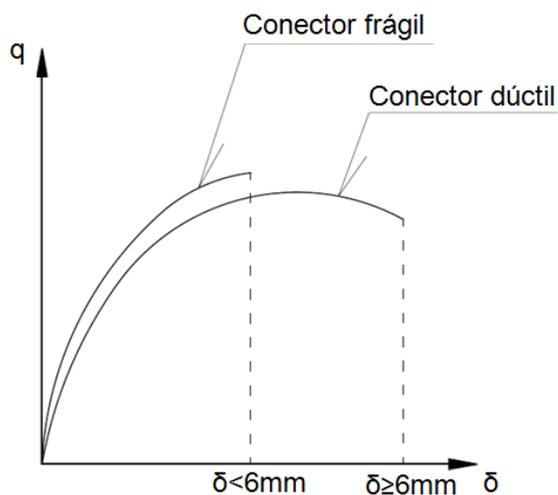


Figura 2.14: Gráfico Carga x Deslizamento - Comportamento de conectores dúcteis ou frágeis.

Além da definição da ductilidade do conector, prevista pela EN 1994-1-1:2004, observa-se que os conectores também podem ser classificados como rígidos ou flexíveis (Figura 2.15). Um conector do tipo rígido não se deforma sob ação de carga, e proporcionaria uma conexão praticamente sem deslizamento relativo entre a placa de OSB e o perfil de aço. Por outro lado, os conectores flexíveis se deformam sob carga, o que permitiria um deslizamento relativo entre a placa de OSB e o perfil de aço.

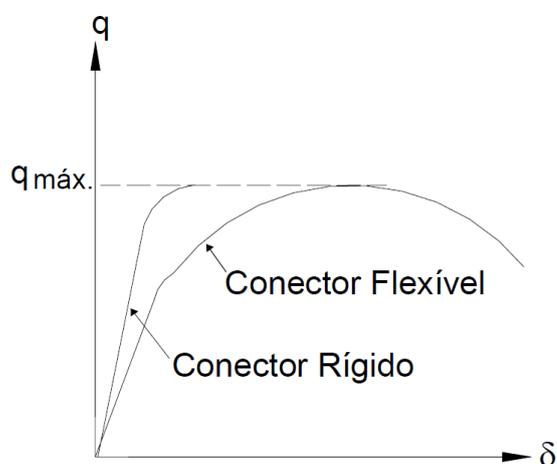


Figura 2.15: Gráfico Carga x Deslocamento - Comportamento de conectores flexíveis e rígidos (DAVID, 2007).

Dessa forma, os conectores podem ser classificados das seguintes formas: conector rígido frágil ou dúctil; conector flexível frágil ou dúctil.

2.5 Ensaio tipo "*Push-test*"

Para a análise do sistema construtivo LSF é necessário levar em consideração a ação conjunta do perfil de aço formado a frio, da placa de revestimento e dos parafusos de fixação. O estudo da interface perfil de aço- placa de revestimento tem fundamental importância, pois é nesta região que está presente a ação das forças de cisalhamento que são transmitidas pelos parafusos de fixação para os elementos que compõem o reticulado metálico. Os parafusos de fixação são responsáveis por garantir que os dois materiais, perfil de aço e placas de revestimento, trabalhem de forma conjunta. A melhor forma de se analisar estes conectores é através da realização de ensaios experimentais, como, por exemplo, o ensaio do tipo "*push-test*". O termo "*push-test*" é usualmente empregado na literatura internacional para fazer referência aos ensaios de cisalhamento direto, também chamados ensaios de deslizamento.

Para a caracterização de um conector de cisalhamento é de extrema importância que se conheça o comportamento força-deslizamento da conexão. Um dos métodos para obtenção e avaliação deste dado se dá através de ensaios tipo "*push-test*" (EN 1994-1-1:2004). Ao avaliar o desempenho de um conector de cisalhamento, no caso o parafuso auto-atarraxante fixando a placa de OSB no montante do reticulado metálico, duas características são especialmente observadas: a capacidade resistente e a ductilidade. Ambas podem ser conhecidas a partir da relação força-deslizamento, ou seja, a relação entre força de cisalhamento transmitida e o deslizamento relativo entre as superfícies de contato dos elementos componentes de um sistema misto.

O ensaio "*push-test*", padronizado pela EN 1994-1-1:2004, consiste em um perfil metálico conectado a duas lajes de concreto através de conectores de cisalhamento. Segundo as determinações para o ensaio "*push-test*" da EN 1994-1-1:2004 a relação força-deslizamento deve ser medida até que a força aplicada decresça 20% em relação à força máxima atingida no ensaio. Para que se consiga dados relevantes, como o monitoramento da evolução do

comportamento do modelo reduzido, é necessário um equipamento que permita obter o controle dos deslizamentos para a realização do ensaio.

Abaixo são listadas algumas das recomendações presentes em EN 1994-1-1:2004 quanto ao preparo e realização do ensaio:

- (1) Inicialmente, aplicam-se incrementos de carga até atingir 40% da carga máxima esperada, e então são realizados 25 ciclos de carga/descarga entre as cargas correspondentes a 5% e 40% da carga de ruptura;
- (2) Os incrementos de carga após a fase cíclica devem ser aplicados de modo a não provocar ruptura antes de um período de 15 minutos;
- (3) O deslizamento relativo entre a laje de concreto e a viga de aço deve ser monitorado em todo ensaio, sendo este medido pelo menos até que a carga aplicada decresça em 20% do valor máximo;
- (4) Deve-se medir também, próximo aos conectores, a separação transversal entre a mesa e a laje.

Este tipo de ensaio é normalmente utilizados para a análise de conectores de cisalhamento na interface perfil metálico e concreto. Não foram encontrados na literatura atual trabalhos que tenham utilizado este método de ensaio para analisar o comportamento do reticulado metálico em LSF submetido ao cisalhamento. Dessa forma, será realizada uma adaptação do ensaio "*push-test*" no sistema LSF com o intuito de poder avaliar o comportamento do parafuso de fixação na interface com o perfil de aço e a placa de revestimento.

2.5.1 Pesquisa Realizada por Fuentes *et al.* (2014)

Fuentes *et al.* (2014) estudaram o comportamento semi-rígido da conexão pregada e colada entre os elementos de viga da treliça e os painéis de OSB. Os ensaios experimentais de "*push-test*" realizados por Fuentes *et al.* (2014) fornecem as curvas de força-deslocamento das ligações entre os elementos de madeira e os painéis de OSB. Várias configurações foram testadas alterando a espessura dos painéis e o tipo de ligação.

Neste trabalho foi realizado um novo programa experimental para se obter a resistência e a rigidez da ligação entre as duas partes de uma viga em T composta por painéis de OSB. Os ensaios realizados foram tipo "push-test". Os modelos (Figura 2.16) foram testados submetidos a uma carga de compressão para obter a carga de cisalhamento na conexão. A Figura 2.17 mostra o modelo sendo submetido ao carregamento e a curva de força-deslocamento resultado do ensaio.

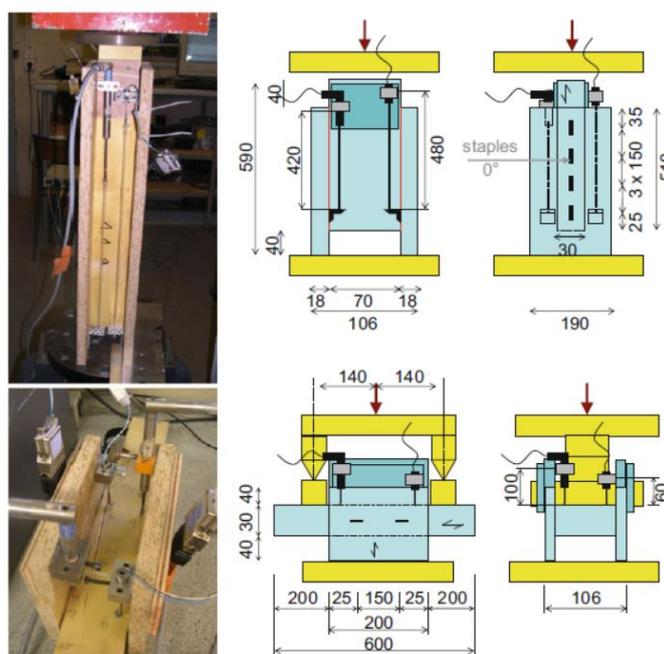


Figura 2.16: Dimensões dos modelos com os dispositivos de medição de carga e deslocamento (FUENTES *et al.*, 2014).

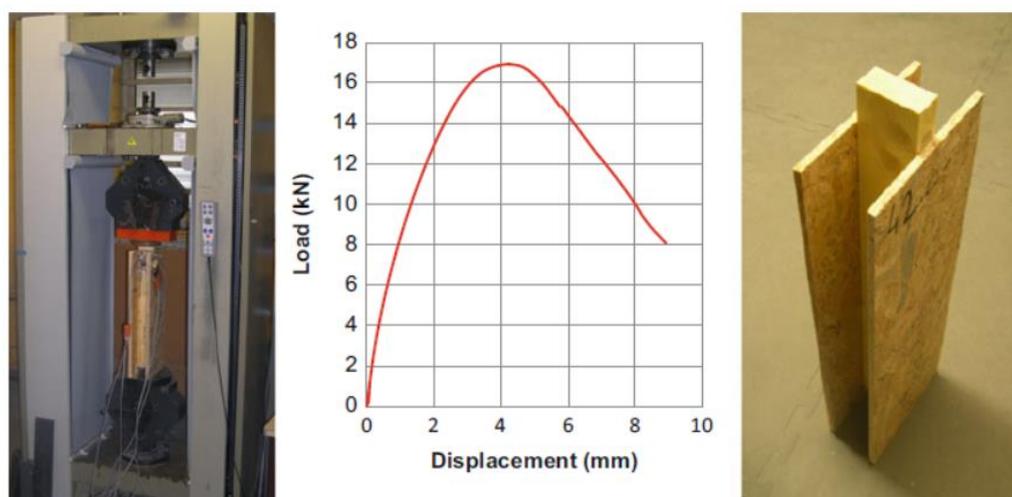


Figura 2.17: Ensaio do modelo e curva força-deslocamento (FUENTES *et al.*, 2014).

O diagrama de carregamento monotônico (Figura 2.18) inclui uma fase de pré-carregamento, uma descarga parcial e, finalmente uma fase de re-carregamento até a ruptura ou deslocamento excessivo. O modelo é carregado paralelamente às fibras do OSB ou perpendicularmente às fibras do OSB. O primeiro patamar depois do pré-carregamento é definido como 1200N e 600N para os modelos carregados nas direções paralela às fibras ou perpendicular às fibras respectivamente. O segundo patamar, depois da fase do descarregamento parcial, é definido como 200N em ambos os casos.

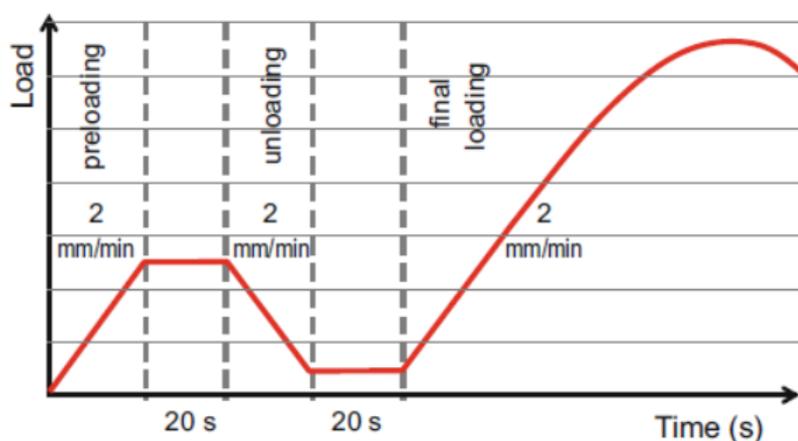


Figura 2.18: História do carregamento estático (FUENTES *et al.*, 2014).

Os deslocamentos relativos entre os painéis de OSB e o componente de madeira são medidos em quatro pontos ao redor do modelo. Assim, para cada ensaio, o valor médio de deslocamento medido pelos dois transdutores de cada face é considerado para representar o comportamento da ligação, nesse caso os grampos. Foram testados três modelos de cada configuração diferente.

Fuentes *et al.* (2014) concluíram que, para os ensaios com aplicação de carga na direção paralela às fibras do modelo, a força nas juntas ligadas mecanicamente (sem cola) é entre 6,8kN e 8,5kN para os quatro grampos. Os maiores valores de força são obtidos para OSB de 18mm e os valores mais baixos para OSB de 10mm. A melhor orientação do grampo é um ângulo de 90° (grampos perpendiculares à direção das fibras da madeira do modelo). Dobrar o número de grampos com metade do espaçamento induz um aumento da força de cerca de 75%. Com o mesmo número e orientação dos grampos, a presença de cola permite atingir força entre 17,3kN e 19kN, mas a ductilidade estática é ligeiramente reduzida em comparação com os grampos. Para estas configurações de juntas, os valores de rigidez são entre 5,3kN/mm e 13,9kN/mm.

Já para os ensaios com aplicação de carga na direção perpendicular às fibras do modelo, Fuentes *et al.* (2014) concluíram que a força obtida com dois grampos é de aproximadamente 4kN e com três grampos é de aproximadamente 6kN. Com o mesmo número e orientação de grampos, a presença de cola aumenta a força para atingir mais de 10kN, mas com uma diminuição significativa da ductilidade estática. Por estas configurações de juntas em tesoura, os valores da rigidez são entre 2,6kN/mm e 4,8kN/mm.

3

PROGRAMA EXPERIMENTAL E RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Ensaio de Flexão

3.1.1 Definição dos Corpos de Prova

Para a definição dos corpos de prova para os ensaios de flexão foram utilizadas as especificações da norma americana ASTM D3043-00 (Reapproved 2011) - *Standard Test Methods for Structural Panels in Flexure*. Foram fabricados 80 corpos de prova no total, sendo 40 cortados na direção longitudinal da placa de OSB e 40 cortados na direção transversal da placa de OSB (Tabela 3.1).

A norma ASTM D3043-00 indica alguns tipos de ensaios de flexão, o mais adequado para este trabalho é o Método A, que consiste em ensaios de três pontos (dois pontos de apoio e um de carregamento) para determinação do módulo de elasticidade e da tensão de ruptura. Para o dimensionamento dos corpos de prova a norma estabelece uma largura de 50mm. O vão (V) e o comprimento (C) dos corpos de prova dependem da espessura nominal (t) do mesmo. Os corpos de prova foram cortados na direção longitudinal e na direção transversal (Figuras 3.1 e 3.2).

Os corpos de prova foram organizados e nomeados considerando suas espessuras nominais e a direção do corte conforme apresentado na Tabela 3.1 e na Figura 3.3.

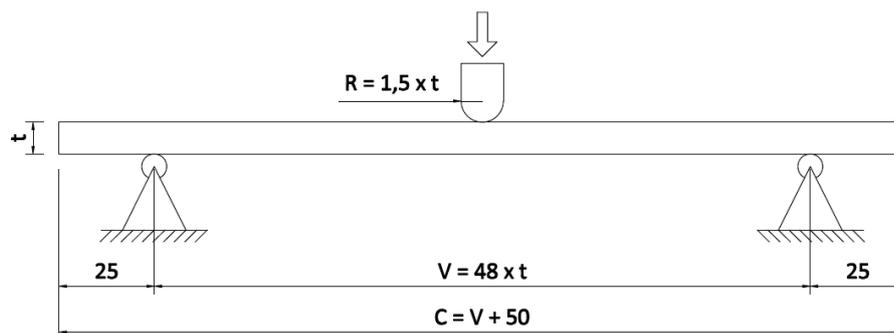


Figura 3.1: Esquema dos ensaios de três pontos para os corpos-de-prova cortados na direção longitudinal da placa de OSB.

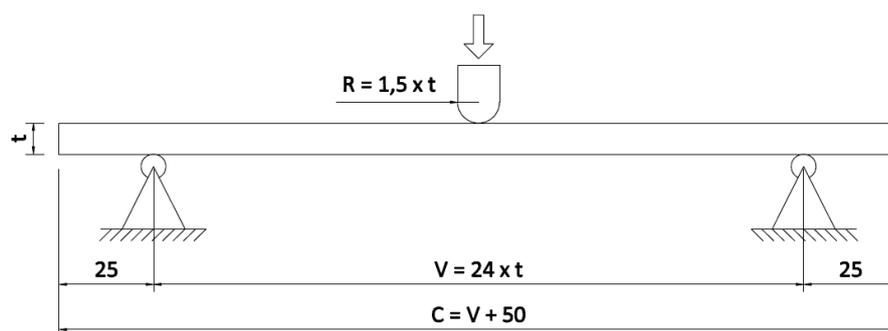


Figura 3.2: Esquema dos ensaios de três pontos para os corpos-de-prova cortados na direção transversal da placa de OSB.

De acordo com a ASTM D3043-00 essas dimensões pré-determinadas pela norma são as necessárias para a obtenção do Módulo de Elasticidade desses materiais.

Tabela 3.1: Dimensões dos corpos de prova para os ensaios de flexão.

Grupo e Espessura (t)	Subgrupo	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Vão (mm)	Quantidade de Corpos de Prova
Grupo A t=9,5mm	L	506	50	456	10
	T	278	50	228	10
Grupo B t=11,1mm	L	582,8	50	532,8	10
	T	316,4	50	266,4	10
Grupo C t=15,1mm	L	774,8	50	724,8	10
	T	412,4	50	362,4	10
Grupo D t=18,3mm	L	928,4	50	878,4	10
	T	489,2	50	439,2	10
Total de Corpos de Prova					80

onde:

L - para os corpos de prova cortados na direção longitudinal da placa;

T - para os corpos de prova cortados na direção transversal da placa;

Grupo que pertence o corpo de prova de acordo
com a sua espessura nominal: A=9,5mm;
B=11,1mm; C=15,1mm; D=18,3mm.

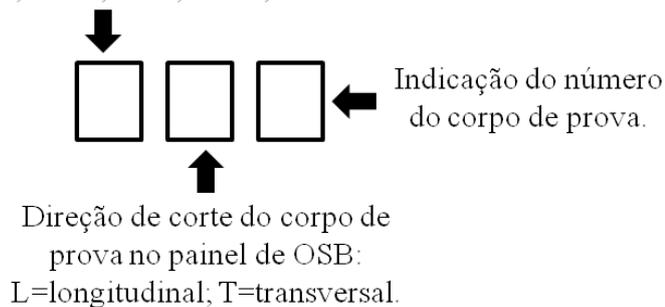


Figura 3.3: Nomeclatura dos corpos de prova.

A ABNT NBR 7190:1997 determina no Anexo B, item B14.4, que para os ensaios de madeira, o vão para os ensaios de flexão devem ser de 21 vezes a altura da viga a ser ensaiada. Para efeitos de análise do módulo de elasticidade em relação ao vão, optou-se por executar ensaios com diferentes, já a aplicação de carga nos vãos diferentes do determinado pela norma ASTM D3043-00 decidiu-se por uma aplicação de 30% da força última, no vão final determinado pela ASTM D3043-00 a carga foi aplicada até a ruptura dos CPs.

A variação dos vãos foi definida em múltiplos de 8. Assim, para os corpos de prova (CPs) cortados na longitudinal da placa obteve-se: 8xt, 16xt; 24xt; 32xt; 40xt e 48xt. Nos corpos de prova (CPs) com vãos de 8xt a 40xt foi aplicada apenas 30% da força última e feitos os registros dos resultados. No vão de 48xt foi aplicado carregamento até a ruptura dos CPs. Já para os CPs cortados na direção transversal da placa obteve-se: 8xt; 16xt e 24xt. Os CPs com vãos de 8xt e 16xt, foram ensaiados com a aplicação de apenas 30% da força última e feitos os registros dos resultados e nos CPs com vão de 24xt foi aplicado carregamento até a ruptura dos CPs.

Antes da realização dos ensaios foram realizadas verificações de todas as medidas dos 80 corpos de prova (CPs), conforme exposto na Tabela 3.2 que apresenta a média dos valores encontrados.

Tabela 3.2: Média das dimensões reais dos CPs.

Grupo do CP	Espessura Nominal (mm)	Espessura Real (mm)	Largura Nominal (mm)	Largura Real (mm)	Comprimento Nominal (mm)	Comprimento Real (mm)
AL	9,5	10,16	50	46,88	506	505,25
AT	9,5	10,16	50	46,30	278	276,58
BL	11,1	12,20	50	46,98	582,8	582,35
BT	11,1	12,16	50	47,43	316,4	315,50
CL	15,1	15,63	50	48,60	774,8	774,60
CT	15,1	15,29	50	46,43	412,4	414,30
DL	18,3	18,63	50	49,23	928,4	928,20
DT	18,3	18,38	50	48,63	489,2	494,25

3.1.2 Realização dos Ensaios

Conforme já foi citado no item anterior, optou-se nesta pesquisa por seguir as descrições da ASTM D3043-00 para os ensaios de flexão. Foram realizados ensaios de três pontos (dois apoios, e um ponto de aplicação de força) para a determinação das propriedades mecânicas da placa de OSB.

3.1.2.1 Equipamentos Utilizados

Nos ensaios é necessário um monitoramento com controle da flecha e da aplicação de força. O equipamento utilizado para o ensaio é provido de um *software* que faz as leituras dos parâmetros observados e fornece alguns resultados.

Para a realização dos ensaios foram utilizados:

- Máquina Universal de Ensaios, modelo EMIC 23-30, eletromecânica, microprocessada, marca INSTRON/EMIC (Figura 3.4), com capacidade de 30 kN (para os corpos de prova com até 415mm de comprimento);

- Máquina Universal de Ensaio, modelo EMIC 23-300, eletromecânica, microprocessada, marca INSTRON/EMIC, com capacidade de 300kN (para os demais corpos de prova com comprimento maior que 415mm);
- Célula de carga com capacidade de 1kN;
- Suporte ajustável com dois apoios para os CPs.

O *software* utilizado para realização dos ensaios e a captação dos dados foi o TESC (*Test Script*), que é um programa de automação de ensaios, que permite a sistematização dos ensaios através da elaboração e aplicação de métodos de ensaio, o que confere consistência aos resultados (Figura 3.4).

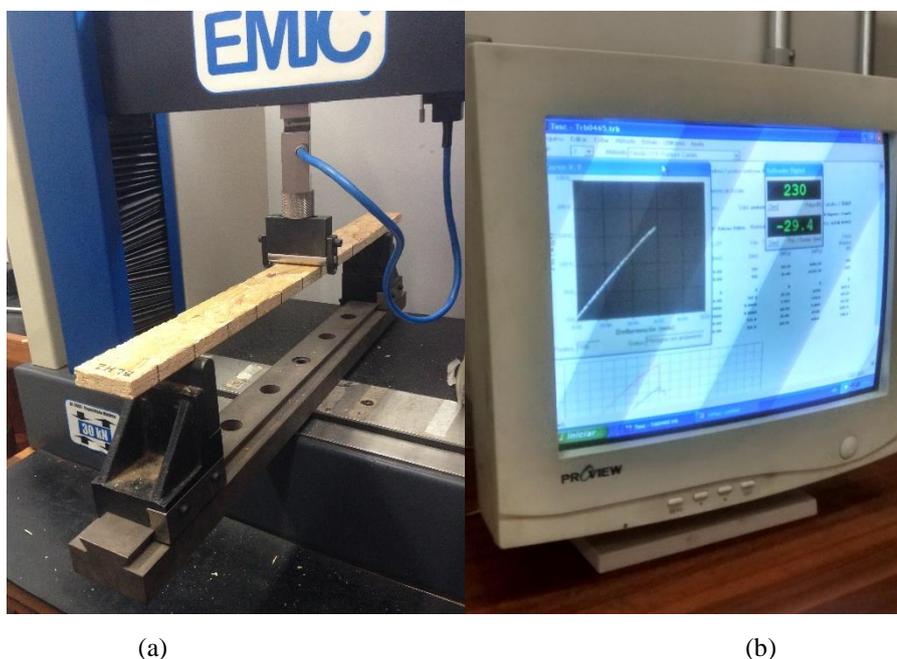


Figura 3.4: a) Máquina Universal de Ensaio, modelo 23-30; b) Tela do *software* TESC em funcionamento.

A aplicação de força foi feita monotonicamente e de acordo com a ASTM D3043-00, sendo que a taxa de movimento foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$N = \frac{zV^2}{6t} \quad (3.1)$$

onde:

N é a taxa de movimento, em mm/min;

V é o vão entre apoios, em mm;

t é a espessura nominal da placa de OSB, em mm;

$z = 0,0015 \text{ in/in.min} = 0,0381 \text{ mm/mm.min}$ de acordo com a ASTM D3043.

Antes de realizar os ensaios foram calculadas a taxa de deslocamento do cilindro do atuador hidráulico e a força estimada máxima (para os ensaios com aplicação de força até 30% da força última). Os resultados são apresentados na Tabela 3.3 até a Tabela 3.10. Nas tabelas, F_{est} (Equação 3.2) é a força última estimada para cada ensaio e Velocidade é a taxa de deslocamento do cilindro hidráulico.

$$F_{est} = \frac{l_{CP} t^2}{V 24,2} \quad (3.2)$$

onde:

l_{CP} é a largura do corpo de prova, em mm;

t é a espessura do corpo de prova, em mm;

V é o vão do ensaio, em mm;

Tabela 3.3: Valores para os CPs AL ($t=9,5\text{mm}$; cortados na direção longitudinal - L).

CPs AL (9,5mm)					
Vão (mm)		F_{est} (N)	Velocidade (mm/min)	Espessura (mm)	Largura (mm)
8xt	76,00	431,06	0,152	9,5	50
16xt	152,00	215,53	0,608	9,5	50
24xt	228,00	143,69	1,368	9,5	50
32xt	304,00	107,77	2,432	9,5	50
40xt	380,00	86,21	3,800	9,5	50
48xt	456,00	-	5,472	9,5	50

Tabela 3.4: Valores para os CPs AT ($t=9,5\text{mm}$; cortados na direção transversal - T).

CPs AT (9,5mm)					
Vão (mm)		F_{est} (N)	Velocidade (mm/min)	Espessura (mm)	Largura (mm)
8xt	76,00	431,06	0,152	9,5	50
16xt	152,00	215,53	0,608	9,5	50
24xt	228,00	-	1,368	9,5	50

Tabela 3.5: Valores para os CPs BL.

CPs BL (11,1mm)					
Vão (mm)		F _{est} (N)	Velocidade (mm/min)	Espessura (mm)	Largura (mm)
8xt	88,80	503,66	0,178	11,1	50
16xt	177,60	251,83	0,710	11,1	50
24xt	266,40	167,89	1,598	11,1	50
32xt	355,20	125,92	2,842	11,1	50
40xt	444,00	100,73	4,440	11,1	50
48xt	532,80	-	6,394	11,1	50

Tabela 3.6: Valores para os CPs BT.

CPs BT (11,1mm)					
Vão (mm)		F _{est} (N)	Velocidade (mm/min)	Espessura (mm)	Largura (mm)
8xt	88,80	503,66	0,178	11,1	50
16xt	177,60	251,83	0,710	11,1	50
24xt	266,40	-	1,598	11,1	50

Tabela 3.7: Valores para os CPs CL.

CPs CL (15,1mm)					
Vão (mm)		F _{est} (N)	Velocidade (mm/min)	Espessura (mm)	Largura (mm)
8xt	120,80	685,16	0,242	15,1	50
16xt	241,60	342,58	0,966	15,1	50
24xt	362,40	228,39	2,174	15,1	50
32xt	483,20	171,29	3,866	15,1	50
40xt	604,00	137,03	6,040	15,1	50
48xt	724,80	-	8,698	15,1	50

Tabela 3.8: Valores para os CPs CT.

CPs CT (15,1mm)					
Vão (mm)		F _{est} (N)	Velocidade (mm/min)	Espessura (mm)	Largura (mm)
8xt	120,80	685,16	0,242	15,1	50
16xt	241,60	342,58	0,966	15,1	50
24xt	362,40	-	2,174	15,1	50

Tabela 3.9: Valores para os CPs DL.

CPs DL (18,3mm)					
Vão (mm)		F _{est} (N)	Velocidade (mm/min)	Espessura (mm)	Largura (mm)
8xt	146,40	830,36	0,293	18,3	50
16xt	292,80	415,18	1,171	18,3	50
24xt	439,20	276,79	2,635	18,3	50
32xt	585,60	207,59	4,685	18,3	50
40xt	732,00	166,07	7,320	18,3	50
48xt	878,40	-	10,541	18,3	50

Tabela 3.10: Valores para os CPs DT.

CPs DT (18,3mm)					
Vão (mm)		F _{est} (N)	Velocidade (mm/min)	Espessura (mm)	Largura (mm)
8xt	146,40	830,36	0,293	18,3	50
16xt	292,80	415,18	1,171	18,3	50
24xt	439,20	-	2,635	18,3	50

Todos corpos de prova, com exceção dos CPs das Séries CT e CL, foram retirados cada um de uma placa de OSB diferente, o que confere aos resultados uma maior confiabilidade. É importante destacar que os CPs das Séries CT e CL foram retirados da mesma placa de OSB o que pode interferir nos resultados e consequentemente em futuras conclusões.

Para determinar o módulo de elasticidade longitudinal, são registradas as forças impostas e as os correspondentes deslocamentos verticais da seção central do corpo de prova (flechas), depois de imposto o incremento de força, de modo que as várias leituras de força e da flecha sejam registradas. Assim o módulo de elasticidade longitudinal (E) é calculado de acordo com a seguinte equação da flecha (CARRASCO, 1989):

$$f_1 = \frac{PV^3}{48EI} \quad (3.3)$$

onde:

f_1 é a flecha devido à deformação por flexão, em mm;

P é a força, em N;

V é o vão, em mm;

I é a inércia da seção;

E é o módulo de elasticidade, em MPa.

Colocando em evidência o E , tem-se:

$$E = \frac{PV^3}{48If_1} \quad (3.4)$$

É calculado também o desvio padrão dos resultados de cada série de ensaios. Em probabilidade e estatística tem-se que o desvio padrão (DP) é a medida mais comum da dispersão estatística, que mostra o quanto de variação ou "dispersão" existe em relação à média. Um baixo desvio padrão indica que os resultados tendem a estar próximos da média, já um alto desvio padrão indica que os resultados estão dispersos por uma gama de valores.

Foi calculado também o coeficiente de variação. Em estatística, o coeficiente de variação (c_v) é uma medida de dispersão relativa, empregada para estimar a precisão de experimentos e representa o desvio padrão expresso como porcentagem da média. Sua principal qualidade é a capacidade de comparação de distribuições diferentes.

De um modo geral, tem-se:

$c_v \leq 15\%$: baixa dispersão (resultados homogêneos);

$15\% < c_v < 30\%$: média dispersão;

$c_v \geq 30\%$: alta dispersão (resultados heterogêneos).

3.1.2.2 Procedimentos Adotados

- 1) Ajuste do apoio de acordo com o vão do CP que será ensaiado (8xt; 16xt; 24xt; 32xt; 40xt ou 48xt);
- 2) Seleção do *script* do ensaio (aplicação de força até a ruptura ou aplicação de força até 30% da força última);
- 3) Posicionamento do corpo de prova (CP) para o ensaio (Figura 3.5);

4) Realização e monitoramento do ensaio com o *software* TESC.

3.1.3 Resultados

Os resultados são descritos de acordo com a espessura nominal da placa de OSB e se o CP foi cortado na direção transversal ou longitudinal da placa.

Foram realizados 360 ensaios, cujos resultados são apresentados a seguir.

3.1.3.1 Série AL: $t=9,5\text{mm}$

Para as placas de OSB com 9,5mm de espessura nominal, cortadas na direção longitudinal da placa, foram realizados ensaios com 6 vãos diferentes: 8xt (Figura 3.5); 16xt; 24xt; 32xt; 40xt e 48xt; conforme a Tabela 3.3.

Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados na Tabela 3.11.



Figura 3.5: Corpo de prova posicionado para ensaio da Série AL, V=8xt.

Tabela 3.11: Resultados dos ensaios dos CPs da Série AL

Série AL (t=9,5mm)													
CP	8xt		16xt		24xt		32xt		40xt		48xt		
	Vão (mm)	E (MPa)	σ (MPa)										
AL1	76	1931,77	152	4184,92	228	5478,54	304	5678,03	380	5856,34	456	5622,57	41,31
AL2	76	1367,70	152	2886,26	228	3891,89	304	4418,63	380	4845,35	456	4795,90	30,59
AL3	76	973,55	152	2790,84	228	4207,36	304	4783,37	380	5277,58	456	5179,35	35,16
AL4	76	815,13	152	2004,77	228	2830,21	304	3477,84	380	4120,06	456	4328,22	24,67
AL5	76	1791,61	152	3514,60	228	4543,94	304	5553,60	380	5630,19	456	5724,81	39,90
AL6	76	1658,36	152	3156,00	228	4104,88	304	4548,99	380	4757,40	456	4710,64	29,34
AL7	76	2383,63	152	4116,71	228	4709,95	304	4886,86	380	5033,75	456	4732,78	27,59
AL8	76	1025,32	152	2401,36	228	2973,09	304	3268,02	380	3589,36	456	3706,42	20,40
AL9	76	1084,30	152	2371,80	228	3388,63	304	3730,54	380	4096,74	456	4065,50	27,20
AL10	76	1756,60	152	4059,99	228	4800,62	304	4731,04	380	4741,48	456	4492,91	25,87
x_m	-	1478,80	-	3148,73	-	4092,91	-	4507,69	-	4794,83	-	4735,91	30,20
DP	-	505,58	-	791,82	-	843,48	-	812,69	-	708,47	-	641,14	6,70
c_v (%)	-	34,19	-	25,15	-	20,61	-	18,03	-	14,78	-	13,54	22,19

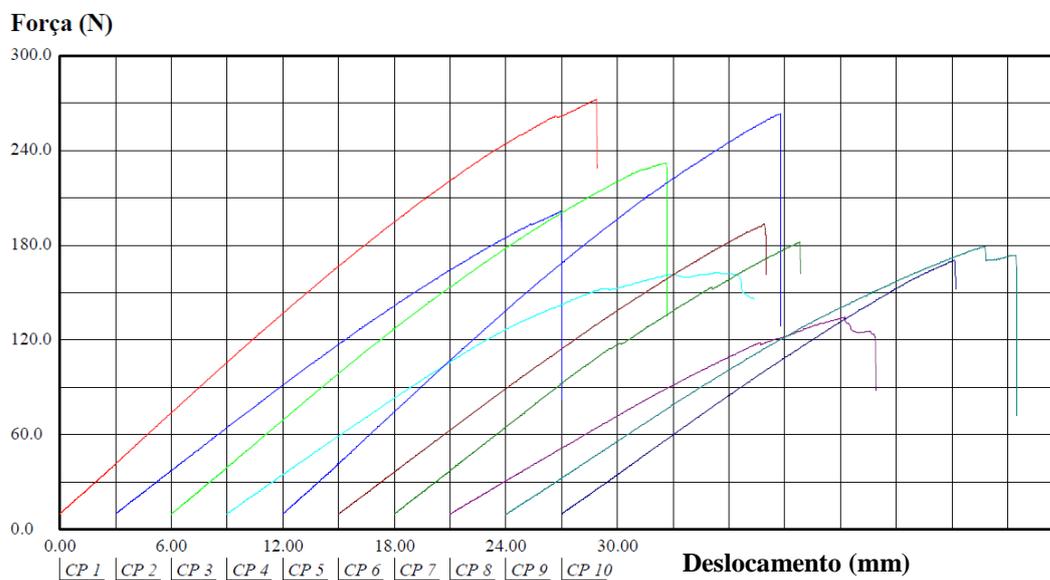


Figura 3.6: Gráfico de força versus deslocamento Pxf da Série AL com V=48xt.

3.1.3.2 Série AT: t=9,5mm

Para as placas de OSB com 9,5mm de espessura nominal, cortadas na direção transversal da placa, foram realizados ensaios com 3 vãos diferentes (8xt; 16xt e 24xt), conforme a Tabela 3.4.

Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados na Tabela 3.12.

Tabela 3.12: Resultados dos ensaios dos CPs da Série AT.

Série AT (t=9,5mm)							
CP	8xt		16xt		24xt		
	Vão (mm)	E (MPa)	Vão (mm)	E (MPa)	Vão (mm)	E (MPa)	σ (MPa)
AT1	76	1302,88	152	2367,28	228	2486,94	22,00
AT2	76	1556,82	152	2281,14	228	2287,66	18,02
AT3	76	1494,91	152	2389,73	228	2412,38	23,68
AT4	76	910,15	152	-	228	1881,41	17,11
AT5	76	1246,52	152	1951,75	228	2609,08	23,07
AT6	76	1068,03	152	2248,30	228	2143,29	18,95
AT7	76	1240,34	152	1991,40	228	2965,82	27,23
AT8	76	1357,34	152	2658,90	228	2331,45	21,02
AT9	76	1309,17	152	2217,46	228	2687,60	24,44
x_m	-	1276,24	-	2263,25	-	2422,85	21,72
DP	-	198,26	-	225,81	-	316,57	3,29
c_v (%)	-	15,53	-	9,98	-	13,07	15,15

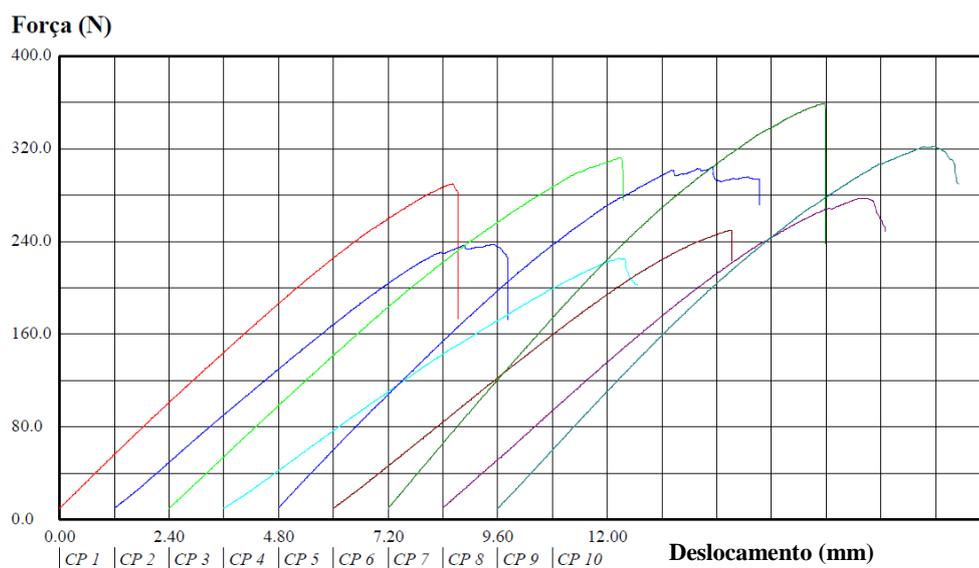


Figura 3.7: Gráfico de força versus deslocamento Pxf da Série AT com V=24xt.

3.1.3.3 Série BL: t=11,1mm

Para as placas de OSB com 11,1mm de espessura nominal, cortadas na direção longitudinal da placa, foram realizados ensaios com 6 vãos diferentes (8xt; 16xt; 24xt; 32xt; 40xt e 48xt), conforme a Tabela 3.5.

Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados na Tabela 3.13.

Tabela 3.13: Resultados dos ensaios dos CPs da Série BL.

Série BL (t=11,1mm)													
CP	8xt		16xt		24xt		32xt		40xt		48xt		
	Vão (mm)	E (MPa)	σ (MPa)										
BL1	89	2448,30	178	5235,97	266	6104,26	355	6491,45	444	6700,29	533	6158,03	37,60
BL2	89	1668,29	178	4047,21	266	4537,42	355	5012,46	444	5225,43	533	4842,04	30,96
BL3	89	2273,21	178	4426,49	266	5060,90	355	5463,82	444	5765,44	533	5433,68	30,08
BL4	89	2192,58	178	4422,79	266	5300,63	355	5718,84	444	5890,12	533	5537,04	27,42
BL5	89	2470,70	178	5262,54	266	6238,55	355	6803,85	444	6997,64	533	6375,09	35,83
BL6	89	1847,05	178	3813,50	266	4689,86	355	5069,52	444	5261,14	533	4983,30	30,69
BL7	89	1983,59	178	4512,30	266	5773,60	355	6178,74	444	6431,19	533	6026,68	35,16
BL8	89	2201,78	178	4263,77	266	4969,93	355	5392,04	444	5582,96	533	5367,70	29,64
BL9	89	2262,89	178	5121,52	266	5994,84	355	6338,26	444	-	533	6257,22	33,17
BL10	89	1941,49	178	4042,47	266	5090,37	355	5677,88	444	5990,13	533	5983,71	22,34
x_m	-	2128,99	-	4514,86	-	5376,04	-	5814,69	-	5982,70	-	5696,45	31,29
DP	-	261,37	-	522,83	-	609,27	-	612,06	-	618,05	-	539,63	4,46
c_v (%)	-	12,28	-	11,58	-	11,33	-	10,53	-	10,33	-	9,47	14,24

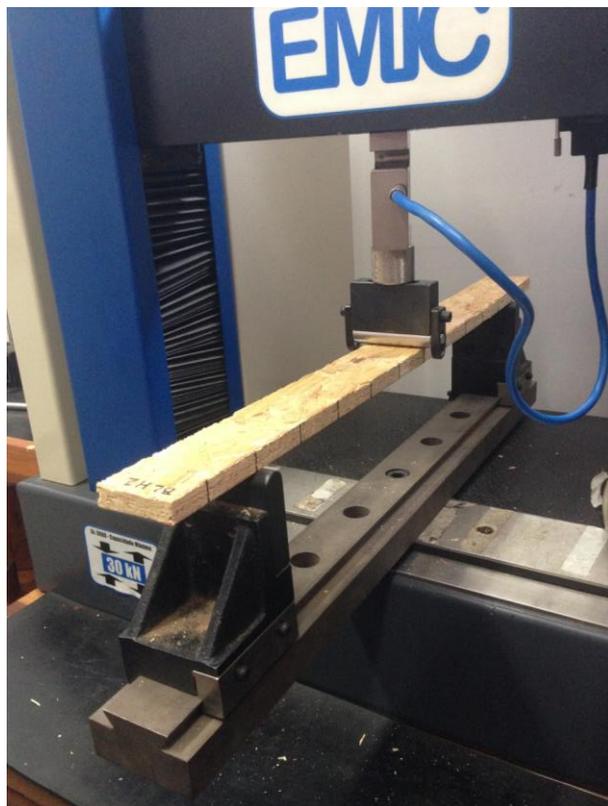


Figura 3.8: Corpo de prova da Série BL posicionado para ensaio, V=40xt.



Figura 3.9: Ensaio em andamento de um corpo de prova da Série BL, V=40xt.



Figura 3.10: Corpo de prova da Série BL posicionado para ensaio, V=48xt.

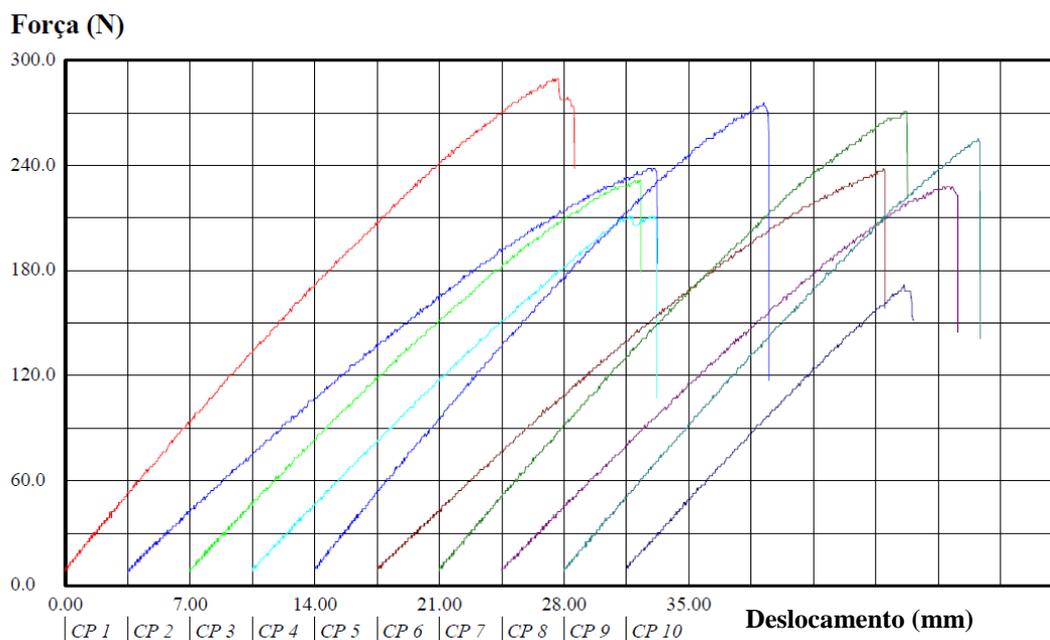


Figura 3.11: Gráfico de força *versus* deslocamento Pxf da Série BL com V=48xt.

3.1.3.4 Série BT: t=11,1mm

Para as placas de OSB com 11,1mm de espessura nominal, cortadas na direção transversal da placa, foram realizados ensaios com 3 vãos diferentes (8xt; 16xt e 24xt), conforme a Tabela 3.6

Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados na Tabela 3.14.

Tabela 3.14: Resultados dos ensaios dos CPs da Série BT.

Série BT (t=11,1mm)							
CP	8xt		16xt		24xt		
	Vão (mm)	E (MPa)	Vão (mm)	E (MPa)	Vão (mm)	E (MPa)	σ (MPa)
BT1	88	1594,49	177	2477,38	266	2537,21	15,98
BT2	88	1566,85	177	2632,79	266	2711,98	27,01
BT3	88	1502,15	177	2667,95	266	2747,49	20,38
BT4	88	1398,36	177	2458,14	266	2657,70	19,06
BT5	88	1388,94	177	2373,15	266	2470,74	20,01

BT6	88	984,82	177	1731,08	266	1920,64	14,68
BT7	88	1098,16	177	1809,29	266	2041,78	15,24
BT8	88	895,87	177	1733,27	266	2000,64	13,12
BT9	88	1422,55	177	2303,71	266	2416,29	18,31
BT10	88	1457,39	177	2606,29	266	2769,75	21,96
x_m	-	1330,96	-	2279,31	-	2427,42	18,58
DP	-	247,20	-	377,59	-	325,81	4,10
c_v (%)	-	18,57	-	16,57	-	13,42	22,05

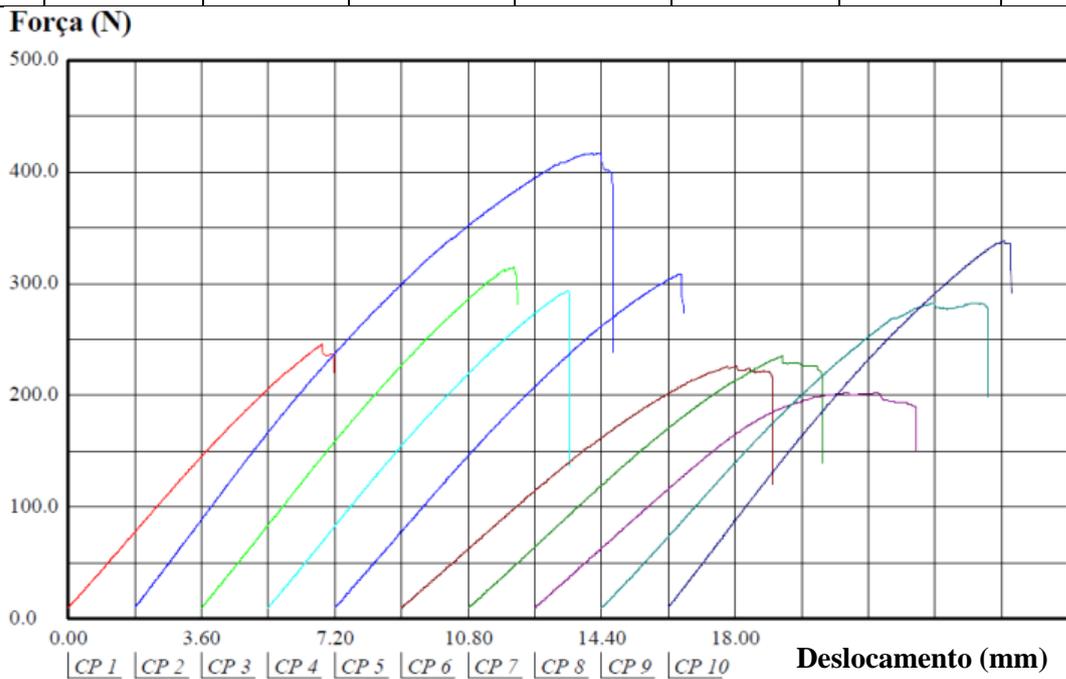


Figura 3.12: Gráfico de força *versus* deslocamento Pxf da Série BT com V=32xt.

3.1.3.5 Série CL: t=15,1mm

Para as placas de OSB com 15,1mm de espessura nominal, cortadas na direção longitudinal da placa, foram realizados ensaios com 6 vãos diferentes (8xt; 16xt; 24xt; 32xt; 40xt e 48xt), conforme a Tabela 3.7.

Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados na Tabela 3.15.

Tabela 3.15: Resultados dos ensaios dos CPs da Série CL.

Série CL (t=15,1mm)													
CP	8xt		16xt		24xt		32xt		40xt		48xt		
	Vão (mm)	E (MPa)	σ (MPa)										
CL1	121	2170,71	242	3974,08	362	4698,29	483	5093,76	604	5244,36	725	4861,81	29,59
CL2	121	1593,37	242	3349,06	362	3951,53	483	4263,21	604	4490,13	725	4335,74	21,46
CL3	121	2015,76	242	3807,21	362	4417,40	483	4611,62	604	4739,04	725	4437,36	23,90
CL4	121	2074,70	242	3736,51	362	4239,32	483	4264,44	604	4323,63	725	4031,23	22,92
CL5	121	2252,54	242	3908,85	362	4479,58	483	4569,37	604	4634,90	725	4283,41	26,82
CL6	121	2052,48	242	4002,04	362	4633,80	483	4765,49	604	4826,30	725	4499,55	22,27
CL7	121	1687,92	242	3360,21	362	4087,95	483	4378,11	604	4586,38	725	4354,80	21,78
CL8	121	2095,43	242	3900,83	362	4365,26	483	4459,45	604	4537,77	725	4174,98	25,52
CL9	121	1827,40	242	3401,92	362	4085,46	483	4275,08	604	4412,63	725	4234,90	21,95
CL10	121	1888,72	242	3566,60	362	4246,42	483	4495,30	604	4638,65	725	4296,77	23,08
x_m	-	1965,90	-	3700,73	-	4320,50	-	4517,58	-	4643,38	-	4351,06	23,93
DP	-	211,84	-	260,00	-	243,84	-	261,59	-	257,61	-	222,34	2,63
c_v (%)	-	10,78	-	7,03	-	5,64	-	5,79	-	5,55	-	5,11	10,97

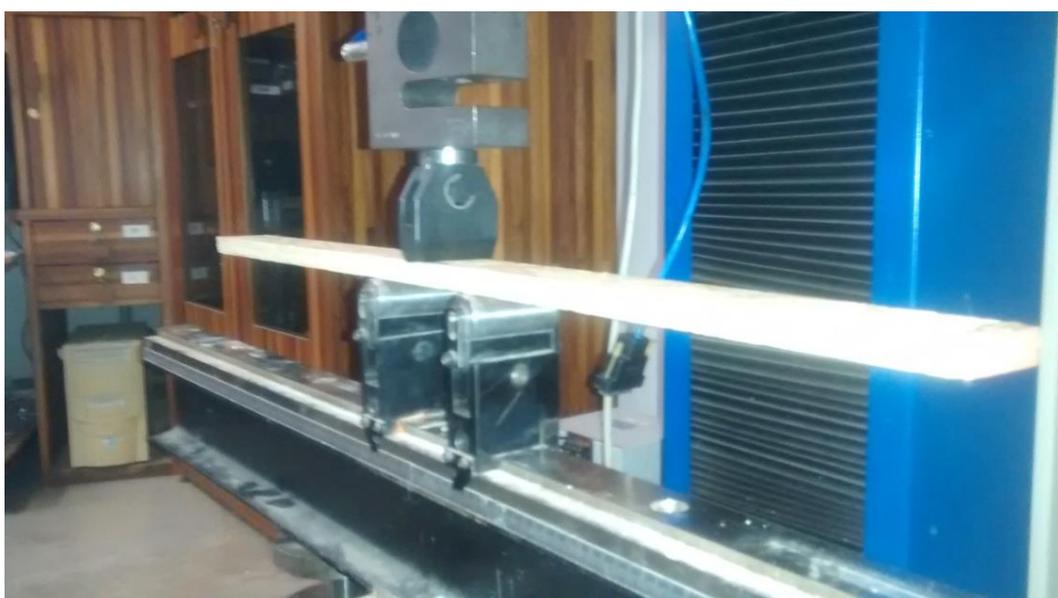


Figura 3.13: Corpo de prova da Série CL posicionado para ensaio, V=8xt.



Figura 3.14: Corpo de prova da Série CL posicionado para ensaio, V=24xt.



Figura 3.15: Corpo de prova da Série CL posicionado para ensaio, V=32xt.



Figura 3.16: Corpo de prova da Série CL posicionado para ensaio, V=48xt.



Figura 3.17: Ensaio em andamento de um corpo de prova da Série CL, V=48xt.



Figura 3.18: Ruptura típica dos CPs - Neste caso CP da Série CL, V=48xt.

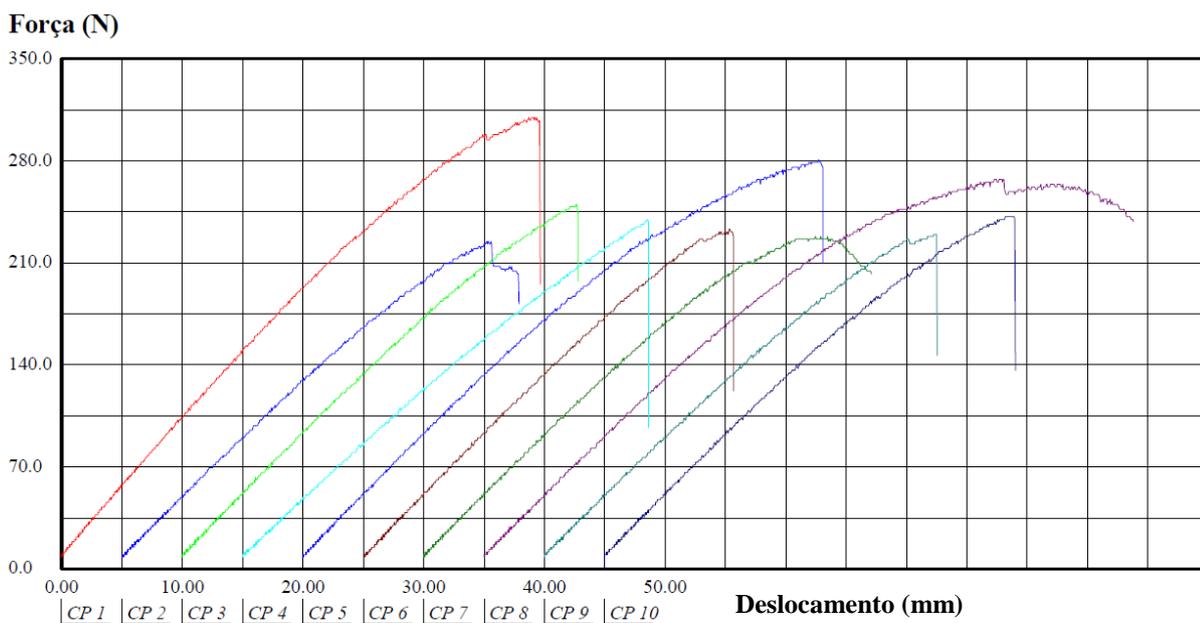


Figura 3.19: Gráfico de força *versus* deslocamento Pxf da Série CL com V=48xt.

3.1.3.6 Série CT: t=15,1mm

Para as placas de OSB com 15,1mm de espessura nominal, cortadas na direção transversal da placa, foram realizados ensaios com 3 vãos diferentes (8xt; 16xt e 24xt), conforme a Tabela 3.8.

Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados na Tabela 3.16.

Tabela 3.16: Resultados dos ensaios dos CPs da Série CT.

Série CT (t=15,1mm)							
CP	8xt		16xt		24xt		
	Vão (mm)	E (MPa)	Vão (mm)	E (MPa)	Vão (mm)	E (MPa)	σ (MPa)
CT1	120	1187,07	242	1911,54	362	2071,56	15,72
CT2	120	1374,50	242	2291,62	362	2221,30	19,83
CT3	120	1236,74	242	1947,88	362	2025,58	17,18
CT4	120	1407,92	242	2210,21	362	2302,09	16,01
CT5	120	1612,18	242	2395,51	362	2409,79	17,83
CT6	120	1377,63	242	2084,99	362	2196,73	15,84
CT7	120	1339,65	242	2058,59	362	2167,86	16,08
CT8	120	1294,90	242	2049,66	362	2135,26	14,96
CT9	120	1617,14	242	2588,47	362	2734,94	17,45
CT10	120	1326,73	242	2043,32	362	2120,09	15,80
xm	-	1377,45	-	2158,18	-	2238,52	16,67
DP	-	141,56	-	212,73	-	206,76	1,42
cv (%)	-	10,28	-	9,86	-	9,24	8,54

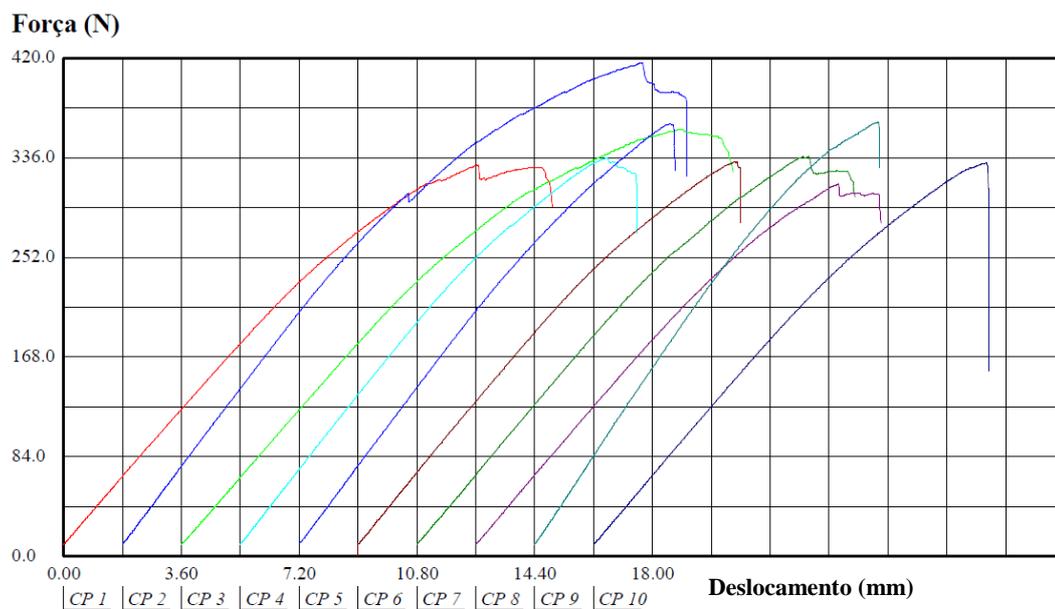


Figura 3.20: Gráfico de força *versus* deslocamento Pxf da Série CT com V=24xt.

3.1.3.7 Série DL: t=18,3mm

Para as placas de OSB com 18,3mm de espessura nominal, cortadas na direção longitudinal da placa, foram realizados ensaios com 6 vãos diferentes (8xt; 16xt; 24xt; 32xt; 40xt e 48xt), conforme a Tabela 3.9.

Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados na Tabela 3.17.

Tabela 3.17: Resultados dos ensaios dos CPs da Série DL.

Série DL (t=18,3mm)													
CP	8xt		16xt		24xt		32xt		40xt		48xt		
	Vão (mm)	E (MPa)	σ (MPa)										
DL1	146	2047,84	293	3745,12	439	4561,25	586	4903,91	732	5001,32	878	4784,47	29,09
DL2	146	1979,41	293	3816,45	439	4476,03	586	4862,39	732	4986,75	878	4960,97	24,93
DL3	146	2025,63	293	3812,79	439	4396,94	586	4771,84	732	4740,53	878	4744,46	23,86
DL4	146	2590,91	293	4765,66	439	5440,68	586	5689,45	732	5808,27	878	5598,89	31,10
DL5	146	2657,00	293	4743,51	439	5397,00	586	5666,45	732	5785,51	878	5584,50	36,46
DL6	146	2564,01	293	4862,37	439	5632,62	586	6027,84	732	6077,57	878	5825,42	38,60
DL7	146	2387,49	293	4469,68	439	5370,41	586	5706,11	732	5810,24	878	5752,52	26,14
DL8	146	2776,44	293	5533,45	439	6635,96	586	7039,32	732	7055,98	878	6729,03	44,23
DL9	146	2508,50	293	4822,26	439	5508,75	586	5990,87	732	5910,55	878	5771,17	28,95
DL10	146	2264,35	293	3995,53	439	4770,80	586	5171,31	732	5183,19	878	5223,37	26,54
x_m	-	2380,16	-	4456,68	-	5219,04	-	5582,95	-	5635,99	-	5497,48	30,99
DP	-	286,47	-	594,33	-	685,39	-	693,34	-	683,16	-	598,19	6,68
c_v (%)	-	12,04	-	13,34	-	13,13	-	12,42	-	12,12	-	10,88	21,56



Figura 3.21: Corpo de prova da Série DL posicionado para ensaio, V=24xt.



Figura 3.22: Corpo de prova da Série DL posicionado para ensaio, V=32xt.



Figura 3.23: Corpo de prova da Série DL posicionado para ensaio, V=40xt.

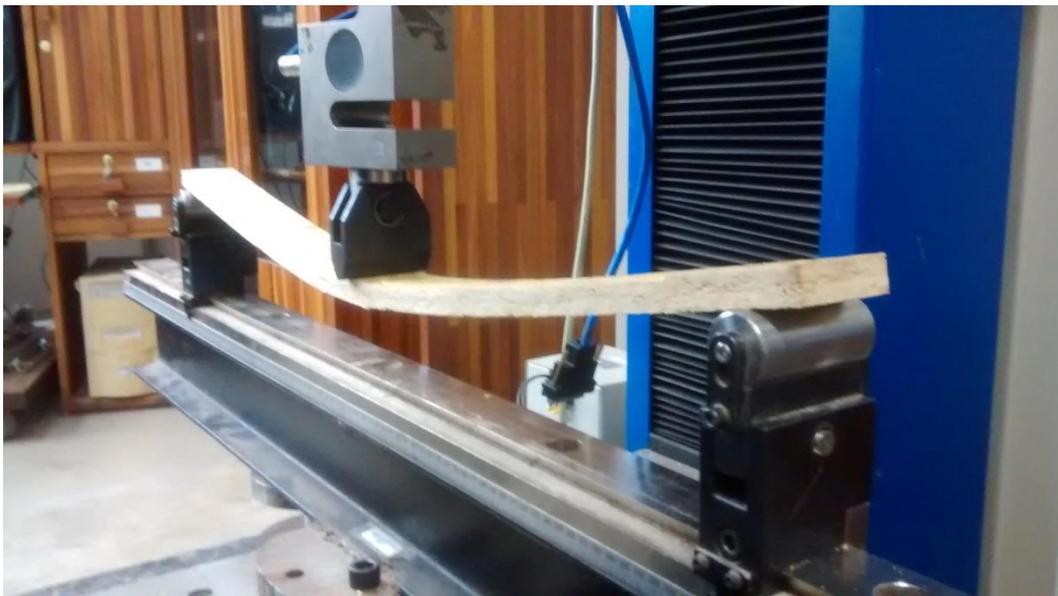


Figura 3.24: Ensaio em andamento do corpo de prova da Série DL, V=48xt.

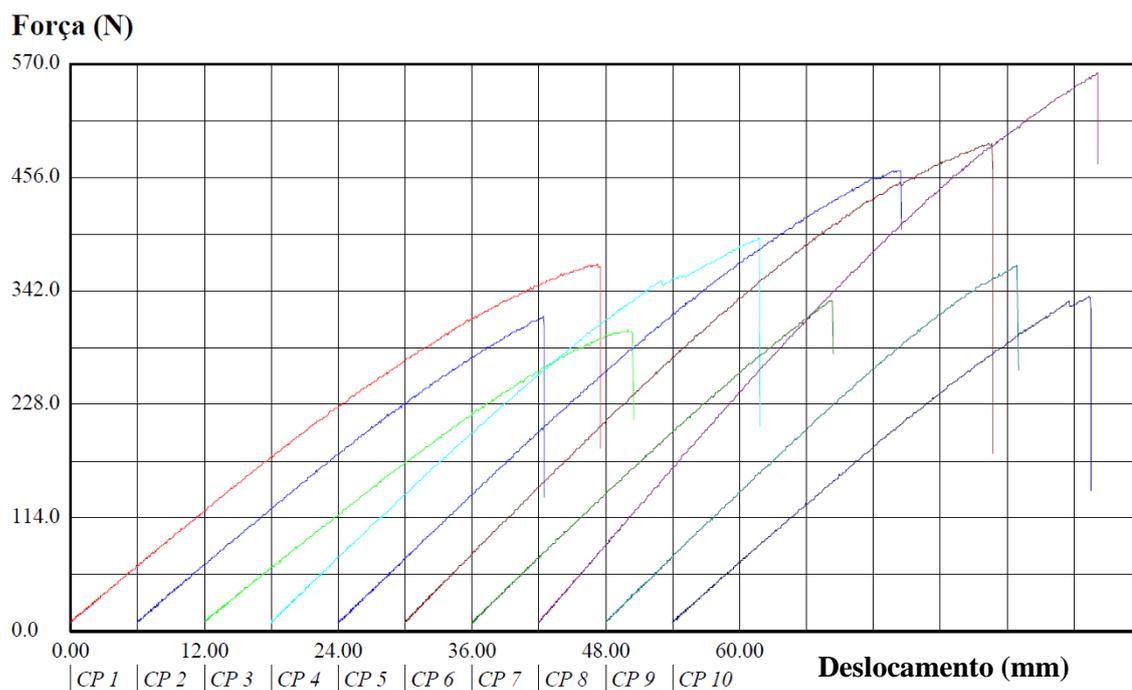


Figura 3.25: Gráfico de força *versus* deslocamento Pxf da Série DL com V=48xt.

3.1.3.8 Série DT: t=18,3mm

Para as placas de OSB com 18,3mm de espessura nominal, cortadas na direção transversal da placa, foram realizados ensaios com 3 vãos diferentes (8xt; 16xt e 24xt) conforme a Tabela 3.10.

Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados na Tabela 3.18.

Tabela 3.18: Resultados dos ensaios dos CPs da Série DT.

Série DT (t=18,3mm)							
CP	8xt		16xt		24xt		
	Vão (mm)	E (MPa)	Vão (mm)	E (MPa)	Vão (mm)	E (MPa)	σ (MPa)
DT1	146	1366,61	292	2183,64	439	2388,44	15,73
DT2	146	996,65	292	1895,93	439	2009,46	17,08
DT3	146	1637,41	292	2499,78	439	3735,18	18,33
DT4	146	1583,75	292	2307,31	439	3285,27	19,19
DT5	146	1472,44	292	2241,31	439	3272,00	21,50
DT6	146	1835,31	292	2782,77	439	3855,17	29,33
DT7	146	1896,04	292	2721,26	439	3780,48	23,22
DT8	146	1402,12	292	2197,96	439	3263,00	19,16
DT9	146	1573,90	292	2270,91	439	3267,21	22,05
DT10	146	1785,79	292	2758,59	439	3912,24	24,08
x_m	-	1555,00	-	2385,95	-	3276,85	20,97
DP	-	265,32	-	294,10	-	632,26	3,97
c_v (%)	-	17,06	-	12,33	-	19,29	18,95

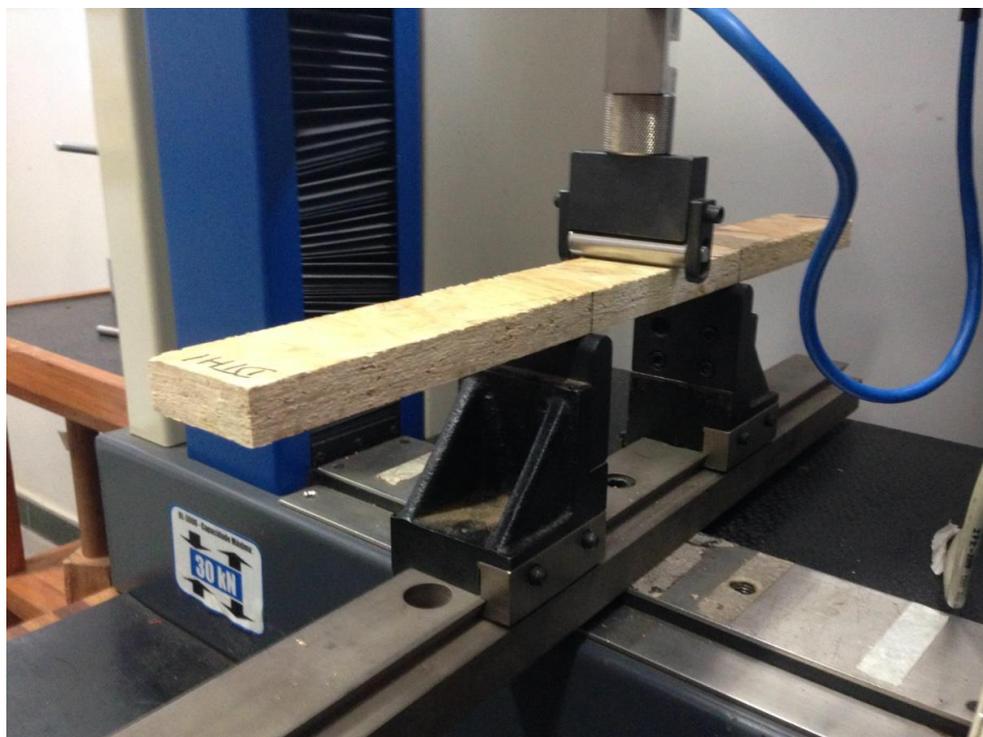


Figura 3.26: Corpo de prova da Série DT posicionado para ensaio, V=8xt.

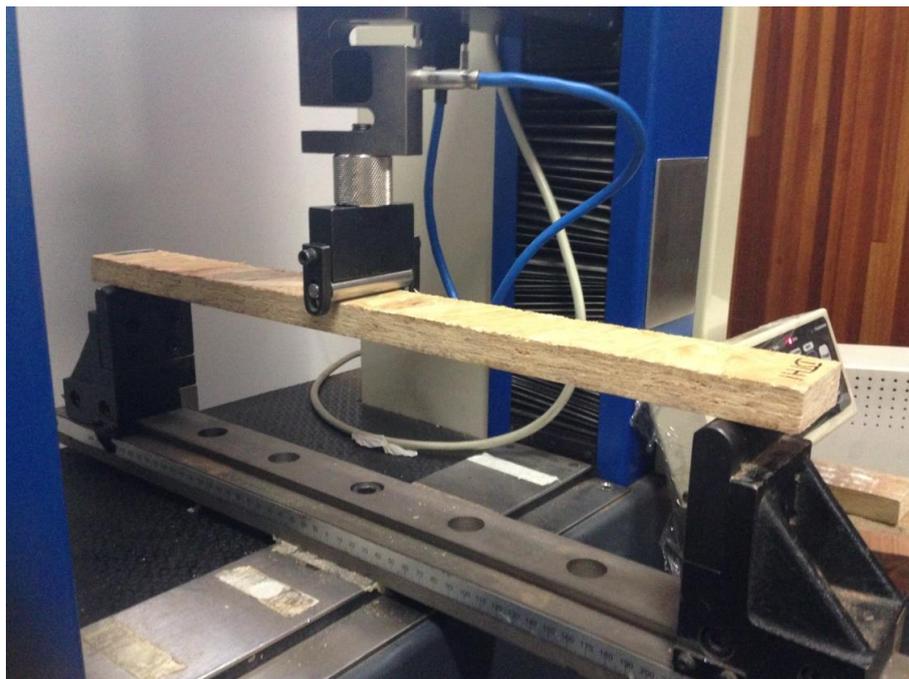


Figura 3.27: Corpo de prova da Série DT posicionado para ensaio da, V=24xt.

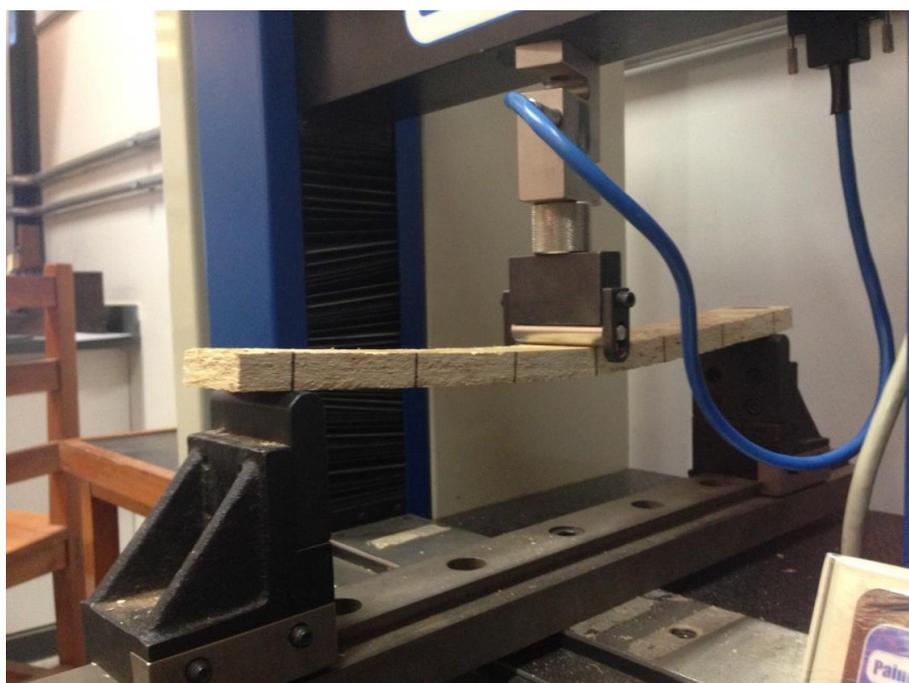


Figura 3.28: Ensaio em andamento de um corpo de prova da Série DT, V=24xt.

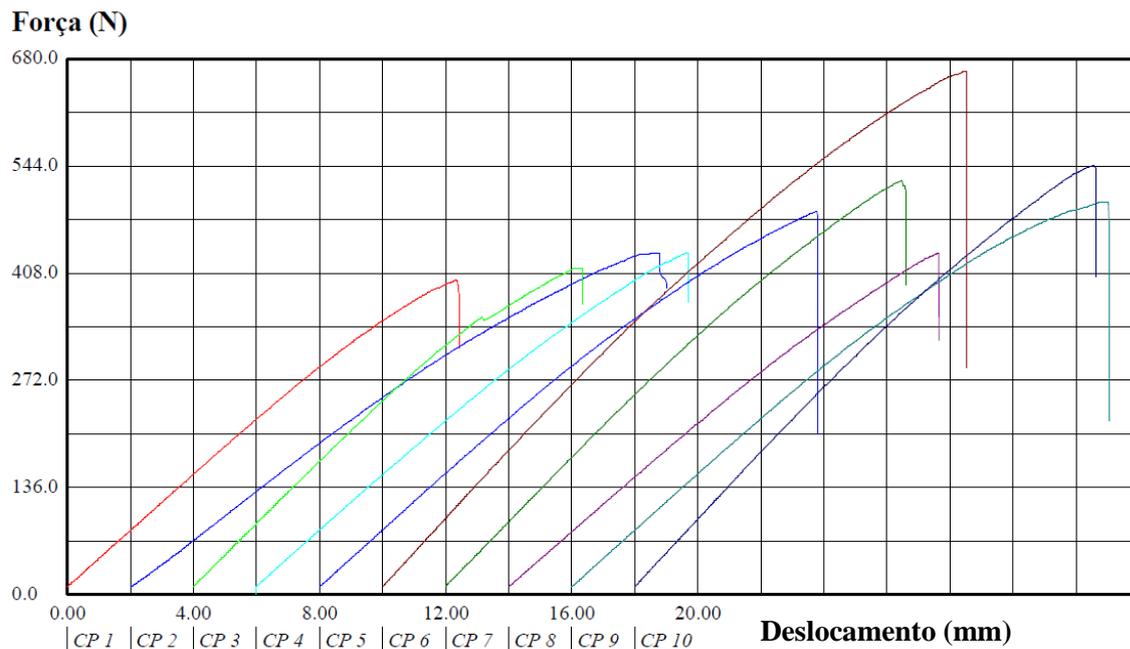


Figura 3.29: Gráfico de força *versus* deslocamento Pxf da Série DT com V=24xt.

3.2 Ensaios "*Push-Test*"

3.2.1 Definição dos Modelos

Para os ensaios de "*push-test*", os quais foram realizados em conjunto com POSSAS (2015), foram confeccionados 21 corpos de prova, dos quais 12 são reticulados metálicos compostos por dois perfis Ue com variações na espessura da placa de OSB, nas dimensões dos perfis Ue, na distância e quantidade de parafusos de fixação. Os demais corpos de prova são compostos por apenas um perfil Ue associado à placa de OSB com variação nos mesmos parâmetros citados anteriormente. Estes últimos serão tema de trabalho futuro para complementação do estudo. Portanto, para o trabalho em questão serão considerados 12 corpos de prova (três exemplares de cada modelo), os quais foram classificados e nomeados de acordo com as suas variáveis. A nomenclatura utilizada se refere à quantidade de perfis de aço no reticulado metálico. O segundo caractere se refere à espessura da placa de OSB. O terceiro ao quinto caractere de referem à espessura da chapa dos perfis, ao espaçamento entre os montantes e à

distância entre parafusos conforme mostra a Figura 3.30. Optou-se por utilizar as placas de OSB mais usuais no mercado, que são as placas com espessuras nominais igual a 9,5mm e 11,1mm.

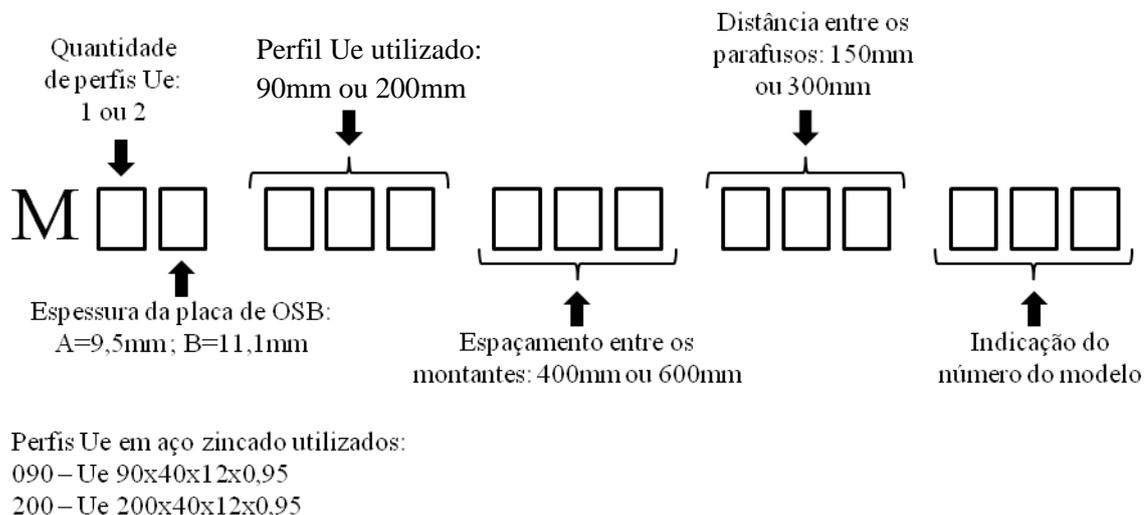


Figura 3.30: Nomeclatura dos modelos.

Seguindo a nomeclatura apresentada, tem-se os seguintes modelos propostos:

- Série 1: M2A 200 600 150 - Modelo com dois perfis Ue 200x40x12x0,95, espessura da placa de OSB é 9,5mm, espessura da placa do perfil é 0,95mm, espaçamento entre os parafusos é de 150mm e espaçamento entre os montantes é de 600mm (Figura 3.31).
- Série 2: M2A 090 400 300 - Modelo com dois perfis Ue 90x40x12x0,95, espessura da placa de OSB é 9,5mm, espessura da placa do perfil é 0,95mm, espaçamento entre os parafusos é de 300mm e espaçamento entre os montantes é de 400mm (Figura 3.32).
- Série 3: M2B 090 600 150 - Modelo com dois perfis Ue 90x40x12x0,95, espessura da placa de OSB é 11,1mm, espessura da placa do perfil é 0,95mm, espaçamento entre os parafusos é de 150mm e espaçamento entre os montantes é de 600mm (Figura 3.33).
- Série 4: M2B 200 600 150 - Modelo com dois perfis Ue 200x40x12x0,95, espessura da placa de OSB é 11,1mm, espessura da placa do perfil é 0,95mm, espaçamento entre os parafusos é de 150mm e espaçamento entre os montantes é de 600mm (Figura 3.34).

Os modelos foram escolhidos dessa forma para que fosse possível a análise dos diferentes fatores que podem influenciar na resistência do mesmo.

A Tabela 3.19 contém os parâmetros e a nomenclatura adotada para cada série de modelo.

Tabela 3.19: Parâmetros adotados para cada Série de Modelos.

	Modelo	Espessura da Placa de OSB (mm)	Espaçamento entre os Parafusos (mm)	Espaçamento entre os Montantes (mm)	Quantidade Total de Parafusos
Série 1	M2A 200 600 150	9,5	150	600	8
Série 2	M2A 090 400 300	9,5	300	400	8
Série 3	M2B 090 600 150	11,1	150	600	12
Série 4	M2B 200 600 150	11,1	150	600	12

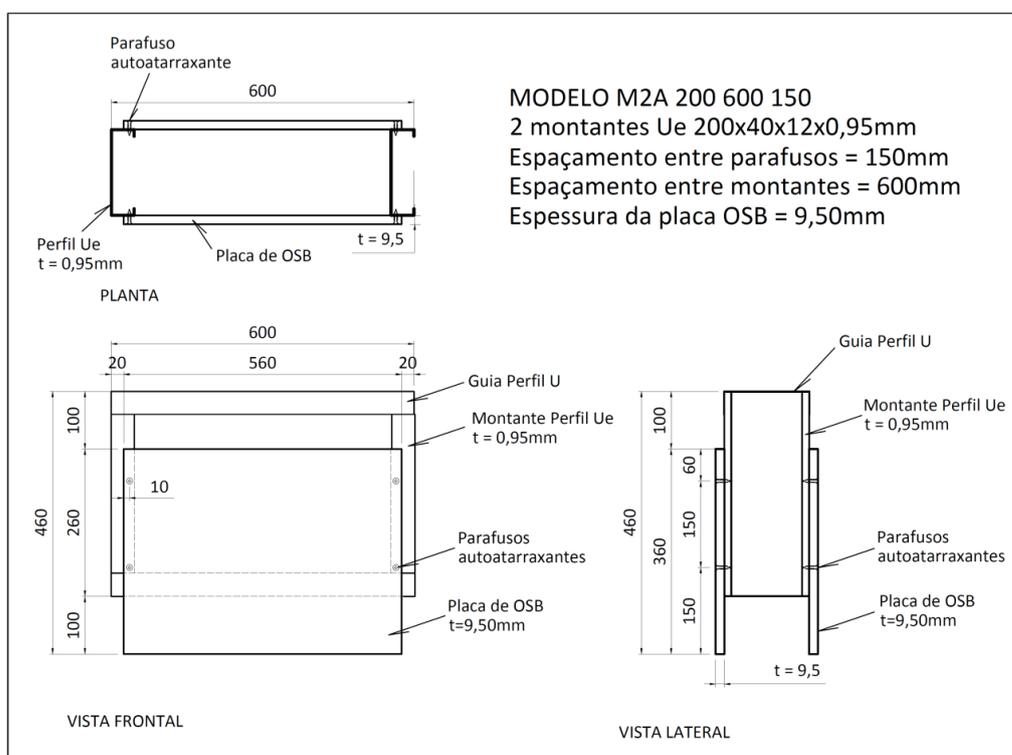


Figura 3.31: Série 1 - Modelo M2A 200 600 150.

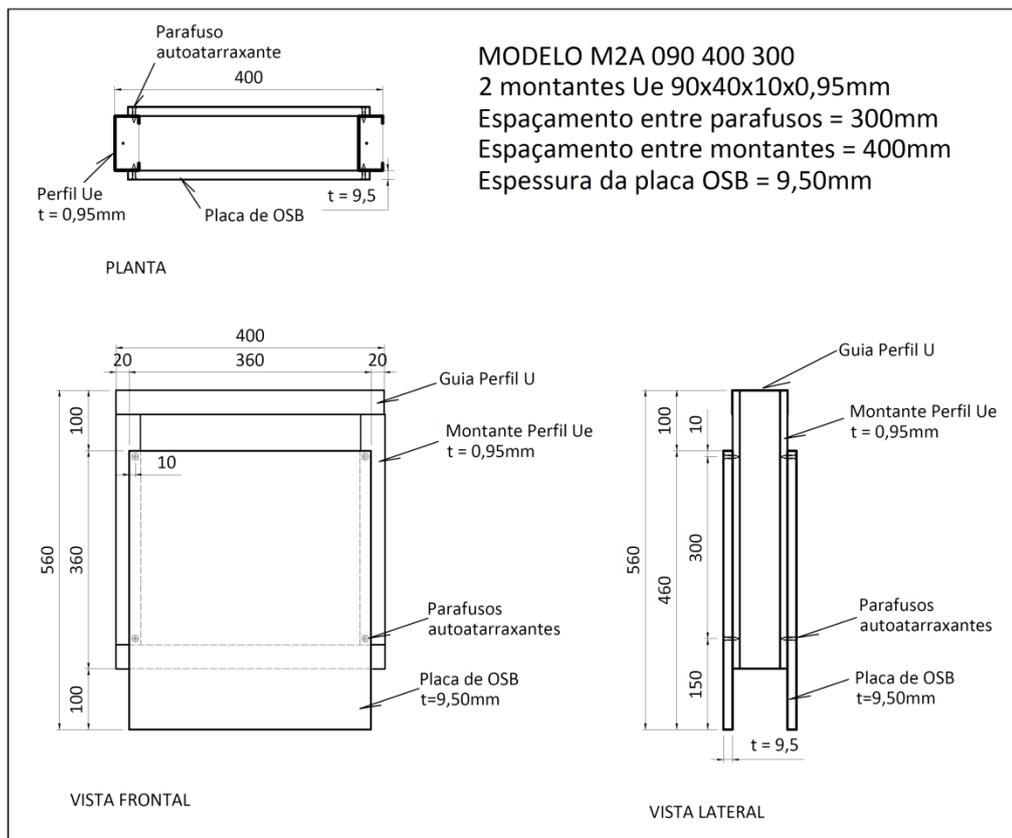


Figura 3.32: Série 2 - Modelo M2A 090 400 300.

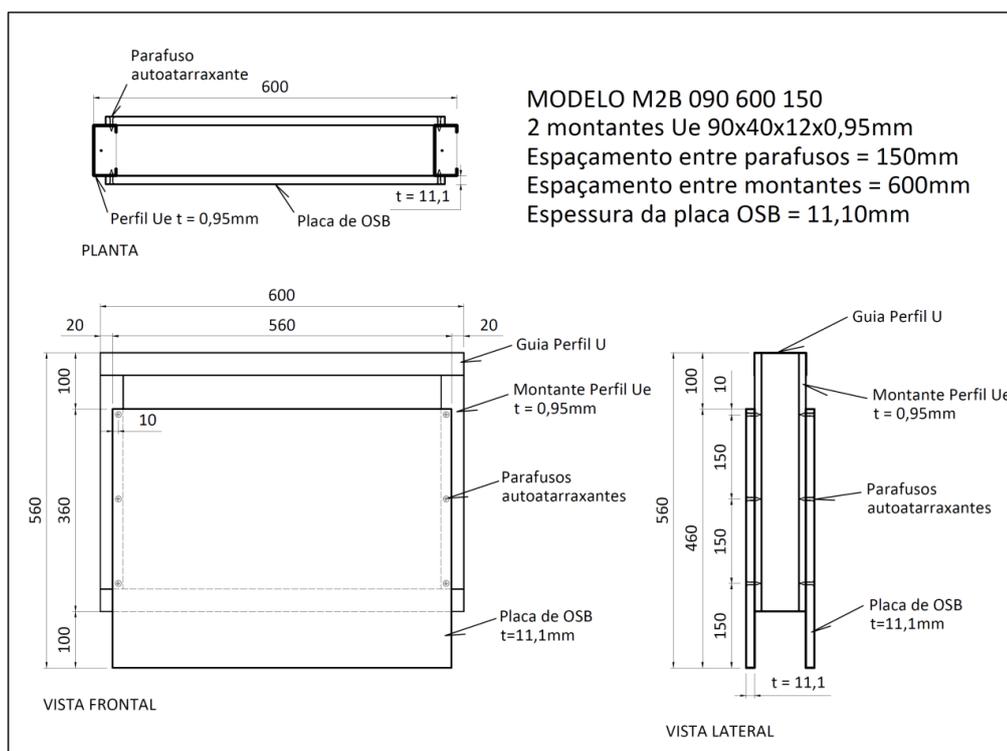


Figura 3.33: Série 3 - Modelo M2B 090 600 150.

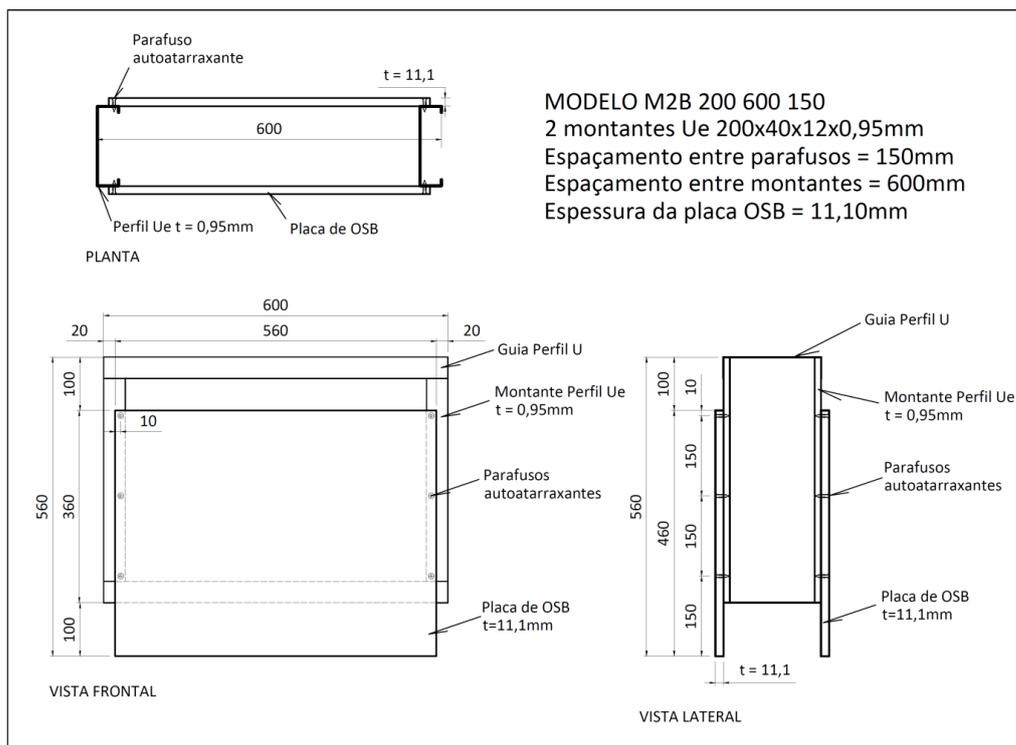


Figura 3.34: Série 4 - Modelo M2B 200 600 150.

Antes da realização dos ensaios foram realizadas verificações de todas as medidas dos modelos fabricados para os ensaios. Dessa forma, todas as medidas dos corpos de prova foram devidamente conferidas para analisar as possíveis influências das imperfeições em seu comportamento.

Durante o processo construtivo é comum e muito frequente que se tenham variações e imperfeições, assim são fatores importantes a serem levados em consideração. Neste contexto, foram verificadas variações no espaçamento entre parafusos, como, por exemplo, espaçamentos nominais de 150mm variarem de 143mm a 155mm, com um erro de aproximadamente ± 7 mm. Além disso, também pode-se perceber parafusos fixados muito próximos à borda do OSB (Figura 3.36), o que provavelmente influencia na capacidade resistente.

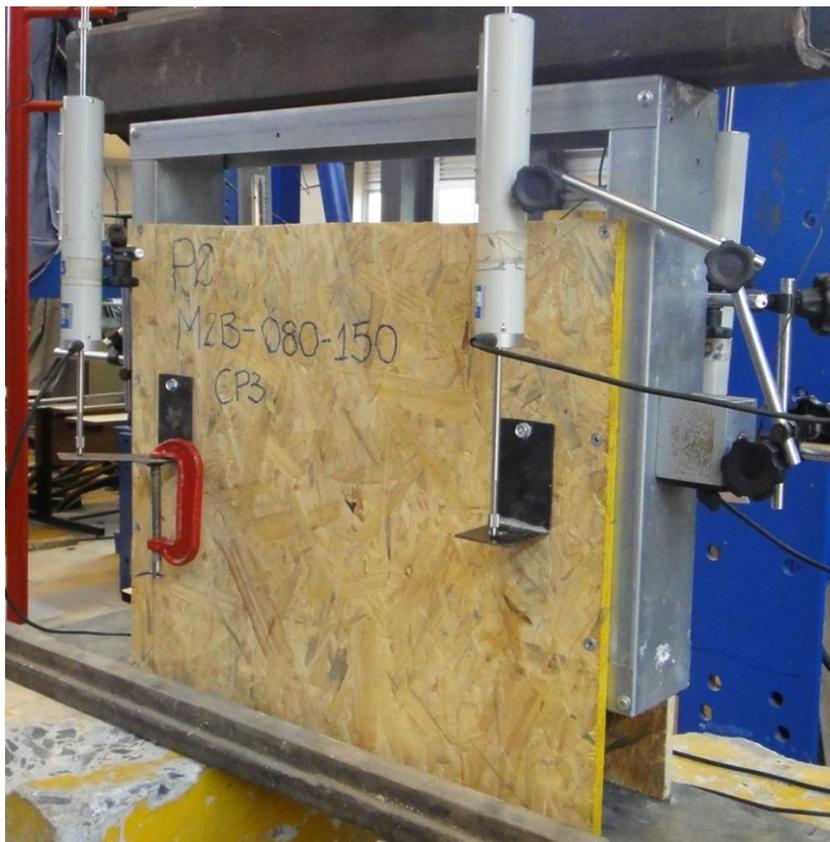


Figura 3.35: Modelo M2B 090 600 150 CP3 com variação na distância entre os parafusos.



Figura 3.36: Modelo M2A 090 400 300 CP3, parafuso de fixação situado muito próximo à borda da placa de OSB.

Algumas outras imperfeições iniciais encontradas foram: pequenos empenamentos, que puderam ser corrigidos com o corte e nivelamento da base; parte inferior da placa de OSB um pouco mais afastada que a superior; parafuso de fixação entre a guia metálica e o perfil atrapalhando a fixação da placa de OSB no reticulado metálico; guias que fecham o reticulado

metálico deformadas. Nas Figuras 3.37 e 3.38 pode-se observar algumas dessas imperfeições iniciais citadas.



Figura 3.37: À esquerda, parafuso que fixa o perfil à guia metálica atrapalha fixação da placa de OSB. À direita, perfil que estava previamente deformado e sofreu instabilidade local no enrijecedor (M2B 090 600 150 CP3).



Figura 3.38: À esquerda, empenamento da base (M2A090400300CP3) e à direita, guia deformada (M2B 200 600 150 CP3).

3.2.2 Realização dos Ensaios

Conforme já foi citado no Capítulo 2, item 2.5, foi feita uma adequação dos procedimentos descritos na EN 1994-1-1:2004 para ensaios "*push-test*" realizados normalmente em um perfil metálico conectado a duas lajes de concreto por meio de conectores de cisalhamento. Como o

comportamento do conjunto ainda é desconhecido, assim como a força máxima suportada por este, o primeiro ensaio de cada Série foi realizado sem os 25 ciclos de carga, com o objetivo de obter a força máxima suportada pelo primeiro exemplar de cada série de 3 modelos.

3.2.2.1 Componentes Utilizados nos Ensaio

Nos ensaios é necessário a medição dos deslizamentos relativos entre os perfis e a placa de OSB, para isso foram utilizados transdutores de deslocamento (DTs) nos quatro cantos do modelo conforme esquema na Figura 3.39, que também ilustra a posição relativa das placas de OSB com suas respectivas siglas de identificação para todos os modelos.

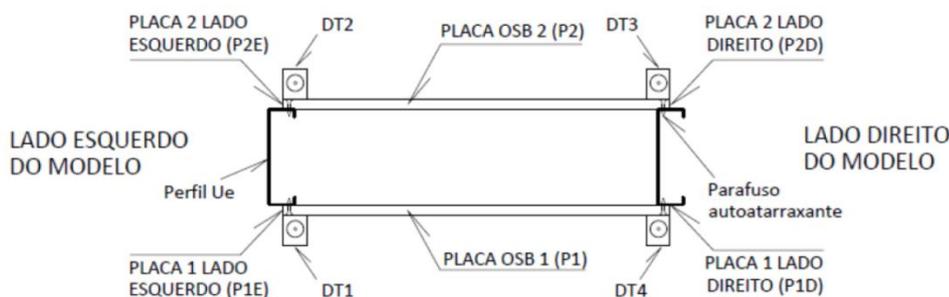


Figura 3.39: Indicação da posição dos DTs e posição relativa das placas de OSB.

- **Atuador Hidráulico:** Dispositivo utilizado para aplicação de força. O carregamento foi imposto por meio de um atuador hidráulico com capacidade de 500kN, da ENERPAC. O valor da força aplicada foi medido por meio de um transdutor de pressão (TP) instalado na bomba do atuador hidráulico. O TP tem uma capacidade de medição de 700bar e foi fabricado pela SODMEX.
- **Anel Dinamométrico:** O valor da carga aplicada também foi medido e averiguado com o auxílio de um anel dinamométrico e dos valores de força obtidos pelo TP, indicados no Sistema de Aquisição de Dados

Para que a carga fosse distribuída uniformemente por todo modelo, utilizou-se um perfil tubular posicionado na parte superior do mesmo. Nas Figuras 3.40 e 3.41 é mostrado o sistema de aplicação e controle da força.



Figura 3.40: Sistema de aplicação e controle de força – Anel dinamométrico.



Figura 3.41: Demonstração da montagem e do sistema de aplicação e controle de força.

- Sistema de Aquisição de Dados: A aquisição das leituras referentes ao carregamento aplicado e aos deslocamentos lineares foi efetuada via sistema eletrônico, de maneira automatizada, por meio da digitalização de sinais analógicos com o software AqDados 7.02, da Lynx Eletrônica, que permite a aquisição dos sinais e tratamento dos mesmos durante o ensaio ou logo após seu término (Figura 3.42).



Figura 3.42: Sistema de aquisição de dados.

Para o tratamento dos sinais obtidos, utilizou-se dos recursos oferecidos pelo programa AqAnalysis. Os dados de todos os canais foram convertidos simultaneamente e exportados do sistema de aquisição através de arquivo em formato de texto (.txt).

3.2.2.2 Procedimentos de Ensaio

Para a execução dos ensaios dos modelos foram realizadas as seguintes etapas:

- 1) Aplicação de carregamento crescente até atingir a carga última no primeiro exemplar de cada série de três modelos. Os demais exemplares de uma mesma série foram submetidos inicialmente a uma carga P crescente a partir de zero, até atingir o valor de 40% da carga última prevista;
- 2) Aplicação de 25 ciclos de carga, entre 5% e 40% da carga última prevista, o que corresponde à simulação da atuação de carga cíclica;
- 3) Após a fase cíclica, os incrementos de carga foram aplicados com o intuito de determinar a carga última (incapacidade do modelo em receber acréscimos de carga), de modo a não provocar a ruptura antes de um período de 15 minutos (EN 1994-1-1:2004);
- 4) Os deslizamentos relativos entre perfil de aço e a placa de OSB foram monitorados em todo ensaio pelo menos até que a carga aplicada decrescesse em 20% do valor máximo.

3.2.3 Resultados

Os resultados serão descritos por ordem de realização dos ensaios, por isso as séries não serão listadas de forma crescente.

3.2.3.1 Série 3: Modelos M2B 090 600 150

O primeiro ensaio realizado foi no Modelo M2B 090 600 150 CP3. Este modelo tinha imperfeições iniciais no enrijecedor de um dos montantes do reticulado metálico, o que causou uma instabilidade local no enrijecedor logo na 3ª etapa do ensaio (Figura 3.43).



Figura 3.43: Instabilidade local no enrijecedor PIE.

A ocorrência da instabilidade local no enrijecedor impossibilitou que a força aplicada passasse pelos parafusos como deveria. No decorrer do experimento os deslocamentos verticais nos DTs 1 e 2 foram muito pequenos (Figura 3.44) e quase não ocorreu rotação nos parafusos, o que evidenciou que a aplicação de carga nos mesmos foi prejudicada.

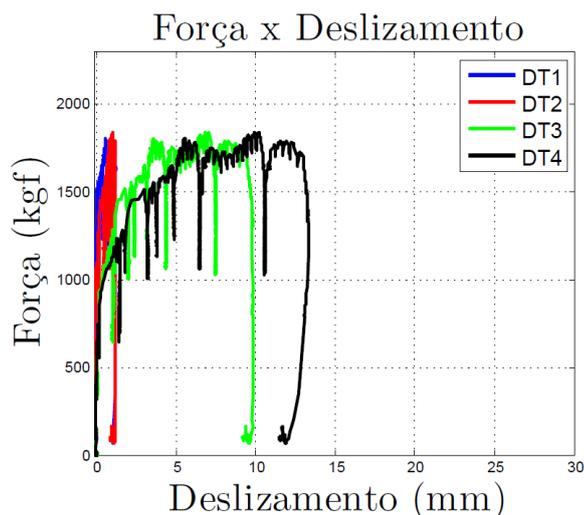


Figura 3.44: Modelo M2B 090 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento relativo entre os DTs 1, 2, 3 e 4.

O deslizamento relativo entre os DTs 1, 2, 3 e 4 é mostrado na Figura 3.44. É perceptível que existe uma semelhança na curva dos deslizamentos dos DTs 1 e 2 que estão localizados no lado esquerdo do modelo (P1E e P2E). Essa semelhança na curva dos deslizamentos também existe entre os DTs 3 e 4 que estão localizados no lado direito do modelo. Por essa semelhança existir optou-se por associar os dois gráficos, ou seja, associar os deslizamentos obtidos nos DTs 1 e 2 em um gráfico de Deslizamento Médio dos DTs 1 e 2 *versus* Força. O mesmo foi realizado para os DTs 3 e 4, indicando o deslizamento médio entre eles, a força última e o deslizamento correspondente (δ_{ii}) que são listados na legenda do gráfico da seguinte maneira: Deslizamento médio (mm) x Força (kgf) (Figuras 3.45 e 3.46).

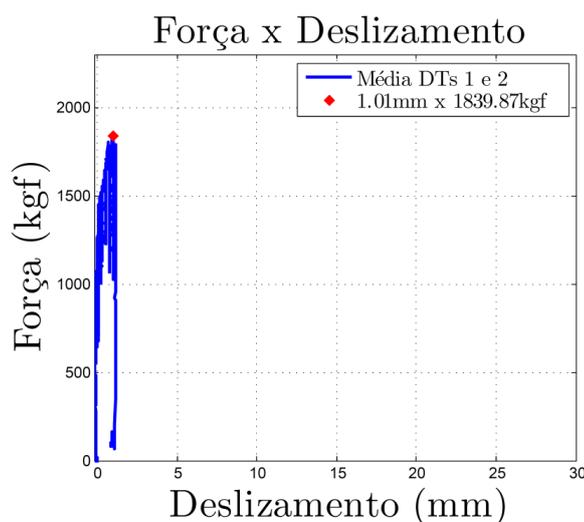


Figura 3.45: : Modelo M2B 090 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.

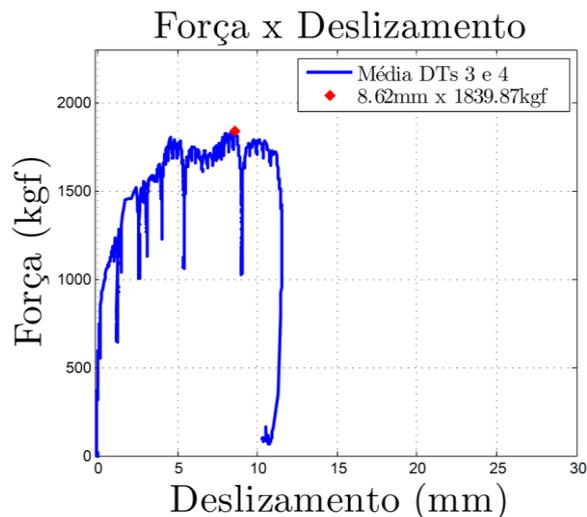


Figura 3.46: Modelo M2B 090 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.

Ao analisar a Figura 3.46 pode-se perceber que a força aplicada foi transmitida para os parafusos localizados no lado direito do modelo (P1D e P2D) que entraram em regime de tração no decorrer da aplicação da força, mais precisamente na 7ª etapa do ensaio com força aplicada aproximada de 1250kgf. O início da rotação dos parafusos foi observado para uma carga aproximada de 1043kgf (Figura 3.47).



Figura 3.47: Modelo M2B 090 600 150 CP3 - Rotação dos parafusos P1D e P2D.

O parafuso superior do lado P1D da placa de OSB foi fixado muito próximo à borda da placa, o que facilitou a sua rotação. Além disso, a resistência da placa de OSB ao esmagamento devido à tração no parafuso foi reduzida, causando rupturas na placa de OSB neste ponto, conforme é mostrado na Figura 3.48.



Figura 3.48: Modelo M2B 090 600 150 CP3 – Parafuso superior P1D próximo à borda da placa.

Com o incremento de carga aplicada ocorreu excesso de deformações na placa de OSB na região de fixação dos parafusos, devido ao esmagamento causado pelos mesmos em regime de tração (Figura 3.49).



Figura 3.49: Modelo M2B 090 600 150 CP3 - Ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos, lado direito do modelo (P1D e P2D).

Para o modelo M2B 090 600 150 CP3 o valor da carga última atingida foi de 1839,87kgf. Sendo assim, para o próximo ensaio na fase cíclica considerou-se uma oscilação entre 5% e 40% da carga última, ou seja, aproximadamente 90kgf e 730kgf respectivamente.

O segundo ensaio foi realizado no modelo M2B 090 600 150 CP1, agora inicialmente com aplicação da carga cíclica e posteriormente com acréscimo de carga para determinação da carga última. O modelo em questão também tinha o parafuso superior do lado P1D da placa de OSD fixado muito próximo à borda da placa. Dessa forma, a ruptura da placa de OSB nessa região foi facilitada (Figura 3.50).

Durante a realização da fase cíclica não se observou grandes alterações no modelo, inclusive os deslocamentos relativos entre os ciclos foram muito pequenos e, na maioria das vezes, insignificantes. Neste ensaio, o início da rotação nos parafusos se deu para uma carga aproximada de 1033kgf e os estalos nas placas de OSB se iniciaram com aproximadamente 1402kgf.

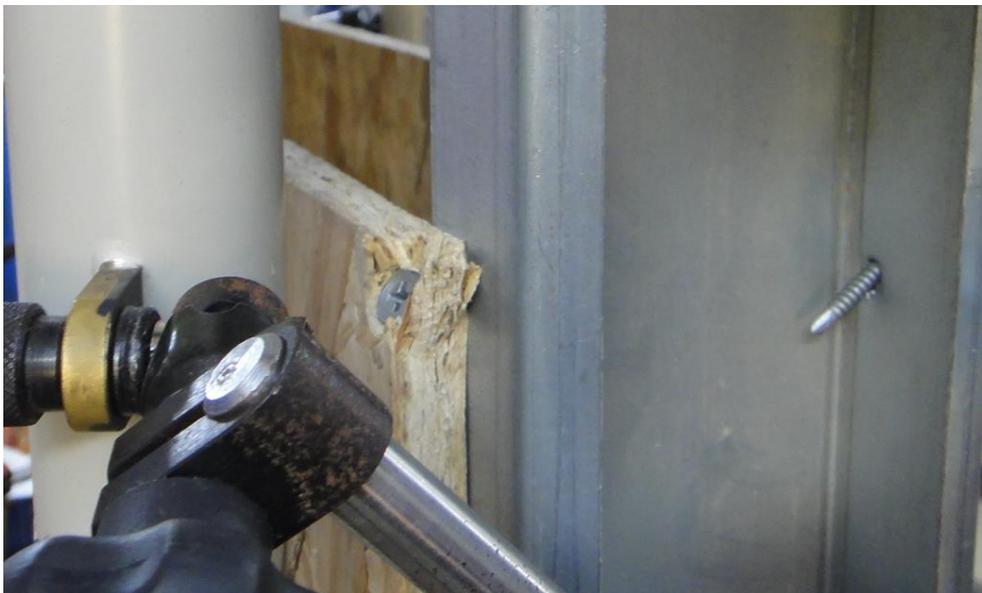


Figura 3.50: Modelo M2B 090 600 150 CP1 - Ruptura da placa de OSB P1D - Parafuso muito próximo à borda.

Assim como no primeiro ensaio, um dos lados do reticulado metálico desliza mais do que o outro. Essa diferença pode ser observada nas Figuras 3.51 e 3.52, mas em uma proporção menor do que a que foi verificada no modelo M2B 090 600 150 CP3 desta Série, dado que não houve instabilidade local do enrijecedor.

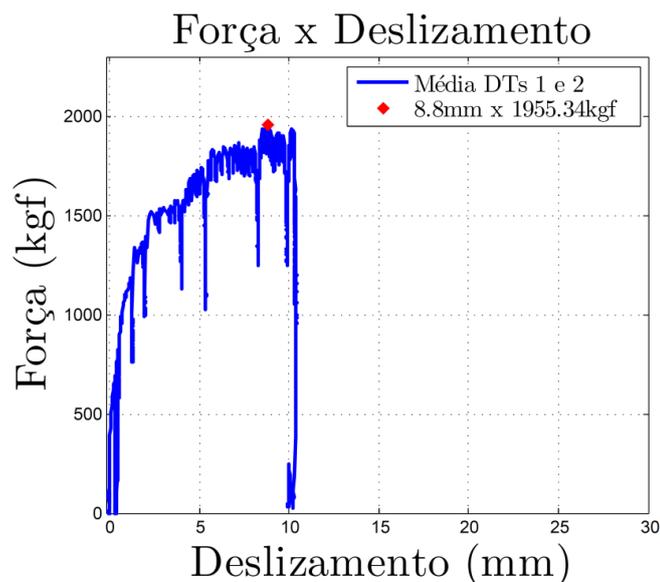


Figura 3.51: Modelo M2B 090 600 150 CP1 - Gráfico Força x Deslocamento - Média dos DTs 1 e 2.

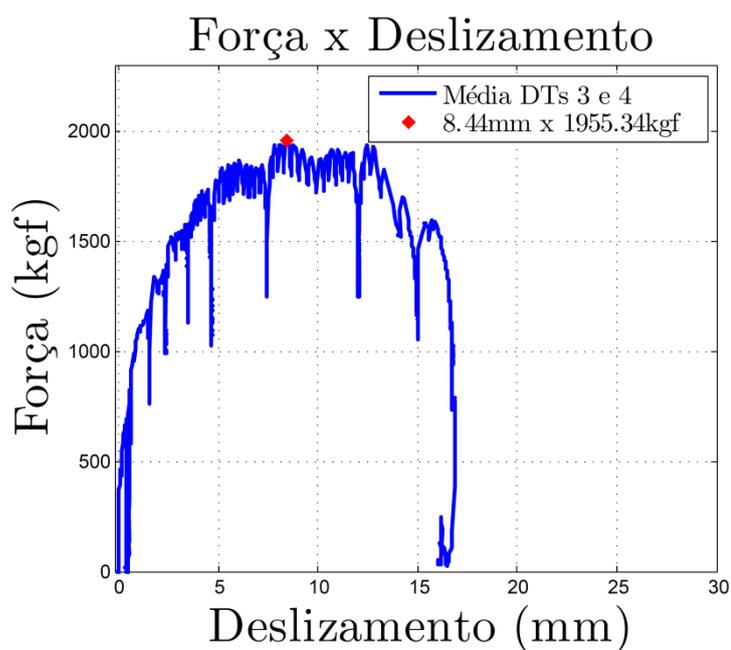


Figura 3.52: Modelo M2B 090 600 150 CP1 - Gráfico Força x Deslocamento - Média dos DTs 3 e 4.

O lado direito do modelo (P1D e P2D) deslizou mais do que o lado esquerdo (P1E e P2E) da mesma forma que ocorreu com o modelo CP3 desta série. As Figuras 3.53 e 3.54 mostram a ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos, assim como a rotação do primeiro parafuso da P2D.



Figura 3.53: Modelo M2B 090 600 150 CP1 - Ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos e rotação do primeiro parafuso do lado direito P2D.



Figura 3.54: Modelo M2B 090 600 150 CP1 - Ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos no lado direito do modelo (P1D e P2D).

Para o modelo M2B 090 600 150 CP2 seguiu-se o mesmo procedimento de ensaio do modelo M2B 090 600 150 CP1. Diferentemente dos outros dois modelos dessa série, os parafusos não foram fixados muito próximos à borda do OSB, o que ocasionou um aumento na resistência ao esmagamento da placa, pois ocorre aumento da área de influência no entorno da fixação. Devido a este fato, o valor da força última atingido pelo CP2 desta série foi maior do que os atingidos no CP3 e CP1 (Figuras 3.55 e 3.56).

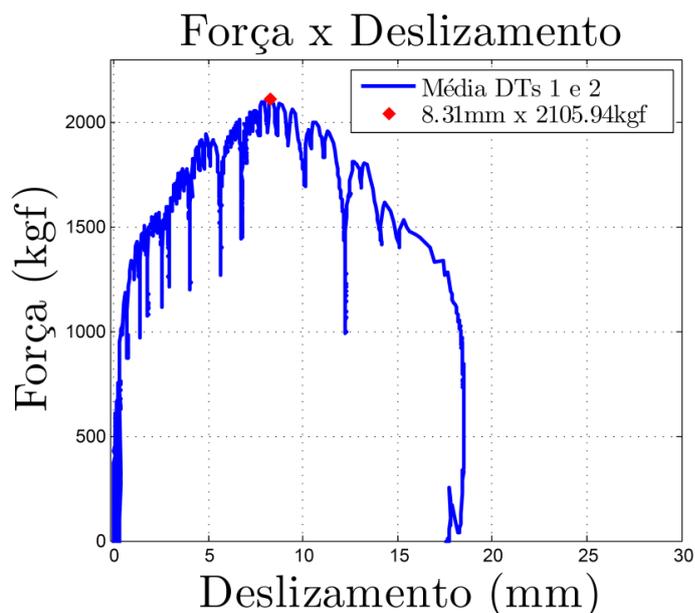


Figura 3.55: M2B 090 600 150 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.

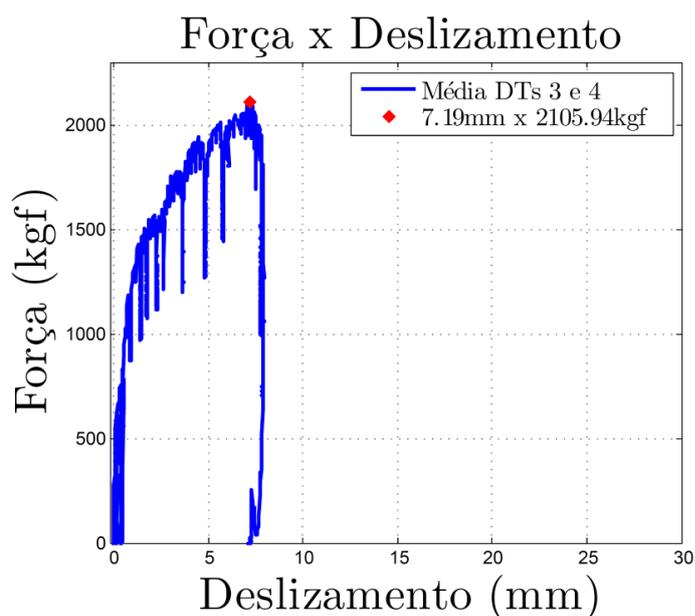


Figura 3.56: M2B 090 600 150 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento 0 Média dos DTs 3 e 4.

Assim como nos demais modelos desta série, um dos lados do modelo deslizou mais do que o outro, mas, no caso do modelo M2B 090 600 150 CP2, o deslocamento vertical relativo foi maior do lado esquerdo (P1E e P2E) como pode ser evidenciado pelos gráficos acima (Figuras 3.55 e 3.56).

Além disso, a rotação dos parafusos se deu inicialmente nos parafusos superiores e posteriormente nos demais. A Figura 3.57 demonstra que o parafuso superior rotacionou mais

do que os parafusos central e inferior. Neste modelo também foi realizada a fase cíclica e não foram observadas alterações significativas, assim como no modelo CP1 desta série.



Figura 3.57: Modelo M2B 090 600 150 CP2 - Seqüência de rotação dos parafusos.

Com o incremento de força para alcance de carga última observou-se estalos nas placas de OSB com uma carga aproximada de 1013kgf e o início do giro dos parafusos se deu com 1355kgf. Ao atingir uma carga de aproximadamente 1786kgf foram observados mais estalos nas placas de OSB e uma pequena distorção (Figura 3.58) no perfil do lado esquerdo do modelo (P1E e P2E).



Figura 3.58: Modelo M2B 090 600 150 CP2 - Distorção no perfil do lado esquerdo do modelo (P1E e P2E).

Na Figura 3.59 pode-se perceber que os parafusos giram bastante em relação ao seu eixo de fixação e estes passam a ser tracionados à medida que a força aplicada aumenta, rompendo assim pontualmente a placa de OSB na região dos parafusos. Neste modelo a ruptura da placa de OSB (Figura 3.60) se deu com uma carga aproximada de 2035kgf.



Figura 3.59: Modelo M2B 090 600 150 CP2 - Rotação do parafuso superior.



Figura 3.60: Modelo M2B 090 600 150 CP2 - Ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos.

Assim como apresentado para o CP3 desta Série, os deslizamentos nos DTs 3 e 4, posicionados no lado direito do modelo, apresentaram curvas de deslizamento muito semelhantes. O mesmo ocorreu para o lado esquerdo do modelo nos DTs 1 e 2, que mantiveram um traçado semelhante com uma pequena defasagem nas curvas de deslizamentos. A Figura 3.61 mostra esta ocorrência para o modelo M2B 090 600 150 CP2. Esta semelhança foi mantida na maioria das Séries e os gráficos que demonstram os deslizamentos obtidos para cada modelo de todas as Séries estão representados no Apêndice A.

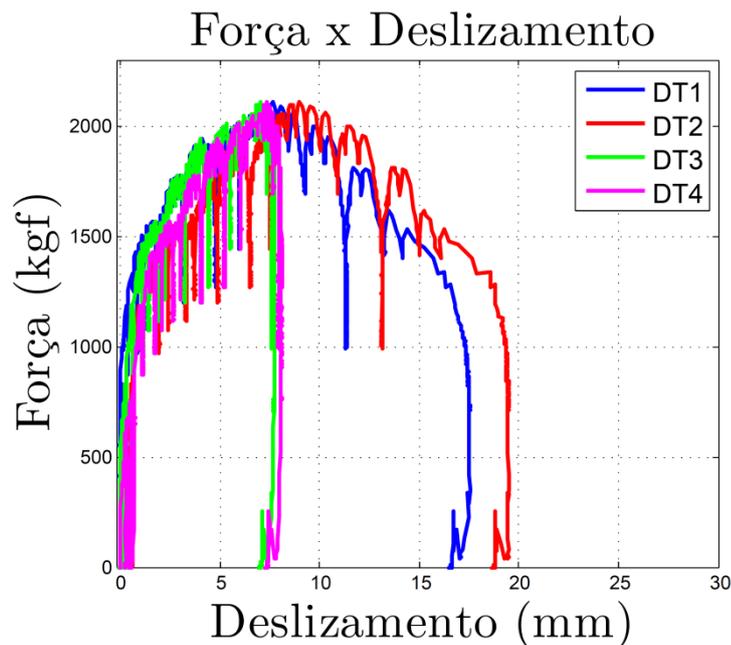


Figura 3.61: Modelo M2B 090 600 150 CP2 - Deslizamentos relativos, gráficos individuais dos DTs.

3.2.3.2 Série 4: Modelos M2B 200 600 150

Os modelos desta Série se diferem dos modelos da Série 3 nas dimensões do perfil utilizado (Figura 3.62), os demais parâmetros permaneceram constantes. Assim como descrito anteriormente, o primeiro modelo desta série foi ensaiado sem aplicação de carga cíclica.



Figura 3.62: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - Perfil utilizado possui a alma com largura maior que o perfil utilizado nos modelos da Série 3.

No modelo M2B 200 600 150 CP1 os estalos na placa de OSB ocorreram com uma carga de aproximadamente 1079kgf e o início do giro dos parafusos com 1397 kgf (Figura 3.63).



Figura 3.63: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - Rotação dos parafusos.

O início de ruptura da placa de OSB ocorreu com uma carga de 1904kgf e a ruptura pontual do mesmo na região dos parafusos ocorreu com aproximadamente 2038kgf. Os parafusos submetidos à tração ocasionam o esmagamento da placa de OSB, levando-o à ruptura, como pode ser visualizado na Figura 3.64.

Neste ensaio, ocorreu ruptura da placa de OSB com a separação entre as placas e o perfil metálico. Ao observar as Figuras 3.64, 3.65 e 3.66, nota-se que ocorreu o modo de falha “*pull-out*” no lado P1D da placa de OSB no parafuso superior e no parafuso inferior, e no parafuso central ocorreu o modo de falha “*pull-over*”. Já no lado P2D da placa de OSB ocorreu o “*pull-over*” em todos os parafusos.



Figura 3.64: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - À esquerda, parafusos tracionados e à direita, ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos no lado direito do modelo P1D.



Figura 3.65: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - Modos de falha na placa de OSB P1D.



Figura 3.66: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - Modos de falha na placa de OSB P2D.

Assim como todos os modelos da Série 3, um dos lados do modelo M2B 200 600 150 CP1 deslizou mais do que o outro. O deslizamento pode ser observado nas Figuras 3.67 e 3.68.

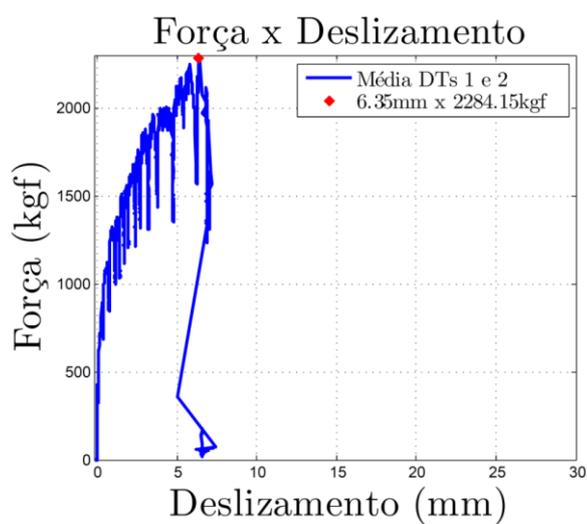


Figura 3.67: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.

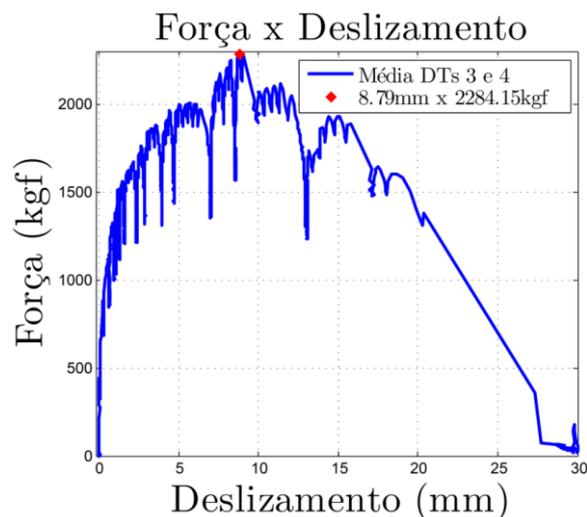


Figura 3.68: Modelo M2B 200 600 150 CP1 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.

Para o modelo M2B 200 600 150 CP1 o valor da carga última atingida foi de 2284,15kgf. Portanto, para o ensaio na fase cíclica considerou-se uma oscilação entre 5% e 40% da carga última, ou seja, aproximadamente 110kgf e 900kgf respectivamente.

Para o CP2 desta Série, os estalos no OSB ocorreram com uma carga aproximada de 1053kgf e o início de rotação dos parafusos foi observado com cerca de 1312kgf, ou seja, valores muito próximos aos do CP1. O início de ruptura na placa de OSB ocorreu com aproximadamente 1997kgf e os valores de carga última e a capacidade de deslizamento do corpo de prova são mostradas nas Figuras 3.69 e 3.70.

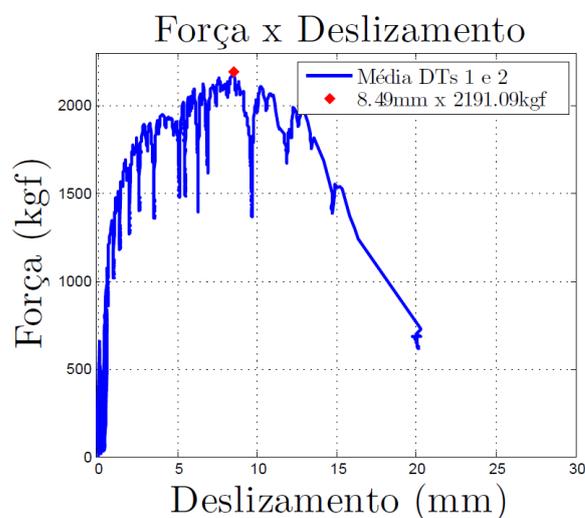


Figura 3.69: Modelo M2B 200 600 150 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.

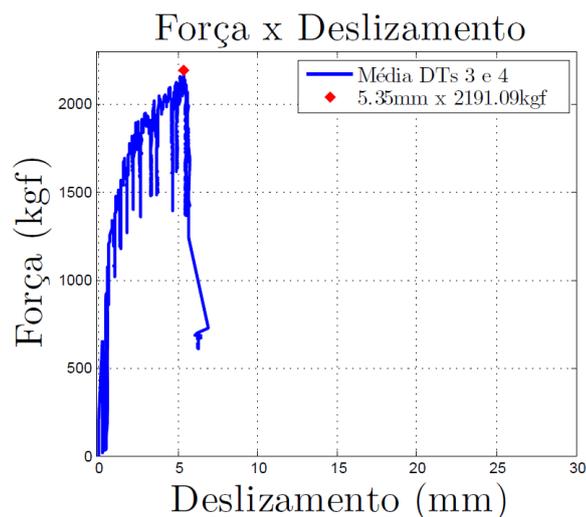


Figura 3.70: Modelo M2B 200 600 150 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.

Neste modelo, os parafusos centrais rotacionaram mais que os demais parafusos (Figura 3.71). O modo de falha observado na ruptura da placa de OSB foi o “*pull-over*”, que ocorreu somente no lado P2D do modelo (Figura 3.72). Os outros três cantos não romperam totalmente.



Figura 3.71: Modelo M2B 200 600 150 CP2 - Rotação dos parafusos no lado P2D à esquerda e P1D à direita.



Figura 3.72: Modelo M2B 200 600 150 CP2 - Ruptura por "pull-over" no lado P2D da placa de OSB.

O último ensaio desta série, M2B 200 600 150 CP3, apresentou imperfeições iniciais nas guias (como descrito no item 3.2.1) e na base da placa de OSB P2D (Figura 3.73).



Figura 3.73: Modelo M2B 200 600 150 CP3 - Imperfeições iniciais.

O lado esquerdo do modelo deslizou mais do que o lado direito, assim como no modelo CP2 desta série (Figuras 3.74 e 3.75). Na Figura 3.76 pode-se visualizar a rotação dos parafusos com início de ruptura da placa de OSB causada pela tração nos parafusos. A rotação dos parafusos se iniciou com uma carga de aproximadamente 1307kgf.

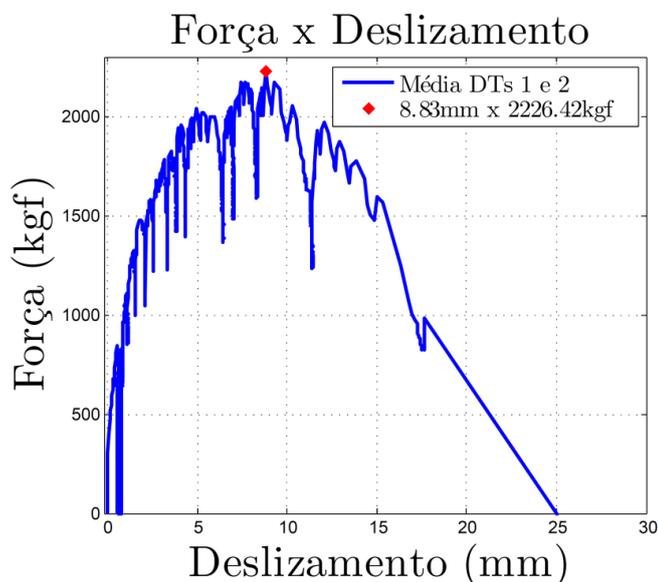


Figura 3.74: Modelo M2B 200 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.

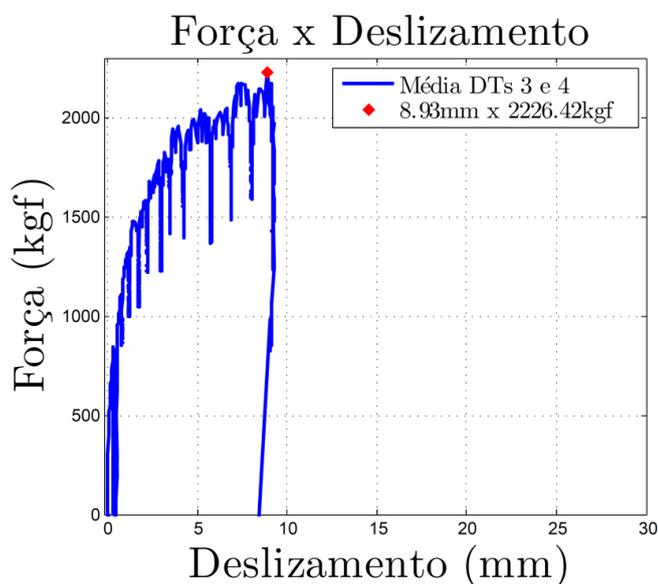


Figura 3.75: Modelo M2B 200 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.



Figura 3.76: Modelo M2B 200 600 150 CP3 - Rotação dos parafusos e ruptura da placa de OSB no lado P2D.

O modo de falha observado no CP3 desta Série foi o “*pull-over*” no lado esquerdo do modelo (P1E e P2E) com desprendimento total da placa de OSB conforme mostrado na Figura 3.77.



Figura 3.77: Modelo M2B 200 600 150 CP3 - Desprendimento total da placa de OSB no lado esquerdo do modelo (à esquerda, P2E e à direita P1E).

3.2.3.3

Série 2: Modelos M2A 090 400 300

Esta série se difere das Séries 3 e 4 pela espessura da placa de OSB utilizada. Nas Séries 3 e 4, as placas de OSB tem espessura nominal de 11,10mm e nas Séries 1 e 2, essas placas tem espessura de 9,50mm. Além disso, a distância entre montantes foi reduzida de 600mm para 400mm e o espaçamento entre os parafusos aumentou de 150mm para 300mm (Figura 3.78).

O primeiro modelo ensaiado desta série foi o M2A 090 400 300 CP1. Como esperado, devido à redução da espessura do OSB e o aumento da distância entre os parafusos, os valores de carga última e a capacidade de deslizamento do corpo de prova reduziram quando comparados aos modelos anteriores, como pode ser visualizado nas Figuras 3.79 e 3.80. O deslizamento relativo foi maior do lado esquerdo do modelo do que do lado direito.



Figura 3.78: Modelo M2A 090 400 300 CP1 - Maior distância entre parafusos e redução na espessura das placas de OSB.

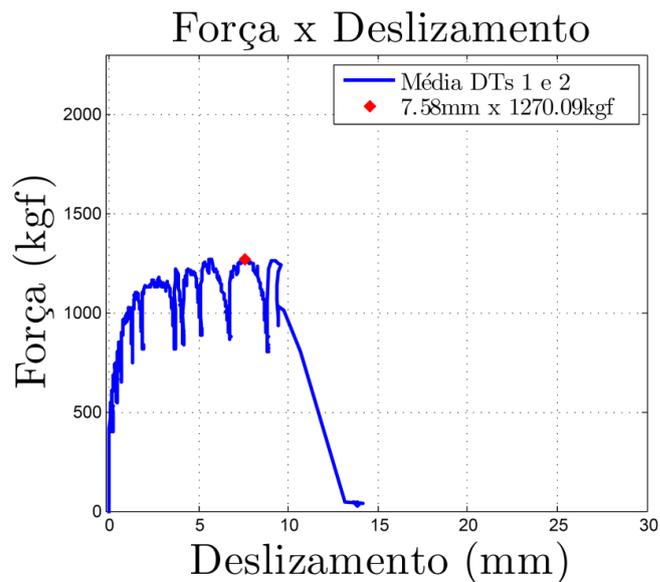


Figura 3.79: Modelo M2A 090 400 300 CP1 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.

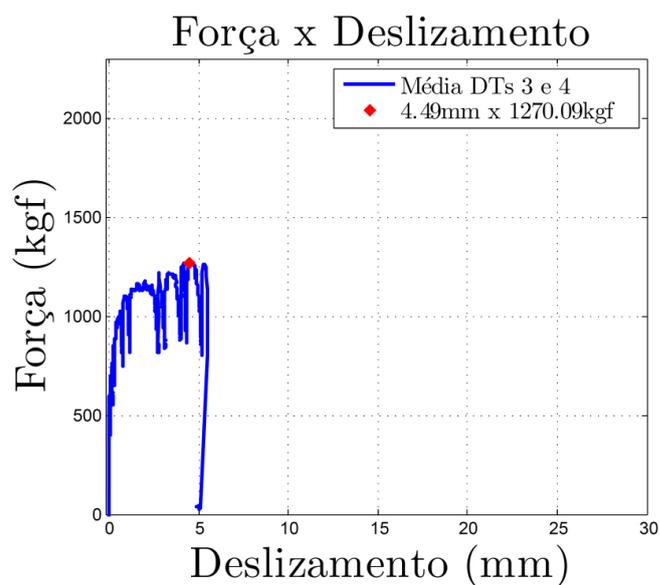


Figura 3.80: Modelo M2A 090 400 300 CP1 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.

Os primeiros estalos e o início do giro dos parafusos ocorreram com carga aproximada de 1046kgf e o início de ruptura das placas de OSB ocorreu com aproximadamente 1094kgf (Figura 3.81).



Figura 3.81: Modelo M2A 090 400 300 CP1 - Rotação dos parafusos e ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos.

Pode-se perceber um afastamento entre a placa de OSB e o perfil metálico devido ao aumento da distância entre os parafusos (Figura 3.82).

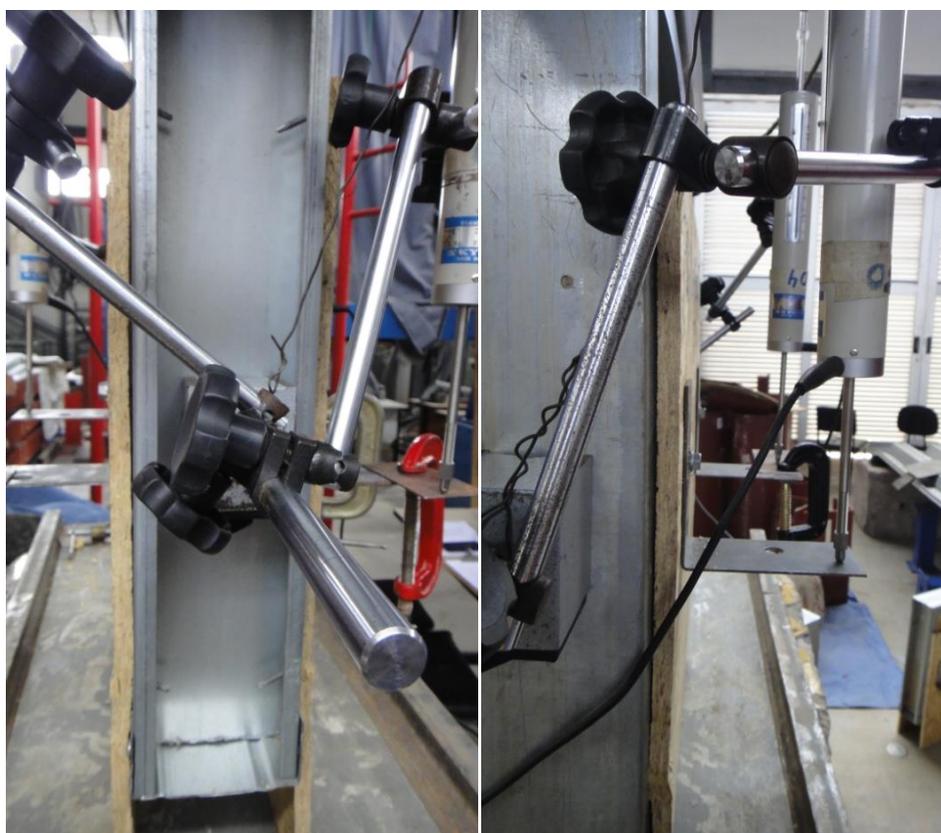


Figura 3.82: Modelo M2A 090 400 300 CP1 - Afastamento lateral entre a placa de OSB e o perfil de aço.

Como modo de falha na fixação ocorreu o “*pull-over*” no lado esquerdo do modelo (Figura 3.83), em todos os parafusos (P1E e P2E).



Figura 3.83: Modelo M2A 090 400 300 CP1 - Modo de falha “*pull-over*”.

Para o modelo M2A 090 400 300 CP1 o valor da carga última atingida foi de 1270,09kgf. Sendo assim, considerou-se para o próximo ensaio na fase cíclica uma oscilação entre 5% e 40% da carga última, ou seja, respectivamente 60kgf e 500kgf.

Para o CP2 desta Série, não foram observadas variações significativas durante a fase cíclica. Os estalos nas placas de OSB se iniciaram com uma carga aproximada de 850kgf e o início da rotação dos parafusos ocorreu com 1001kgf. O parafuso superior do lado P1D foi fixado muito próximo à borda do painel, o que facilitou a rotação e o início de ruptura das placas de OSB que ocorreu com 1066kgf, reduzindo a carga última máxima e o deslizamento característico dos parafusos (Figura 3.84).



Figura 3.84: Modelo M2A 090 400 300 CP2 - Parafuso fixado muito próximo à borda do OSB.

Diferentemente dos outros modelos é interessante perceber que nesse o gráfico Força x Deslizamento (Figuras 3.85 e 3.86) foi semelhante para ambos os lados, evidenciando um deslizamento similar. Além disso, após atingir a carga última, ambos os lados continuaram deslizando, o que justifica um deslizamento característico menor do que no CP1 desta Série. No caso do CP1, como um dos lados reduz o deslizamento, o outro continua deslizando mais. No caso do CP2, como o deslizamento continuou para ambos os lados, nenhum deles teve a tendência a deslizar muito mais que o outro.

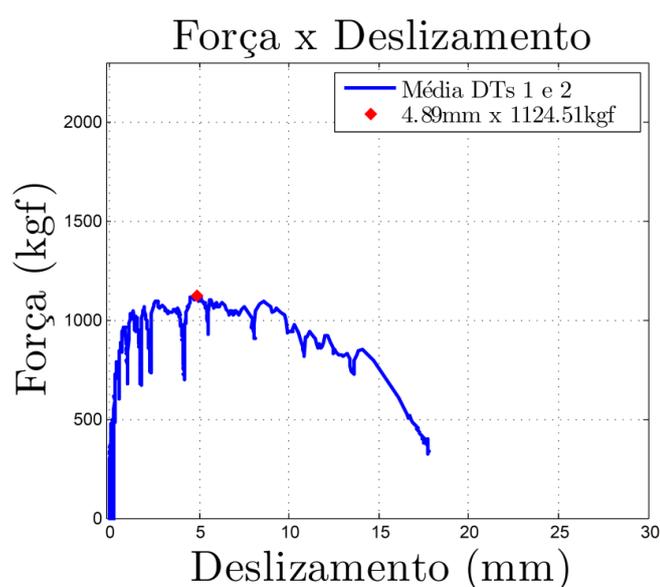


Figura 3.85: Modelo M2A 090 400 300 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.

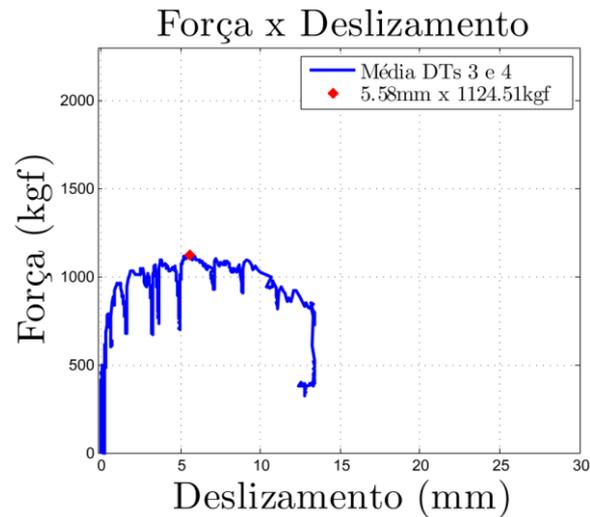


Figura 3.86: Modelo M2A 090 400 300 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.

A placa de OSB com espessura mais fina resiste menos ao esmagamento, evidenciando assim um deslizamento menor aos visualizados nos modelos M2B (Séries 3 e 4). O modo de falha observado na fixação foi o “*pull-over*” no lado esquerdo do modelo com desprendimento da placa de OSB P2E, conforme ilustrado, à esquerda, na Figura 3.87. No lado direito do modelo (PID) os parafusos também foram muito solicitados, provocando ruptura pontual da placa de OSB e iminência do modo de falha “*pull-over*” (Figura 3.87 à direita).



Figura 3.87: Modelo M2A 090 400 300 CP2 - À esquerda, modo de falha “*pull-over*” lado P2E e à direita, PID.

O CP3 desta Série foi confeccionado com a guia superior fora do esquadro, o que poderia modificar a forma de distribuição da força pelos montantes. Além disso, foram realizados cortes na base das placas de OSB com o intuito de melhorar o nivelamento (Figura 3.88).



Figura 3.88: Modelo M2A 090 400 300 CP3 - Imperfeições iniciais e guia fora de esquadro.

Com base em valores obtidos para o M2A 090 400 300 CP1 que não apresentou imperfeições iniciais, o modelo M2A 090 400 300 CP3, assim como o CP2 desta Série, não atingiu uma força característica, conforme definido pelo EN 1994-1-1:2004, que correspondesse a sua capacidade portante devido à influência dessas imperfeições em seu comportamento. Assim como o deslizamento atingido também foi menor do que o esperado (Figuras 3.89 e 3.90).

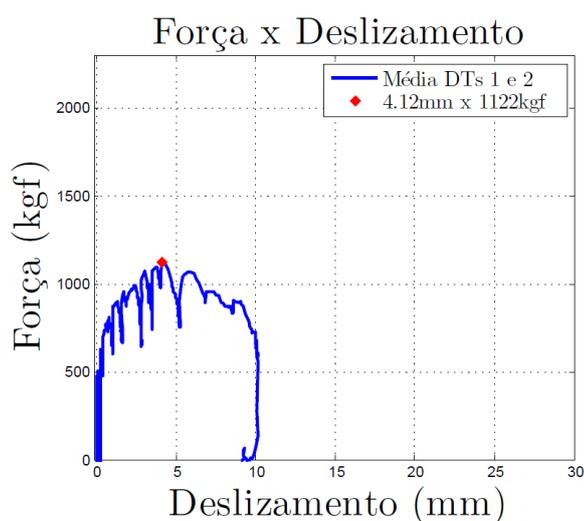


Figura 3.89: Modelo M2A 090 400 300 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.

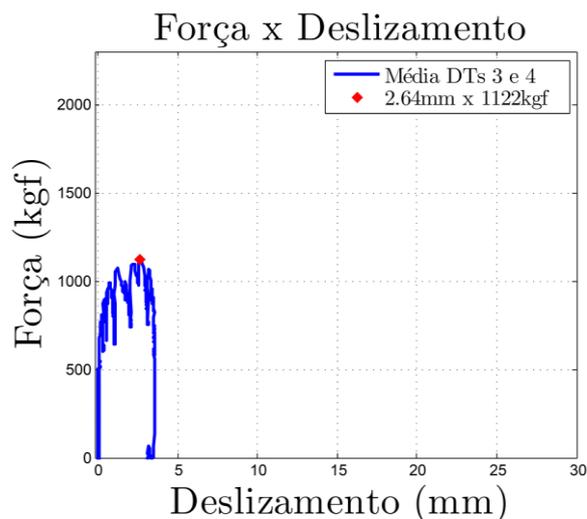


Figura 3.90: Modelo M2A 090 400 300 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.

Além disso, os parafusos fixados muito próximos à borda do OSB facilitaram na redução da capacidade de suporte de carga. Os estalos se iniciaram com aproximadamente 898kgf e o início do giro dos parafusos com 1021kgf.

Assim como no CP2 desta Série, pode-se perceber o afastamento lateral entre a placa de OSB e o perfil do reticulado metálico (Figura 3.91). Como resultado das imperfeições iniciais ocorreu o empenamento do modelo, que aumentou no decorrer do ensaio. Portanto, o modelo ficou fragilizado e rompeu no seu lado esquerdo (P1E e P2E) apresentando o modo de falha “pull-over” (Figura 3.92).

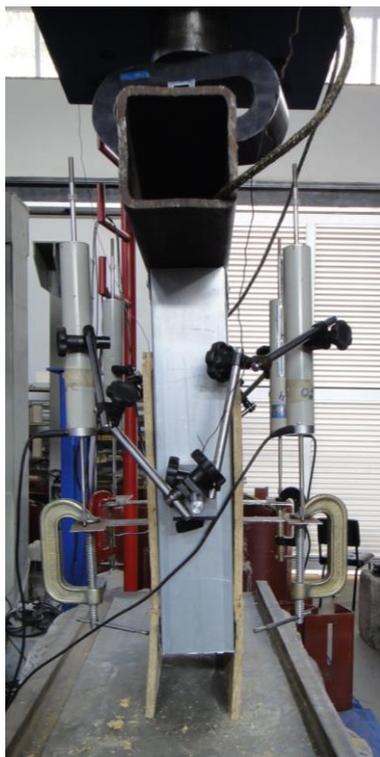


Figura 3.91: Modelo M2A 090 400 300 CP3 - Desvios devido às imperfeições iniciais nas placas de OSB e afastamento lateral entre as placas de OSB e o perfil do reticulado metálico.

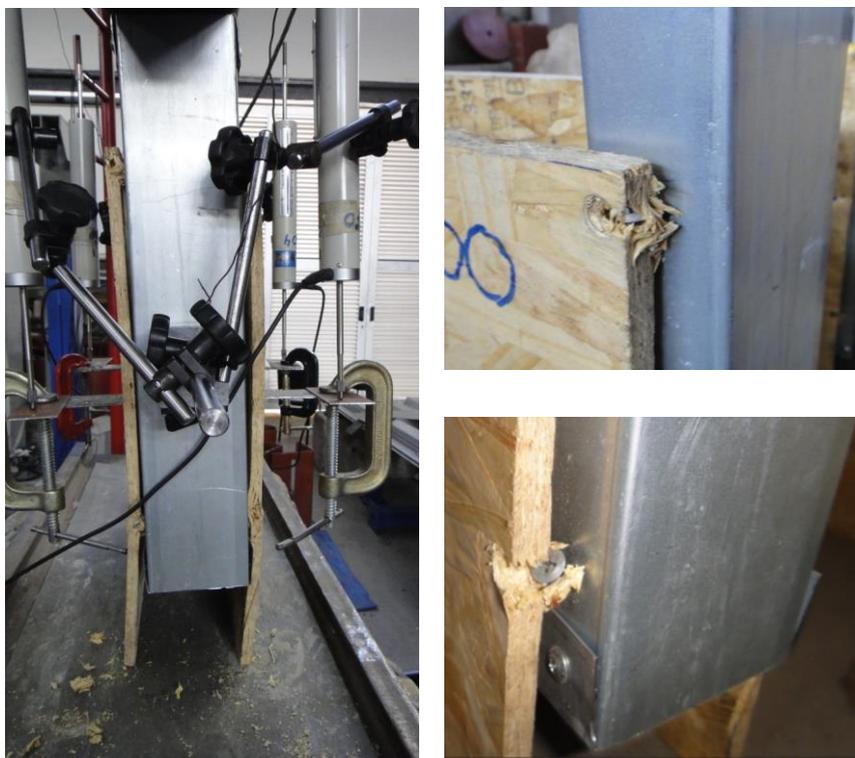


Figura 3.92: Modelo M2A 090 400 300 CP3 - Ruptura pontual da placa de OSB na região dos parafusos - Modo de falha "pull-over" no lado PIE.

3.2.3.4 Série 1: Modelos M2A 200 600 150

Esta Série se difere das Séries 3 e 4 pela espessura da placa de OSB utilizada. Além disso, comparada a Série 2, tem a distância entre os parafusos reduzida de 300mm para 150mm, o perfil Ue com maior largura da alma e o espaçamento entre montantes de 600mm.

Infelizmente, devido a impasses na fabricação dos 3 modelos desta Série, inicialmente só havia sido possível realizar o ensaio de apenas um modelo. Os modelos haviam sido confeccionados com dimensões diferentes um dos outros, não sendo possível uma padronização. Dessa forma, realizou-se, primeiramente, o ensaio no modelo M2A 200 600 150 CP1 (Figura 3.93).



Figura 3.93: Modelo M2A 200 600 150 CP1.

Assim como nas séries anteriores, o primeiro modelo foi ensaiado sem aplicação de carga cíclica. Os parafusos foram fixados muito próximos à borda das placas de OSB como ilustra a Figura 3.94, o que facilita a ruptura nestes pontos.



Figura 3.94: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Parafusos fixados próximos à borda das placas de OSB.

Os primeiros estalos no OSB ocorreram com carga aproximada de 800kgf e a rotação nos parafusos com cerca de 1000kgf (Figura 3.95).

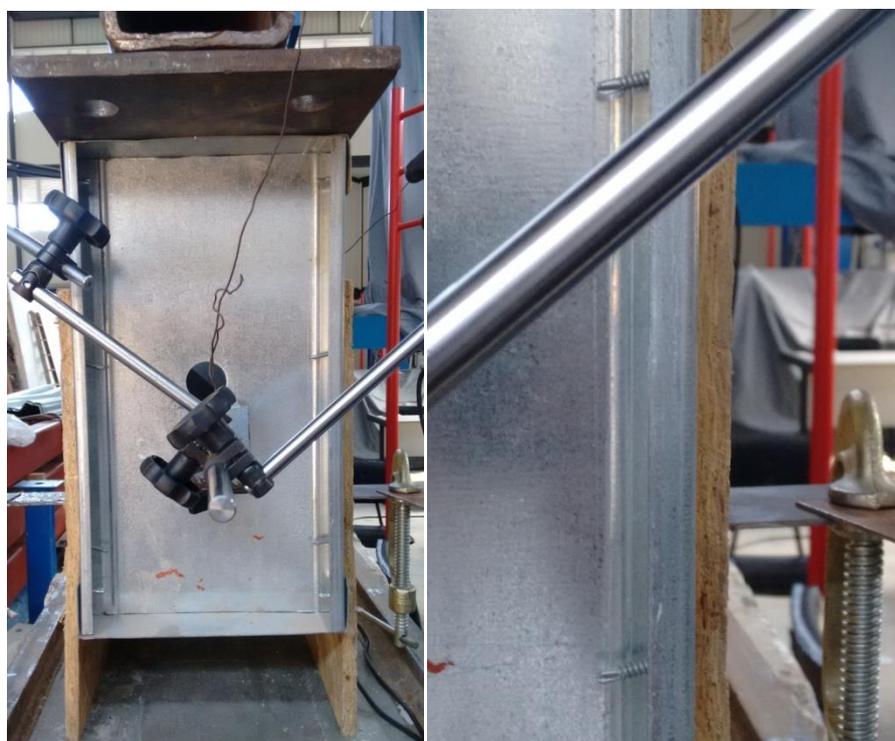


Figura 3.95: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Início do giro nos parafusos.

A rotação dos parafusos seguida do tracionamento dos mesmos causa o esmagamento das placas de OSB e sua ruptura pontual na região das fixações (Figura 3.96). Assim como na maioria dos modelos das Séries anteriores, um lado deslizou mais do que o outro. Neste modelo, como pode ser visualizado nas Figuras 3.97 e 3.98, o lado direito do modelo (P1D e P2D das placas de OSB) deslizou mais que o lado esquerdo.



Figura 3.96: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Rotação e tração nos parafusos, ruptura pontual das placas de OSB.

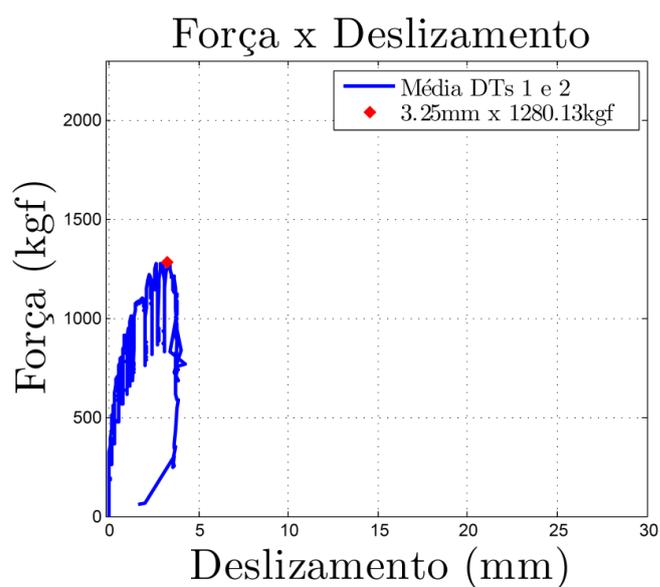


Figura 3.97: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.

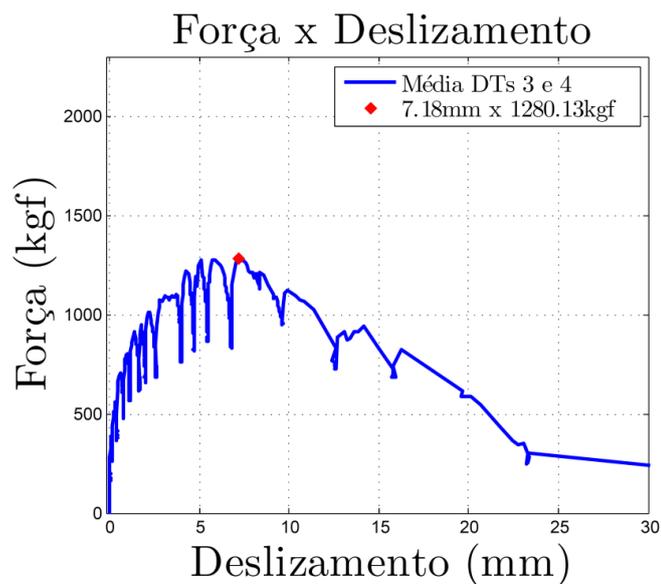


Figura 3.98: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.

Devido à fragilidade da fixação próxima à borda das placas de OSB, o modelo rompeu subitamente em seu lado direito (P1D e P2D) e nos dois parafusos inferiores do seu lado esquerdo (P1E e P2E), como pode ser visualizado nas Figuras 3.99 e 3.100.



Figura 3.99: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Ruptura do modelo no seu lado esquerdo.



Figura 3.100: Modelo M2A 200 600 150 CP1 - Ruptura do modelo no seu lado direito apresentando o modo de falha "pull-over".

Os demais modelos da Série 1 foram adequados conforme as dimensões necessárias para a execução do ensaio. Dessa forma, foi possível realizar mais dois ensaios nos modelos da Série 1, totalizando assim 3 modelos.

Existem algumas diferenças entre o CP1 e os demais modelos desta Série, mas os parâmetros que influenciam nos ensaios foram mantidos. Portanto, o segundo ensaio foi realizado no modelo M2A 200 600 150 CP2 (Figura 3.101). Com base nos valores obtidos para o CP1 desta Série, realizou-se a aplicação da carga cíclica com uma oscilação entre aproximadamente 5% e 40% da carga última, ou seja, respectivamente 60kgf e 500kgf.



Figura 3.101: Modelo M2A 200 600 150 CP2 - Modelo ajustado para ensaio.

Durante a realização da fase cíclica não se observou grandes alterações nos valores de deslizamentos relativos. Neste ensaio, o início da rotação nos parafusos (Figura 3.102) se deu para uma carga aproximada de 988kgf e os estalos nas placas de OSB se iniciaram com aproximadamente 772kgf.

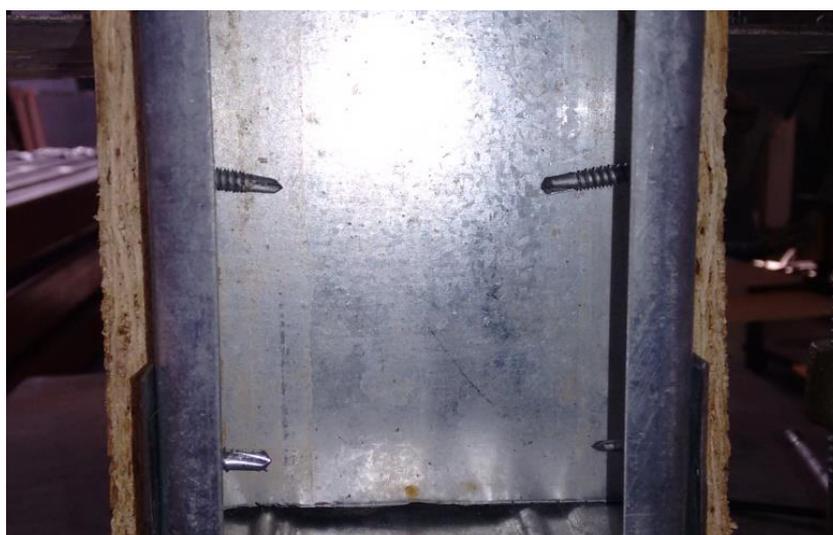


Figura 3.102: Modelo M2A 200 600 150 CP2 - Início de rotação nos parafusos.

No decorrer do acréscimo de carga para determinação da carga última o modelo sofreu empenamento (Figura 3.103) e o ensaio teve que ser interrompido antes que a capacidade de deslizamento do modelo M2A 200 600 150 CP2, comparada ao CP1 desta Série, fosse atingida.



Figura 3.103: Modelo M2A 200 600 150 CP2 - Empenamento nas placas de OSB, interrupção do ensaio.

Dessa forma, conforme ilustrado nas Figuras 3.104 e 3.105, o CP2 desta Série apresentou uma capacidade de deslizamento menor do que o obtido para o CP1. Ainda assim, o deslizamento foi maior no lado direito do modelo do que no lado esquerdo, mas em uma proporção menor.

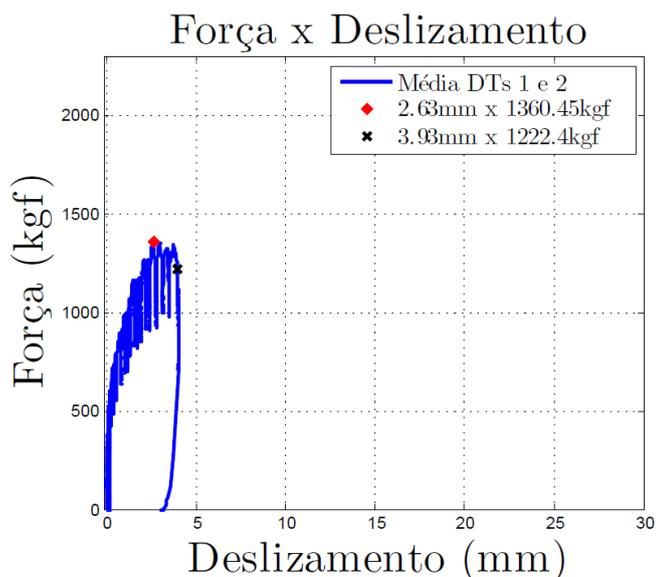


Figura 3.104: Modelo M2A 200 600 150 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.

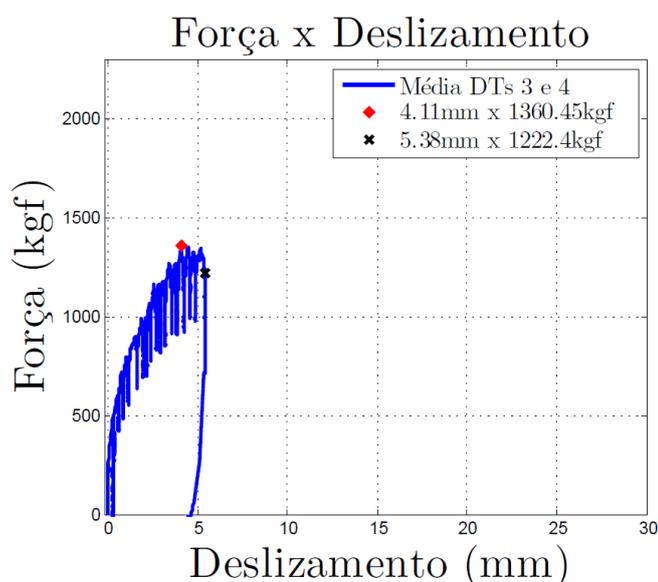


Figura 3.105: Modelo M2A 200 600 150 CP2 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.

Ocorreu um aumento na carga última obtida para o CP2 em relação ao CP1, que provavelmente se deve ao fato da fixação dos parafusos não ter sido posicionada próximo à borda da placa de OSB, como relatado para o CP1 desta Série. Devido a este fato, a resistência da placa de OSB ao esmagamento e ao rasgamento é maior, o que pode justificar o aumento de carga última.

Para o modelo M2A 200 600 150 CP3 também se aplicou a carga cíclica. Neste ensaio, o início da rotação nos parafusos se deu para uma carga aproximada de 1036kgf e os estalos nas placas

de OSB se iniciaram com aproximadamente 908kgf. O início da ruptura pontual das placas de OSB na região dos parafusos ocorreu com 1201 kgf. Na Figura 3.106 pode-se perceber que, nas primeiras etapas do ensaio, o parafuso superior girou mais do que o inferior.



Figura 3.106: Modelo M2A 200 600 150 CP3 - Rotação dos parafusos.

Assim como no CP2 desta Série, no decorrer do acréscimo de carga para determinação da carga última o modelo sofreu empenamento e o ensaio foi interrompido. Mas este empenamento ocorreu após o modelo atingir a carga última, ou seja, a incapacidade de receber acréscimos de carga. Dessa forma, os deslizamentos obtidos correspondem aos valores de carga última e de 90% da carga última sem, por este fato, interferir nos resultados finais (Figura 3.107 e 3.108).

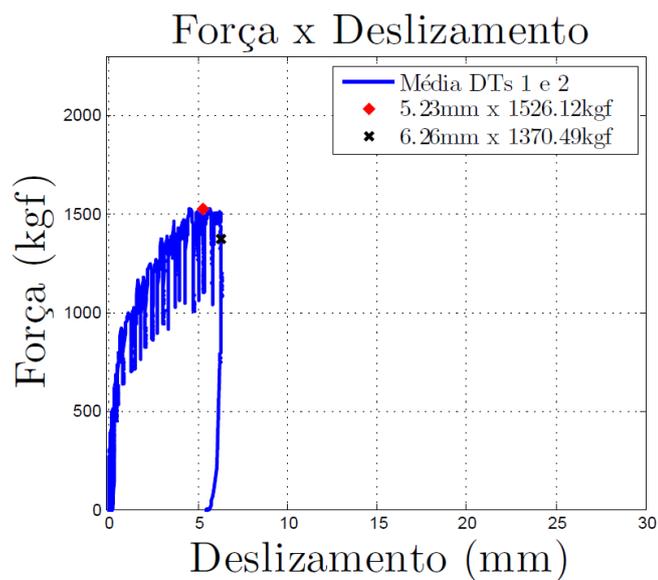


Figura 3.107: Modelo M2A 200 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 1 e 2.

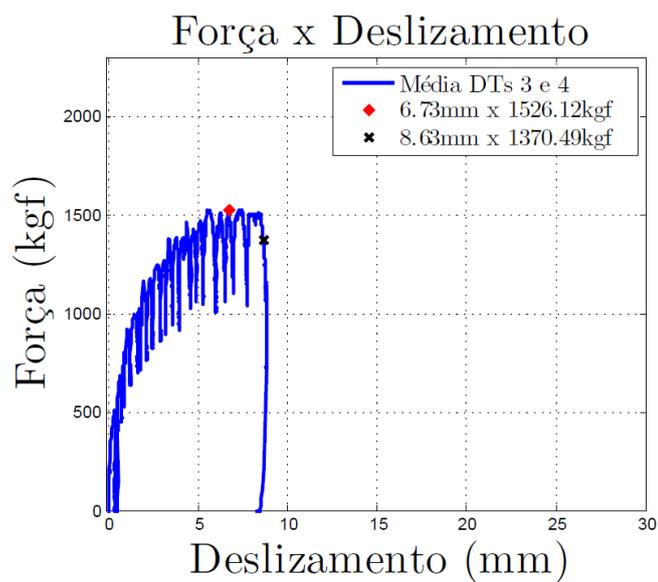


Figura 3.108: Modelo M2A 200 600 150 CP3 - Gráfico Força x Deslizamento - Média dos DTs 3 e 4.

Pode-se perceber pela Figura 3.109 o empenamento da placa, justificando a interrupção do ensaio.



Figura 3.109: Modelo M2A 200 600 150 CP3 - Empenamento nas placas de OSB, interrupção do ensaio.

Para o CP3, a ruptura pontual do OSB já havia sido verificada nas regiões dos parafusos conforme ilustra a Figura 3.110, diferente do modelo CP2 desta Série que, devido à interrupção do ensaio, teve a rotação dos parafusos e a exigência da ligação comprometidas.



Figura 3.110: Modelo M2A 200 600 150 CP3 - Ruptura pontual das placas de OSB.

4

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão analisados os resultados obtidos nas etapas experimentais desenvolvidas nesse trabalho.

São também apresentadas algumas comparações entre os resultados obtidos nessa pesquisa e nas pesquisas de Dias *et al.* (2004), Dias (2005) e Bastos (2009).

Procurou-se, aqui, verificar os valores das propriedades mecânicas das placas de OSB e estudar o comportamento do conjunto formado pelo reticulado metálico, placa de OSB e parafusos de fixação.

Para efeito da análise mostrada a seguir, os resultados considerados são os apresentados no Capítulo 3 através dos gráficos e tabelas.

4.1 Ensaio de Flexão

4.1.1 Série AL: t=9,5mm

Os resultados para essa Série são apresentados de maneira resumida na Tabela 4.1. São apresentadas as médias (x_m) para os resultados de Módulo de Elasticidade (E), Flecha (f), Força (P) e Tensão de Ruptura (σ), assim como os desvios padrão (DP), coeficientes de variação (c_v) e valores mínimos e máximos.

Na Figura 4.1 tem-se o gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V), onde são representadas as médias dos resultados, o intervalo de confiança de 95% e os resultados individuais de cada corpo de prova (CP) ensaiado.

Tabela 4.1: Resultados da Série AL.

Série AL		x_m	DP	c_v (%)	Mínimo	Máximo	
Vão	8xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	1478,80	505,58	34,19	815,13	2383,63
		Flecha (mm)	0,89	0,40	33,63	0,49	1,38
		Força (N)	431,40	-	-	-	-
	16xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	3148,73	791,82	25,15	2004,77	4184,92
		Flecha (mm)	1,44	0,40	27,67	1,01	2,23
		Força (N)	216,50	-	-	-	-
	24xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	4092,91	843,48	20,61	2830,21	5478,54
		Flecha (mm)	2,37	0,56	23,66	1,68	3,42
		Força (N)	144,10	-	-	-	-
	32xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	4507,69	812,69	18,03	3268,02	5678,03
		Flecha (mm)	3,68	0,72	19,58	2,85	4,95
		Força (N)	108,10	-	-	-	-
	40xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	4794,83	708,47	14,78	3589,36	5856,34
		Flecha (mm)	6,18	0,99	16,08	4,93	8,13
		Força (N)	100,00	-	-	-	-
	48xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	4735,91	641,14	13,54	3706,42	5724,81
Flecha (mm)		25,13	2,83	11,24	21,22	28,91	
Força (N)		199,40	44,17	22,15	135,00	273,00	
Tensão de Ruptura (MPa)		30,20	6,70	22,19	20,40	41,31	

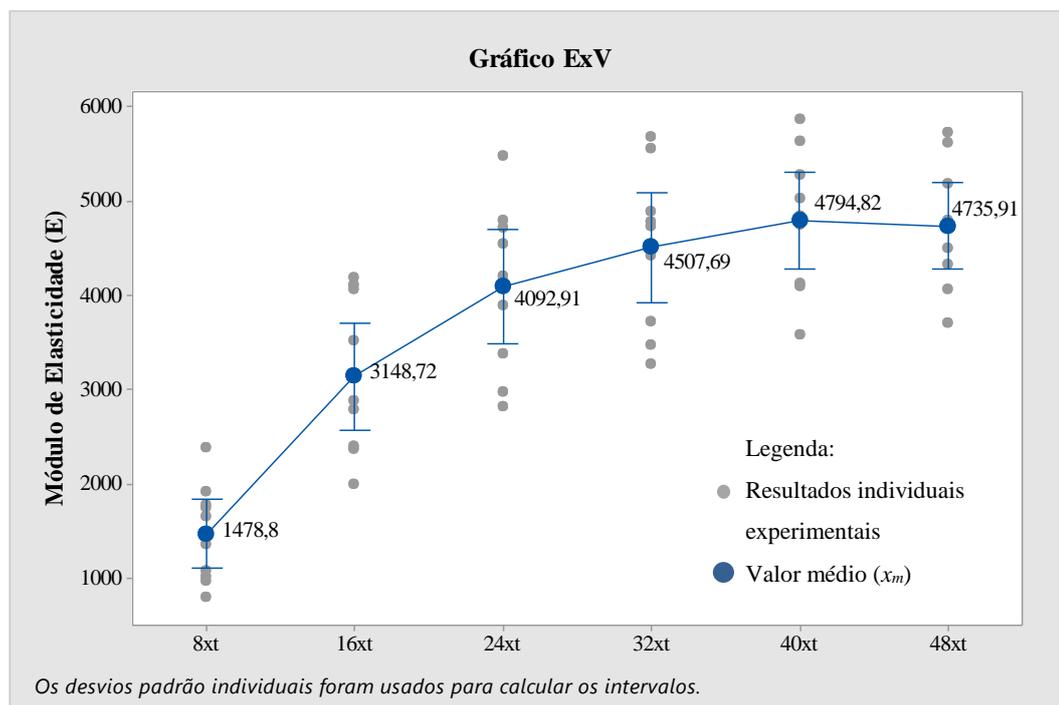


Figura 4.1: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) versus Vão (V) da Série AL.

Ao analisar os resultados dos ensaios da Série AL, nota-se que quanto maior o vão, menor é o coeficiente de variação (c_v) do Módulo de Elasticidade (E). Os resultados dos ensaios com os vãos de 40xt e 48xt foram os que apresentaram $c_v \leq 15\%$, o que confere uma maior confiabilidade e homogeneidade nos resultados.

Nos resultados de E para os vãos com 16xt, 24xt e 32xt o coeficiente de variação (c_v) ficou entre 15% e 30%, o que mostra uma dispersão um pouco maior dos resultados. Os desvios padrão nesses casos também foram mais altos. Já nos resultados dos ensaios com o vão de 8xt tem-se um coeficiente de variação (c_v) acima de 30%, o que mostra uma alta dispersão e consequentemente resultados heterogêneos.

Pode-se dizer então que nesse caso dos ensaios da Série AL, feitos com placas de espessura nominal igual a 9,5mm, que os resultados para o Módulo de Elasticidade podem ser considerados homogêneos e confiáveis a partir do vão de 40xt, conforme é possível verificar na Tabela 4.1 e no Gráfico 4.1. Já os resultados para Tensão de Ruptura tiveram uma dispersão média com o coeficiente de variação entre 15% e 30%.

4.1.2 Série AT: t=9,5mm

Os resultados para essa Série são apresentados de maneira resumida na Tabela 4.2. São apresentados os valores já citados no item anterior.

A Figura 4.2 apresenta o gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V), onde são representadas as médias dos resultados, o intervalo de confiança de 95% e os resultados individuais de cada corpo de prova (CP) ensaiado.

Tabela 4.2: Resultados da Série AT.

Série AT		x_m	DP	c_v (%)	Mínimo	Máximo	
Vão	8xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	1276,24	198,26	15,53	910,15	1556,82
		Flecha (mm)	1,54	0,35	22,50	1,17	2,35
		Força (N)	682,44	-	-	-	-
	16xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	2263,25	225,81	9,98	1951,75	2658,90
		Flecha (mm)	3,42	0,42	12,29	2,78	4,03
		Força (N)	359,00	-	-	-	-
	24xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	2422,85	316,57	13,07	1881,41	2965,82
		Flecha (mm)	9,46	0,68	7,24	8,64	10,55
		Força (N)	286,44	43,19	15,08	226,00	359,00
		Tensão de Ruptura (MPa)	21,72	3,29	15,15	17,11	27,23

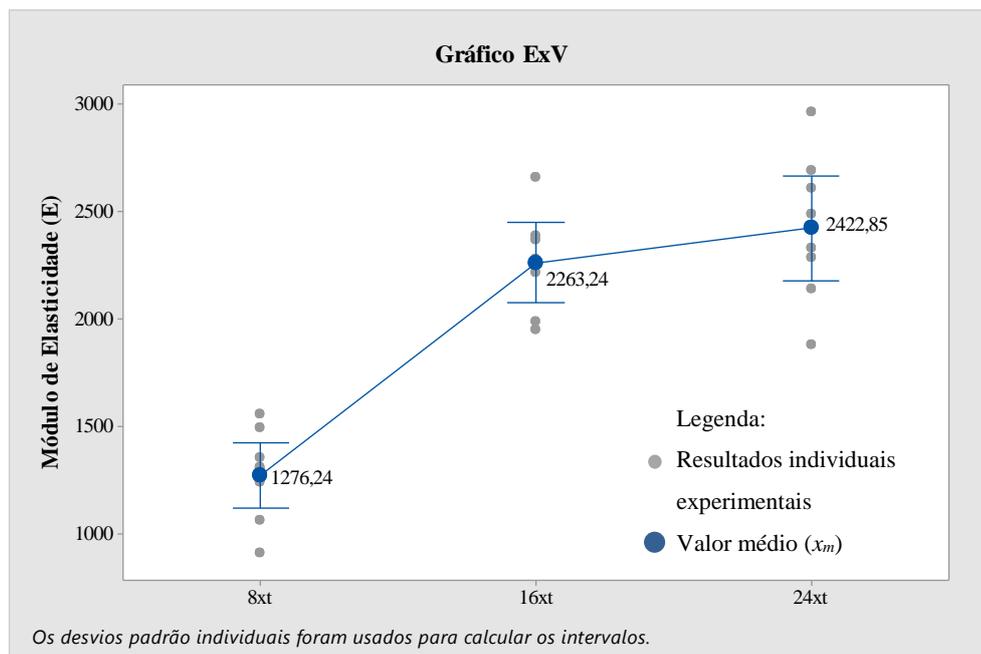


Figura 4.2: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V) da Série AT.

Ao analisar os resultados dos ensaios da Série AT, nota-se que para os resultados de Módulo de Elasticidade (E) com o vão de 8xt tem-se o coeficiente de variação (c_v) pouco acima de 15%, mostrando uma média dispersão. Já nos vãos de 16xt e 24xt tem-se os valores de c_v menores que 15% conferindo homogeneidade e confiança para os resultados. Para a Tensão de Ruptura tem-se, assim como para o E, uma baixa dispersão e homogeneidade dos resultados.

Pode-se dizer então que no caso dos ensaios da Série AT, feitos com placas de espessura nominal igual a 9,5mm, os resultados para o Módulo de Elasticidade e Tensão de Ruptura podem ser considerados homogêneos e confiáveis. Não é possível notar uma estabilização dos resultados para o módulo de elasticidade em um vão específico, para isso devem ser realizados ensaios com mais vãos diferentes.

4.1.3 Série BL: t=11,1mm

Os resultados para essa Série são apresentados de maneira resumida na Tabela 4.3. São apresentados os valores já citados no item 4.1.1.

Na Figura 4.3 é apresentado o gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V), onde são representadas as médias dos resultados, o intervalo de confiança de 95% e os resultados individuais de cada corpo de prova ensaiado.

Tabela 4.3: Resultados da Série BL.

Série BL		x_m	DP	c_v (%)	Mínimo	Máximo	
Vão	8xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	2128,99	261,37	12,28	1668,29	2470,70
		Flecha (mm)	0,63	0,08	12,30	0,53	0,78
		Força (N)	503,00	-	-	-	-
	16xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	4514,86	522,83	11,58	3813,50	5262,54
		Flecha (mm)	1,12	0,13	11,53	0,95	1,33
		Força (N)	252,30	-	-	-	-
	24xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	5376,04	609,27	11,33	4537,42	6238,55
		Flecha (mm)	2,04	0,23	11,25	1,73	2,37
		Força (N)	168,60	-	-	-	-
	32xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	5814,69	612,06	10,53	5012,46	6803,85
		Flecha (mm)	3,31	0,35	10,65	2,77	3,81
		Força (N)	126,40	-	-	-	-
	40xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	5982,70	618,05	10,33	5225,43	6997,64
		Flecha (mm)	4,91	0,51	10,38	4,16	5,65
		Força (N)	101,40	-	-	-	-
	48xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	5696,45	539,63	9,47	4842,04	6375,09
Flecha (mm)		25,20	3,89	15,45	16,15	29,77	
Força (N)		241,40	34,43	14,26	172,00	290,00	
Tensão de Ruptura (MPa)		31,29	4,46	14,24	22,34	37,60	

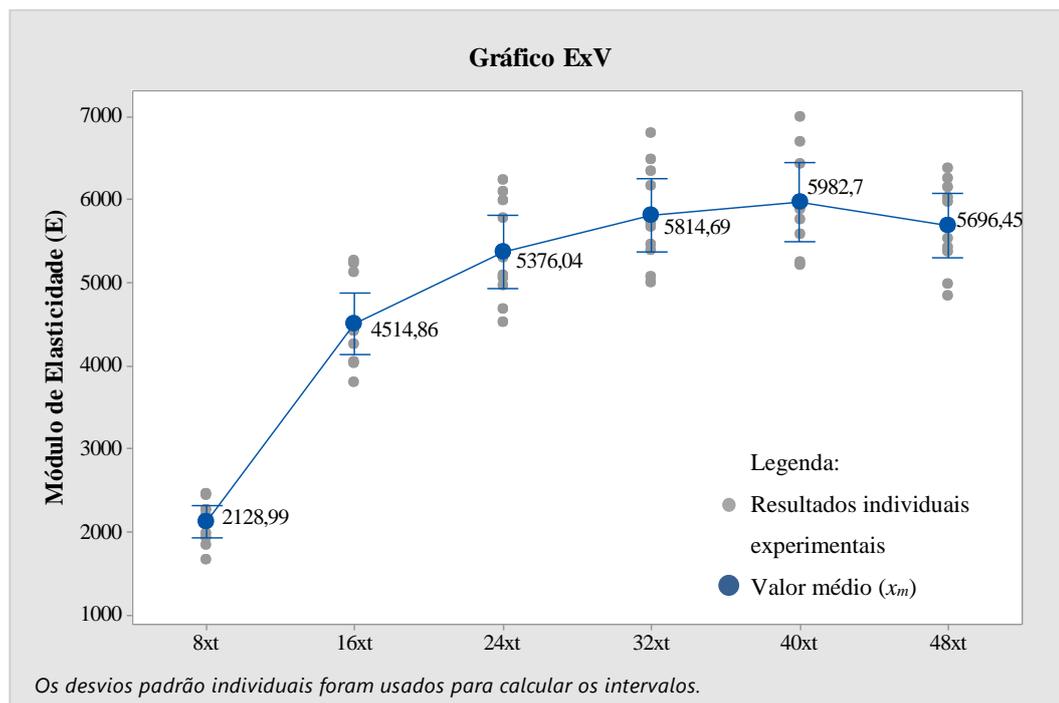


Figura 4.3: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V) da Série BL.

Ao analisar os resultados dos ensaios da Série BL, nota-se que quanto maior o vão, menor é o coeficiente de variação (c_v) do Módulo de Elasticidade (E) e que em todos os ensaios os valores de c_v estão abaixo de 15%, mostrando resultados homogêneos.

Nos resultados de E para os vãos com 8xt, 16xt e 24xt o coeficiente de variação (c_v) apresenta resultados abaixo de 15%, como já citado acima, porém a variação do Módulo de Elasticidade (E) nesses ensaios foi maior entre os diferentes vãos. Já nos resultados dos ensaios com os vãos de 32xt, 40xt e 48xt o valor de E estabiliza e as médias dos resultados ficam bem próximas.

Pode-se dizer então que nesse caso dos ensaios da Série BL, feitos com placas de espessura nominal igual a 11,1mm, que os resultados para o Módulo de Elasticidade podem ser considerados homogêneos e confiáveis a partir do vão de 32xt, conforme é possível verificar na Tabela 4.3 e no Gráfico 4.3.

4.1.4 Série BT: t=11,1mm

Os resultados para essa Série são apresentados de maneira resumida na Tabela 4.4. São apresentados os valores já citados no item 4.1.1.

Na Figura 4.4 tem-se o gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V), onde são representadas as médias dos resultados, o intervalo de confiança de 95% e os resultados individuais de cada corpo de prova ensaiado.

Tabela 4.4: Resultados da Série BT.

Série BT		x_m	DP	c_v (%)	Mínimo	Máximo	
Vão	8xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	1330,96	247,20	18,57	895,87	1594,49
		Flecha (mm)	1,01	0,23	22,31	0,80	1,47
		Força (N)	504,20	-	-	-	-
	16xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	2279,31	377,59	16,57	1731,08	2667,95
		Flecha (mm)	2,25	0,44	19,54	1,86	2,95
		Força (N)	252,30	-	-	-	-
	24xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	2427,42	325,81	13,42	1920,64	2769,75
		Flecha (mm)	9,58	1,55	16,18	7,19	12,92
		Força (N)	286,90	63,15	22,01	203,00	417,00
Tensão de Ruptura (MPa)		18,58	4,10	22,05	13,12	27,01	

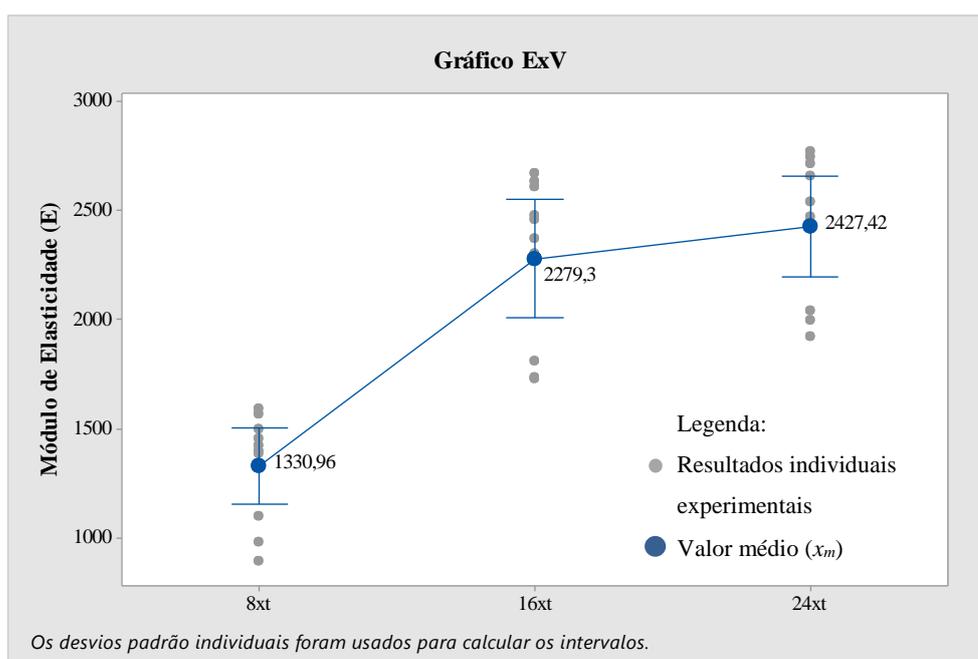


Figura 4.4: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V) da Série BT.

Ao analisar os resultados dos ensaios da Série BT, nota-se que quanto maior o vão, menor é o coeficiente de variação (c_v) do Módulo de Elasticidade (E), assim como ocorreu nas Séries anteriores. Nos ensaios com os vãos de 8xt e 16xt, os coeficientes de variação (c_v) apresentaram valores acima de 15% com média dispersão dos resultados. Já o coeficiente de variação para os resultados de E dos ensaios com 24xt está abaixo de 15%, sendo então resultados homogêneos.

Pode-se dizer então que nesse caso dos ensaios da Série BT, feitos com placas de espessura nominal igual a 11,1mm, os resultados quanto ao Módulo de Elasticidade para os ensaios com o vão de 24xt podem ser considerados homogêneos e confiáveis. Assim como na Série AT, não é possível notar uma estabilização dos resultados para o módulo de elasticidade em um vão específico, para isso devem ser realizados ensaios com mais vãos diferentes.

4.1.5 Série CL: t=15,1mm

Os resultados para essa Série são apresentados de maneira resumida na Tabela 4.5. São apresentados os valores já citados no item 4.1.1.

A Figura 4.5 apresenta o gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V), onde são representadas as médias dos resultados, o intervalo de confiança de 95% e os resultados individuais de cada corpo de prova (CP) ensaiado.

Tabela 4.5: Resultados da Série CL.

Série CL	x_m	DP	c_v (%)	Mínimo	Máximo
----------	-------	----	-----------	--------	--------

Vão	8xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	1965,90	211,84	10,78	1593,37	2252,54
		Flecha (mm)	0,95	0,10	10,87	0,85	1,13
		Força (N)	685,60	-	-	-	-
	16xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	3700,73	260,00	7,03	3349,06	4002,04
		Flecha (mm)	1,89	0,14	7,28	1,73	2,09
		Força (N)	344,40	-	-	-	-
	24xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	4320,50	243,84	5,64	3951,53	4698,29
		Flecha (mm)	3,52	0,20	5,79	3,22	3,82
		Força (N)	228,20	-	-	-	-
	32xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	4517,58	261,59	5,79	4263,21	5093,76
		Flecha (mm)	5,97	0,31	5,17	5,32	6,29
		Força (N)	172,00	-	-	-	-
	40xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	4643,38	257,61	5,55	4323,63	5244,36
		Flecha (mm)	9,05	0,45	4,94	8,01	9,69
		Força (N)	138,00	-	-	-	-
	48xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	4351,06	222,34	5,11	4031,23	4861,81
		Flecha (mm)	37,05	7,00	18,90	30,73	53,86
		Força (N)	250,80	27,57	10,99	225,00	310,00
Tensão de Ruptura (MPa)		23,93	2,63	10,97	21,46	29,59	

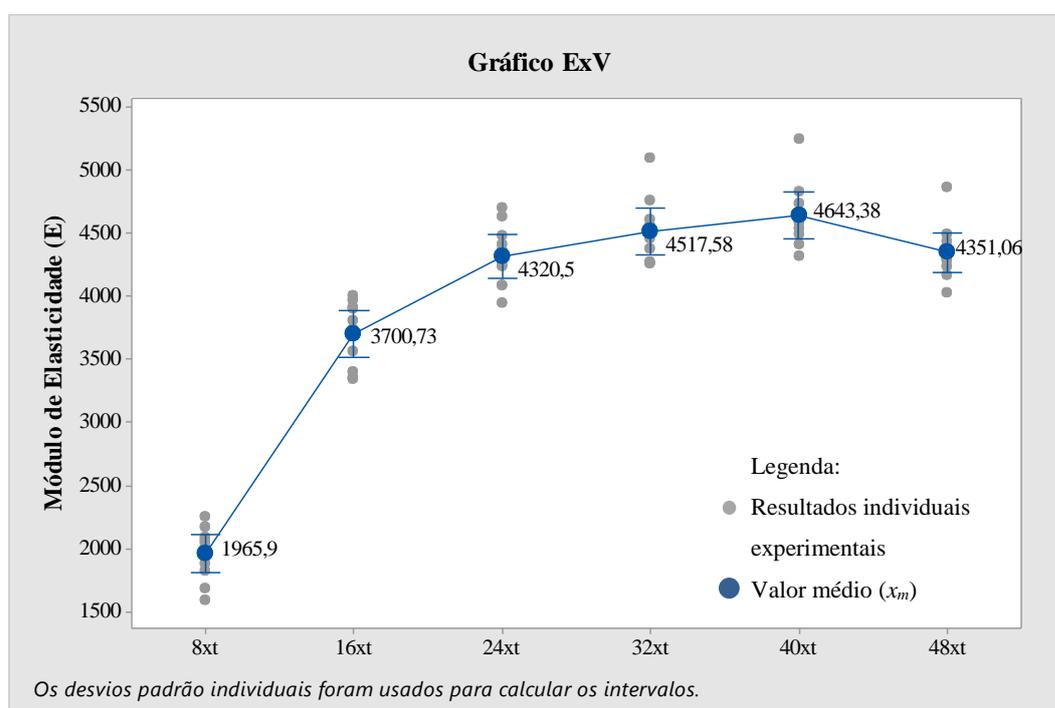


Figura 4.5: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) versus Vão (V) da Série CL.

Ao analisar os resultados obtidos para a Série CL, assim como ocorre nos resultados para o Módulo de Elasticidade (E) expostos anteriormente, quanto maior é o vão do ensaio menor é o coeficiente de variação (c_v). É interessante notar que nos ensaios de todos os vãos os valores de

c_v ficaram abaixo de 15%, mostrando também uma homogeneidade nos resultados dos ensaios de cada vão.

Nos ensaios com os vãos de 8xt e 16xt tem-se o coeficiente de variação igual a 10,78% e 7,03%, respectivamente. Já nos ensaios com os vãos de, 32xt, 40xt e 48xt nota-se que os valores para o Módulo de Elasticidade (E) estabilizam-se e obtem-se médias entre 4517MPa e 4643MPa e o coeficiente de variação fica próximo de 5% em todos esses ensaios.

Pode-se dizer então que no caso dos ensaios da Série CL, feitos com placas de espessura nominal igual a 15,1mm, os resultados para o Módulo de Elasticidade podem ser considerados homogêneos e confiáveis a partir do vão de 32xt, conforme pode ser verificado na Tabela 4.5 e Gráfico 4.5.

4.1.6 Série CT: t=15,1mm

Os resultados para essa Série são apresentados de maneira resumida na Tabela 4.6. São apresentados os valores já citados no item 4.1.1.

Na Figura 4.6 tem-se o gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V), onde são representadas as médias dos resultados, o intervalo de confiança de 95% e os resultados individuais de cada corpo de prova ensaiado.

Tabela 4.6: Resultados da Série CT.

Série CT		x_m	DP	c_v (%)	Mínimo	Máximo	
Vão	8xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	1377,45	141,56	10,28	1187,07	1617,14
		Flecha (mm)	1,34	0,13	9,88	1,12	1,56

	Força (N)	685,50	-	-	-	-
16xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	2158,18	212,73	9,86	1911,54	2588,47
	Flecha (mm)	3,32	0,13	9,71	2,73	3,74
	Força (N)	343,30	-	-	-	-
24xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	2238,52	206,76	9,24	2025,58	2734,94
	Flecha (mm)	13,28	2,32	17,44	10,54	17,26
	Força (N)	349,10	29,06	8,32	314,00	416,00
	Tensão de Ruptura (MPa)	16,67	1,42	8,54	14,96	19,83

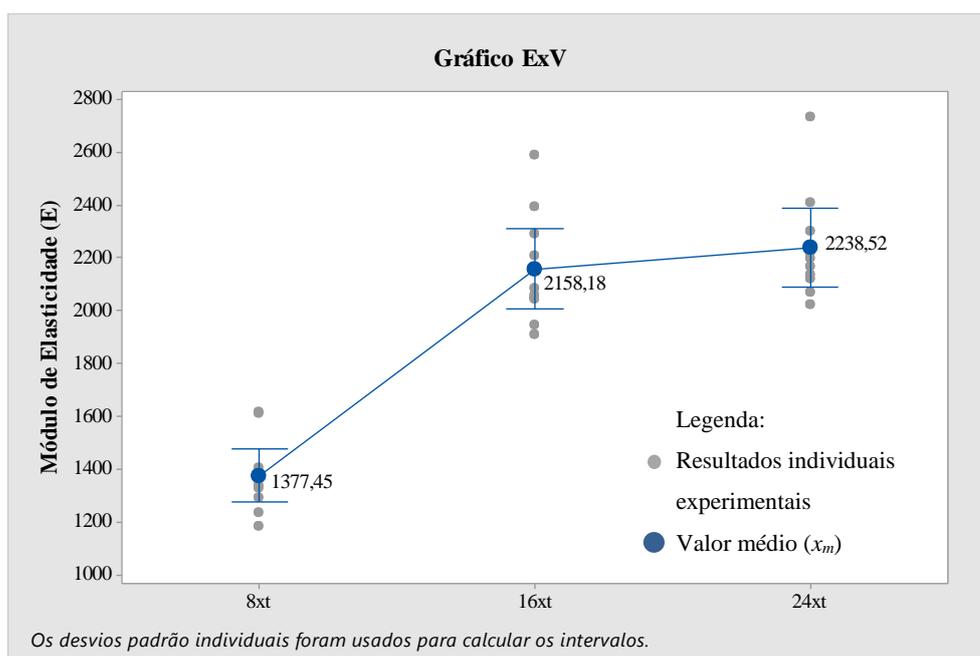


Figura 4.6: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V) da Série CT.

Ao analisar os resultados obtidos para a Série CT, assim como ocorre nos resultados para os Módulos de Elasticidade (E) apresentados anteriormente, verifica-se que quanto maior é o vão do ensaio menor é o coeficiente de variação (c_v). É interessante notar que nos ensaios de todos os vãos os valores de c_v também ficaram abaixo de 15%, assim como nos resultados da Série CL, o que mostra uma homogeneidade nos resultados dos ensaios.

Nos ensaios com os vãos de 8xt e 16xt tem-se o coeficiente de variação com valores iguais a 10,28% e 9,86% respectivamente. Nos ensaios com os vãos de 24xt o c_v é igual 9,24%. O módulo de Elasticidade (E) para os vãos de 16xt e 24xt ficaram próximos, com valores iguais a 2158,18MPa e 2238,52MPa respectivamente. Assim como nas Séries AT e BT, não é possível notar uma estabilização dos resultados para o módulo de elasticidade em um vão específico, para isso devem ser realizados ensaios com mais vãos diferentes.

4.1.7 Série DL: t=18,3mm

Os resultados para essa Série são apresentados de maneira resumida na Tabela 4.7. São apresentados os valores já citados no item 4.1.1.

Na Figura 4.7 tem-se o gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V), onde são representadas as médias dos resultados, o intervalo de confiança de 95% e os resultados individuais de cada corpo de prova ensaiado.

Tabela 4.7: Resultados da Série DL.

Série DL		x_m	DP	c_v (%)	Mínimo	Máximo	
Vão	8xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	2380,16	286,47	12,04	1979,41	2776,44
		Flecha (mm)	0,94	0,12	12,25	0,80	1,12
		Força (N)	832,20	-	-	-	-
	16xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	4456,68	594,33	13,34	3745,12	5533,45
		Flecha (mm)	1,94	0,25	12,72	1,57	2,27
		Força (N)	417,20	-	-	-	-
	24xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	5219,04	685,39	13,13	4396,94	6635,96
		Flecha (mm)	3,62	0,45	12,56	2,81	4,22
		Força (N)	278,00	-	-	-	-
	32xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	5582,95	693,34	12,42	4771,84	7039,32
		Flecha (mm)	5,99	0,71	11,83	4,70	6,96
		Força (N)	210,00	-	-	-	-
	40xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	5635,99	683,16	12,12	4740,53	7055,98
		Flecha (mm)	9,05	1,04	11,53	7,15	10,49
		Força (N)	167,40	-	-	-	-
	48xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	5497,48	598,19	10,88	4744,46	6729,03
Flecha (mm)		42,69	7,18	16,81	32,39	52,75	
Força (N)		393,90	85,04	21,59	303,00	562,00	
Tensão de Ruptura (MPa)		30,99	6,68	21,56	23,86	44,23	

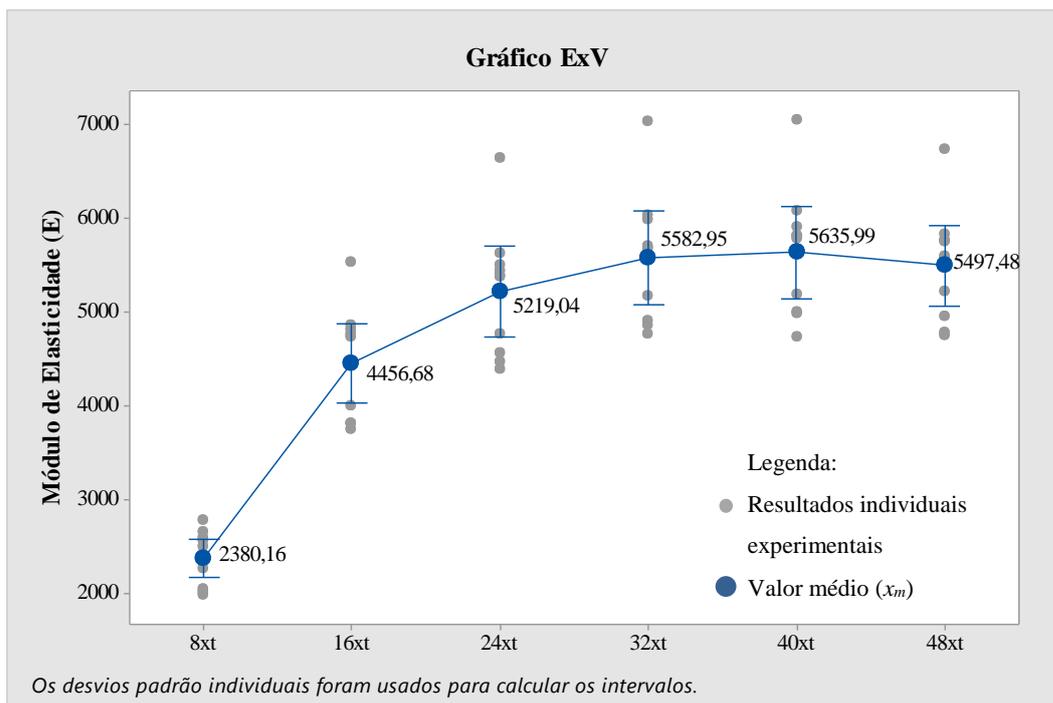


Figura 4.7: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V) da Série DL.

Ao analisar os resultados obtidos para a Série DL, assim como ocorre nos resultados para os Módulos de Elasticidade (E) apresentados anteriormente, verifica-se que quanto maior é o vão do ensaio menor é o coeficiente de variação (c_v). É interessante notar que nos ensaios de todos os vãos os valores para c_v também ficaram abaixo de 15%, assim como nos resultados dos corpos de prova das Séries CL e CT, o que mostra uma homogeneidade nos resultados dos ensaios. Nota-se também que os resultados para o Módulo de Elasticidade (E) atinge o patamar dos 5500MPa nos ensaios com o vão de 32xt e se mantém próximo a esse valor nos vãos de 40xt e 48xt.

Pode-se dizer então que no caso dos ensaios da Série DL, feitos com placas de espessura nominal igual a 18,3mm, os resultados quanto ao Módulo de Elasticidade para os ensaios com os vãos de 32xt, 40xt e 48xt podem ser considerados homogêneos e confiáveis, conforme pode ser verificado na Tabela 4.7 e no Gráfico 4.7.

4.1.8 Série DT: t=18,3mm

Os resultados para essa Série são apresentados de maneira resumida na Tabela 4.8. São apresentados os valores já citados no item 4.1.1.

Na Figura 4.8 apresenta-se o gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V), onde são representadas as médias dos resultados, o intervalo de confiança de 95% e os resultados individuais de cada corpo de prova ensaiado.

Tabela 4.8: Resultados da Série DT.

Série DT		x_m	DP	c_v (%)	Mínimo	Máximo	
Vão	8xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	1555,00	265,32	17,06	996,65	1896,04
		Flecha (mm)	1,48	0,32	21,48	1,19	2,26
		Força (N)	830,80	-	-	-	-
	16xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	2385,95	294,10	12,33	1895,93	2782,77
		Flecha (mm)	3,55	0,46	12,85	2,98	4,44
		Força (N)	415,50	-	-	-	-
	24xt	Módulo de Elasticidade (MPa)	3276,85	632,26	19,29	2009,46	3912,24
		Flecha (mm)	14,99	2,08	13,86	12,36	18,54
		Força (N)	483,80	79,89	16,51	400,00	664,00
		Tensão de Ruptura (MPa)	20,97	3,97	18,95	15,73	29,33

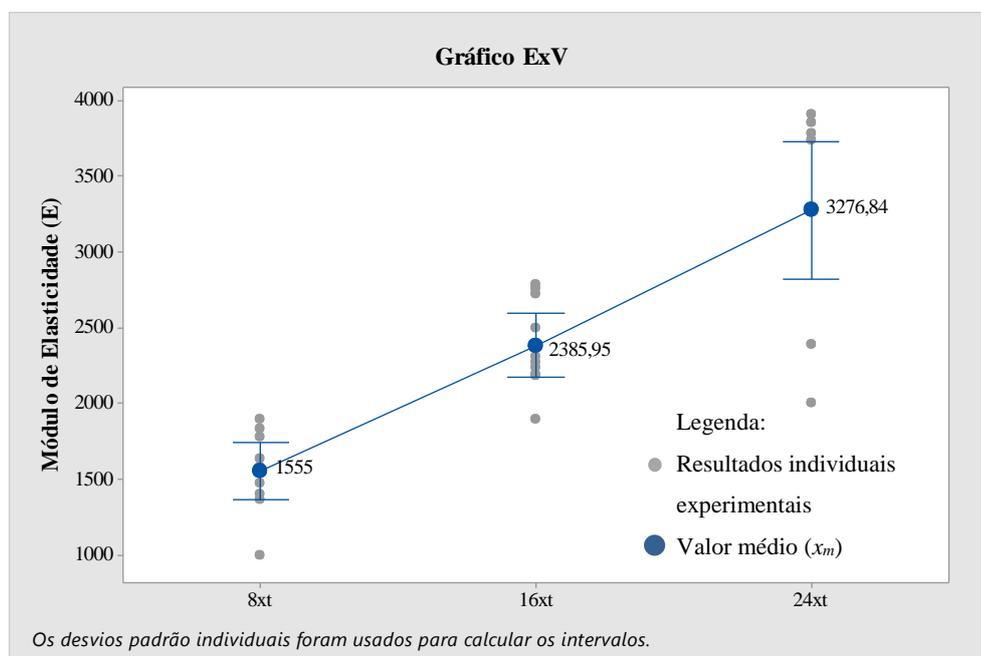


Figura 4.8: Gráfico de Módulo de Elasticidade (E) *versus* Vão (V) da Série DL.

Ao analisar os resultados obtidos para a Série DT, nota-se que eles não seguem o padrão dos demais ensaios de quanto maior for o vão do ensaio menor é o coeficiente de variação (c_v). Nos ensaios com o vão de 8xt, para os resultados do Módulo de Elasticidade (E), tem-se o valor de c_v um pouco acima de 15%, o que indica uma média dispersão dos resultados. Já para o vão de 16xt o coeficiente de variação (c_v) dos resultados para o Módulo de Elasticidade (E) ficou abaixo de 15%, indicando resultados mais homogêneos. A diferença nesses ensaios da Série DT, é que nos resultados para Módulo de Elasticidade (E) para os ensaios com o vão de 24xt (com ruptura dos CPs), o valor de c_v está acima de 15%. Não ocorreu dispersão média, com o c_v acima de 15%, em nenhum dos ensaios anteriormente citados com ruptura dos CPs.

Pode-se dizer então que no caso dos ensaios da Série DT, feitos com placas de espessura nominal igual a 18,3mm, os resultados relativos quanto ao Módulo de Elasticidade para os ensaios com os vãos de 24xt não são tão confiáveis e homogêneos quanto os resultados das demais Séries. Assim como nas Séries AT, BT e CT também não é possível notar uma estabilização dos resultados para o módulo de elasticidade em um vão específico, para isso devem ser realizados ensaios com mais vãos diferentes.

4.1.9 Comparação entre os Resultados das Séries e dos Resultados da Presente Pesquisa com os Resultados Obtidos por Dias *et al.* (2004), Dias (2005) e Bastos (2009)

Ao comparar os resultados da Série AT com a Série AL nota-se que o Módulo de Elasticidade (E) e a Tensão de Ruptura dos CPs retirados na direção longitudinal da placa são maiores que os dos CPs retirados na direção transversal da placa, porém o desvio padrão e o coeficiente de variação da Série AT são menores que os encontrados na Série AL.

Ao comparar os resultados da Série BL com as Série AL e AT nota-se que o Módulo de Elasticidade (E) da Série BL é maior que os valores do Módulo de Elasticidade das Séries AL e AT. Assim, ao aumentar a espessura nominal da placa de OSB, aumenta também a sua capacidade resistente. Já o resultado da Tensão de Ruptura da Série BL se aproximou do obtido na Série AL, sendo ambos maiores que o resultado encontrado para a Série AT.

Ao comparar os resultados da Série BT com os das demais já apresentadas anteriormente tem-se que o Módulo de Elasticidade (E) e a Tensão de Ruptura (σ) da Série BL com CPs retirados da direção longitudinal da placa, apresentam valores maiores que os obtidos para a Série BT com CPs retirados da direção transversal. Os coeficientes de variação e os desvios padrão da Série BT foram mais altos que os da Série BL. Porém, ao comparar esses resultados com os da Série AT houve uma proximidade entre os correspondentes resultados dos ensaios.

Para os ensaios realizados nos CPs com espessura de 15,1mm os resultados mostraram uma dispersão menos e mais confiabilidade, porém é possível que isso seja porque os CPs foram retirados de uma única placa de OSB. Ao comparar os resultados obtidos para a Série CL com CPs retirados da direção longitudinal da placa, com os demais já apresentados anteriormente tem-se que o Módulo de Elasticidade (E) apresentou valor menor do que os obtidos nos ensaios da Série BL e da Série AL, porém os coeficientes de variação são menores, significando resultados bem menos dispersos. A Tensão de Ruptura obtida na Série CL se aproxima dos resultados obtidos para as Séries AT e BT, porém tem valor menor do que o obtido nas Séries AL e BL.

Ao comparar os resultados obtidos para a Série CT com CPs retirados da direção transversal da placa, com os resultados das demais Séries apresentados anteriormente tem-se que o Módulo de Elasticidade (E) é menor do que os obtidos nos ensaios das Séries AL, AT, BL, BT e CL, porém os coeficientes de variação são menores do que quase todos os obtidos para as Séries anteriores, exceto para a Série CL. A Tensão de Ruptura obtida na Série CT tem valor bem mais baixo do que os dos resultados das demais Séries apresentadas anteriormente.

Ao comparar os resultados obtidos para a Série DL com CPs retirados na direção longitudinal da placa, com os demais resultados já apresentados anteriormente tem-se que o Módulo de Elasticidade (E) é maior do que os obtidos nos ensaios das Séries AL, AT, BT, CL e CT, porém é um pouco menor do que os resultados obtidos para a Série BL. Já o resultado para a Tensão de Ruptura se aproximou dos resultados das Séries AL e BL.

Ao comparar os resultados obtidos para a Série DT com CPs retirados da direção transversal da placa, com os demais resultados já apresentados anteriormente tem-se que o Módulo de Elasticidade (E) é maior do que os obtidos nos ensaios das Séries AT, BT e CT, porém menores

que os demais resultados dos CPs retirados na direção longitudinal da placa. Já os resultados para a Tensão de Ruptura são próximos aos obtidos para as Séries AT, BT e CL.

A diferença dos resultados entre os ensaios dos CPs cortados na direção longitudinal e na direção transversal era esperada por causa da fabricação das placas de OSB, as partículas das camadas externas são posicionadas na direção longitudinal da placa antes de serem prensadas. Assim tem-se essas diferenças grandes dos valores, Módulo de Elasticidade e Tensão de Ruptura maiores nos CPs cortados na direção longitudinal da placa que nos CPs cortados na direção transversal da placa de OSB.

Ao comparar os resultados obtidos na presente pesquisa com os resultados obtidos por Dias *et al.* (2004), verifica-se que os resultados para o Módulo de Elasticidade (E) tem valores próximos.

Em Dias *et al.* (2004), para os corpos de prova (CPs) com espessura de 12mm tem-se que, para os CPs cortados na direção longitudinal da placa, o valor médio para o Módulo de Elasticidade encontrado foi de 5463,1MPa, que é um resultado próximo ao encontrado nesta pesquisa para os CPs da Série BL, cujo valor médio encontrado é de 5696,45MPa. Já para os CPs de mesma espessura e cortados na direção transversal da placa, o valor médio encontrado por Dias *et al.* (2004) para o E foi de 2433,7MPa, muito próximo do resultado encontrado nesta pesquisa para os CPs da Série BT, cujo valor médio para E foi de 2427,42MPa.

Ainda em Dias *et al.* (2004), para os CPs com espessura de 18mm também pode-se notar uma proximidade dos resultados encontrados na presente pesquisa. Nos CPs cortados na direção longitudinal da placa, tem-se E igual a 5867MPa e o valor encontrado nesta pesquisa para E da Série DL foi de 5497,48MPa. Nos CPs cortados na direção transversal da placa também verifica-se essa proximidade, pois o valor encontrado por Dias *et al.* (2004) para E foi de 2719MPa e o encontrado nesta pesquisa para E da Série DT foi de 3276,85MPa.

Em Bastos (2009) também pode-se notar uma proximidade dos resultados. Esse autor realizou ensaios em corpos de prova com espessura de 17mm, porém somente cortados na direção longitudinal da placa. O Módulo de Elasticidade encontrado para esses CPs foi de 5747,16MPa. Comparando com o resultado encontrado para o Módulo de Elasticidade da Série DL, que foi 5497,48MPa, percebe-se novamente a proximidade dos resultados dos ensaios.

4.2 Ensaaios "*Push-Test*"

A norma EN 1994-1-1:2004 prevê que se três corpos de prova nominalmente idênticos são ensaiados e o desvio de qualquer resultado individual não excede 10% da média de todos os ensaios a resistência característica (P_{Rk}) deve ser tomada como a menor carga de colapso (dividida pelo número de conectores) reduzida de 10%.

Assim, a capacidade de deslizamento de um corpo de prova (δ_u) corresponde ao deslizamento medido para o nível de carga característico. De acordo com Veríssimo (2007) o deslizamento máximo no qual o conector suporta corresponde a 90% de sua resistência característica ao cisalhamento. A capacidade de deslizamento característico (δ_{uk}) deve ser tomada como mínimo valor de δ_u medido nos ensaios, reduzido de 10%. E um conector de cisalhamento é classificado como dúctil se apresenta deslizamento característico (δ_{uk}) superior a 6,0mm.

Os gráficos obtidos para cada modelo ensaiado constam no Apêndice A, os quais representam:

- 1) Força x Deslizamento médio entre os DTs 1 e 2;
- 2) Força x Deslizamento médio entre DTs 3 e 4;
- 3) Força x Deslizamento médio entre os DTs de 1 a 4;
- 4) Força x Deslizamento individual de cada DT.

Nos gráficos de 1 a 3 foram identificados a força última, a capacidade de deslizamento máximo e 90% da carga última (Apêndice A).

Nos resultados apresentados e discutidos no Capítulo 3, ítem 3.2.3, ocorreu na maioria dos modelos um deslizamento maior em um dos lados, conseqüentemente deslizamentos característicos e máximos maiores em um lado do modelo. Devido a esta ocorrência, a análise conjunta dos valores obtidos só poderia ser realizada caso os resultados encontrados para cada Série fossem similares. Então, caso se considere os deslizamentos médios (Média dos DTs 1 a 4) de ambos os lados como forma comparativa, a discrepância entre os modelos ensaiados seria grande (Tabela 4.9), não permitindo assim, conforme a EN 1994-1-1:2004, uma conclusão e avaliação consistente do ensaio "*push-test*".

Tabela 4.9: Resultados obtidos para cada série, discrepância nos resultados - Média dos DTs de 1 a 4.

Gráfico Força x Deslizamento - Média DTs 1 a 4				
Modelo		Carga Última (kgf)	Capacidade de Deslizamento δ_u (mm)	Deslizamento Máximo (mm)
Série 1	M2A 200 600 150 CP1	1280,13	5,22	6,27
	M2A 200 600 150 CP2	1360,45	3,37	4,66
	M2A 200 600 150 CP3	1526,12	5,98	7,45
Série 2	M2A 090 400 300 CP1	1270,09	6,03	7,43
	M2A 090 400 300 CP2	1124,51	5,23	9,86
	M2A 090 400 300 CP3	1122,00	3,38	4,87
Série 3	M2B 090 600 150 CP1	1955,34	8,62	12,27
	M2B 090 600 150 CP2	2105,94	7,75	9,68
	M2B 090 600 150 CP3	1839,87	4,82	6,16
Série 4	M2B 200 600 150 CP1	2284,15	7,57	9,48
	M2B 200 600 150 CP2	2191,09	6,92	9,26
	M2B 200 600 150 CP3	2226,42	8,88	9,84

Para a análise foi desenvolvida então uma metodologia que difere da metodologia proposta pela EN 1994-1-1:2004, assim a análise da força última em cada lado do modelo (Esquerdo: média dos DTs 1 e 2; Direito: média dos DTs 3 e 4) foi então considerada mais adequada, pois os deslocamentos de cada lado do modelo tiveram resultados mais próximos possibilitando uma melhor análise dos resultados. Os valores finais obtidos através dos gráficos de cada Série estão apresentados na Tabela 4.10.

Tabela 4.10: Resultados obtidos em cada Série em relação aos lados direito e esquerdo do modelo.

Modelo	Média DTs 1 e 2			Média DTs 3 e 4			
	Carga Última (kgf)	Capac. Desliz. δ_u (mm)	Desliz. Máximo (mm)	Carga Última (kgf)	Capac. Desliz. δ_u (mm)	Desliz. Máximo (mm)	
Série 1	M2A 200 600 150 CP1	1280,13	3,25	3,71	1280,13	7,18	8,83

	M2A 200 600 150 CP2	1360,45	2,63	3,93	1360,45	4,11	5,38
	M2A 200 600 150 CP3	1526,12	5,23	6,26	1526,12	6,73	8,63
Série 2	M2A 090 400 300 CP1	1270,09	7,58	9,39	1270,09	4,49	5,50
	M2A 090 400 300 CP2	1124,51	4,89	9,74	1124,51	5,58	9,99
	M2A 090 400 300 CP3	1122,00	4,12	6,42	1122,00	2,64	3,31
Série 3	M2B 090 600 150 CP1	1955,34	8,80	10,31	1955,34	8,44	14,23
	M2B 090 600 150 CP2	2105,94	8,31	11,58	2105,94	7,19	7,79
	M2B 090 600 150 CP3	1839,87	1,01	1,14	1839,87	8,62	11,19
Série 4	M2B 200 600 150 CP1	2284,15	6,35	6,85	2284,15	8,79	12,11
	M2B 200 600 150 CP2	2191,09	8,49	12,92	2191,09	5,35	5,61
	M2B 200 600 150 CP3	2226,42	8,83	10,49	2226,42	8,93	9,20

Ao analisar os valores percebe-se que, como um dos lados do modelo desliza mais do que o outro, há uma discrepância entre os valores de deslizamento para os lados esquerdo e direito do modelo. Além disso, não houve uma padronização entre o lado do modelo que desliza mais, ou seja, alguns modelos deslizaram mais do lado esquerdo e outros mais no lado direito.

Nota-se que os valores de capacidade de deslizamento, se associados ao lado do modelo que deslizou mais, possuem uma similaridade maior entre os modelos de cada Série, aproximando-se assim os valores encontrados. Portanto, selecionando o maior valor de capacidade de deslizamento encontrado para um dos lados de cada modelo, tem-se (Tabela 4.11).

Tabela 4.11: Maior capacidade de deslocamento obtida por modelo.

Modelo		Maior Capacidade de Deslizamento por Modelo			Validação			
		Carga Última (kgf)	Capac. Desliz. δ_u (mm)	Desliz. Máximo (mm)	Desvio Padrão	10% da Média	P_{Rk} (kgf)	δ_{uk} (mm)
Série 1	M2A 200 600 150 CP1	1280,13	7,18	8,83	1,66	0,60	144,01	3,70
	M2A 200 600 150 CP2	1360,45	4,11	5,38				
	M2A 200 600 150 CP3	1526,12	6,73	8,63				
	M2A 090 400 300 CP1	1270,09	7,58	9,39	1,74	0,58	126,23	3,71

Série 2	M2A 090 400 300 CP2	1124,51	5,58	9,99				
	M2A 090 400 300 CP3	1122,00	4,12	6,42				
Série 3	M2B 090 600 150 CP1	1955,34	8,80	10,31	0,25	0,86	137,99	7,48
	M2B 090 600 150 CP2	2105,94	8,31	18,00				
	M2B 090 600 150 CP3	1839,87	8,62	11,19				
Série 4	M2B 200 600 150 CP1	2284,15	8,79	12,11	0,19	0,87	164,33	7,64
	M2B 200 600 150 CP2	2191,09	8,49	12,92				
	M2B 200 600 150 CP3	2226,42	8,83	10,49				

Para as Séries 3 e 4, os valores obtidos em cada modelo foram muito similares. Ao calcular o desvio padrão para todas as Séries tem-se que as Séries 3 e 4, foram validadas, dado que o desvio padrão não excedeu 10% da média da capacidade de deslizamento. Já para as Séries 1 e 2 essa validação não foi possível, dado que, mesmo com a associação dos lados do modelo que deslizaram mais, ainda se manteve a discrepância.

Portanto, para que haja uma classificação precisa dos modelos das Séries 1 e 2 seria necessário a realização de outros ensaios, para que permitissem obter três corpos de prova nominalmente idênticos com desvio padrão de qualquer resultado individual não superior a 10% da média de todos os ensaios.

Ao considerar todas as imperfeições iniciais e variações listadas nos ensaios de cada modelo, nota-se que, para a Série 1, o ensaio do modelo M2A 200 600 150 CP2 foi interrompido e não proporcionou resultados confiáveis. Além disso, os valores de deslizamentos obtidos para o CP1 e para o CP3 dessa Série se assemelham, sendo assim menos discrepantes.

Houve uma discrepância maior entre os modelos da Série 2. Nenhum dos resultados obtidos apresentou valores próximos para o deslizamento. Portanto, como foi dito anteriormente, seriam necessários outros ensaios para descartar os valores com maior dispersão e selecionar resultados relevantes.

Com base na descrição dos ensaios e nas imperfeições e variações relatadas no Capítulo 3, ítem 3.2, na Série 2, ao se comparar o CP2 e CP3 ao CP1, considera-se que o CP2 e CP3 atingiram valores de carga última e deslizamento menores do que deveriam ser atingidos. Portanto o que se espera é que na realização de outros ensaios para validação desta Série, os novos resultados tenham tendência a se aproximar dos valores obtidos para o CP1.

Como não houve tempo hábil para realização dos outros ensaios e validação das Séries 1 e 2, como fins comparativos serão utilizados os valores encontrados nos modelos M2A, mas serão descartados os valores obtidos para CP2 da Série 1 e para os CPs 2 e 3 da Série 2, conforme justificado anteriormente (Tabelas 4.12 e 4.13)

Tabela 4.12: Valores da Série 1 para fins comparativos.

Modelo	Carga Última (kgf)	Capac. Desliz. δ_u (mm)	Desliz. Máximo (mm)	Desvio Padrão	10% da Média	P_{Rk}	δ_{uk}
M2A 200 600 150 CP1	1280,13	7,18	8,83	0,32	0,70	144,01	6,06
M2A 200 600 150 CP3	1526,12	6,73	8,63				

Tabela 4.13: Valores da Série 2 para fins comparativos.

Modelo	Carga Última (kgf)	Capac. Desliz. δ_u (mm)	Desliz. Máximo (mm)	Desvio Padrão	10% da Média	P_{Rk}	δ_{uk}
M2A 090 400 300 CP1	1270,09	7,58	9,39	-	-	142,89	6,82

Portanto, para fins comparativos, tem-se para cada Série os valores finais listados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Valores finais adotados para fins comparativos.

Modelo	Carga Última (kgf)	Capac. Desliz. δ_u (mm)	Desliz. Máximo (mm)	P_{Rk}	δ_{uk}
Série 1 M2A 200 600 150	1280,13	6,73	8,63	144,01	6,06
Série 2 M2A 090 400 300	1270,09	7,58	9,39	142,89	6,82
Série 3 M2B 090 600 150	1839,87	8,31	10,31	137,99	7,48
Série 4 M2B 200 600 150	2191,09	8,49	10,49	164,33	7,64

Como está previsto na norma EN 1994-1-1:2004, um conector de cisalhamento é classificado como dúctil se apresenta um deslizamento característico δ_{uk} superior a 6,0mm. Assim, ao analisar os valores obtidos nos ensaios na Tabela 4.14, tem-se que os deslizamentos característicos δ_{uk} em todas as Séries foram superiores a 6,0mm. Conclui-se portanto que, os

parafusos do tipo trombeta auto-atarraxante na interface com as placas de OSB e o reticulado metálico, quando submetidos ao cisalhamento através do ensaio do tipo "*push-test*" se comportam como um subsistema dúctil, ou seja, este subsistema se deforma sob carga, permitindo um deslizamento relativo na ligação. Mas, a ductilidade da conexão esta associada ao subsistema Parafuso - Placa de OSB - Reticulado metálico, e não apenas ao parafuso auto-atarraxante isolado.

Comparando os valores obtidos para as Séries 1 e 4, que se diferem pela espessura do OSB e número de parafusos de fixação, tem-se que a carga última mínima obtida pela Série 1 foi de 1280,13kgf e para a Série 4 foi de 2191,09kgf. Dessa forma, devido ao aumento da espessura da placa de OSB, a carga última obteve um aumento de 71%. Além disso, o δ_u teve aumento de 26%, o $\delta_{m\acute{a}x}$ de 22%, o δ_{uk} de 14% e a P_{Rk} de 26%.

Portanto, no decorrer dos ensaios e de acordo com as porcentagens obtidas na comparação entre as Séries 1 e 4, pode-se perceber que a espessura da placa de OSB tem grande influência no deslizamento final obtido e na capacidade resistente da ligação. Para os ensaios realizados, a placa de OSB como integrante do subsistema Parafuso-OSB-Perfil, demonstrou ser uma das variáveis mais significativas quanto à capacidade de suporte da ligação, pois, quanto maior a sua espessura, maior o deslizamento suportado pela ligação e maior sua capacidade de resistir ao esmagamento, ao rasgamento e a outros fenômenos envolvidos.

Além disso, a área de influência da placa de OSB no entorno da fixação é de extrema importância para maiores alcances de deslizamentos e maior força resistente. Isso pode ser evidenciado pelo fato de que, quando os parafusos foram fixados muito próximos à borda da placa de OSB, a carga última e a capacidade de deslizamento reduziram, rompendo as placas de OSB com mais facilidade. Quando a área útil de OSB no entorno da ligação é maior, a fixação é prolongada, pois esta resiste mais aos esforços impostos.

Ao fazer a comparação da Série 1 com a Série 2, as quais os modelos possuem a mesma espessura da placa de OSB e o mesmo número de parafusos, mas a distância entre os parafusos é diferente (variação mais significativa dentre as demais), tem-se que, devido ao aumento da distância entre a fixação dos parafusos, a redução na carga última foi de 1%, a capacidade de deslizamento teve aumento de 13%, o $\delta_{m\acute{a}x}$ de 9%, o δ_{uk} de 13% e a P_{Rk} teve redução de 1%.

Ao optar-se por considerar os valores atingidos por todos os modelos ensaiados nas Séries 1 e 2 (Tabela 4.9), tem-se como resumo dos valores obtidos (Tabela 4.15).

Tabela 4.15: Utilizando todos os valores dos ensaios obtidos para as Séries 1 e 2.

Modelo		Carga Última (kgf)	Capac. Desliz. δ_u (mm)	Desliz. Máximo (mm)	P_{Rk}	δ_{uk}
Série 1	M2A 200 600 150	1280,13	4,11	5,38	144,01	3,70
Série 2	M2A 090 400 300	1122,00	4,12	6,42	126,23	3,71

Assim, como nova comparação entre as Séries 1 e 2 tem-se que, devido ao aumento na distância entre a fixação dos parafusos, a redução na carga última foi de 12%. O δ_u e o δ_{uk} se mantiveram basicamente constantes, mas o deslizamento máximo foi maior na Série 2. A P_{Rk} teve redução de 12%. Ou seja, os valores obtidos para a carga última reduziram, a Série 2 suportou menos carga do que a Série 1 devido ao aumento na distância entre os parafusos. Mas, como não se pode concluir qual seria o comportamento correto devido à grande variabilidade de resultados, para afirmação destes valores seria necessária a realização de novos ensaios.

A redução nas dimensões do perfil utilizado no reticulado metálico teve pouca influência nos resultados finais de deslizamento, mas teve variações significantes nos valores de carga última e resistência característica. Isso pode ser verificado pelos valores obtidos nas Séries 3 e 4, mas, além disso, deve-se considerar que as imperfeições iniciais constatadas em alguns dos modelos podem ter influenciado nessas variações. Dessa forma, com base na Tabela 4.14, tem-se que, devido ao aumento das dimensões do perfil, ocorreu um aumento na carga última de 19%, o δ_u teve aumento de 2%, o $\delta_{m\acute{a}x}$ de 2%, o δ_{uk} de 2% e a P_{Rk} de 19%.

A Tabela 4.16 demonstra as comparações entre todas as Séries, destacando a redução (sinal negativo) ou aumento percentual dos deslizamentos e força característicos.

Tabela 4.16: Comparação entre as Séries

Comparação entre as Séries		Carga Última (kgf)	Capac. Desliz. δ_u (mm)	Desliz. Máximo (mm)	P_{Rk}	δ_{uk}
De	Para					
1	2	1%	-11%	-8%	1%	-11%

2	1	-1%	13%	13%	-1%	13%
2	3	-31%	-9%	-9%	4%	-9%
3	2	45%	10%	10%	-3%	10%
3	4	-16%	-2%	-2%	-16%	-2%
4	3	19%	2%	2%	19%	2%
1	4	-42%	-21%	-18%	-12%	-21%
4	1	71%	26%	22%	14%	26%
2	4	-42%	-11%	-10%	-13%	-11%
4	2	73%	12%	12%	15%	12%
1	3	-30%	-19%	-16%	4%	-19%
3	1	44%	23%	19%	-4%	23%

Comparando os valores obtidos para as Séries 1 e 4, que se diferem pela espessura do OSB e número de parafusos de fixação, tem-se que a carga última mínima obtida pela Série 1 foi de 1280,13kgf e para a Série 4 foi de 2191,09kgf. Dessa forma, devido ao aumento da espessura da placa de OSB, a carga última obteve um aumento de 71%. Além disso, o δ_u teve aumento de 26%, o $\delta_{m\acute{a}x}$ de 22%, o δ_{uk} de 14% e a P_{Rk} de 26%.

Devido aos impasses na fabricação dos modelos e à alteração dos parâmetros definidos para os modelos inicialmente propostos, alguns parâmetros não puderam ser avaliados e algumas comparações entre as Séries não puderam ser realizadas. Portanto, com base nos resultados obtidos para os ensaios realizados, os parâmetros que demonstraram ser mais significativos foram: a espessura da placa de OSB e a distância entre os parafusos.

5

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

5.1 Considerações Finais

Na presente pesquisa foram realizadas 2 campanhas de ensaios experimentais. Na primeira foram feitos ensaios de flexão em 80 corpos de prova de placas de OSB e na segunda foram feitos ensaios de "*push-test*" em 12 modelos de LSF com placas de OSB fixadas por parafusos auto-atarraxantes nos perfis de aço galvanizados formados a frio.

Na primeira campanha de ensaios buscou-se determinar e analisar algumas propriedades mecânicas das placas de OSB de diferentes espessuras, sendo essas fabricadas no Brasil. Já na segunda o objetivo foi analisar o comportamento do subsistema formado pelo reticulado metálico, as placas de revestimento de OSB e os parafusos auto-atarraxantes, também de fabricação brasileira.

Abaixo são apresentadas as conclusões da presente pesquisa para estas duas campanhas.

5.1.1 Ensaios de Flexão

A partir das análises dos resultados obtidos e apresentados nos Capítulos 3 e 4, pode-se concluir inicialmente que os valores do Módulo de Elasticidade (E) das placas de OSB ensaiadas em geral aumentam juntamente com o aumento da espessura nominal (t) das placas de OSB. Isso ocorre com quase todos os resultados, com exceção dos encontrados para as Séries CL e CT, onde as placas ensaiadas possuem 15,1mm de espessura nominal. Portanto, o valor médio de E

encontrado para a Série DL é superior aos encontrados nas demais Séries AL, BL e CL. Assim como os resultados da Série DT também são superiores aos resultados de AT, BT e CT.

Os valores médios encontrados para os Módulos de Elasticidade dos corpos de prova cortados da direção longitudinal das placas são superiores aos valores encontrados para os CPs que foram cortados na direção transversal da placa de OSB, isso ocorre porque na fabricação das placas de OSB as partículas de madeira das camadas externas são geralmente posicionadas seguindo a direção longitudinal da placa. Conclui-se também que existe uma diferença maior entre os resultados dos CPs cortados na direção longitudinal e na direção transversal, entre todas as séries ensaiadas.

Outro ponto a ser observado esta relacionado ao coeficiente de variação (c_v) dos resultados, cujo valor diminui à medida que se aumentou o vão dos ensaios, conferindo uma maior confiabilidade e homogeneidade aos resultados com os valores de c_v iguais ou menores que 15%.

Os ensaios de flexão apresentaram formas de ruptura típicas como foi observado no Capítulo 3. As variações de vãos dos ensaios foram feitas buscando analisar se seria necessário um vão e 48 vezes a espessura para os CPs retirados na direção longitudinal da placa, e 24 vezes a espessura para os CPs retirados na direção transversal da placa, para chegar em resultados confiáveis para Módulo de Elasticidade e Tensão de Ruptura. Nota-se nos resultados e nos gráficos apresentados no Capítulo 4 que para os CPs retirados na direção longitudinal da placa poderíamos utilizar um vão final de $40x_t$ que teríamos resultados confiáveis. Já nos CPs retirados na direção transversal da placa não foi possível uma avaliação do mesmo tipo, seriam necessários ensaios com mais vãos diferentes do que os que foram feitos.

Quanto a Tensão de Ruptura (σ) observa-se que os valores para os ensaios com os CPs cortados na direção longitudinal da placa das Séries AL, BL e DL são próximos, assim como os valores de σ encontrados para as Séries AT, BT e DT, que também são próximos entre si mas ligeiramente menores que os das Séries AL, BL e DT.

5.1.2 Ensaios de "*Push-Test*"

Para esses ensaios de "*Push-Test*" foi criada uma nova metodologia para a análise dos resultados, já que não foi possível analisar de acordo com o que preconiza a EN 1994-1-1:2004. Como os modelos ensaiados possuem dois montantes ao invés de apenas um, e como o material utilizado na confecção dos modelos é diferente do utilizado na padroização prescrita pela EN 1994-1-1:2004, muitas adaptações foram realizadas para a obtenção dos resultados.

Pelos ensaios e análises realizados, pode-se concluir que, na maior parte dos ensaios, o subsistema Parafuso-OSB-Perfil, quando submetidos ao cisalhamento através do ensaio "*push-test*" no sistema LSF, apresentou um comportamento do tipo dúctil, dado que o deslizamento característico em um dos lados do modelo ensaiado foi superior ao valor limitado pela EN 1994-1-1:2004 de 6,0mm.

Quanto aos resultados obtidos, pode-se verificar uma grande influência nos valores de carga última, de resistência característica e de deslizamentos devido ao aumento da espessura da placa de OSB utilizada, porém mais ensaios devem ser realizados para uma melhor análise. Isso se deve ao fato de que, após a rotação dos parafusos, os mesmos começam a ser tracionados causando o esmagamento das placas de OSB que, por sua vez, tentam resistir esta imposição prolongando o efeito da fixação. Portanto, quanto maior a resistência das placas de OSB ao esmagamento e ao rasgamento, maior será a resistência da ligação entre o reticulado metálico e a placa de OSB, dado que em todos os experimentos a fixação rompeu na placa de OSB e não no parafuso, segundo o modo de falha "*pull-over*" e, em apenas dois parafusos, segundo o "*pull-out*".

O aumento na largura da alma não proporcionou influência muito significativa nos deslizamentos finais obtidos, mas proporcionou uma variação nos valores de carga última apresentados para as Séries 3 e 4. Essa variação pode ter relação com as imperfeições iniciais listadas para alguns modelos da Série 3, portanto não foi possível concluir se esta variação no valor de carga última é devida somente ao aumento da largura da alma.

Devido a algumas imperfeições iniciais nos modelos ensaiados e à mudança nas dimensões e especificações dos modelos propostos para ensaio, algumas das proposições iniciais não

puderam ser concluídas. Com os valores obtidos, pode-se perceber que ocorre uma redução na capacidade resistente da Série 2 frente à Série 1, devido ao aumento da distância entre os parafusos, mas para uma conclusão mais concreta outros ensaios devem ser realizados.

Com base nos ensaios realizados, os parâmetros que demonstraram ser mais significativos foram a variação da espessura da placa de OSB e da distância entre os parafusos de fixação. Para os demais parâmetros, como a distância entre montantes e o tamanho da largura da alma do perfil, não foi possível estabelecer uma conclusão precisa.

Para a análise do comportamento do sistema construtivo LSF, deve-se levar em consideração a ação conjunta do perfil de aço formado a frio, da placa de revestimento e dos parafusos de fixação. Os parafusos de fixação são responsáveis por garantir que os dois materiais, perfil de aço e placa de revestimento, trabalhem de forma conjunta, mas a placa de OSB se destacou como componente muito importante para um maior suporte da ligação. Portanto, não foi possível dissociar este subsistema, analisando-o assim como um subsistema que atua interligado.

Os resultados apresentados nesse trabalho mostram que a placa de OSB é um componente viável para a constituição dos painéis de cisalhamento do sistema *Light Steel Framing*. A investigação conduzida não é exaustiva e há a necessidade de continuar a pesquisa, sobretudo quanto às análises teórico-experimentais relativas à contribuição das placas de OSB na estabilização horizontal desse sistema construtivo.

5.2 Recomendações e Sugestões para Estudos Posteriores

As sugestões para realização em estudos posteriores são:

- a) Quanto aos ensaios de flexão, determinar os valores de outras propriedades mecânicas das placas de OSB fabricadas no Brasil, tais como Módulo de Elasticidade Transversal e Coeficiente de Poisson, nas direções longitudinal e transversal das placas, importantes para as análises numéricas a serem realizadas nos estudos paramétricos visando à proposição de soluções analíticas para o fenômeno;

- b) Quanto aos ensaios de cisalhamento direto ("*push-test*") determinar a rigidez da ligação da placa de OSB com o reticulado metálico na condição de parafusos fixados na região central das placas. Neste caso e no caso de parafusos fixados nas bordas das placas, deve-se também variar a espessura dos perfis de aço galvanizado que compõem o reticulado metálico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. *Monotonic Tests of Cold-Formed Steel Shear Walls With Openings*. Marlboro, Estados Unidos, 1997.

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. *Durability of Cold-Formed Steel Framing Members*. Washington, Estados Unidos, 2004.

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. *Cold Formed Steel Shear Walls With Fiberboard Sheathing - Shear Wall Testing*. Marlboro, Estados Unidos, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15253. *Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 6355. *Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização*. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 14762. *Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio - Padronização*. Rio de Janeiro, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D3043-00. *Standard methods of testing structural panels in flexure*. Philadelphia. 2011.

BASTOS, E.F. *Caracterização Física e Mecânica de Painel de OSB do Tipo FORM*. Dissertação de Mestrado. 2009. 131p. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil.

BEVILAQUA, R. *Estudo Comparativo do Desempenho Estrutural de Prédios Estruturados em Perfis Formados a Frio Segundo os Sistemas Apertado e "Light Steel Framing"*. Dissertação de Mestrado. 2005. 247p. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas - Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

BREDEL, D.H. JR. *Performance Capabilities of Light-Frame Shear Walls Sheathed With Long OSB Panels. Dissertação de Mestrado*. 2003. 228p. Polytechnic Institute and State University, Virginia, Estados Unidos (EUA).

BODIG, J.; JAYNE, B.A. *Mechanics of Woods and Woods Composites*. 2 ed. 721p. New York: V. N. Reinhold, 1993.

CABRAL, C.P.T.; VITAL, B.R.; LUCIA, R.M.D; PIMENTA, A.S.; SOARES, C.P.B.; CARVALHO, A.M.M.L. Propriedades de chapas tipo OSB, fabricadas com partículas acetiladas de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus Cloeziana* e *Pinus elliottii*. *Revista Árvore*. Viçosa, no.4, vol.30, julho-agosto, 2006.

CONSULSTEEL. *Manual de Procedimiento: Construcción con Steel Framing*. Buenos Aires: ConsulSteel, 2002. 303p.

CARRASCO, E.V.M. *Resistência, Elasticidade e Distribuição de Tensões nas Vigas Retas de Madeira Laminada Colada (MLC)*. Tese de Doutorado. 1989. 366p. Escola de Engenharia de São Carlos - Departamento de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Paulo, S.P., Brasil.

DAVID, D.L. *Análise Teórica e Experimental de Conectores de Cisalhamento e Vigas Mistas Constituídas por Perfis de Aço Formados a Frio e Laje de Vigotas Pré-Moldadas*. Tese de Doutorado. 2007. 250p. Escola de Engenharia de São Carlos - Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Paulo, S.P., Brasil.

DIAS, G.L. *Estudo Experimental de Paredes Estruturais de Sistema Leve em Madeira (Sistema Plataforma) Submetidas a Força Horizontal no seu Plano*. Tese de Doutorado. 2005. 165p. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

DIAS, G.L.; SANTOS, A.C.; LIMA, A.L.; SZÜCS, C.A. In: IX ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. *Determinação de Propriedades Mecânicas do OSB*. Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, julho de 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION EN 1994-1-1. *Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings*. Bruxelas, Bélgica, 2004

FUENTES, S.; FOURNELLY, E.; PITTI, R.M.; BOUCHAIR, A. Impact of Semi-rigidity of Joint on Timber Composite Truss Beam. In: TANDON, G.P. et al. *Experimental Mechanics of Composite, Hybrid, and Multifunctional Materials*. Vol. 6. 2014. p. 9-16.

LP BUILDING PRODUCTS. *Catálogo Técnico: OSB - Placas Estruturais para Construção CES*. Julho de 2012. Acesso em 05 de fevereiro de 2014, disponível em LP Building Products: <http://www.lpbrasil.com.br>

MASISA. *Masisa - Catálogo Técnico: OSB*. Acesso em 17 de setembro de 2013, disponível em Site da Masisa: <http://www.masisa.com.br>

MENDES, L.M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; KEINERT, S.JR; SALDANHA, L.K. Pinus spp. na Produção de Painéis de Partículas Orientadas (OSB). *Ciência Florestal*. Santa Maria, no.2, vol.12, p. 135-145, setembro, 2002.

POSSAS, L.C. *Análise Experimental sobre a Força Resistente e o Comportamento da Ligação entre o Perfil de Aço e as Placas de OSB com Parafuso Auto-Atarraxante no Sistema Light Steel Framing*. 2015. 85p. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

RODRIGUES, F.C. *Steel Framing: Engenharia*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia - Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2006. 127p.

SANTIAGO, A.K.; FREITAS, A.M.S.; CRASTO, R.C.M. *Steel Framing: Arquitetura*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia - Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), 2012. 151p.

SCHAFFER, B.W.; HIRIYUR, B. In: SIXTEENTH INTERNATIONAL SPECIALITY CONFERENCE ON COLD-FORMED STEEL STRUCTURES. *Analysis of Sheathed Cold-Formed Steel Wall Studs*. Orlando, Florida, Estados Unidos (EUA), 17-18, Outubro, 2002. p. 501-513.

VITOR, R.O. *Modelagem Numérica de Diagonais Equivalentes em Painéis de Cisalhamento do Sistema Light Steel Framing. Dissertação de Mestrado.* 2012. 132p. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas - Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

TIAN, Y.S.; WANG, J.; LU, T.J. Racking Strength and Stiffness of Cold-Formed Wall Frames. *Journal of Constructional Steel Research* 60. Cambridge, 2004, p. 1069-1093.