

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

Joseph Stéphane Datchoua

**Estudo Teórico-Experimental do Comportamento da
Ligação de Painéis de OSB com Perfis do Reticulado
Metálico do Sistema Construtivo *Light Steel Framing***

2018

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

**“ESTUDO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DA LIGAÇÃO
DE PAINÉIS DE OSB COM PERFIS DO RETICULADO METÁLICO DO SISTEMA
CONSTRUTIVO LIGHT STEEL FRAMING”**

Joseph Stéphane Datchoua

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)

Profa. Dra. Ana Lydia Reis de Castro e Silva
DEES – UFMG

Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo
DECIV – UFOP

Belo Horizonte, 11 de maio de 2018

D232e

Datchoua, Joseph Stéphane.

Estudo teórico-experimental do comportamento da ligação de painéis de OSB com perfis do reticulado metálico do sistema construtivo *Light Steel Framing* [manuscrito] / Joseph Stéphane Datchoua. – 2018. 204 f., enc.: il.

Orientador: Francisco Carlos Rodrigues.

Coorientador: Rodrigo Barreto Caldas.

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

Apêndices: f. 195-204.

Bibliografia: f. 191-194.

1. Engenharia de estruturas - Teses. 2. Cisalhamento - Teses. 3. Elasticidade - Teses. 4. Construção metálica - Teses. I. Rodrigues, Francisco Carlos. II. Caldas, Rodrigo Barreto. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 624(043)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmãos pelos cuidados em todos os níveis e por terem me ajudado a estar neste caminho, caminho que conduzirá a vários outros.

À família Liboreiro, sobretudo à dona Luci, que me recebeu como membro da sua família desde 2010.

Às famílias Chaves e Silveira, sobretudo à minha linda esposa, Sra Datchoua, que vem me motivando desde 2013.

Ao meu orientador, Professor Francisco Carlos Rodrigues, por ter me incentivado a fazer o mestrado desde o meu 5º período do Curso de Arquitetura e Urbanismo. Desde o meu acesso ao programa de pós-graduação, com suas competências didáticas, técnicas e profissionais, conduziu esta pesquisa até a sua conclusão.

Ao meu coorientador, Professor Rodrigo Barreto Caldas, por ter colaborado com ótimas ideias para o desenvolvimento desta pesquisa.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa, à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e à CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro em forma de fomento à pesquisa.

À LP (Louisiana Pacific Building Products) pela doação dos painéis de OSB - Liana.

À Flasan: - Flávio de Figueiredo, pela doação dos perfis de aço, mão de obra e hospedagem durante a fabricação dos modelos; - Rodrigo, por ter me ajudado a cortar os painéis de OSB e a fixá-las no reticulado metálico e a montar os painéis; - Jucenaldo pela perfilagem de todos os perfis usados na fabricação dos modelos; - Diego e César pela perfilagem dos perfis usados na fabricação do suporte e dos painéis; - Lucas pela assistência durante todo o processo de fabricação na Flasan; - Richard e Janiny pela assistência na parte de projetos.

Ao LTR (Laboratório de Tecnologia de Rochas): - professor Cláudio Lúcio Lopes Pinto, pela disposição do laboratório para a realização dos ensaios de cisalhamento sobre os painéis de

OSB e pela orientação concedida durante todo esse período; - Laura, Fábio, Marcelo, Michel, Ricardo e Kennedy por terem auxiliados durante esses ensaios de cisalhamento.

Aos estudantes da iniciação científica: - Eduardo e Arthur pelo auxílio desde os ensaios de cisalhamento dos painéis de OSB até os ensaios sobre o estudo do comportamento da ligação entre os painéis de OSB e o reticulado metálico; - e Vitor pelo auxílio durante os ensaios sobre o comportamento da ligação.

Aos funcionários do LAEES (Laboratório de Análise Experimental de Estruturas), Afonso, Geraldo, Heron e Rodrigo pelos ensinamentos.

Aos demais professores, especialmente, Adalberto Carvalho de Rezende, Ana Lydia Reis Castro e Silva, Marcelo Greco, Max de Castro Magalhães, pelo apoio durante todo esse percurso.

Ao programa de pós-graduação e à Fundação Christiano Ottoni pelo fornecimento do V1-Grauth necessário para a fabricação dos modelos para os ensaios de cisalhamento com painéis de OSB.

Aos colegas do departamento, especialmente, Lucas Grilo, Juliano Becho e Leandro Lopes, pelos ensinamentos durante todo esse percurso.

Às secretárias de graduação e pós-graduação dirigidas por Iracema, Lucíola, Fátima, Juliana e Patrícia pela paciência que sempre tiveram comigo e por terem me ajudando com tudo o que estava aos seus alcances. Não poderei me esquecer da Inês pelos conselhos.

À equipe de limpeza e outros funcionários por deixarem o departamento e os laboratórios agradáveis para conviver.

À FUMP (Fundação Universitária Mendes Pimentel) pela assistência oferecida desde 2010.

Aos irmãos africanos e brasileiros pela motivação e força de vontade. Ao Christian Wafo por estar sempre por perto, independentemente das condições de contorno.

“Applique-toi donc à ce que tu peux”
Épictète

RESUMO

Esta pesquisa tem por objetivo a proposição de um estudo teórico-experimental sobre o comportamento da ligação de painéis de Oriented Strand Board (OSB) com perfis do reticulado metálico do sistema construtivo *Light Steel Framing* (LSF). O LSF é basicamente constituído por um reticulado metálico composto de perfis formados a frio no formato U enrijecido (U_e) e galvanizados, configurando um sistema autoportante. Esse reticulado metálico pode ser revestido com gesso acartonado, painéis de OSB ou placas cimentícias, sendo que o primeiro somente serve de vedação interna enquanto os demais, além de vedarem, possuem uma considerável resistência mecânica que pode torná-los parte do sistema estrutural como um todo. Foram ensaiados 60 corpos de prova (CP) para determinar a tensão de cisalhamento (τ) e o módulo de elasticidade transversal (G) desses painéis de OSB, 80 corpos de prova para determinar a tensão de ruptura (S_b) e o seu módulo de elasticidade longitudinal (E) e 71 corpos de prova para analisar o comportamento da ligação entre esses mesmos e o reticulado de aço, com o emprego dos parafusos autobrocantes e auto-atarraxantes. Com o ensaio dos 60 corpos de prova, através da aplicação de uma força resultante inclinada de cisalhamento junto com uma força normal controlada, observou-se que os valores médios de τ e de G foram diretamente influenciados pelo eixo de extração dos corpos de prova dos painéis originais de OSB, pelo eixo de aplicação da força resultante de cisalhamento e pelas dimensões da parte cisalhada do CP. Com os 80 corpos de prova, através do ensaio à flexão de três pontos, observou-se que os valores médios de S_b e de E foram diretamente influenciado pelo eixo de extração dos corpos de prova dos painéis originais de OSB, pela espessura e pela disposição do CP para o ensaio. Ensaando os 71 corpos de prova, através do método conhecido por “*Push-Test*”, ou simplesmente, ensaio força-deslocamento, observou-se que, na ligação, os valores médios da força máxima ($P_{m\acute{a}x}$), da rigidez (k_e), da energia dissipada (A) e da ductilidade (μ) foram diretamente influenciados pelo modo de carregamento, pela espessura dos painéis de OSB e pelo espaçamento axial entre os parafusos ao longo do montante. Na presente pesquisa, os ensaios foram realizados variando também a espessura dos perfis de aço com a posição do montante no subsistema. Os resultados obtidos nesta pesquisa servirão de base para a realização de análises paramétricas visando à proposição de soluções analíticas para a quantificação da contribuição dos painéis de OSB na estabilização do sistema estrutural do LSF, com ou sem o uso do contraventamento de aço. Com o desenvolvimento do subsistema de contraventamento com o emprego dos painéis de OSB para o sistema LSF, além de significar uma inovação tecnológica para a construção civil, torna possível obter edificações com custo reduzido, mantendo a qualidade, a durabilidade e a estabilidade exigidas pelas normas brasileiras aplicáveis. E também atendendo aos critérios da sustentabilidade da construção metálica.

Palavras-chave: Tiras de Madeira Orientadas (OSB); Módulo de Elasticidade Longitudinal; Módulo de Elasticidade Transversal; Contraventamento; Cisalhamento.

ABSTRACT

This research has the purpose of proposing a theoretical-experimental study of the Oriented Strand Board (OSB) connection behavior with frame steel studs of the Light Steel Framing (LSF) construction system. The LSF basically consists of the steel frame composed of C studs cold-formed profiles and galvanized, forming a self-supporting system. This steel frame can have gypsum board, OSB or cementitious board as sheathing material, the first only serving as an internal sheathing while the others, besides sheathing, have a considerable mechanical resistance that can make them part of the structural system as a whole. For this, 60 specimens were tested to determine the shear stress (τ) and the transverse elasticity modulus (G) of these OSB, 80 specimens were tested to determine its tensile strength and its longitudinal modulus of elasticity (E) and 71 specimens were tested to analyze the behavior of the connection between these and the steel frame, using self-drilling and self-tapping screws. With the test of the 60 specimens, by applying a inclined resultant shear load with a controlled normal load, it was observed that the average values of τ and G was directly influenced by the axis of extraction of the specimens of the main OSB board, by the axis of application of the resulting shear load and by the dimensions of the shear section of the specimen. With the 80 specimens, through the three-point bending test, it was observed that the S_b and E average value was directly influenced by the extraction axis of the specimens of the main OSB board, by the thickness and the arrangement of the specimen for the test. By testing the 71 specimens, through the method known as Push-Test, or simply, load-displacement test, it was observed that, in the connection, the average values of maximum load (P_{max}), stiffness (k_e), dissipated energy (A) and ductility (μ) are directly influenced by the loading mode, the thickness of the OSB and the axial spacing between the screws along the C stud. In the present research, the tests were performed varying also the thickness of the steel profiles with the position of the C stud in the subsystem. The results obtained in this research will serve as a basis for the performance of parametric analyzes aiming at the proposition of analytical solutions for the quantification of the contribution of the OSB in the stabilization of the LSF structural system, with or without the use of steel bracing. With the development of the bracing subsystem with the use of the OSB for the LSF system, besides signifying a technological innovation for the civil construction, makes possible to obtain buildings with low cost, while maintaining the quality, durability and stability required by applicable Brazilian standards. And also meeting the sustainability criteria of metal construction.

Key words: Oriented Strand Board (OSB); Modulus of Longitudinal Elasticity; Modulus of Transversal Elasticity; Bracing; Shear.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS	xx
LISTA DE ABREVIATURAS	xxiii
Introdução	1
1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 Generalidade sobre o Sistema Construtivo <i>Light Steel Framing</i>	3
1.3 Generalidades sobre o Pannel de Cisalhamento no Sistema Construtivo <i>Light Steel Framing</i>	5
1.4 Generalidade sobre os painéis de OSB.....	7
1.5 Generalidades sobre os Parafusos, os Modos de Ruptura e a Ductilidade das Ligações	8
1.6 Objetivo.....	10
1.7 Metodologia	11
1.8 Justificativa	11
Revisão Bibliográfica.....	13
2.1 Pesquisa Realizada por Mendes (2001).....	13
2.2 Pesquisa Realizada por Okasha (2004)	13
2.3 Pesquisa Realizada por Thomas (2004)	14
2.4 Pesquisa Realizada por Dias <i>et al.</i> (2004).....	15
2.5 Pesquisa Realizada por Boudreault (2005)	16
2.6 Pesquisa Realizada por Blais (2006).....	17
2.7 Pesquisa Realizada por Fiorino <i>et al.</i> (2007)	17
2.8 Pesquisa Realizada por Okino <i>et al.</i> (2008)	18
2.9 Pesquisa Realizada por Vieira e Schafer (2009)	19
2.10 Pesquisa Realizada por Bastos (2009).....	20
2.11 Pesquisa Realizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2012).....	21
2.12 Pesquisa Realizada por Peterman <i>et al.</i> (2014).....	22
2.13 Pesquisa Realizada por Alldritt <i>et al.</i> - ASCE (2014).....	22
2.14 Pesquisa Realizada por Iuorio <i>et al.</i> (2014)	23
2.15 Pesquisa Realizada por Ye <i>et al.</i> (2016).....	25
2.16 Pesquisa Realizada por Júnior <i>et al.</i> (2016)	26
2.17 Pesquisa Realizada por Plenzler <i>et al.</i> (2017)	26

Ensaio de Flexão.....	28
3.1 Materiais e Métodos.....	28
3.1.1 Processo de fabricação dos corpos de prova.....	28
3.1.2 Procedimento de ensaio dos corpos de prova.....	29
3.2 Apresentação e análise dos resultados obtidos durante os ensaios.....	32
3.2.1 Generalidades.....	32
3.2.2 Corpos de prova do modelo M1.....	33
3.2.3 Corpos de prova do modelo M2.....	38
3.3 Discussões dos resultados obtidos.....	44
3.3.1 Influência do eixo de extração dos corpos de prova sobre os resultados.....	59
3.3.2 Influência da espessura dos corpos de prova sobre os resultados.....	60
3.3.3 Influência da posição dos corpos de prova sobre os resultados.....	61
3.4 Conclusões.....	61
Ensaio de Cisalhamento.....	63
4.1 Materiais e Métodos.....	63
4.1.1 Materiais.....	63
4.1.2 Processo de fabricação dos corpos de prova.....	64
4.1.3 Procedimento de ensaio dos corpos de prova.....	69
4.2 Apresentação e análise dos resultados obtidos durante os ensaios.....	74
4.2.1 Generalidades.....	74
4.2.2 Corpos de prova da Série S1.....	75
4.2.3 Corpos de prova da Série S2.....	79
4.3 Discussões dos resultados obtidos.....	83
4.3.1 Influência da direção de carregamento dos corpos de prova das séries S1 e S2 sobre os resultados.....	95
4.3.2 Influência da espessura dos corpos de prova das séries S1 e S2 sobre os resultados....	96
4.3.3 Influência do eixo de extração dos corpos de prova da série S1 sobre os resultados....	96
4.3.4 Influência do eixo de extração dos corpos de prova da série S2 sobre os resultados....	97
4.4 Conclusões.....	97
Ensaio de Cisalhamento (<i>Push-Test</i>).....	98
5.1 Materiais e Métodos.....	98
5.1.1 Materiais.....	98
5.1.2 Processo de fabricação dos corpos de prova.....	99
5.1.3 Procedimento de ensaio dos corpos de prova.....	103
5.2 Apresentação e análise dos resultados obtidos durante os ensaios.....	107
5.2.1 Generalidades.....	107

5.2.2	Corpos de prova do modelo M1	108
5.2.3	Corpos de prova do modelo M2	119
5.2.4	Corpos de prova do modelo M3	128
5.3	Discussões dos resultados obtidos.....	139
5.3.1	Influência do espaçamento axial entre os parafusos sobre os resultados do modelo M1	173
5.3.2	Influência da espessura dos perfis de aço sobre os resultados do modelo M1	174
5.3.3	Influência da espessura dos painéis de OSB sobre os resultados do modelo M1	175
5.3.4	Influência do espaçamento axial entre os parafusos sobre os resultados do modelo M2	176
5.3.5	Influência da espessura dos perfis de aço sobre os resultados do modelo M2	177
5.3.6	Influência da espessura dos painéis de OSB sobre os resultados do modelo M2	178
5.3.7	Influência do espaçamento axial entre os parafusos sobre os resultados do modelo M3	178
5.3.8	Influência da espessura dos perfis de aço sobre os resultados do modelo M3	180
5.3.9	Influência da espessura dos painéis de OSB sobre os resultados do modelo M3	181
5.3.10	Influência do modo de carregamento sobre os resultados dos modelos M1, M2 e M3.....	182
5.4	Conclusões	183
	Comparação Entre os Resultados e Recomendações para Estudos Futuros.....	185
6.1	Comparação Entre os Resultados da Presente Pesquisa e os Resultados das Bibliografias Usadas	185
6.2	Recomendações e Sugestões para Estudos Futuros	189
	Referências Bibliográficas	191
	Apêndice A.1 – Script de ensaio dos corpos de prova.....	195
	Apêndice A.2 – Calibração das células de força e do DT01.....	198
	Apêndice A.3 – Calibração da bomba hidráulica e dos LVDT's 0 e 1.....	200
	Apêndice A.4 – Calibração da bomba hidráulica e dos DT's 01-02-05-06.....	202
	Apêndice A.5 – Análise estatística utilizada.....	204

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Esquemática de uma residência em <i>Light Steel Framing</i> (Santiago <i>et al.</i> , 2012).	3
Figura 1.2 - Painel contraventado em “X” e ancorado na fundação (Santiago <i>et al.</i> , 2012). 5	
Figura 1.3 - Resultante das forças laterais e condições de contorno: a) painel de cisalhamento; b) diagrama do esforço cortante; c) diagrama do momento fletor (BREDEL, 2003).	6
Figura 1.4 - Diagrama das forças no painel de cisalhamento e dispositivo <i>hold-down</i> (BREDEL, 2003).	7
Figura 1.5 - Processo de fabricação dos painéis de OSB (Mendes, 2001).	8
Figura 1.6 - Fixação de um parafuso autobrocante e auto-atarraxante (Rodrigues, 2016). ...	9
Figura 1.7 - Pontas do parafuso auto-atarraxante: a) broca; b) agulha (Rodrigues, 2016). ...	9
Figura 1.8 - Cabeças do parafuso auto-atarraxante: a) lentilha; b) sextavada; c) trombeta (Rodrigues, 2016).	9
Figura 1.9 - Ruptura da ligação: a) <i>pull-out</i> ; b) <i>pull-over</i> (Possas, 2015).	10
Figura 2.1 – Configuração de ensaio e gráfico de resultado (Okasha, 2004).	14
Figura 2.2 – Configuração de ensaio (Thomas, 2004).	15
Figura 2.3 – Ensaio de flexão: a) longitudinal; b) transversal; c) vertical (Dias, 2004).	16
Figura 2.4 – Ensaio de cisalhamento (Dias, 2004).	16
Figura 2.5 – Configuração de ensaio para determinação do módulo G (Boudreault, 2005).	17
Figura 2.6 – Configuração de ensaio (Fiorino <i>et al.</i> , 2007).	18
Figura 2.7 – Configuração de ensaio (Vieira e Schafer, 2009).	20
Figura 2.8 – Ensaio de flexão (Bastos, 2009).	21
Figura 2.9 – Ensaio de cisalhamento por compressão (Bastos, 2009).	21
Figura 2.10 – Ensaio de cisalhamento por tração (Bastos, 2009).	21
Figura 2.11 – Configuração de ensaio e gráfico de resultado (Peterman <i>et al.</i> , 2014).	22
Figura 2.12 – Ensaio de cisalhamento (Alldritt <i>et al.</i> - ASCE, 2014).	23
Figura 2.13 – Ensaio de cisalhamento (Iuorio <i>et al.</i> , 2014).	24
Figura 2.14 – Modo de ensaio (Iuorio <i>et al.</i> , 2014).	25
Figura 2.15 – Modo de ensaio e gráfico de resultados (Ye <i>et al.</i> , 2016).	26

Figura 2.16 – Corpos de prova para ensaios de determinação dos módulos G e E: a) fibras paralelas ao comprimento; b) fibras perpendiculares ao comprimento; c) fibras com um ângulo de 45° em relação ao comprimento (Plenzler <i>et al.</i> , 2017).....	27
Figura 3.1 – Desenho esquemático do modelo M1.	29
Figura 3.2 – Desenho esquemático do modelo M2.	29
Figura 3.3 – Desenho esquemático frontal do modelo M1.	29
Figura 3.4 – Máquina de carregamento.	30
Figura 3.5 – DT01 posicionado para os ensaios.....	31
Figura 3.6 – Sistema de aquisição de dados e laptop com mouse.....	31
Figura 3.7 – Bancada de monitoramento e abertura do Tesc 3.04.	32
Figura 3.8 – Célula de aplicação da força.	34
Figura 3.9 – Modelo M1 S1-A-L-H CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	34
Figura 3.10 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S1 (modelo M1 S1-A-L-H CP1).	35
Figura 3.11 – Modelo M1 S2-A-T-H CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	35
Figura 3.12 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S2 (modelo M1 S2-A-T-H CP1).	36
Figura 3.13 – Modelo M1 S3-B-L-H CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	36
Figura 3.14 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S3 (modelo M1 S3-B-L-H CP1).	37
Figura 3.15 – Modelo M1 S4-B-T-H CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	37
Figura 3.16 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S4 (modelo M1 S4-B-T-H CP1).	38
Figura 3.17 – Impedimento da rotação na base do apoio e estabilidade do CP para o ensaio.	39
Figura 3.18 – Célula de aplicação da força.	40
Figura 3.19 – Modelo M2 S5-A-L-V CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	40
Figura 3.20 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S5 (modelo M2 S5-A-L-V CP1).	41
Figura 3.21 – Modelo M2 S6-A-T-V CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	41
Figura 3.22 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S6 (modelo M2 S6-A-T-V CP1).	42
Figura 3.23 – Modelo M2 S7-B-L-V CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	42
Figura 3.24 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S7 (modelo M2 S7-B-L-V CP1).	43

Figura 3.25 – Modelo M2 S8-B-T-V CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	43
Figura 3.26 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S8 (modelo M2 S8-B-T-V CP1).	44
Figura 3.27 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S1 (modelo M1-S1-A-L-H).	46
Figura 3.28 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S2 (modelo M1-S2-A-T-H).	47
Figura 3.29 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S3 (modelo M1-S3-B-L-H).	49
Figura 3.30 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S4 (modelo M1-S4-B-T-H).	51
Figura 3.31 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S5 (modelo M2-S5-A-L-V).	53
Figura 3.32 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S6 (modelo M2-S6-A-T-V).	55
Figura 3.33 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S7 (modelo M2-S7-B-L-V).	57
Figura 3.34 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S8 (modelo M2-S8-B-T-V).	58
Figura 4.1 – Adesivo e sua aplicação no corpo de prova de OSB.	63
Figura 4.2 – V-1 Grauth e sua aplicação para os ensaios de cisalhamento direto de OSB.	64
Figura 4.3 – Composição do CP com corpo de prova de rocha.	65
Figura 4.4 – Faixa de 5 mm ao longo da parte central do corpo de prova de OSB.	66
Figura 4.5 – Disposição dos corpos de prova para secagem do adesivo.	66
Figura 4.6 – Argamassadeira, concha e espátula com colher de pedreiro e bandeja.	67
Figura 4.7 – Molde de PVC com as guias.	67
Figura 4.8 – Lubrificação do molde e da guia.	67
Figura 4.9 – Processo de fabricação dos corpos de prova.	69
Figura 4.10 – Quadro de cisalhamento.	70
Figura 4.11 – LVDT's posicionados.	70
Figura 4.12 – Spider8 600 Hz.	71
Figura 4.13 – <i>Catman</i> aberto no computador.	71
Figura 4.14 – Bombas Hidráulicas de ação manual de forças cisalhante e vertical.	72
Figura 4.15 – Anel dinamométrico com cilindro hidráulico.	72

Figura 4.16 – Posicionamento do CP no quadro de cisalhamento.	73
Figura 4.17 – Série S1-1-A-L-T CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	77
Figura 4.18 – Gráfico força versus deslocamento da Série S1 do Modelo 1 (Série S1-1-A-L-T CP1).	77
Figura 4.19 – Série S1-2-A-T-L CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	78
Figura 4.20 – Gráfico força versus deslocamento da Série S1 do modelo 1 (Série S1-2-A-T-L CP1).	78
Figura 4.21 – Série S1-3-A-L-E CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	79
Figura 4.22 – Gráfico força versus deslocamento da Série S1 do Modelo 1 (Série S1-3-A-L-E CP1).	79
Figura 4.23 – Série S2-1-B-L-T CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	80
Figura 4.24 – Gráfico força versus deslocamento da Série S2 do Modelo 1 (Série S2-1-B-L-T CP1).	81
Figura 4.25 – Série S2-2-B-T-L CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	82
Figura 4.26 – Gráfico força versus deslocamento da Série S2 do Modelo 1 (Série S2-2-B-T-L CP1).	82
Figura 4.27 – Série S2-3-B-L-E CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	83
Figura 4.28 – Gráfico força versus deslocamento da Série S2 do Modelo 3 (Série S2-3-B-L-E CP1).	83
Figura 4.29 – Gráfico força versus deslocamento do modelo 1 da Série S1 (S1-1-A-L-T).	85
Figura 4.30 – Gráfico força versus deslocamento do modelo 2 da série S1 (S1-2-A-T-L).	87
Figura 4.31 – Gráfico força versus deslocamento do modelo 3 da Série S3 (S1-3-A-L-E).	89
Figura 4.32 – Gráfico força versus deslocamento do modelo 1 da série S2 (S2-1-B-L-T).	90
Figura 4.33 – Gráfico força versus deslocamento do modelo 2 da série S2 (S2-2-B-T-L).	92
Figura 4.34 – Gráfico força versus deslocamento do modelo 3 da série S2 (S2-3-B-L-E).	94
Figura 5.1 – Modelo M1 com espaçamento axial de 150 mm entre os parafusos.	100
Figura 5.2 – Modelo M2 com espaçamento axial de 150 mm entre os parafusos.	100
Figura 5.3 – Modelo M3 com espaçamento axial de 150 mm entre os parafusos.	101
Figura 5.4 – Painéis de OSB cortadas e suporte fabricado para ensaio do modelo M3: a) modelo M1; b) modelo M2; c) modelo M3; d) suporte.	102
Figura 5.5 – Detalhe de fabricação: a) modelo M1; b) modelo M2; c) modelo M3; d) modelos.	103
Figura 5.6 – Pórtico de reação, equipamentos e instrumentação durante ensaio de um dos CP's do modelo M3.	104

Figura 5.7 – DT's usados nos ensaios.	104
Figura 5.8 – Spider8 600 Hz e laptop com mouse.....	105
Figura 5.9 – Tela do <i>software Catman</i> preparado para iniciar o ensaio.....	105
Figura 5.10 – Anel dinamométrico.....	106
Figura 5.11 – Bomba hidráulica manual.	106
Figura 5.12 – CP do modelo M1 preparado para ser ensaiado.....	110
Figura 5.13 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S1 (modelo M1 S1-M2-A-0,80-140-400-150 CP1).	111
Figura 5.14 – Modelo M1 S1-M2-A-0,80-140-400-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	111
Figura 5.15 – Modelo M1 S2-M2-A-0,80-140-400-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	112
Figura 5.16 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S2 (modelo M1 S2-M2-A-0,80-140-400-300 CP1).	112
Figura 5.17 – Modelo M1 S3-M2-A-0,95-140-400-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	113
Figura 5.18 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S3 (modelo M1 S3-M2-A-0,95-140-400-150 CP1).	113
Figura 5.19 – Modelo M1 S4-M2-A-0,95-140-400-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	114
Figura 5.20 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S4 (modelo M1 S4-M2-A-0,95-140-400-300 CP1).	114
Figura 5.21 – Modelo M1 S7-M2-B-0,80-140-400-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	115
Figura 5.22 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S7 (modelo M1 S7-M2-B-0,80-140-400-150 CP1).	115
Figura 5.23 – Modelo M1 S8-M2-B-0,80-140-400-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	116
Figura 5.24 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S8 (modelo M1 S8-M2-B-0,80-140-400-300 CP1).	116
Figura 5.25 – Modelo M1 S9-M2-B-0,95-140-400-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	117
Figura 5.26 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S9 (modelo M1 S9-M2-B-0,95-140-400-150 CP1).	117

Figura 5.27 – Modelo M1 S10-M2-B-0,95-140-400-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	118
Figura 5.28 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S10 (modelo M1 S10-M2-B-0,95-140-400-300 CP1).	118
Figura 5.29 – CP do modelo M2 preparado para ser ensaiado.....	120
Figura 5.30 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S1 (modelo M2 S1-M1-A-0,80-140-150 CP1).	121
Figura 5.31 – Modelo M2 S1-M1-A-0,80-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	121
Figura 5.32 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S2 (modelo M2 S2-M1-A-0,80-140-300 CP1).	122
Figura 5.33 – Modelo M2 S2-M1-A-0,80-140-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	122
Figura 5.34 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S3 (modelo M2 S3-M1-A-0,95-140-150 CP1).	123
Figura 5.35 – Modelo M2 S3-M1-A-0,95-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	123
Figura 5.36 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S4 (modelo M2 S4-M1-A-0,95-140-300 CP1).	124
Figura 5.37 – Modelo M2 S4-M1-A-0,95-140-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	124
Figura 5.38 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S7 (modelo M2 S7-M1-B-0,80-140-150 CP1).....	125
Figura 5.39 – Modelo M2 S7-M1-B-0,80-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.....	125
Figura 5.40 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S8 (modelo M2 S8-M1-B-0,80-140-300 CP1).....	126
Figura 5.41 – Modelo M2 S8-M1-B-0,80-140-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.....	126
Figura 5.42 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S9 (modelo M2 S9-M1-B-0,95-140-150 CP1).....	127
Figura 5.43 – Modelo M2 S9-M1-B-0,95-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.....	127
Figura 5.44 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S10 (modelo M2 S10-M1-B-0,95-140-300 CP1).....	128
Figura 5.45 – Modelo M2 S10-M1-B-0,95-140-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.....	128
Figura 5.46 – Componentes da haste cilíndrica: a) base; b) topo; c) corpo.	129
Figura 5.47 – CP do modelo M3 preparado para ser ensaiado.....	130
Figura 5.48 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S1 (modelo M3 S1-M1-A-0,80-140-150 CP1).	131
Figura 5.49 – Modelo M3 S1-M1-A-0,80-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	131

Figura 5.50 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S2 (modelo M3 S2-M1-A-0,80-140-300 CP1).	132
Figura 5.51 – Modelo M3 S2-M1-A-0,80-140-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	132
Figura 5.52 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S3 (modelo M3 S3-M1-A-0,95-140-150 CP1).	133
Figura 5.53 – Modelo M3 S3-M1-A-0,95-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	133
Figura 5.54 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S4 (modelo M3 S4-M1-A-0,95-140-300 CP1).	134
Figura 5.55 – Modelo M3 S4-M1-A-0,95-140-300 CP1, antes e depois do ensaio.	134
Figura 5.56 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S7 (modelo M3 S7-M1-B-0,80-140-150 CP1).	135
Figura 5.57 – Modelo M3 S7-M1-B-0,80-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	135
Figura 5.58 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP2 do modelo M3 da série S8 (modelo M3 S8-M1-B-0,80-140-300 CP2).	136
Figura 5.59 – Modelo M3 S8-M1-B-0,80-140-300 CP2: a) antes e b) depois do ensaio.	136
Figura 5.60 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S9 (modelo M3 S9-M1-B-0,95-140-150 CP1).	137
Figura 5.61 – Modelo M3 S9-M1-B-0,95-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	137
Figura 5.62 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S10 (modelo M3 S10-M1-B-0,95-140-300 CP1).	138
Figura 5.63 – Modelo M3 S10-M1-B-0,95-140-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.	138
Figura 5.64 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S1 (modelo M1 S1-M2-A-0,80-140-400-150).	140
Figura 5.65 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S2 (modelo M1 S2-M2-A-0,80-140-400-300).	141
Figura 5.66 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S3 (modelo M1 S3-M2-A-0,95-140-400-150).	142
Figura 5.67 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S4 (modelo M1 S4-M2-A-0,95-140-400-300).	144
Figura 5.68 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S7 (modelo M1 S7-M2-B-0,80-140-400-150).	145
Figura 5.69 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S8 (modelo M1 S8-M2-B-0,80-140-400-300).	146

Figura 5.70 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S9 (modelo M1 S9-M2-B-0,95-140-400-150).....	148
Figura 5.71 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S10 (modelo M1 S10-M2-B-0,95-140-400-300).....	149
Figura 5.72 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S1 (modelo M2 S1-M1-A-0,80-140-150).....	151
Figura 5.73 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S2 (modelo M2 S2-M1-A-0,80-140-300).....	152
Figura 5.74 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S3 (modelo M2 S3-M1-A-0,95-140-150).....	154
Figura 5.75 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S4 (modelo M2 S4-M1-A-0,95-140-300).....	155
Figura 5.76 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S7 (modelo M2 S7-M1-B-0,80-140-150).....	157
Figura 5.77 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S8 (modelo M2 S8-M1-B-0,80-140-300).....	158
Figura 5.78 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S9 (modelo M2 S9-M1-B-0,95-140-150).....	159
Figura 5.79 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S10 (modelo M2 S10-M1-B-0,95-140-300).....	161
Figura 5.80 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S1 (modelo M3 S1-M1-A-0,80-140-150).....	162
Figura 5.81 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S2 (modelo M3 S2-M1-A-0,80-140-300).....	164
Figura 5.82 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S3 (modelo M3 S3-M1-A-0,95-140-150).....	165
Figura 5.83 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S4 (modelo M3 S4-M1-A-0,95-140-300).....	166
Figura 5.84 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S7 (modelo M3 S7-M1-B-0,80-140-150).....	168
Figura 5.85 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S8 (modelo M3 S8-M1-B-0,80-140-300).....	169
Figura 5.86 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S9 (modelo M3 S9-M1-B-0,95-140-150).....	170

Figura 5.87 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S10 (modelo M3 S10-M1-B-0,95-140-300).	171
---	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Designações e aplicações dos perfis de aço formados a frio para o LSF (ABNT NBR 15253:2014).	4
Tabela 1.2: Dimensões nominais usuais dos perfis de aço para o LSF (ABNT NBR 15253:2014).....	4
Tabela 1.3 - Dimensões dos parafusos auto-atarraxantes estruturais (Rodrigues, 2016).	10
Tabela 3.1 – Parâmetros relativos aos corpos de prova do modelo M1 ensaiado.	34
Tabela 3.2 – Parâmetros relativos aos corpos de prova do modelo M2 ensaiado.	39
Tabela 3.3 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S1-A-L-H. .	45
Tabela 3.4 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S2-A-T-H. .	46
Tabela 3.5 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S3-B-L-H. .	48
Tabela 3.6 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S4-B-T-H. .	50
Tabela 3.7 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S5-A-L-V. .	52
Tabela 3.8 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S6-A-T-V. .	54
Tabela 3.9 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S7-B-L-V. .	56
Tabela 3.10 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S8-B-T-V. .	57
Tabela 3.11 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova - Flexão (valores médios).	59
Tabela 4. 1 – Parâmetros relativos aos corpos de prova da série S1 ensaiada.	76
Tabela 4. 2 – Parâmetros relativos aos corpos de prova da série S2 ensaiada.	80
Tabela 4. 3 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo 1 (S1-1-A-L-T).	84
Tabela 4. 4 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo 2 (S1-2-A-T-L).	86
Tabela 4. 5 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo 3 (S1-3-A-L-E).	88
Tabela 4. 6 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo 1 (S2-1-B-L-T).	89

Tabela 4. 7 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo 2 (S2-2-B-T-L).	91
Tabela 4. 8 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo 3 (S2-3-B-L-E).	93
Tabela 4. 9 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova - Cisalhamento (valores médios).	94
Tabela 5. 1 – Parâmetros relativos aos corpos de prova do modelo M1 ensaiado (montantes de borda).	109
Tabela 5. 2 – Parâmetros relativos aos corpos de prova do modelo M2 ensaiado (montante intermediário).	119
Tabela 5. 3 – Parâmetros relativos aos corpos de prova do modelo M3 ensaiado (montante de borda).	129
Tabela 5. 4 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S1-M2-A-0,80-140-400-150.	139
Tabela 5. 5 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S2-M2-A-0,80-140-400-300.	141
Tabela 5. 6 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S3-M2-A-0,95-140-400-150.	142
Tabela 5. 7 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S4-M2-A-0,95-140-400-300.	143
Tabela 5. 8 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S7-M2-B-0,80-140-400-150.	144
Tabela 5. 9 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S8-M2-B-0,80-140-400-300.	146
Tabela 5. 10 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S9-M2-B-0,95-140-400-150.	147
Tabela 5. 11 – Resultados relativos ao ensaio dos CP's do modelo M1 S10-M2-B-0,95-140-400-300.	149
Tabela 5. 12 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S1-M1-A-0,80-140-150.	150
Tabela 5. 13 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S2-M1-A-0,80-140-300.	152

Tabela 5. 14 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S3-M1-A-0,95-140-150.....	153
Tabela 5. 15 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S4-M1-A-0,95-140-300.....	155
Tabela 5. 16 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S7-M1-B-0,80-140-150.....	156
Tabela 5. 17 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S8-M1-B-0,80-140-300.....	158
Tabela 5. 18 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S9-M1-B-0,95-140-150.....	159
Tabela 5. 19 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S10-M1-B-0,95-140-300.....	160
Tabela 5. 20 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S1-M1-A-0,80-140-150.	162
Tabela 5. 21 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S2-M1-A-0,80-140-300.	163
Tabela 5. 22 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S3-M1-A-0,95-140-150.	164
Tabela 5. 23 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S4-M1-A-0,95-140-300.	166
Tabela 5. 24 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S7-M1-B-0,80-140-150.	167
Tabela 5. 25 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S8-M1-B-0,80-140-300.	169
Tabela 5. 26 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S9-M1-B-0,95-140-150.	170
Tabela 5. 27 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S10-M1-B-0,95-140-300.	171
Tabela 5. 28 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova – Cisalhamento (<i>Push-Test</i>) (valores médios).	172
 Tabela 6. 1 – Comparação entre os resultados (valores máximos ou valores médios*).	 185

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Energia dissipada pela ligação

A_p – Modo de carregamento

b_w – dimensão da alma do perfil de aço

C_v – Coeficiente de Variação

DP – Desvio Padrão

d_b – Distância da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos

e_m – Espaçamento axial entre os montantes

e_p – Espaçamento axial entre os parafusos

E – Módulo de elasticidade longitudinal

h – Espaçamento entre os engastes

H – Altura do painel

I – Momento de inércia

G – Módulo de elasticidade transversal

k_e – Rigidez elástica da ligação

k_y – Rigidez inicial de escoamento da ligação

L – Comprimento do painel

L_c – Comprimento da área cisalhada

L_f – Distância entre os apoios (vão)

N – Velocidade de carregamento dos corpos de prova à flexão

P – Força horizontal cisalhante do painel de OSB

$P_{a.m.}$ – Força vertical média

P_{ar} – Paralelo às tiras de madeira superficiais do painel de OSB

P_e – Força correspondente à rigidez elástica da ligação

P_{er} – Perpendicular às tiras de madeira superficiais do painel de OSB

$P_{máx}$ – Força máxima por ligação

$P_{r.máx}$ – Força resultante máxima

P_u – Força de ruptura da ligação

P_t – Força máxima do corpo de prova

P_y – Força inicial de escoamento da ligação

Q_{cp} – Quantidade de corpos de prova

Q_p – Quantidade de parafusos

S_b – Módulo ou tensão de ruptura

t_c – Largura da área cisalhada

t_n – Espessura nominal do perfil de aço

t_{OSB} – Espessura nominal do painel de OSB

U_e – U enrijecido

V – Força horizontal cisalhante

$var(x)$ – variância

x_m – média

z – Taxa de deformação das tiras de madeira

P/Δ – Inclinação da curva Força versus Deslocamento

Letras Gregas

α – Ângulo entre a fita e a guia

μ – Ductilidade da ligação

δ_e – Deslocamento correspondente à rigidez elástica da ligação

δ_u – Deslocamento correspondente à força de ruptura da ligação

δ_y – Deslocamento correspondente à força de escoamento inicial da ligação

Δ_e – Deslocamento correspondente à rigidez elástica do painel de OSB

Δ_u – Deslocamento correspondente à força de ruptura do painel de OSB

τ – Tensão horizontal cisalhante do painel de OSB

γ – Deformação tangencial

ν – Coeficiente de Poisson

σ_R – Tensão de ruptura

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AISC – *American Institute of Steel Construction*
- AISI – *American Iron and Steel Institute*
- ANS – *American National Standards*
- ANSI – *American National Standards Institute*
- ASCE – *American Society of Civil Engineers*
- 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*
- DIN – *Deutsches Institut für Normung – Instituto Alemão de Normalização*
- DT – *Displacement Transducer*
- ECCS – *European Convention for Constructional Steelwork*
- EEEP – *Equivalent Energy Elastic-Plastic*
- EN – European Committee Standardization – European Standard
- Eurocode* – Comitê Europeu de Normatização
- FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
- HBM – *Hotting Baldwin Measurements*
- LP – *Louisiana Pacific*
- LSF – *Light Steel Framing*
- LVDT – *Linear Variable Differential Transformer*
- MDI – *Methylene Diphenyl Diisocyanate* - Difenilmetano Diisocianato
- NBR – Norma Brasileira
- OSB – *Oriented Strand Board*
- PFF – Perfis Formados a Frio

1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Ainda pouco divulgado e conhecido no Brasil, o sistema *Light Steel Framing* (LSF) surgiu nos Estados Unidos. Estima-se que, entre 1810 e 1860, a população dos Estados Unidos multiplicou-se por dez, com a chegada da migração à costa do Oceano Pacífico, causando uma alta demanda, principalmente de habitações, em um curto espaço de tempo. Para atender a esta demanda, buscou-se recorrer a um sistema rápido, produtivo e prático dos conceitos herdados da revolução industrial usando os materiais locais. Devido às grandes reservas florestais dessa época, surgiu o sistema construtivo denominado *Wood Framing* pelo emprego de madeira como matéria-prima pelos colonizadores ingleses.

Nos anos de 1933, foi lançado na Feira Mundial de Chicago, o primeiro protótipo de uma residência em *Steel Framing* graças ao desenvolvimento da indústria do aço.

Após o término da Segunda Guerra Mundial, a abundância do aço levou os construtores, que já tinham grandes experiências do uso das estruturas em ferro nas divisórias dos grandes edifícios, a passarem a usar os perfis formados a frio (PFF) em divisórias de edificações residenciais acreditando que esses mesmos poderiam substituir inteiramente a então estrutura de madeira nesse tipo de construção. No mesmo período, as primeiras construções em LSF tiveram o seu início no Japão devido às destruições causadas pelos bombardeiros. O governo japonês se preocupava em proteger os recursos florestais e incentivava a construção de estruturas ignífugas.

A proibição da exploração de florestas mais antigas, nos anos de 1980, criou um grandioso impulso do uso dos PFF's. A qualidade da madeira empregada na construção, nesse período, foi declinando e os seus preços sofreram flutuações enormes. O uso dessa matéria-prima na construção tornou-se mais crítico com uma alta de 80%, em quatro meses, do seu preço nos

anos de 1991 levando vários construtores a optarem pelos PFF's.

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. Além disso, em 1994, o bairro *Northridge* da cidade de Los Angeles, do mesmo país, foi atingido por um sismo. Infelizmente, muitas residências construídas pelo sistema *Wood Framing* apresentaram pouca capacidade resistente a esses desastres. Então, necessitou-se reconstruir rapidamente as áreas afetadas, o que intensificou ainda mais o uso do LSF. Sendo pouco estruturado na época, associações de técnicos e construtores foram criadas e passaram a aplicar o LSF profissionalmente.

Durante a reconstrução, observou-se que a substituição das peças de madeira do sistema *Wood Framing* não era tão rápida quanto se estimava. O aço se apresentou como material opcional de inúmeras vantagens construtivas, tais como elevada resistência e ductilidade, ótima relação resistência/peso, canteiro de obras menor, organizado e mais limpo, facilidade de reforço e ampliação incluindo a 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 leves de aço.

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

A construção metálica ainda está em período de grande expansão no mundo e, desde os anos 80, esse mercado de estruturas tem crescido sensivelmente. Nos dias de hoje, esta é uma solução técnica comprovadamente viável, porém ainda pouco empregada no Brasil (Villela, 2015). A primeira obra em LSF, no Brasil, foi realizada pela Construtora Sequência em 1998 com quase todos os seus componentes importados. Hoje em dia, o mercado nacional tem crescido bastante a ponto de estar fabricando seus próprios componentes e elaborando suas próprias normas técnicas para garantir a qualidade do produto. A facilidade de transportar esses componentes está contribuindo para a expansão do sistema nacionalmente.

1.2 Generalidade sobre o Sistema Construtivo *Light Steel Framing*

Existem dois conceitos relativos ao LSF colocados por Rodrigues (2016): *Frame* é o esqueleto estrutural projetado para dar forma e suportar a edificação, sendo composto pelos PFF's; *Framing* é o processo pelo qual se unem e vinculam esses elementos. Pode-se encontrar na bibliografia, em relação às residências construídas com os PFF's, as seguintes expressões: *Light Steel Frame Housing* ou *Residential Cold-Formed Steel Framing*, com o mesmo significado.

O sistema estrutural total de uma edificação (Figura 1.1) pode ser dividido em dois grupos de subsistemas, os verticais e os horizontais, sendo que os horizontais precisam ser suportados pelos verticais. Esses recebem e transmitem, para os verticais, as forças de piso, de cobertura e de todas as forças horizontais através de ação de diafragma dos painéis de cisalhamento (item 1.3) que são denominados internacionalmente de *Shear Wall*. (Rodrigues, 2016).

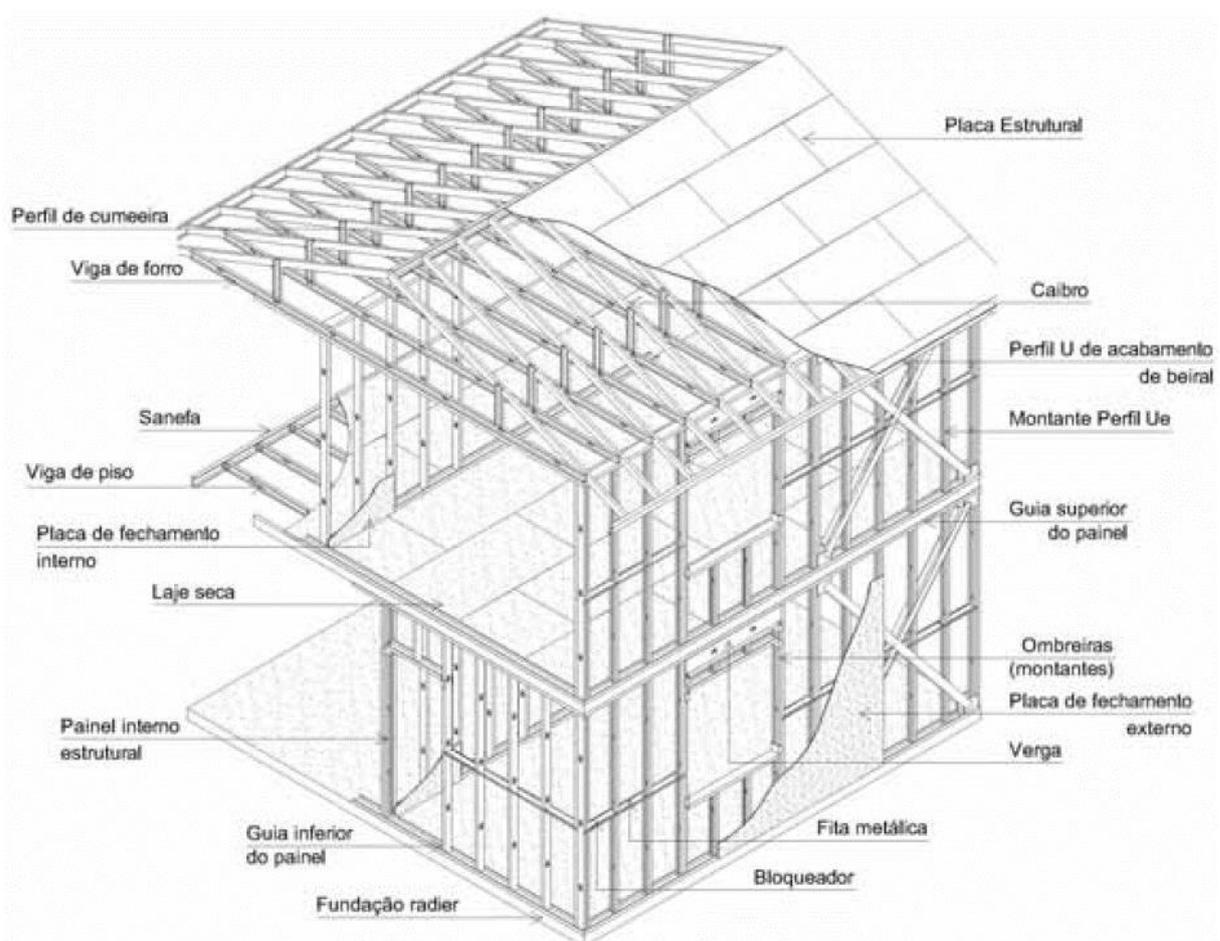


Figura 1.1 – Esquemática de uma residência em *Light Steel Framing* (Santiago *et al.*, 2012).

Os subsistemas verticais são os painéis que compõem paredes com ou sem função estrutural. As paredes com função estrutural têm capacidade de transmitir tanto as forças verticais como as horizontais para a fundação da edificação, enquanto as paredes sem função estrutural não possuem tal capacidade.

A norma brasileira ABNT NBR 15253:2014, além de apresentar as designações dos perfis de aço formados a frio e suas respectivas aplicações (Tabela 1.1), apresenta também suas dimensões nominais usuais para o sistema construtivo *Light Steel Framing* (Tabela 1.2).

Tabela 1.1: Designações e aplicações dos perfis de aço formados a frio para o LSF (ABNT NBR 15253:2014).

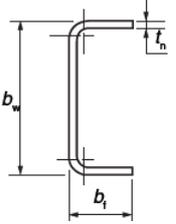
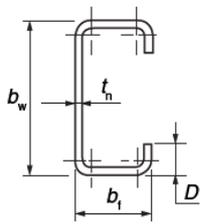
Seção Transversal	Série Designação NBR 6355	Utilização
	<p>U simples</p> <p>$U\ b_w \times b_f \times t_n$</p>	<p>Guia / Ripa / Bloqueador / Sanefa</p>
	<p>U enrijecido</p> <p>$Ue\ b_w \times b_f \times D \times t_n$</p>	<p>Bloqueador / Enrijecedor de alma / Montante / Verga / Viga</p>

Tabela 1.2: Dimensões nominais usuais dos perfis de aço para o LSF (ABNT NBR 15253:2014).

Denominação	Tipo	Largura da Alma "bw" (mm)	Largura da Mesa "bf" (mm)	Largura do Enrijecedor de Borda "D" (mm)
Ue 90	Montante	90	40	12
Ue 140	Montante	140	40	12
Ue 200	Montante	200	40	12
U 90	Guia	92	38	-
U 140	Guia	142	38	-
U 200	Guia	202	38	-

1.3 Generalidades sobre o Pannel de Cisalhamento no Sistema Construtivo *Light Steel Framing*

O uso dos PFF's como material construtivo e estrutural está sendo crescente nas edificações de um a quatro pavimentos, como por exemplo, as habitações de interesse social, por causa do seu menor peso, menor custo relativo e da agilidade na sua execução satisfazendo a tendência de industrialização. Nas edificações com o sistema LSF, os subsistemas como as paredes resistentes aos esforços laterais e são geralmente contraventados por meio de fitas e/ou perfis de aço galvanizado compondo o subsistema denominado de *Shear Wall* ou Pannel de Cisalhamento.

Uma edificação projetada segundo o sistema LSF tem a sua estabilidade global garantida pelo sistema de contraventamento, pois esse possui a função de resistir às forças axial de tração e compressão (quando são empregados perfis U_e com disposição treliçada) ou apenas à força de tração (no caso das fitas de aço). Em seguida, essas forças são transmitidas para a fundação da edificação (na forma de radier, de modo geral).

Optando por usar as fitas de aço galvanizado para compor o sistema de contraventamento, a disposição mais comum é a disposição na forma de “X” (Figura 1.2), porém por questões de projeto arquitetônico, como por exemplo, a necessidade de criar algumas aberturas em certos locais do pannel, pode ser possível o uso de outras disposições como na forma de “K”, “ Λ ” e “ ∇ ”.

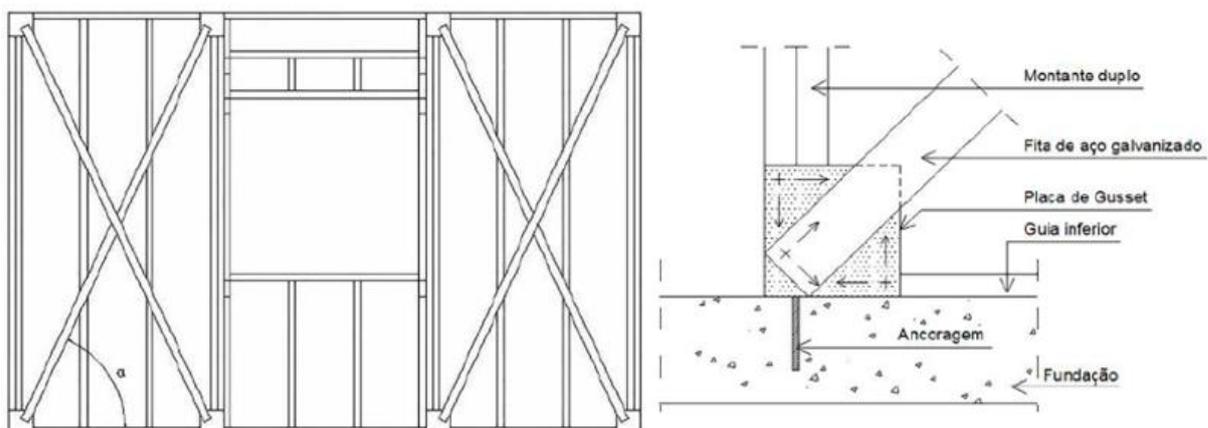


Figura 1.2 - Pannel contraventado em “X” e ancorado na fundação (Santiago *et al.*, 2012).

O ângulo “ α ” entre a fita e as guias do pannel deve estar compreendido entre 30° e 60° para evitar as deformações no pannel (Rodrigues 2016). Quanto menor for esse ângulo, menor será a força de tração transmitida à fita e maior será a probabilidade de ocorrência de deformação

no painel. As fitas são fixadas sobre a chapa de *Gousset* através de parafusos do tipo HEX com cabeça sextavada, cuja saliência impede o assentamento perfeito dos painéis cimentícios ou dos painéis de OSB. A execução de rebaixos nos painéis de revestimentos poderá solucionar esse problema, porém, esse tipo de ajuste não se torna coerente com o LSF tendo em vista a sua particularidade de ser um sistema construtivo racional e rápido.

Para os painéis de cisalhamento, é possível considerar a sua base engastada e o seu topo livre para o apoio da laje (BREDEL, 2003). Assim, esse topo recebe as forças laterais provenientes do diafragma rígido promovido pela laje (Figura 1.3).

A guia superior recebe as forças e as distribuem para os painéis e os montantes através dos parafusos auto-atarraxantes. Em seguida, a guia inferior recebe essas forças e as descarrega na fundação através dos chumbadores de ancoragem (Figura 1.4). Os painéis de cisalhamentos são geralmente ancorados à fundação através de um dispositivo chamado de *hold-down* que é conhecido pela sua capacidade de oferecer maior resistência ao movimento de tombamento do sistema. Esse deve ser instalado nas extremidades de cada painel e é fixado no montante com os parafusos auto-atarraxantes e na fundação com o chumbador.

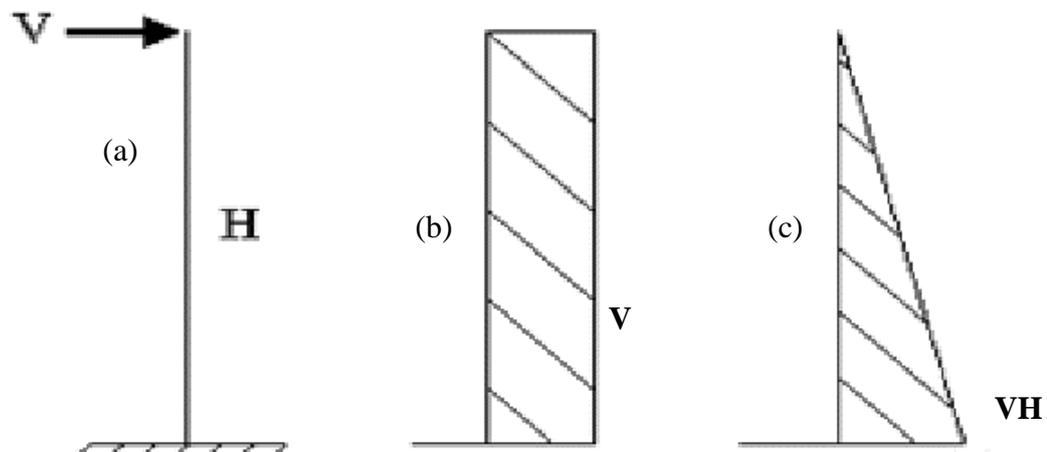


Figura 1.3 - Resultante das forças laterais e condições de contorno: a) painel de cisalhamento; b) diagrama do esforço cortante; c) diagrama do momento fletor (BREDEL, 2003).

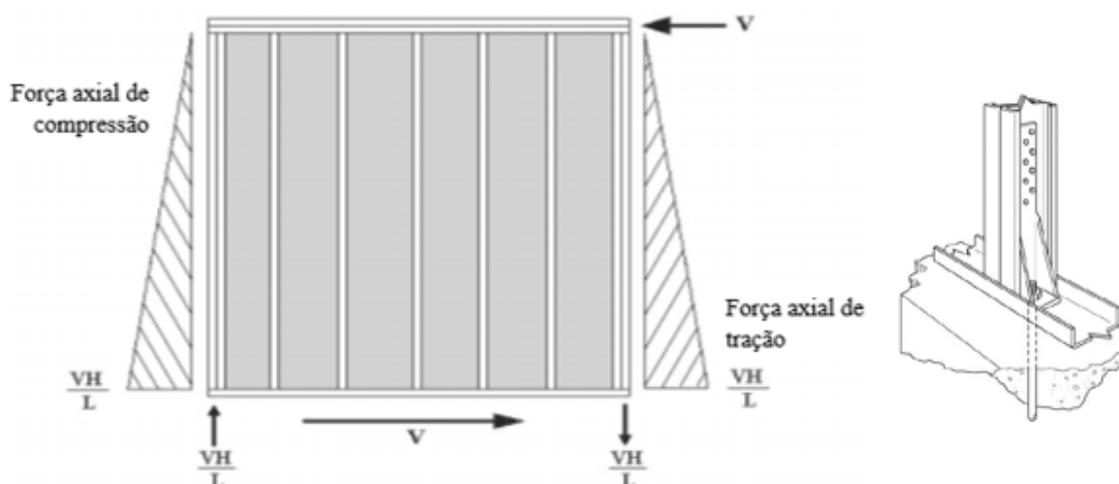


Figura 1.4 - Diagrama das forças no painel de cisalhamento e dispositivo *hold-down* (BREDEL, 2003).

1.4 Generalidade sobre os painéis de OSB

Os painéis de *Oriented Strand Board*, mais conhecidas como painéis de OSB, surgiram no Canadá, na região dos grandes lagos que, é conhecida pela abundância de Aspen e pinus. Seus painéis são de alta tecnologia e perfeitas para as vedações externa e interna, coberturas e lajes do sistema LSF. Sua capacidade estrutural fez com que expandisse o seu uso nos Estados Unidos, onde essas mesmas acabaram ganhando reconhecimento internacional.

Em 2002, os painéis de OSB começaram a ser produzidas com madeira de pinus, sendo que o principal fabricante é a empresa *Louisiana Pacific Building Products* (LP) que iniciou suas atividades no Brasil em novembro de 2008 com *pinus elliottii* ou *taeda*.

Segundo a LP, seus painéis de OSB são constituídas de tiras selecionadas de madeira, parcialmente orientadas e consolidadas por meio de prensagem (pressão de 350 toneladas/m²) a uma temperatura de 250 °C com resina MDI que tem como vantagens: a não emissão de toxinas, melhorando assim a qualidade do ar; e a pouca absorção da umidade evitando a deformação do painel por inchaço, mantendo assim a sua resistência.

Geralmente, as tiras de madeira que compõem os painéis de OSB têm largura de 35 mm e comprimento de 120 mm, sendo dispostas em três camadas independentemente da espessura final dos painéis, tendo nas camadas superficiais tiras de madeira orientadas segundo o eixo longitudinal e tiras orientadas transversalmente na camada intermediária. Os painéis de OSB, considerando suas propriedades mecânicas, se assemelham às da madeira sólida, pois os resíduos de serraria não são empregados na sua produção (Villela, 2015). O método de

fabricação (Figura 1.5) Desses painéis lhes oferece excelentes resultados quanto à resistência à flexão e módulo de elasticidade (Mendes 2001). Os painéis de OSB são fabricadas com madeiras que possuem densidade em torno de 600 a 800 kg/m³, caracterizando assim painéis de densidade média (ANSI/A 280.1/93).

Os painéis do tipo LP OSB *Home Plus* têm uma largura nominal de 1200 mm e comprimento de 2400 mm ou 3000 mm.

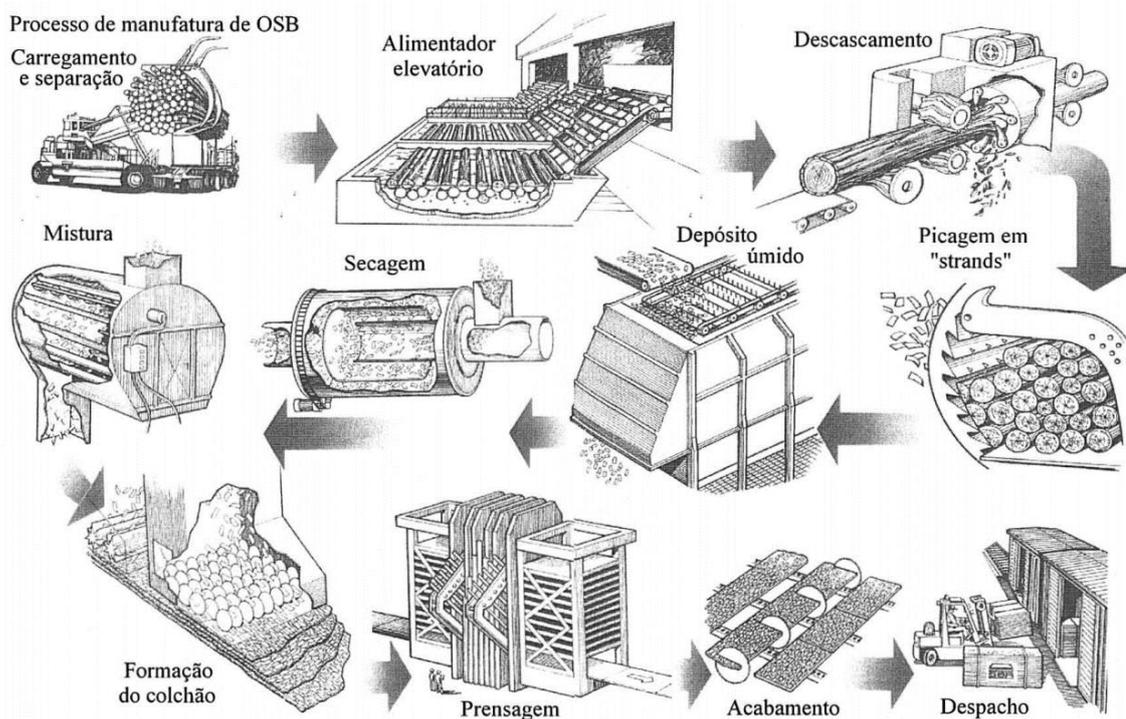


Figura 1.5 - Processo de fabricação dos painéis de OSB (Mendes, 2001).

1.5 Generalidades sobre os Parafusos, os Modos de Ruptura e a Ductilidade das Ligações

No sistema LSF, a fixação mais usual é realizada por meio de parafusos denominados de autobrocantes e auto-atarraxantes (Figura 1.6). Os mais utilizados no sistema LSF são feitos de aço baixo carbono galvanizado e podem ser estruturais ou possuir apenas a função de montagem. Esses meios de ligação possuem dois tipos de pontas e três tipos de cabeça dependendo do tipo de material a ser fixado.

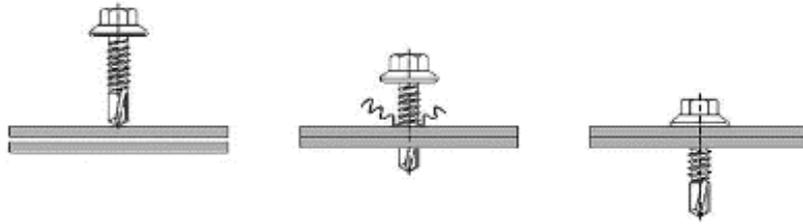


Figura 1.6 - Fixação de um parafuso autobrocante e auto-atarraxante (Rodrigues, 2016).

A ponta broca ou *self-drilling* (autobrocante) é utilizada quando o perfil possuir espessura superior a 0,80 mm e a agulha ou *self-piercing* (auto-perfurante) quando essa é de 0,80 mm (Figura 1.7).

As cabeças tipo lentilha (flangeada) e sextavada (HEX) são empregadas na ligação aço com aço e a cabeça trombeta (chata dentada) na fixação de painéis de fechamento no reticulado metálico (Figura 1.8).

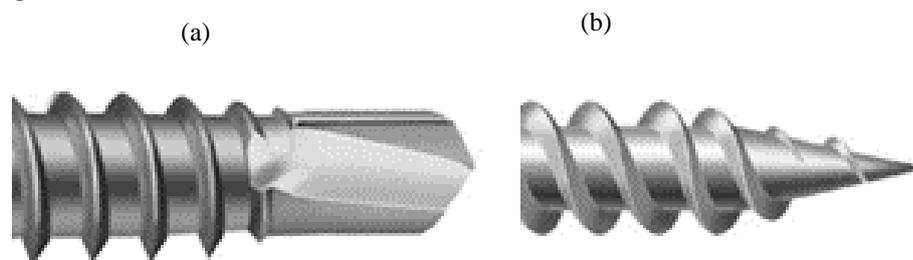


Figura 1.7 - Pontas do parafuso auto-atarraxante: a) broca; b) agulha (Rodrigues, 2016).

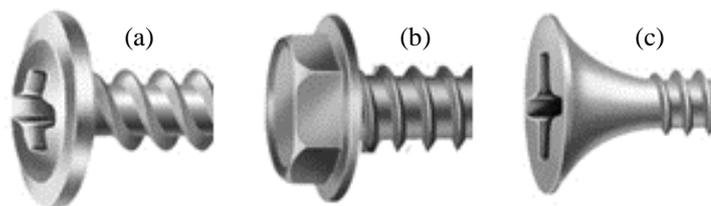


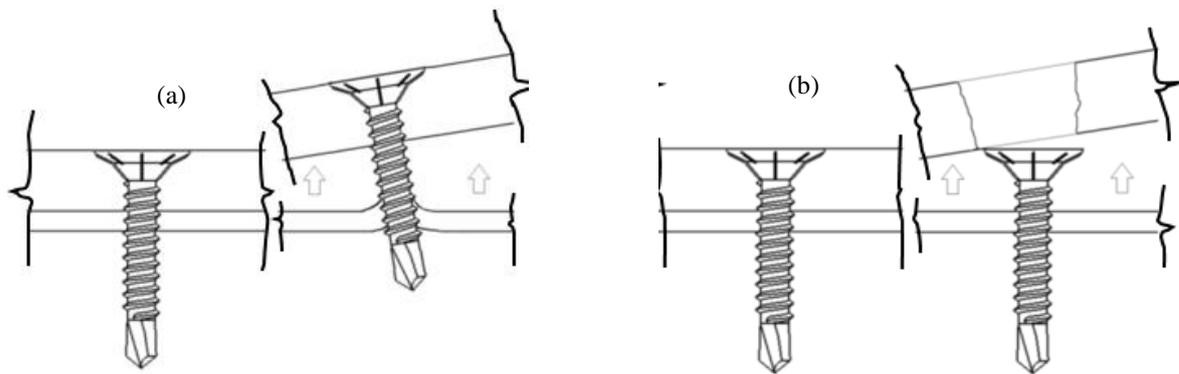
Figura 1.8 - Cabeças do parafuso auto-atarraxante: a) lentilha; b) sextavada; c) trombeta (Rodrigues, 2016).

Os parafusos auto-atarraxantes estruturais mais utilizados no sistema LSF possuem comprimentos variando de 1/2'' a 3''. Esses comprimentos ainda dependem da aplicação, de modo que, ao ser usado na fixação aço com aço, o parafuso possa ultrapassar a última chapa com no mínimo três passos de rosca e em 10 mm no caso de painéis de fechamento e reticulado metálico (Tabela 1.3).

Tabela 1.3 - Dimensões dos parafusos auto-atarraxantes estruturais (Rodrigues, 2016).

Bitola	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)
#8	4,2	12,7 a 25,4
#10	4,8	12,7 a 38,1
#12	5,5	12,7 a 38,1
(1/4)	6,3	-

Durante os ensaios, o arrancamento do painel de OSB junto com o parafuso (*pull-out*) e o puncionamento do painel de OSB (*pull-over*) são os dois principais modos de ruptura observados quando os parafusos auto-atarraxantes estruturais são solicitados ao cisalhamento e à tração (Figura 1.9).

Figura 1.9 - Ruptura da ligação: a) *pull-out*; b) *pull-over* (Possas, 2015).

A ductilidade de um subsistema ou elemento de parede (μ) é caracterizada pela capacidade de esse se deformar sem degradação significativa da sua capacidade de força. Essa ductilidade é geralmente definida como o coeficiente de ductilidade de deslocamento sendo a relação entre os deslocamentos correspondentes à força de ruptura (δ_u) e à força do início de escoamento (δ_y), conforme Equação (1.1).

$$\mu = (\delta_u / \delta_y) > 1 \quad (1.1)$$

1.6 Objetivo

A presente pesquisa tem por objetivo a investigação, de modo teórico e experimental, do comportamento da ligação de um subsistema de parede composto por um reticulado metálico em PFF e os painéis de OSB fabricadas no Brasil, fixadas nesse reticulado por parafusos autobrocantes e auto-atarraxantes tipo trombeta.

Devido ao estudo posterior sobre a possibilidade de uso dos painéis de OSB como elemento de vedação e de contraventamento das paredes no sistema construtivo LSF, é de grande importância caracterizar também as propriedades mecânicas desses painéis.

1.7 Metodologia

Para alcançar o objetivo da presente pesquisa, foram indispensáveis:

- i) a elaboração de uma pesquisa bibliográfica a fim de verificar os ensaios que já foram realizados e os seus respectivos resultados para uma comparação posterior com os ensaios realizados com elementos de composição (perfis de aço, painéis de OSB e parafusos) fabricados no Brasil;
- ii) o estudo de normas estrangeiras com ênfase em recomendações referentes aos parafusos com suas resistências, às painéis de OSB com suas propriedades mecânicas, dentre outras peculiaridades pertinentes ao assunto abordado;
- iii) a análise dos valores de deslocamento e força observados durante os ensaios;
- iv) a determinação dos módulos de elasticidade longitudinal (E) e transversal (G) junto com a tensão máxima de cisalhamento do lote de painéis de OSB usado;
- v) e a determinação dos valores da rigidez, da energia dissipada e da ductilidade da ligação no subsistema de parede.

1.8 Justificativa

O uso do LSF no Brasil está aumentando aos poucos sendo necessária a elaboração de mais pesquisas nesse campo. Atualmente, estuda-se a possibilidade da substituição das fitas e perfis de aço galvanizado, utilizados como elementos usuais de contraventamento, por painéis de OSB, que têm geralmente apenas a função de revestimento, porém são geralmente consideradas como componentes estruturais pelos fabricantes. Tendo em vista a capacidade de os painéis de OSB resistirem aos esforços no seu plano, estas podem ser empregadas como diafragma rígido, atuando como elemento de contraventamento do reticulado metálico no LSF caso isto seja comprovado. Porém, ainda não existem metodologias de dimensionamento e normas nacionais que fazem a regulamentação desses painéis na função de contraventamento. Assim, essa substituição deve ser analisada mais atentamente, procurando quantificar a resistência dos painéis de OSB na função de resistir aos esforços cortantes oriundos da força do vento ou de outras solicitações horizontais (Villela, 2015).

Nesta pesquisa, justifica-se o estudo visando à substituição do contraventamento usual com elementos de aço por painéis de OSB para a constituição dos painéis de cisalhamento, por esta ser uma inovação tecnológica para a construção civil no Brasil e no exterior (Villela, 2015).

Essa inovação poderá reduzir os tempos de produção e de montagem, o consumo de aço e, conseqüentemente, o custo total da construção, podendo incentivar o uso do LSF inclusive no programa de habitações de interesse social do governo brasileiro. Assim, poderá contribuir para a diminuição do déficit habitacional no Brasil, que ainda é significativo e tem que ser resolvido em curto prazo (Villela, 2015).

Visto que não existe norma brasileira para especificação e determinação dos parâmetros de ensaio dos painéis de cisalhamento tendo os painéis de OSB como estrutura de contraventamento, espera-se também que os resultados obtidos nesta pesquisa contribuam e sirvam de base para a elaboração dessa norma.

2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pesquisa Realizada por Mendes (2001)

Mendes (2001) estudou algumas variáveis de processamento na produção de painéis de OSB. Neste estudo, seguindo as prescrições da norma alemã DIN 52362-82 – *Testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength*, também foram realizados ensaios para a determinação da tensão de ruptura (S_b) e do módulo de elasticidade longitudinal (E) à flexão estática com painéis de OSB fabricadas pelo próprio autor, cuja espessura nominal era de 15 mm. Observou-se que na flexão estática, onde a direção das fibras externas das lâminas era perpendicular ao comprimento dos corpos de prova, foi registrado um maior valor médio de S_b igual a 49,13 MPa e de E igual a 4.800,75 MPa. Com a direção das fibras externas das lâminas paralela ao comprimento dos corpos de prova, os maiores valores médios de S_b e E foram respectivamente iguais a 62,37 MPa e 6.769,04 MPa.

2.2 Pesquisa Realizada por Okasha (2004)

Okasha (2004) investigou o desempenho da ligação entre os painéis de revestimento em madeira e o montante enrijecido submetida à força monotônica e à força cíclica. Nesta investigação, seguindo as prescrições da norma ASTM D1037-99, foram caracterizadas os painéis de OSB com 11 mm de espessura nominal pela sua tensão de cisalhamento (τ) e pelo seu módulo de elasticidade transversal (G). Os valores médios obtidos de τ e G foram respectivamente iguais a 9,09 MPa e 925 MPa. Além disto, ele também forneceu as curvas de força versus deslocamento do comportamento das ligações entre o reticulado metálico e o revestimento com painéis de OSB sob força monotônica de tração (Figura 2.1). Os seus ensaios foram feitos com placas com espessuras nominais de 9,5 mm; 11 mm; 12,5 mm e 15,5 mm; parafusos pontas agulha e broca; distâncias da borda dos painéis até o eixo dos parafusos iguais a 6 mm; 9,5 mm; 12,5 mm; 16 mm e 25 mm e perfis metálicos com a resistência ao escoamento (f_y) igual a 230 MPa e o limite de ruptura (f_u) igual a 345 MPa e espessuras nominais iguais a

0,84 mm; 1,11 mm; 1,37 mm e 1,73 mm. Nesta pesquisa, foi observado que os maiores valores médios de P (3.520 N) e de k_e (5.000 N/mm) foram obtidos pelo corpo de prova com a placa de 11 mm, o carregamento paralelo às fibras superficiais do painel, com 25 mm de distância da borda até o eixo do parafuso e com 1,73 mm como espessura nominal do montante; o maior valor médio de μ (23) foi obtido no corpo de prova com a placa de 12,5 mm, o carregamento paralelo às fibras superficiais do painel, com 25 mm de distância da borda até o eixo do parafuso e com 1,11 mm como espessura nominal do montante e o maior valor médio de A (31.900 N.mm) foi obtido no corpo de prova com a placa de 15,5 mm, o carregamento paralelo às fibras superficiais do painel, com 25 mm de distância da borda até o eixo do parafuso e com 1,11 mm como espessura nominal do montante.

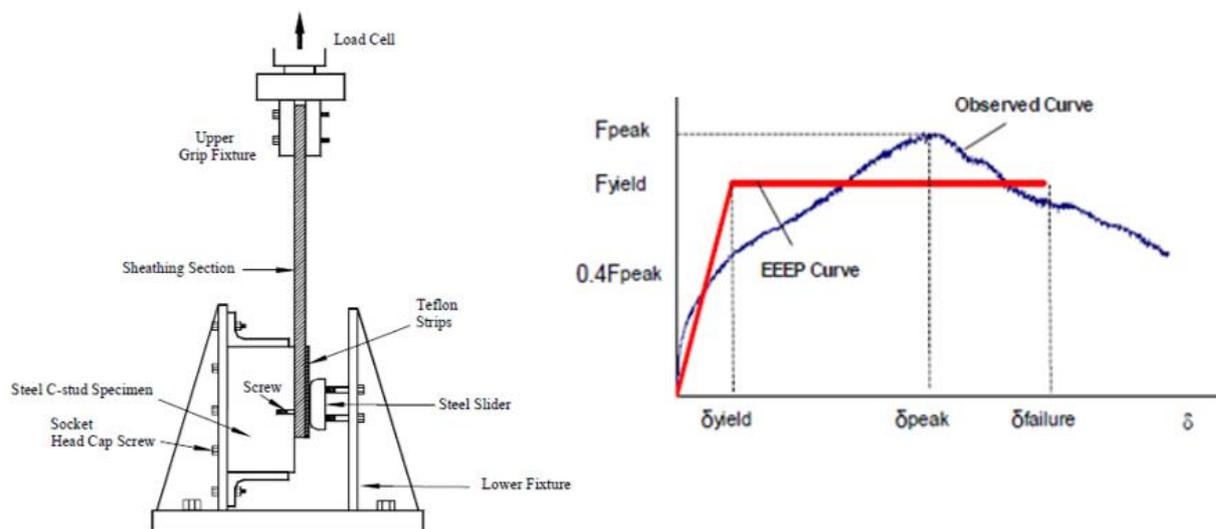


Figura 2.1 – Configuração de ensaio e gráfico de resultado (Okasha, 2004).

2.3 Pesquisa Realizada por Thomas (2004)

Thomas (2004), com corpos de prova extraídos na direção dos eixos longitudinal e transversal dos painéis originais de OSB, realizou ensaios de flexão estática a três pontos, de acordo com as prescrições das normas EN 408-94 e ASTM D198-92, com corpos de prova com 50 mm de largura nominal, 18 mm de espessura nominal e vãos de 100, 125, 150, 200 e 350 mm. Além disto, ele também executou ensaios de cisalhamento direto segundo as prescrições da norma EN 789-92 com corpos de prova cujas dimensões nominais foram de 225 x 100 x 18 mm. Observou que, no eixo transversal, os valores médios dos módulos de elasticidade longitudinal (E) e transversal (G) foram respectivamente iguais a 1.530 MPa e 60,40 MPa. No eixo longitudinal, os valores médios de E e de G foram respectivamente iguais a 3.009,4 MPa e 71,98 MPa (Figura 2.2).

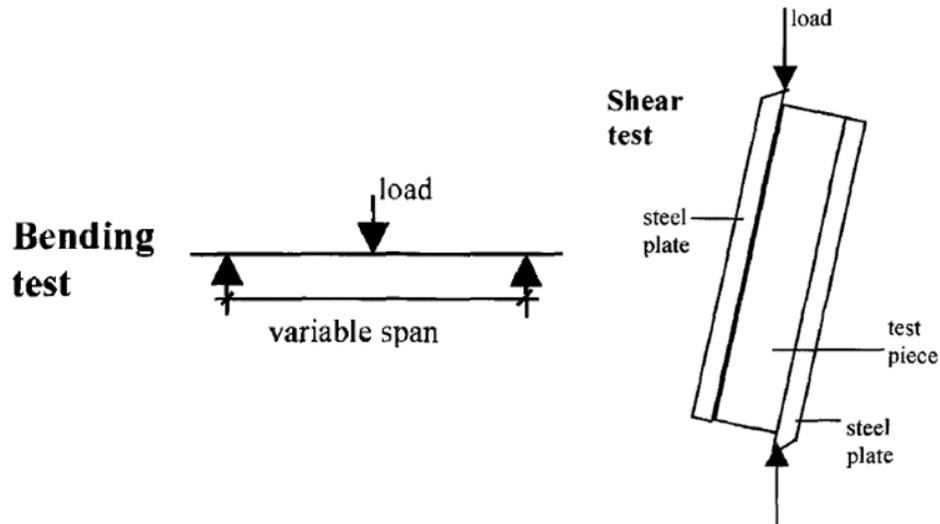


Figura 2.2 – Configuração de ensaio (Thomas, 2004).

2.4 Pesquisa Realizada por Dias *et al.* (2004)

Dias *et al.* (2004) realizaram ensaios de flexão estática a quatro pontos de acordo com as prescrições das normas ASTM D3043-95, método B (Figura 2.3.a e Figura 2.3.b) e ASTM D4761-96, item 6 (Figura 2.3.c) e ao cisalhamento por tração (Figura 2.4) com as prescrições da ASTM D2719-89, método B – corpos de prova de grandes dimensões com painéis de OSB fabricadas no Brasil com 12 e 18 mm de espessuras nominais para determinar suas propriedades mecânicas. Observaram que as propriedades mecânicas dos painéis de OSB com espessura de 18 mm apresentaram valores ligeiramente superiores aos dos painéis de 12 mm, exceto os resultados de resistência à flexão vertical que foram semelhantes. Com os painéis de OSB com 12 mm de espessura nominal, foi registrado um valor médio da rigidez ao cisalhamento ou módulo de elasticidade transversal (G) igual a 1.730,30 MPa; do módulo de elasticidade longitudinal (E) igual a 2.433,70 MPa com corpos de prova extraídos na direção do eixo transversal do painel e ensaiados na posição horizontal (flexão transversal), a 5.463,10 MPa na flexão com corpos de prova extraídos na direção do eixo longitudinal e ensaiados na posição horizontal (flexão longitudinal) e a 4.470,90 com corpos de prova ensaiados na posição vertical (flexão vertical). Com os painéis de OSB com 18 mm de espessura nominal, foi registrado um valor médio de G igual a 1.806 MPa; do E igual a 2.719,40 MPa na flexão transversal, a 5.867 MPa na flexão longitudinal e a 4.841,20 na flexão vertical.

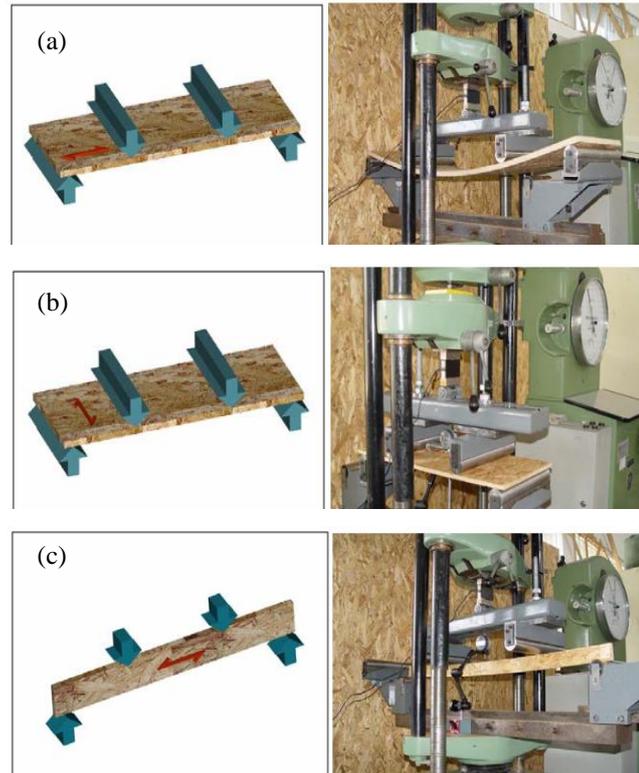


Figura 2.3 – Ensaio de flexão: a) longitudinal; b) transversal; c) vertical (Dias, 2004).

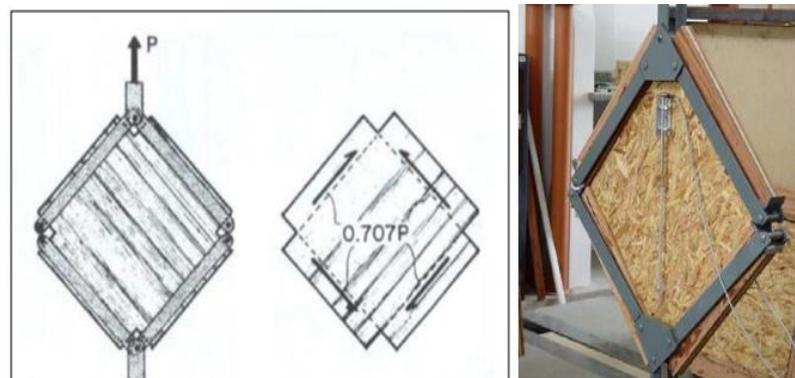


Figura 2.4 – Ensaio de cisalhamento (Dias, 2004).

2.5 Pesquisa Realizada por Boudreault (2005)

Boudreault (2005) realizou análises sísmicas com o reticulado metálico de perfis leves revestido com placas de madeira formando os painéis de cisalhamento. Neste estudo, utilizando a configuração de ensaios prescrita na norma ASTM D1037-99 – seção 130 a 136 (Figura 2.5), foram caracterizadas os painéis de OSB, cujos corpos de prova tinham 254 mm de comprimento nominal, 90 mm de largura nominal e 11,1 mm de espessura nominal, pela sua tensão de cisalhamento (τ) e pelo seu módulo de elasticidade transversal (G). Os valores médios obtidos de τ foram iguais a 9,05 MPa (corpo de prova extraído na direção do eixo longitudinal do painel original) e 9,14 MPa (corpo de prova extraído segundo o eixo transversal do painel original)

enquanto os valores médios de G foram iguais a 473 MPa (CP extraído do eixo longitudinal do painel original) e 530 MPa (corpo de prova extraído do eixo transversal do painel original).

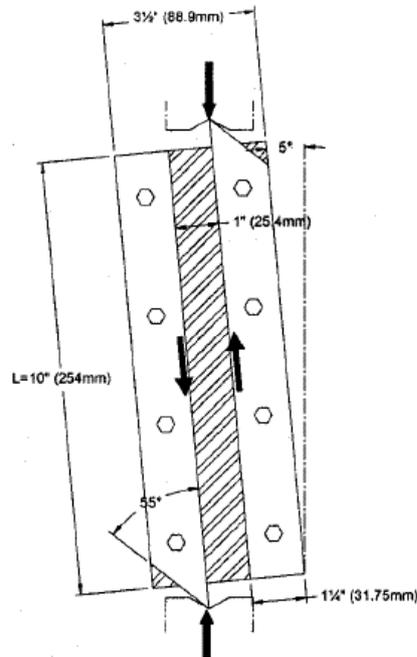


Figura 2.5 – Configuração de ensaio para determinação do módulo G (Boudreault, 2005).

2.6 Pesquisa Realizada por Blais (2006)

Blais (2006) realizou análises com o reticulado metálico de perfis leves revestido com placas de madeira formando os painéis de cisalhamento. Nesta análise, seguindo as prescrições da norma ASTM D1037-99 – seção 130 a 136, foram caracterizadas os painéis de OSB, cujos corpos de prova tinham 254 mm de comprimento nominal, 90 mm de largura nominal e 9 mm de espessura nominal, pela sua tensão de cisalhamento (τ) e pelo seu módulo de elasticidade transversal (G). Os valores médios obtidos para τ e G foram respectivamente iguais a 9,04 MPa e 1.096 MPa.

2.7 Pesquisa Realizada por Fiorino *et al.* (2007)

Fiorino *et al.* (2007) realizaram ensaios experimentais nas ligações com parafuso típico para casas feitas com perfis formados a frio. Durante esses ensaios, também utilizaram parafusos auto-atarraxantes com 4,2 mm de diâmetro e 25 mm de comprimento sendo 150 mm de espaçamento axial entre si, painéis de OSB com 9,5 mm de espessura nominal e o montante de perfil formado a frio com 1 mm de espessura nominal da chapa e 350 MPa de f_y (Figura 2.6). Como parâmetro de ensaio, foram considerados o modo de carregamento (paralelo e

perpendicular às tiras superficiais dos painéis), as distâncias da borda dos painéis até o eixo dos parafusos iguais a 10 mm, 15 mm e 20 mm, as velocidades de carregamento iguais a 0,05 mm/s; 0,5 mm/s; 5 mm/s e 50 mm/s e os tipos de ensaio (tração e compressão). Observaram que o carregamento perpendicular às tiras superficiais dos painéis de OSB registrou baixos valores da rigidez elástica (k_e), da força máxima ($P_{m\acute{a}x}$) e da ductilidade (μ) quando comparado com os resultados obtidos com o carregamento paralelo a essas tiras, enquanto o valor da energia dissipada (A) foi quase o mesmo para ambos os modos de carregamento. Concluíram que quanto maior for a distância da borda do painel até o eixo dos parafusos, maiores serão os valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A sem variação significativa dos valores de μ enquanto os valores de k_e variam sem qualquer tendência clara. O incremento da velocidade de carregamento não exibiu uma influência clara nos valores de k_e , de $P_{m\acute{a}x}$, de μ e de A . Os maiores valores de k_e (2.050 N/mm) e de μ (22,16) foram registrados para o corpo de prova cujo parâmetro era constituído pelo carregamento paralelo às tiras superficiais dos painéis, pela distância de 10 mm da borda dos painéis até o eixo dos parafusos, pelo carregamento monotônico de tração e pela velocidade de carregamento de 0,5 mm/s. A alteração da distância de borda para 15 mm e do tipo de ensaio para a compressão resultou no maior valor para A (14.000 N.mm).

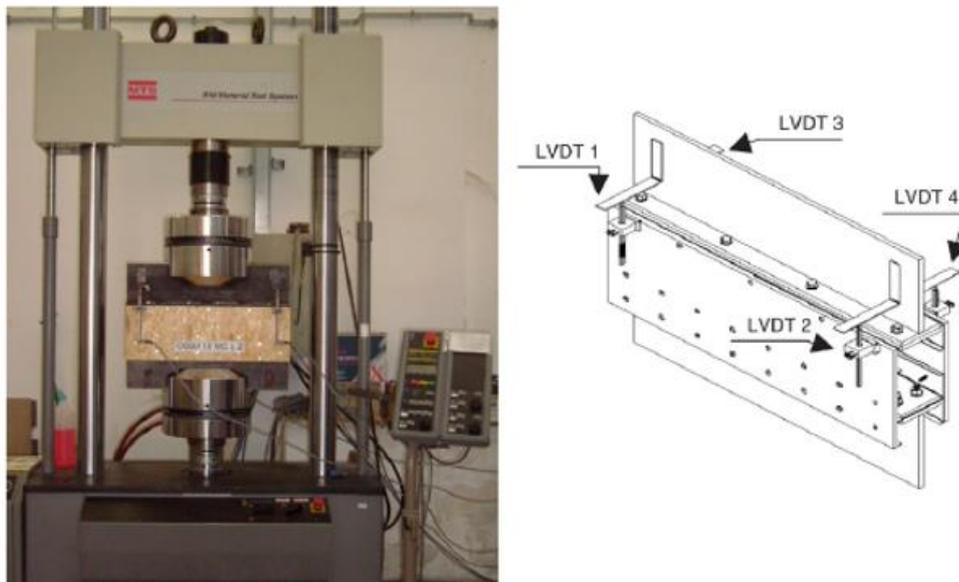


Figura 2.6 – Configuração de ensaio (Fiorino *et al.*, 2007).

2.8 Pesquisa Realizada por Okino *et al.* (2008)

Okino *et al.* (2008) avaliaram a viabilidade técnica de utilização das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e de cipreste (*Cupressus glauca* Lam.) na fabricação de painéis de

OSB. Nesta avaliação, de acordo com os procedimentos da norma ASTM D1037-99 – *Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials*, realizaram ensaios para a determinação da tensão de ruptura (S_b) e do módulo de elasticidade longitudinal (E) à flexão estática com painéis de OSB fabricadas pelos próprios autores com 12 mm de espessura nominal. Observaram que na flexão estática, onde a direção das fibras externas das lâminas era paralela ao comprimento dos corpos de prova, foi registrado um maior valor médio de σ_R igual a 72,50 MPa e de E igual a 9.564 MPa. Com a direção das fibras externas das lâminas perpendicular ao comprimento dos corpos de prova, os maiores valores médios de σ_R e E foram respectivamente iguais a 36,20 MPa e 4.206 MPa.

2.9 Pesquisa Realizada por Vieira e Schafer (2009)

Vieira e Schafer (2009) investigaram a rigidez translacional e a resistência do conjunto montantes-placas de revestimento. Durante essa investigação, também utilizaram painéis de OSB com 11,11 mm de espessura nominal sob carregamento monotônico de tração (Figura 2.7). A distância da borda dos painéis até o eixo dos parafusos era de 152,4 mm enquanto os espaçamentos axiais entre os parafusos foram de 101,6 mm, 304,8 mm e 508 mm com uma distância axial de 609,6 mm entre os montantes. Esses painéis foram mantidas em uma temperatura de 20° C e uma humidade de 65 % durante 7 dias antes dos ensaios e obtiveram um valor médio da rigidez inicial de 1.446,57 N/mm sendo que cada parafuso alcançou uma força aproximadamente de 2.980,31N antes da ruptura da ligação. Observaram que o espaçamento axial entre os parafusos não influenciou o valor da rigidez inicial da ligação, porém influenciou o valor da força máxima.

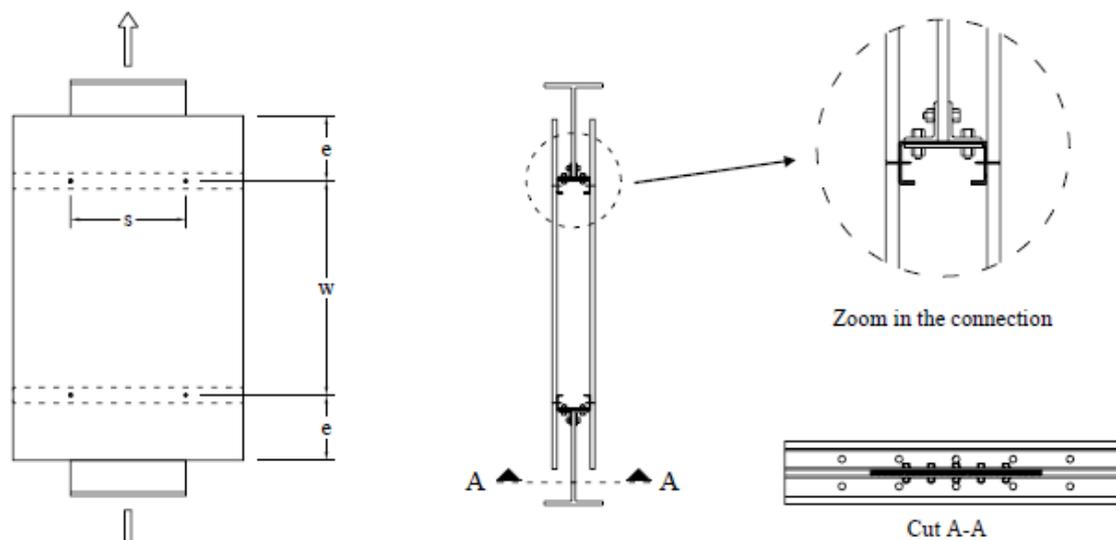


Figura 2.7 – Configuração de ensaio (Vieira e Schafer, 2009).

2.10 Pesquisa Realizada por Bastos (2009)

Bastos (2009) caracterizou física e mecanicamente os painéis de OSB do tipo *Form*. Foram utilizadas painéis de OSB *Form* e OSB *Form* Plastificado, com 17 mm de espessura nominal, para determinar também o módulo de elasticidade longitudinal em flexão de três pontos (Figura 2.8), o módulo (tensão) de ruptura na flexão, a tensão de cisalhamento na compressão (Figura 2.9) e o módulo de rigidez ao cisalhamento por tração (Figura 2.10). Devido à ausência de normas brasileiras, Bastos (2009) adaptou as prescrições experimentais das normas brasileiras para Compensados e Madeiras Aglomerados e, também das normas estrangeiras para os painéis de OSB tais como: a europeia EN-310-93 – *Determination of Modulus of Elasticity in Bending and of Bending Strength* e as americanas ASTM D1037-06A-91 – *Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-base Fiber and Participle Panels* e ASTM D2719-94, método B. Bastos (2009) obteve um valor médio de 5.897,19 MPa com os painéis de OSB *Form* e de 5.597,12 MPa com os painéis de OSB plastificadas para o módulo de elasticidade na flexão; um valor médio de 35,04 MPa com os painéis de OSB *Form* e de 34,39 MPa com os painéis de OSB plastificadas para a tensão de ruptura na flexão; um valor médio de 24,68 MPa com os painéis de OSB *Form* para a tensão de cisalhamento na compressão e um valor médio de 5.938,27 MPa com os painéis de OSB *Form* para o módulo de rigidez ao cisalhamento (módulo de elasticidade transversal) por tração.



Figura 2.8 – Ensaio de flexão (Bastos, 2009).



Figura 2.9 – Ensaio de cisalhamento por compressão (Bastos, 2009).



Figura 2.10 – Ensaio de cisalhamento por tração (Bastos, 2009).

2.11 Pesquisa Realizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2012)

O instituto de pesquisas tecnológicas – IPT (2012) realizou vários tipos de ensaio com um painel de OSB fabricada pela empresa LP, cuja espessura nominal era de 11,1 mm. Seguindo as prescrições da norma europeia EN 310, também foram realizados ensaios para a determinação da tensão de ruptura (S_b) e do módulo de elasticidade longitudinal (E) à flexão estática. Observou que na flexão estática, onde a direção das fibras externas das lâminas era

paralela ao comprimento dos corpos de prova, foi registrado um valor médio de σ_R igual a 38,5 MPa e de E igual a 5.090 MPa. Com a direção das fibras externas das lâminas perpendicular ao comprimento dos corpos de prova, os valores médios de S_b e E foram respectivamente iguais a 22,4 MPa e 2.490 MPa.

2.12 Pesquisa Realizada por Peterman *et al.* (2014)

Peterman *et al.* (2014) realizaram uma série de ensaios para caracterizar o comportamento da ligação entre os montantes de perfis formados a frio e o revestimento quando sujeitos às solicitações laterais. Nesse estudo, também realizaram ensaios sob carregamento monotônico de tração com painéis de OSB com 11,1 mm de espessura nominal, espaçamentos axiais entre os parafusos iguais a 152 mm e 305 mm, distância da borda dos painéis até o eixo dos parafusos igual a 38 mm e chapa do perfis de aço com 0,84 mm; 1,37 mm e 2,46 mm de espessuras nominais. Observaram que os valores da força máxima ($P_{m\acute{a}x}$) e da rigidez (k_e) por ligação são influenciados pela espessura dos perfis. Além disso, observaram que a variação do espaçamento axial entre os parafusos não impactou significativamente o comportamento das ligações. O maior valor médio de $P_{m\acute{a}x}$ (2.201,87 N) foi registrado no corpo de prova composto pelo perfil de 1,37 mm de espessura nominal e 305 mm de espaçamento axial entre os parafusos. O maior valor médio de k_e (2.041,10 N/mm) foi registrado no corpo de prova composto pelo perfil de 2,46 mm de espessura nominal e 152 mm de espaçamento axial entre os parafusos (Figura 2.11).

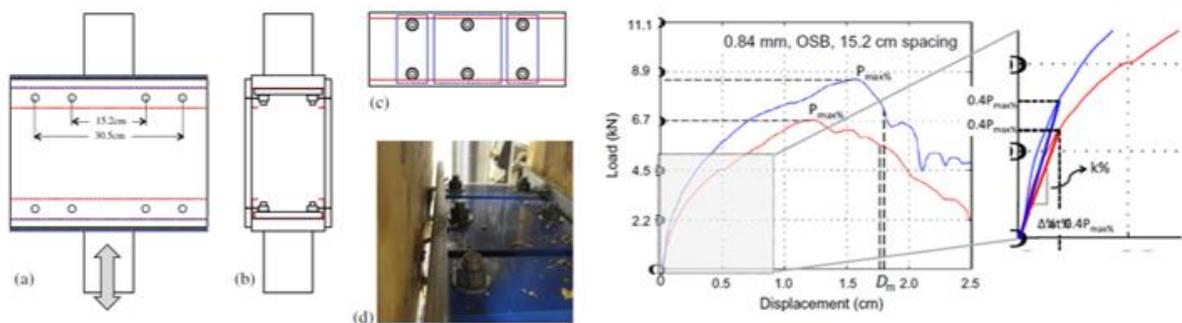


Figura 2.11 – Configuração de ensaio e gráfico de resultado (Peterman *et al.*, 2014).

2.13 Pesquisa Realizada por Alldritt *et al.* - ASCE (2014)

Alldritt *et al.* (2014) projetaram um padrão de orientação das tiras de madeira para aperfeiçoar as características mecânicas dos painéis de OSB. Para isso, realizaram ensaios de flexão estática

a quatro pontos de acordo com as prescrições das normas ASTM D3043-2011, método B e ao cisalhamento de acordo com as prescrições da ASTM D2719-2007, método C (Figura 2.12) em painéis de OSB fabricadas pelos próprios autores com 13,3 mm de espessura nominal. Registraram os maiores valores médios do módulo de elasticidade transversal (G) e da tensão de cisalhamento respectivamente iguais a 1.520 MPa e 9,50 MPa com painéis feitos com tiras orientadas a 0° (vertical – correspondente ao eixo longitudinal do painel); 45° e -45° . Os maiores valores médios do módulo E igual a 9.530 MPa e da tensão de ruptura (S_b) igual a 28,43 MPa foram obtidos com painéis cujas tiras foram orientadas a 0° ; 90° (horizontal – correspondente ao eixo transversal do painel) e 0° .

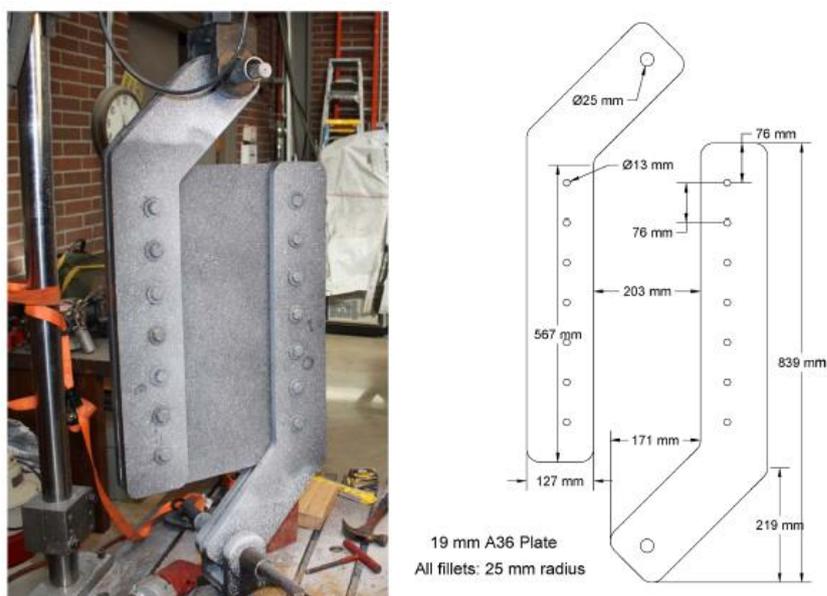


Figura 2.12 – Ensaio de cisalhamento (Alldritt *et al.* - ASCE, 2014).

2.14 Pesquisa Realizada por Iuorio *et al.* (2014)

Iuorio *et al.* (2014) avaliaram a resposta lateral das paredes de cisalhamento feitas de perfis formados a frio e revestidas de painéis de OSB. Nesta avaliação, com corpos de provas cujas dimensões nominais eram de 254 mm de comprimento, 90 mm de largura e 9 mm de espessura, extraídos segundo os eixos longitudinal e transversal dos painéis originais, também realizaram ensaios de cisalhamento com base nas prescrições da norma americana ASTM D1037-99 (Figura 2.13). Observaram que os maiores valores médios da tensão cisalhante (τ) e do módulo de elasticidade transversal (G) foram obtidos pelos corpos de prova extraídos segundo o eixo longitudinal e respectivamente iguais 7,62 MPa e 1.156 MPa.

Além disso, também realizaram ensaios sob carregamento monotônico de tração com painéis de OSB, cujos corpos de prova tinham como dimensões nominais 200 de largura, 600 mm de comprimento e espessuras nominais de 9 mm e 18 mm, parafusos com ponta broca com 4,2 mm e 5,5 mm de diâmetros nominais, distância da borda dos painéis até o eixo dos parafusos igual a 20 mm e perfis de aço com f_y igual a 350 MPa e 420 MPa de f_u ; sendo que as espessuras nominais desses perfis foram iguais a 1,50 mm e 3 mm (Figura 2.14). Observaram que o maior valor médio da força máxima ($P_{máx}$), igual a 3.170 N, foi obtido nos corpos de prova com painéis de OSB de 18 mm, carregamento aplicado perpendicularmente às suas fibras (tiras de madeira) superficiais e fixadas ao reticulado metálico com parafusos de 5,5 mm de diâmetro e 300 mm de espaçamento entre si. O maior valor médio da rigidez (k_e), igual a 2.030 N/mm, foi obtido nos corpos de prova com painéis de OSB de 18 mm, carregamento aplicado paralelamente às suas fibras superficiais e fixadas ao reticulado metálico com parafusos de 5,5 mm de diâmetro e 300 mm de espaçamento entre si. O maior valor médio da ductilidade (μ), igual a 17,54, foi registrado nos corpos de prova com painéis de OSB de 18 mm, carregamento aplicado perpendicularmente às suas fibras superficiais e fixadas ao reticulado metálico com parafusos de 5,5 mm de diâmetro e 150 mm de espaçamento entre si. E o maior valor médio da energia dissipada (A), igual a 21.720 N.mm, foi registrado nos corpos de prova com painéis de OSB de 18 mm, carregamento aplicado perpendicularmente às suas fibras superficiais e fixadas ao reticulado metálico com parafusos de 5,5 mm de diâmetro e 150 mm de espaçamento entre si.



Figura 2.13 – Ensaio de cisalhamento (Iuorio *et al.*, 2014).



Figura 2.14 – Modo de ensaio (Iuorio *et al.*, 2014).

2.15 Pesquisa Realizada por Ye *et al.* (2016)

Ye *et al.* (2016) realizaram estudo experimental sobre o comportamento cisalhante da ligação entre os painéis de revestimento e os montantes de perfis formados a frio. Nesse estudo, também realizaram ensaios submetidos ao carregamento monotônico de tração e compressão com painéis de OSB com 18 mm de espessura nominal, parafusos com ponta broca com 4,2 mm e 4,8 mm de diâmetros nominais, distâncias da borda dos painéis até o eixo dos parafusos iguais a 15 mm, 20 mm e 25 mm e perfis de aço com o valor de f_y igual a 345 MPa e espessura nominal desses perfis igual a 0,90 mm. Concluíram que os valores da rigidez (k_e) e da ductilidade (μ) das ligações são melhorados pelo aumento da espessura dos painéis, pelo aumento da distância de borda do painel até o eixo dos parafusos e pelo aumento da espessura de aço. Além disso, as ligações com carregamento perpendicular às tiras superficiais dos painéis de OSB registraram um valor de μ menos eficiente do que as ligações com carregamento paralelo a essas tiras. Os maiores valores médios da força P (2.140 N) e de μ (4,11) foram obtidos sob carregamento monotônico de tração no corpo de prova feito com os painéis de 25 mm de espessura nominal e extraídas do eixo longitudinal do painel original (Figura 2.15).

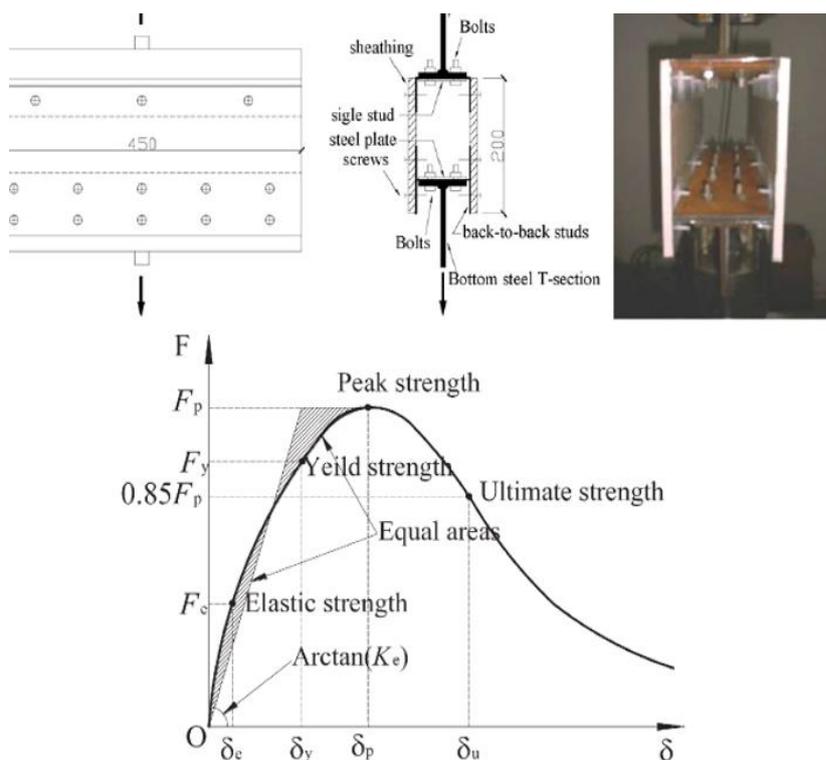


Figura 2.15 – Modo de ensaio e gráfico de resultados (Ye *et al.*, 2016).

2.16 Pesquisa Realizada por Júnior *et al.* (2016)

Júnior *et al.* (2016) avaliaram as características físicas e mecânicas de painéis OSB produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. De acordo com os procedimentos descritos na EN310:1993, também realizaram ensaios para a determinação da tensão de ruptura (S_b) e do módulo de elasticidade longitudinal (E) à flexão estática com painéis fabricados pelos próprios autores, cuja espessura nominal era de 15 mm. Observaram que na flexão estática, onde a direção das fibras externas das lâminas era paralela ao comprimento dos corpos de prova (eixo longitudinal), foi registrado um maior valor médio de S_b igual a 48,60 MPa e de E igual a 6.651,62 MPa. Com a direção das fibras externas das lâminas perpendicular ao comprimento dos corpos de prova (eixo transversal), os maiores valores médios de S_b e E foram respectivamente iguais a 18,56 MPa e 2.016,51 MPa.

2.17 Pesquisa Realizada por Plenzler *et al.* (2017)

Plenzler *et al.* (2017) determinaram as propriedades elásticas e de resistência considerando a orientação das fibras nas camadas externas de um painel OSB com 18 mm de espessura nominal. Registraram um maior valor médio do módulo de elasticidade transversal (G) igual a 2.263 MPa e do módulo de elasticidade longitudinal (E) igual a 5.148 MPa com corpos de prova

cujo comprimento era paralelo à direção das suas fibras externas. Um maior valor médio de G igual a 1.037 MPa e de E igual a 2.314 MPa foi registrado com corpos de prova cujo comprimento era perpendicular à direção das suas fibras externas (Figura 2.16).

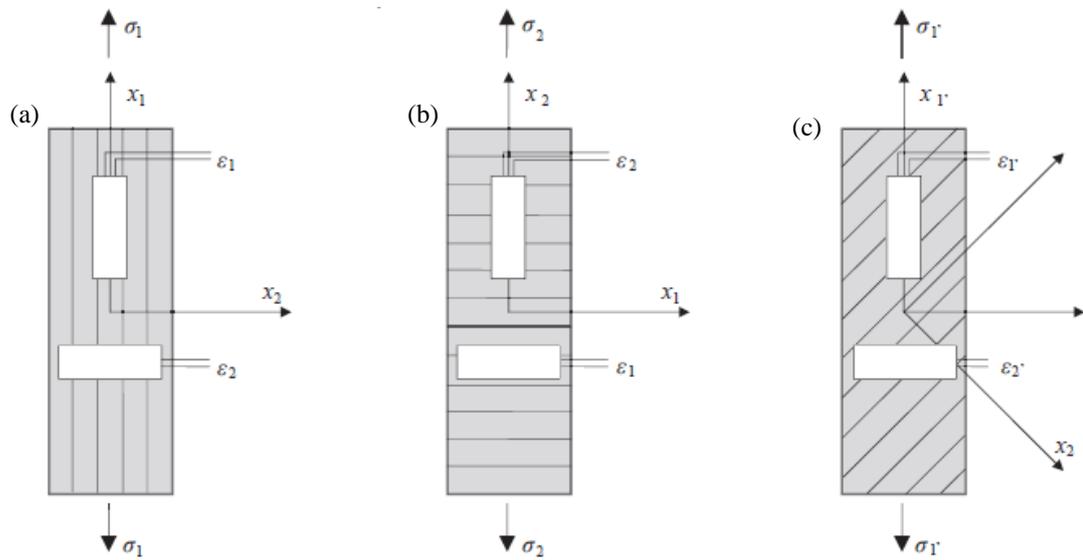


Figura 2.16 – Corpos de prova para ensaios de determinação dos módulos G e E : a) fibras paralelas ao comprimento; b) fibras perpendiculares ao comprimento; c) fibras com um ângulo de 45° em relação ao comprimento (Plenzler *et al.*, 2017).

3

ENSAIOS DE FLEXÃO

3.1 Materiais e Métodos

3.1.1 Processo de fabricação dos corpos de prova

Para os presentes ensaios de flexão a três pontos, os corpos de prova utilizados foram extraídos nas direções dos eixos longitudinal e transversal de alguns painéis de OSB que compõem os corpos de prova do modelo M1 composto por painéis de OSB, reticulado metálico e parafusos auto-atarraxantes. As espessuras nominais dos painéis de OSB usadas para a fabricação dos corpos de prova desses ensaios foram de 9,5 mm e 11,1 mm.

Os 80 corpos de prova fabricados foram divididos em dois modelos (M1 e M2) segundo a posição do corpo de prova para o ensaio, nos planos horizontal e vertical (Figura 3.1 - Figura 3.2). Cada modelo composto por quatro séries e cada série constituída de 10 corpos de prova. As dimensões nominais desses corpos de prova foram definidas segundo a norma americana ASTM D3043-00 (2011), com largura fixa (l_{CP}) de 50 mm, pois as espessuras nominais usadas eram superiores aos 6 mm estabelecidos pela mesma norma. O comprimento (L_{CP}) de cada CP era função do vão (l_f) com um incremento de 50 mm, ou seja, 25 mm de balanço em cada uma das extremidades ao posicionar o corpo de prova (CP) nos apoios da máquina de ensaio. Os vãos considerados foram os mínimos estabelecidos pela norma e dependiam do eixo de extração do CP e da sua espessura nominal (t_{CP}), ou seja, L_f era igual a $48 t_{CP}$ quando a direção original das tiras superficiais da madeira era paralela ao próprio L_f (extração na direção do eixo longitudinal com o comprimento do CP paralelo ao comprimento do painel original de OSB). Quando a direção original das fibras externas era perpendicular a L_f (extração na direção do eixo transversal, com o comprimento do CP perpendicular ao comprimento do painel original de OSB), o seu valor era igual a $24 t_{CP}$ (Figura 3.3).

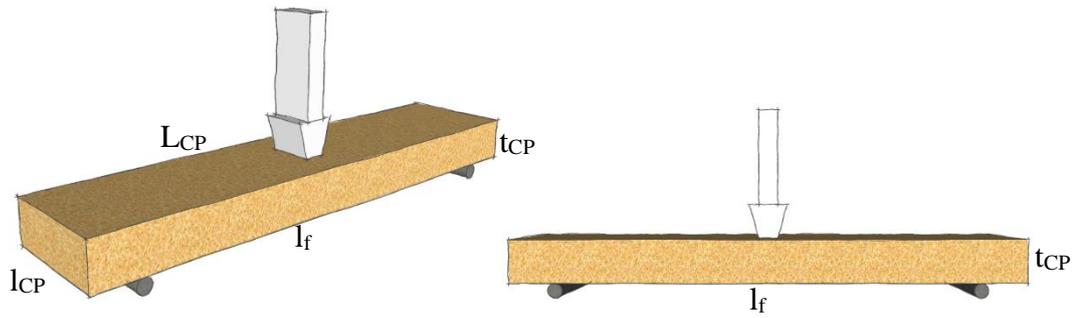


Figura 3.1 – Desenho esquemático do modelo M1.

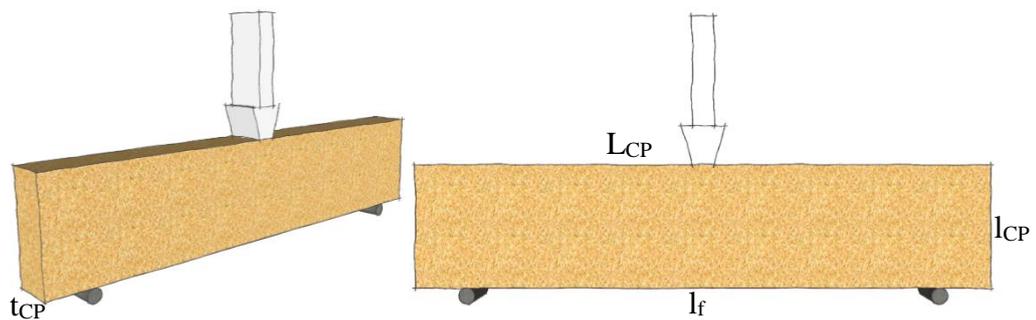


Figura 3.2 – Desenho esquemático do modelo M2.

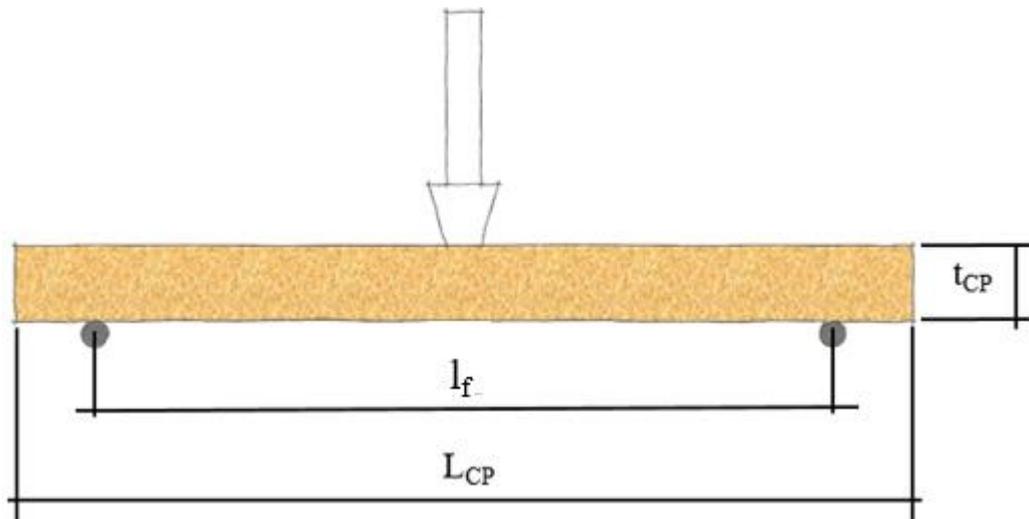


Figura 3.3 – Desenho esquemático frontal do modelo M1.

3.1.2 Procedimento de ensaio dos corpos de prova

Após os ensaios de cisalhamento do tipo *Push-Test*, alguns painéis de OSB foram retiradas do modelo M1 composto por painéis de OSB, reticulado metálico e parafusos. Desses painéis, foram extraídos 30 corpos de prova com as dimensões de 506 mm (L_{CP}), 50 mm (l_{CP}) e 9,5 mm (t_{CP}) na direção do eixo longitudinal, 26 corpos de prova com as dimensões de 278 mm (L_{CP}), 50 mm (l_{CP}) e 9,5 mm (t_{CP}) na direção do eixo transversal, 30 corpos de prova com as dimensões de 582,8 mm (L_{CP}), 50 mm (l_{CP}) e 11,1 mm (t_{CP}) na direção do eixo longitudinal e 26 corpos de

prova com as dimensões de 316,4 mm (L_{CP}), 50 mm (l_{CP}) e 11,1 mm (t_{CP}) na direção do eixo transversal. Em seguida, todos os corpos de prova foram preparados para o ensaio medindo os valores reais das suas dimensões (L_{CP} , l_{CP} e t_{CP}), marcando os balanços definindo os seus respectivos vãos, marcando o meio do vão e nomeando cada CP. Feito isso, elaborou-se o script de ensaio (programação para o controle da máquina de ensaio – Apêndice A.1), instalou-se os equipamentos de ensaio e executou-se alguns pré-ensaios para verificar o bom funcionamento desses equipamentos e do script. O ensaio dos 80 corpos de prova foi feito durante 4 dias.

Para executar esses ensaios de flexão a três pontos, seguiu-se as prescrições da norma americana ASTM D3043-00 (*Reapproved 2011*), método A – *Center-Point Flexure Test*. Os equipamentos utilizados para elaborar esses ensaios foram: i) uma máquina universal de ensaios; ii) um transdutor de deslocamento - *Displacement Transducer* (DT); iii) um sistema de aquisição de dados; iv) e um monitor acoplado a um CPU com o *software* Tesc versão 3.04.

A máquina universal de ensaios, do tipo EMIC DL-30.000 com capacidade máxima de 300 kN e célula Trd 29 embutida, usada na compressão, era composta por uma base de apoio dos corpos de prova durante os ensaios, por uma célula de força e pelo suporte de ação da força acoplado à célula de força (Figura 3.4).



Figura 3.4 – Máquina de carregamento.

Foi usado o DT01 da série FF2790017 para medir o deslocamento vertical no meio do vão durante o ensaio dos corpos de prova. Esse DT era do tipo DT-100A, marca *KYOWA* com curso

de 100 mm e precisão de 0,005 mm. A placa de apoio da haste desse DT foi acoplada no elemento intermediário à célula e ao suporte de ação da força através de um campo magnético usado na base dos DT's (Figura 3.5).



Figura 3.5 – DT01 posicionado para os ensaios.

O sistema de aquisição de dados, marca Spider8 600 Hz, da *Hotting Baldwin Measurements* – HBM, foi acompanhado do *software Catman*. Neste sistema de aquisição, foram conectados a célula de força e o DT01 nos respectivos canais 0 e 1 (Figura 3.6).



Figura 3.6 – Sistema de aquisição de dados e laptop com mouse.

O *HBM Catman 4.5 Release 2 [Interactive]* é o *software* que foi usado para programar, visualizar, monitorar e gravar os dados que foram exportados no formato Excel no final do ensaio de cada CP.

O Tesc versão 4.03 é o *software* que foi usado para elaborar o script de comando e monitoramento da máquina universal de ensaios de cada CP (Figura 3.7).

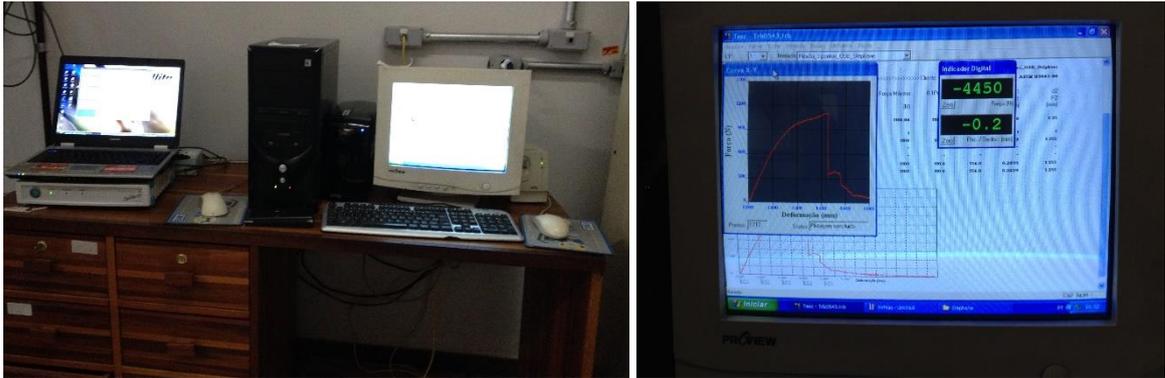


Figura 3.7 – Bancada de monitoramento e abertura do Tesc 3.04.

Ao final do ensaio de cada CP, os dados de força e de deslocamento registrados pelo *software* Tesc 4.03 foram exportados no formato “.txt” e o relatório de ensaio impresso no formato “.pdf” para uma comparação posterior com os gráficos forças versus deslocamentos elaborados a partir dos dados exportados através do *catman* (Apêndice A.2).

3.2 Apresentação e análise dos resultados obtidos durante os ensaios

3.2.1 Generalidades

Seguindo as prescrições da norma americana ASTM D3043-00, cada série de CP’s foi ensaiada com uma velocidade (N) que dependia do vão (l_f) e da espessura nominal do CP conforme a Equação (3.1). Foram determinados os valores da tensão de ruptura (S_b) pela Equação (3.2) e do módulo de elasticidade longitudinal (E) pela Equação (3.3). Para determinar esses valores, foi preciso corrigir os valores das forças e dos deslocamentos registrados pelo DT01 e elaborar o gráfico força versus deslocamento de cada CP a partir desses valores corrigidos. Essas correções foram feitas subtraindo os demais valores de deslocamento do valor inicial e o valor inicial da força dos demais valores.

$$N = \frac{z}{(6 \cdot h)} \cdot (l_f)^2 \quad (3.1)$$

$$S_b = \frac{P_{m\acute{a}x} \cdot l_f \cdot h}{8 \cdot I} \quad (3.2)$$

$$E = \left(\frac{P}{\Delta}\right) \cdot \frac{(l_f)^3}{(48 \cdot I)} \quad (3.3)$$

Onde z (0,0015 mm/mm.min) é a taxa de tensão das fibras; $P_{\text{máx}}$ é a força máxima suportada pelo CP (em N); l_f é o vão (distância entre os apoios) do CP (mm); h é a espessura do CP (mm); I é o momento de inércia do CP (mm⁴); (P/Δ) é a inclinação ou rigidez entre as forças de $0,1P_{\text{máx}}$ e $0,5P_{\text{máx}}$ com os seus respectivos deslocamentos correspondentes (N/mm).

Foram também determinados os valores da variância [$\text{var}(x)$], do desvio padrão (DP) e do coeficiente de variação (C_v) de cada série de ensaios e, em seguida, definiu-se o intervalo de confiabilidade dos dados a partir da análise estatística do Apêndice A.5.

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).

3.2.2 Corpos de prova do modelo M1

O conjunto de ensaios do modelo M1 foi constituído de quatro séries, sendo que cada série foi composta de 10 CP's (Tabela 3.1). Neste item foi apresentado o gráfico força versus deslocamento do CP1 de cada série deste modelo a título de exemplo para os demais CP's. Os gráficos dos demais CP's foram agrupados em série e apresentados no item 3.3 objetivando evitar a redundância de análises para ensaios com resultados semelhantes.

Como nomenclatura dos CP's deste modelo, tem-se: a série com o seu número (S_i); a espessura nominal do CP (t_{OSB} ou t_{CP} como A igual a 9,5 mm e B igual a 11,1 mm); eixo de extração do CP (L – do eixo longitudinal do painel de OSB e T – do eixo transversal); posição do CP para o ensaio (H – horizontal ou deitado); vão (l_f); largura do CP (l_{CP}); comprimento do CP (L_{CP}); velocidade de carregamento (N) e quantidade de CP (Q_{CP}).

Tabela 3.1 – Parâmetros relativos aos corpos de prova do modelo M1 ensaiado.

Nomenclatura	l_f (mm)	t_{CP} (mm)	l_{CP} (mm)	N (mm/min)	L_{CP} (mm)	Q_{CP}
S1-A-L-H	456	9,5	50	5,4720	506	10
S2-A-T-H	228			1,3680	278	10
S3-B-L-H	532,8	11,1		6,3936	582,8	10
S4-B-T-H	266,4			1,5984	316,4	10
Total de corpos de prova (CP)						40

A célula de força utilizada para os ensaios dos corpos de prova desse modelo era do tipo ZX2T R1 297 da ALFA INSTRUMENTOS, série n°. 1019241 com capacidade de 20.000 N (Figura 3.8).

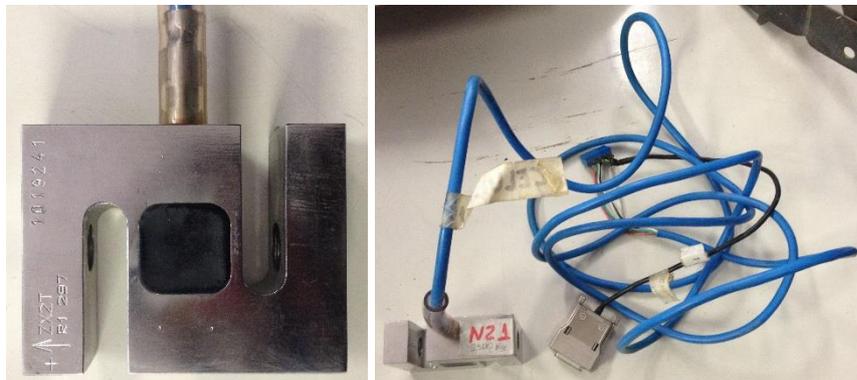


Figura 3.8 – Célula de aplicação da força.

No ensaio do CP1 da série S1, a força máxima ($P_{m\acute{a}x}$) igual a 248,94 N foi alcançada com um deslocamento de 28,55 mm com uma perda rápida de carregamento sem alteração no valor do deslocamento por causa da ruptura das fibras externas que eram paralelas ao comprimento do CP (Figura 3.9 - Figura 3.10). O valor do momento de inércia (I) deste CP foi igual a 3.910,14 mm^4 .



Figura 3.9 – Modelo M1 S1-A-L-H CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

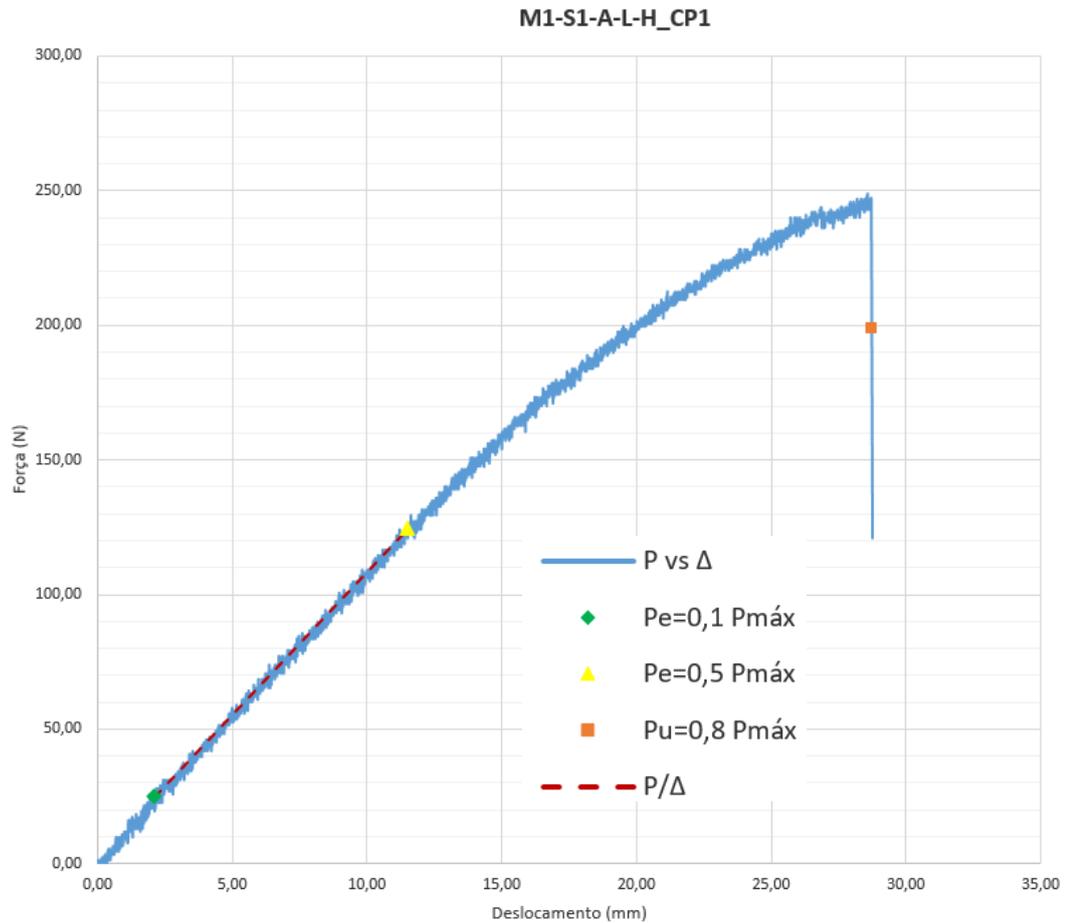


Figura 3.10 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S1 (modelo M1 S1-A-L-H CP1).

No ensaio do CP1 da série S2, o valor de $P_{m\acute{a}x}$ igual a 288,89 N foi alcançado com um deslocamento de 7,06 mm seguido de uma perda progressiva de carregamento aumentando o valor do deslocamento por causa da ruptura das fibras internas que eram paralelas ao comprimento do CP (Figura 3.11 - Figura 3.12). O valor de I deste CP foi igual a $3.842,35 \text{ mm}^4$.

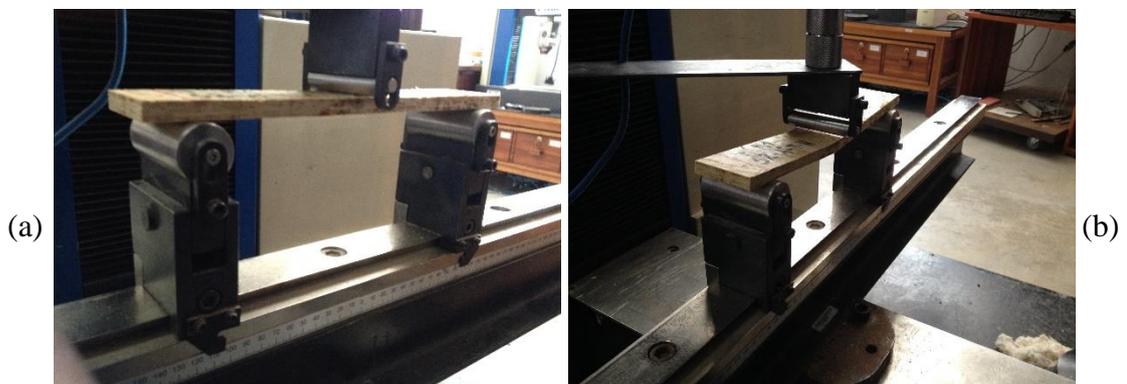


Figura 3.11 – Modelo M1 S2-A-T-H CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

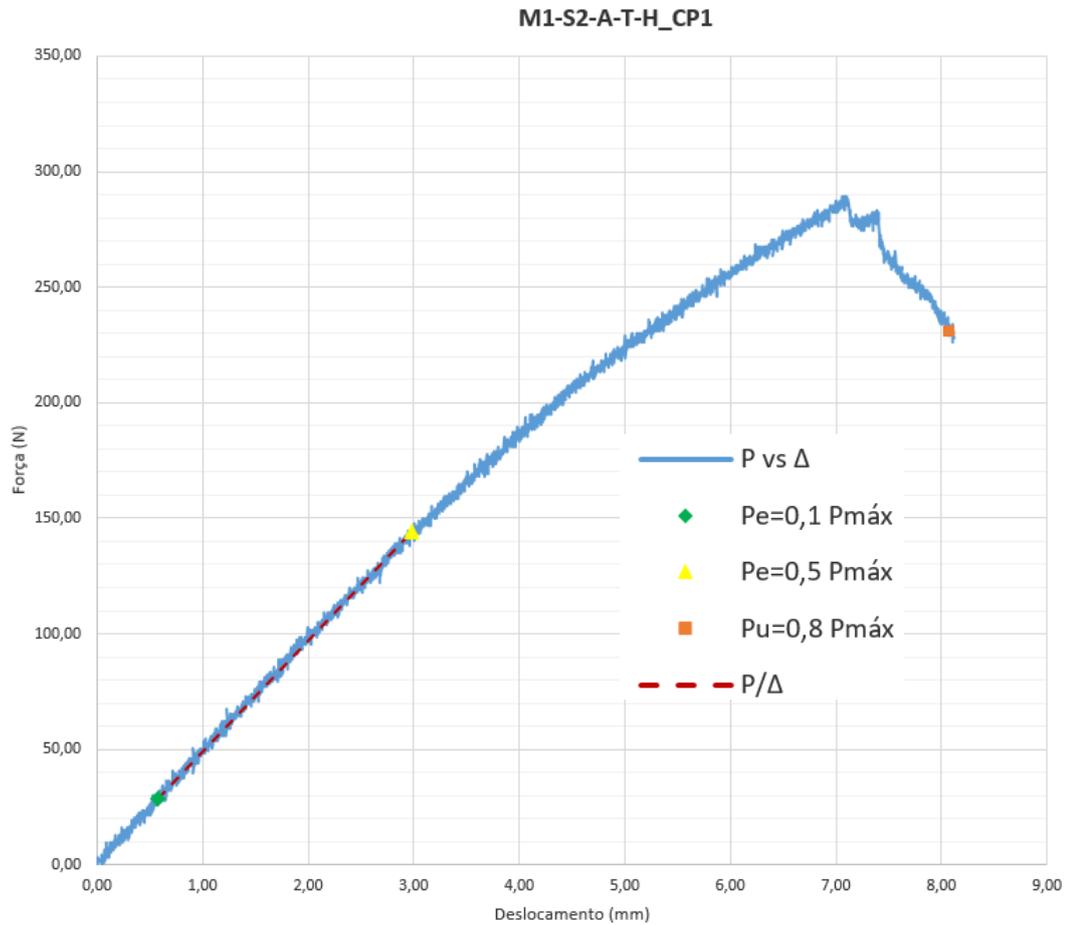


Figura 3.12 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S2 (modelo M1 S2-A-T-H CP1).

No ensaio do CP1 da série S3, o valor de $P_{máx}$ igual a 301,20 N foi alcançado com um deslocamento de 26,43 mm seguido de uma perda rápida de carregamento sem alteração no valor do deslocamento por causa da ruptura das fibras externas que eram paralelas ao comprimento do CP (Figura 3.13 - Figura 3.14). O valor de I deste CP foi igual a $6.479,32 \text{ mm}^4$.

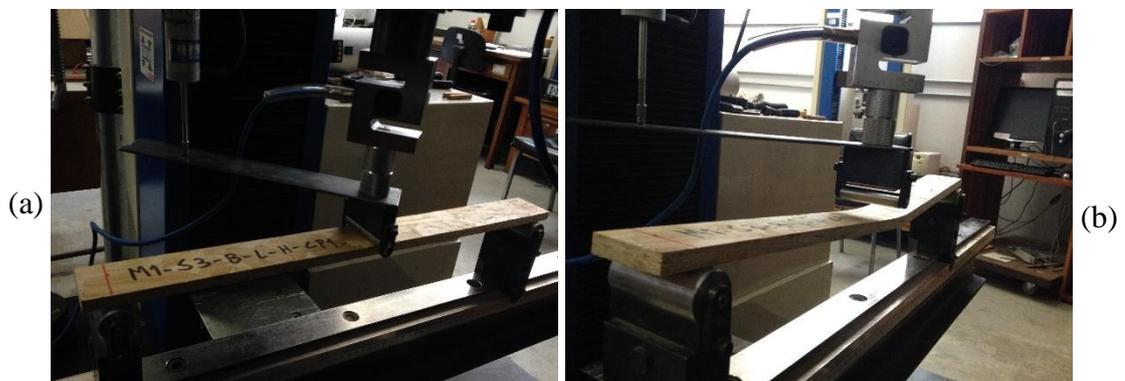


Figura 3.13 – Modelo M1 S3-B-L-H CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

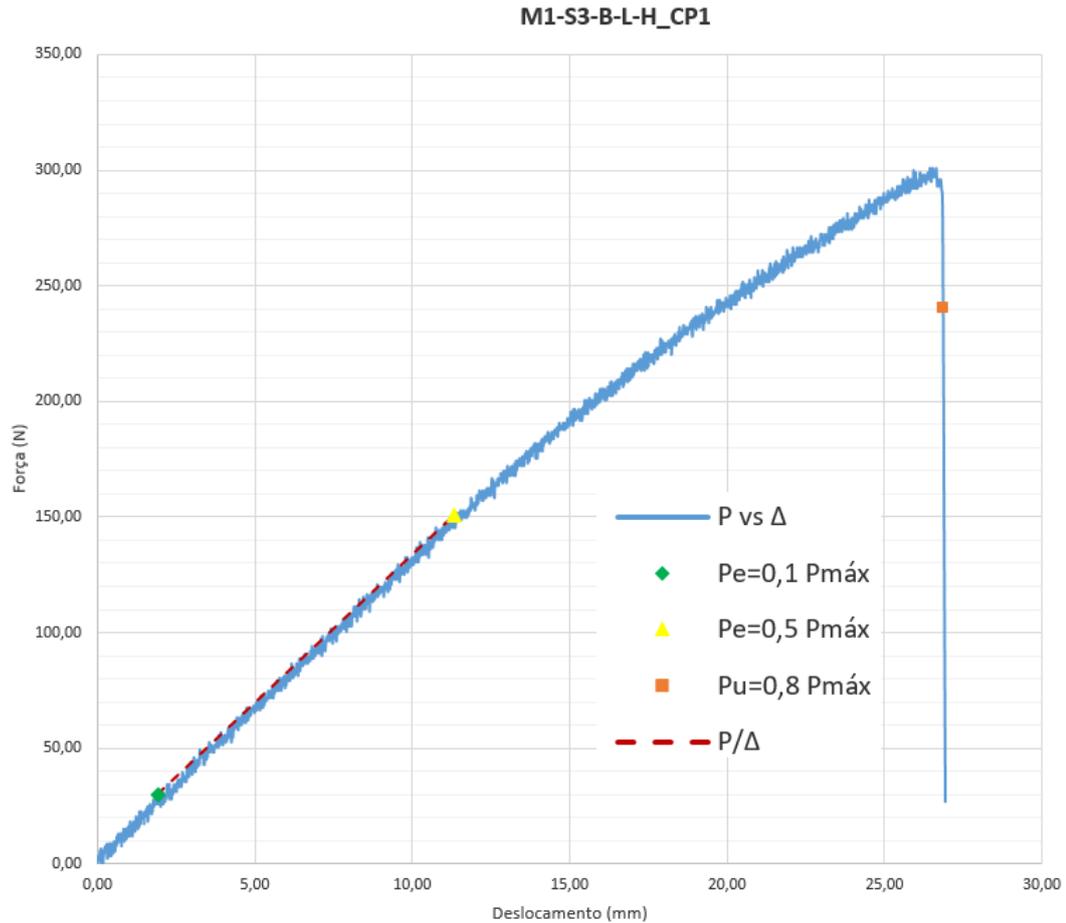


Figura 3.14 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S3 (modelo M1 S3-B-L-H CP1).

No ensaio do CP1 da série S4, o valor de $P_{m\acute{a}x}$ igual a 261,36 N foi alcançado com um deslocamento de 7,86 mm seguido de uma perda progressiva de carregamento aumentando o valor do deslocamento por causa da ruptura das fibras internas que eram paralelas ao comprimento do CP (Figura 3.15 - Figura 3.16). O valor de I deste CP foi igual a $6.579,89 \text{ mm}^4$.



Figura 3.15 – Modelo M1 S4-B-T-H CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

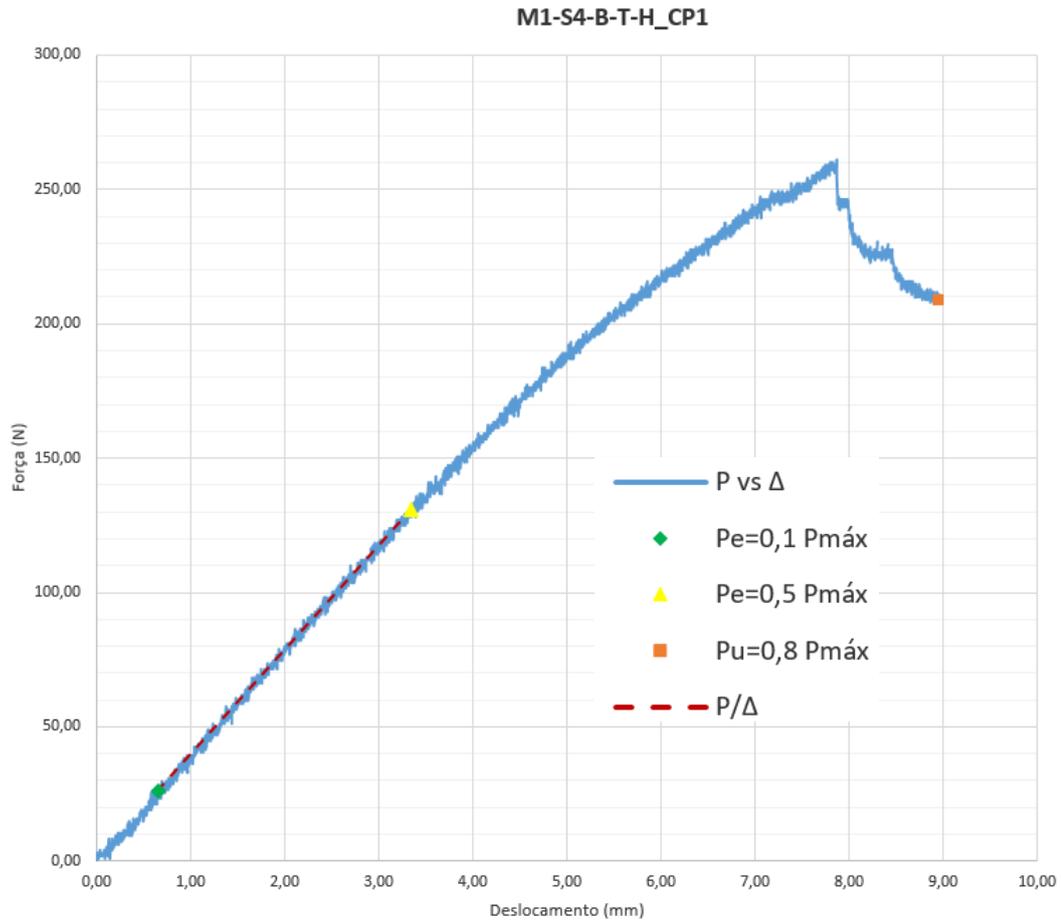


Figura 3.16 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S4 (modelo M1 S4-B-T-H CP1).

3.2.3 Corpos de prova do modelo M2

O conjunto de ensaios do modelo M2 também foi constituído de quatro séries, sendo que cada série foi composta de 10 CP's (Tabela 3.2). A título de exemplo, o gráfico força versus deslocamento do CP1 de cada série deste modelo foi apresentado neste item. Os dos demais CP's foram agrupados em série e apresentados no item 3.3 objetivando evitar a redundância de análises para ensaios com resultados semelhantes. Para esses corpos de prova, precisou-se impedir, com pequenos pedaços de madeira, a rotação na base dos apoios em relação ao vão e, além disso, para que o CP não tombasse durante o ensaio, foi preciso grampear dois elementos, feitos com pequenos pedaços do painel de OSB com 18,3 mm de espessura nominal, em cada balanço (Figura 3.17).



Figura 3.17 – Impedimento da rotação na base do apoio e estabilidade do CP para o ensaio.

Como nomenclatura dos CP's deste modelo, tem-se: a série com o seu número (Si); a espessura nominal do CP (t_{OSB} ou t_{CP} como A igual a 9,5 mm e B igual a 11,1 mm); eixo de extração do CP (L – do eixo longitudinal do painel de OSB e T – do eixo transversal); posição do CP par o ensaio (V – vertical ou em pé); vão (l_f); largura do CP (l_{CP}); comprimento do CP (L_{CP}); velocidade de carregamento (N) e quantidade de CP (Q_{CP}).

Tabela 3.2 – Parâmetros relativos aos corpos de prova do modelo M2 ensaiado.

Nomenclatura	l_f (mm)	t_{CP} (mm)	l_{CP} (mm)	N (mm/min)	L_{CP} (mm)	Q_{CP}
S5-A-L-V	456	9,5	50	5,4720	506	10
S6-A-T-V	228			1,3680	278	10
S7-B-L-V	532,8	11,1		6,3936	582,8	10
S8-B-T-V	266,4			1,5984	316,4	10
Total de corpos de prova (CP)						40

A célula de força utilizada para os ensaios ensaios dos corpos de prova desse modelo era do tipo ZX-5T R-1 632 da ALFA INSTRUMENTOS, série nº. 1073429 com capacidade de 50.000 N (Figura 3.18).



Figura 3.18 – Célula de aplicação da força.

No ensaio do CP1 da série S5, a força máxima ($P_{\text{máx}}$) igual a 554,15 N foi alcançada com um deslocamento de 3,63 mm seguido de uma perda progressiva de carregamento aumentando o valor do deslocamento por causa da ruptura das fibras externas que eram paralelas ao comprimento do CP (Figura 3.19 - Figura 3.20). O valor do momento de inércia (I) deste CP foi igual a 100.092,22 mm⁴.



Figura 3.19 – Modelo M2 S5-A-L-V CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

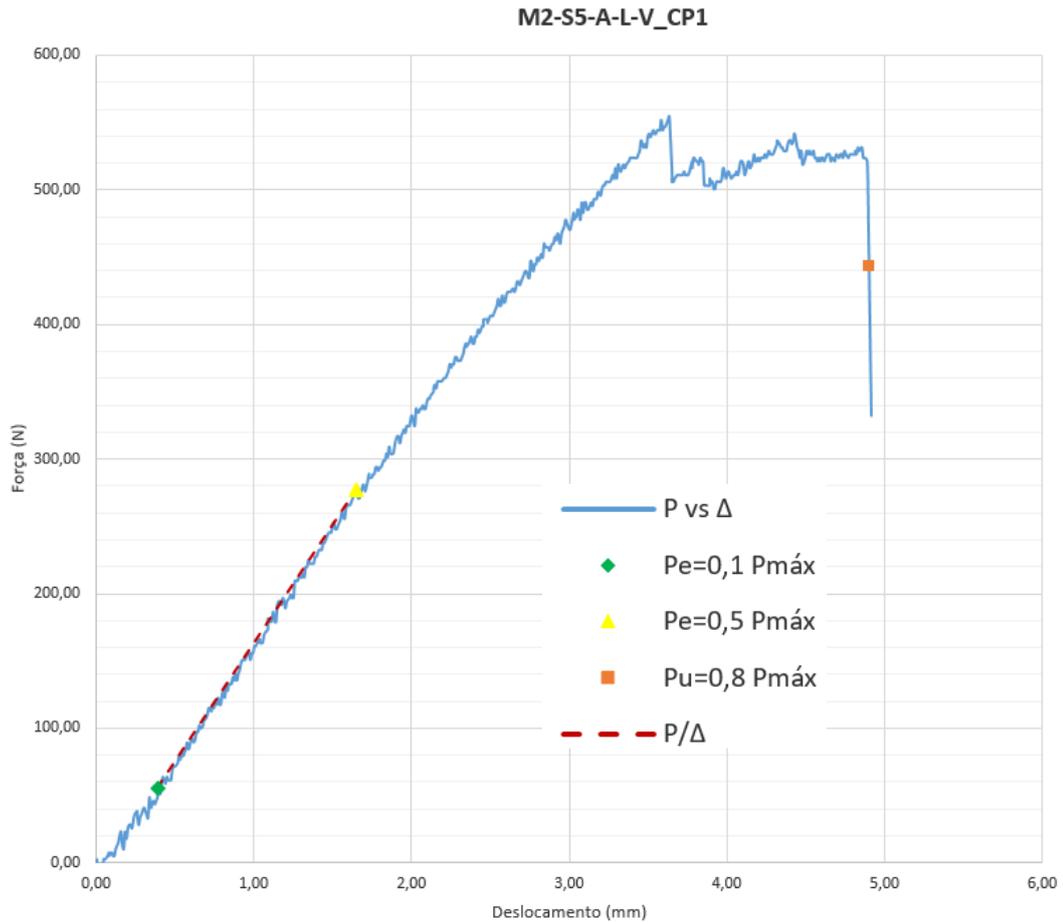


Figura 3.20 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S5 (modelo M2 S5-A-L-V CP1).

No ensaio do CP1 da série S6, o valor de $P_{m\acute{a}x}$ igual a 1.455,60 N foi alcançado com um deslocamento de 2,24 mm seguido de uma queda rápida do carregamento sem influência significativa no valor do deslocamento por causa da ruptura das fibras internas que eram paralelas ao comprimento do CP (Figura 3.21 - Figura 3.22). O valor de I deste CP foi igual a $107.182,03 \text{ mm}^4$.



Figura 3.21 – Modelo M2 S6-A-T-V CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

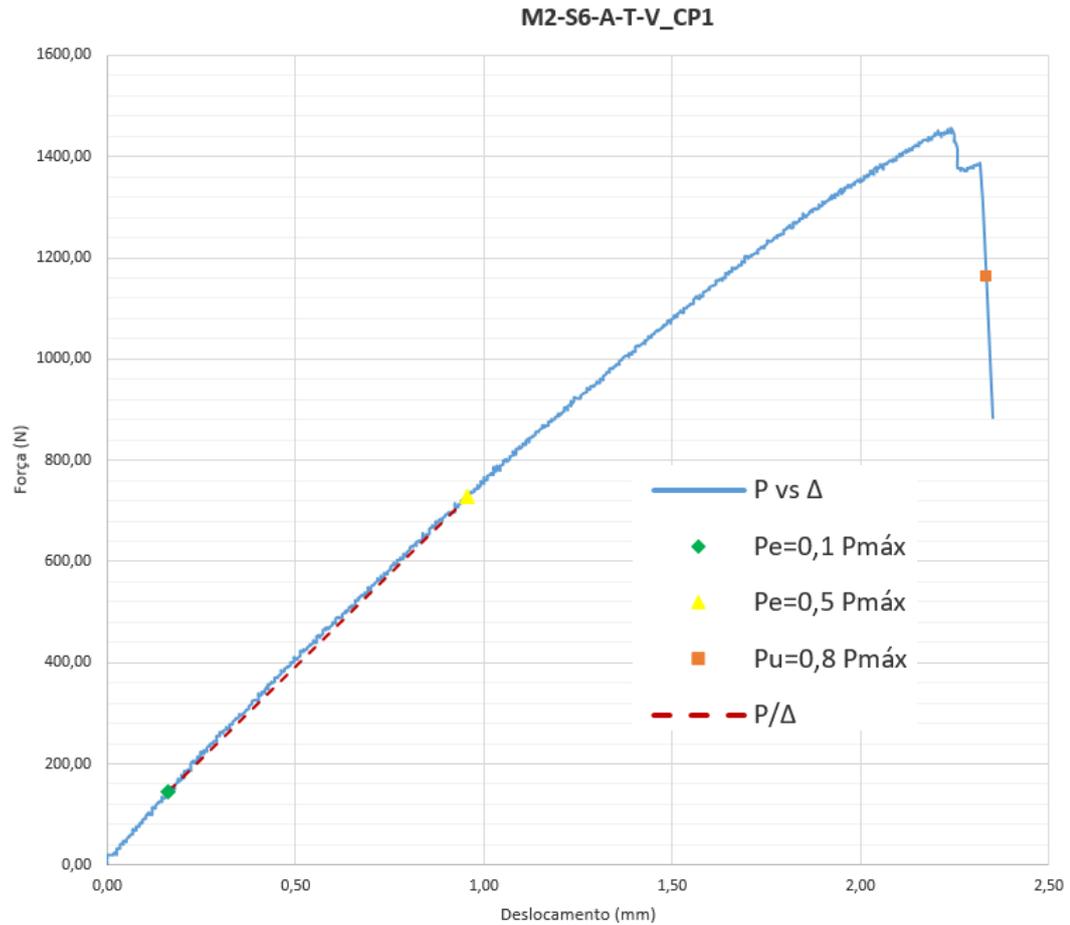


Figura 3.22 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S6 (modelo M2 S6-A-T-V CP1).

No ensaio do CP1 da série S7, o valor de $P_{m\acute{a}x}$ igual a 600,12 N foi alcançado com um deslocamento de 5,89 mm seguido de uma queda progressiva do carregamento aumentando o valor do deslocamento por causa da ruptura das fibras externas que eram paralelas ao comprimento do CP (Figura 3.23 - Figura 3.24). O valor de I deste CP foi igual a 128.153,89 mm^4 .



Figura 3.23 – Modelo M2 S7-B-L-V CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

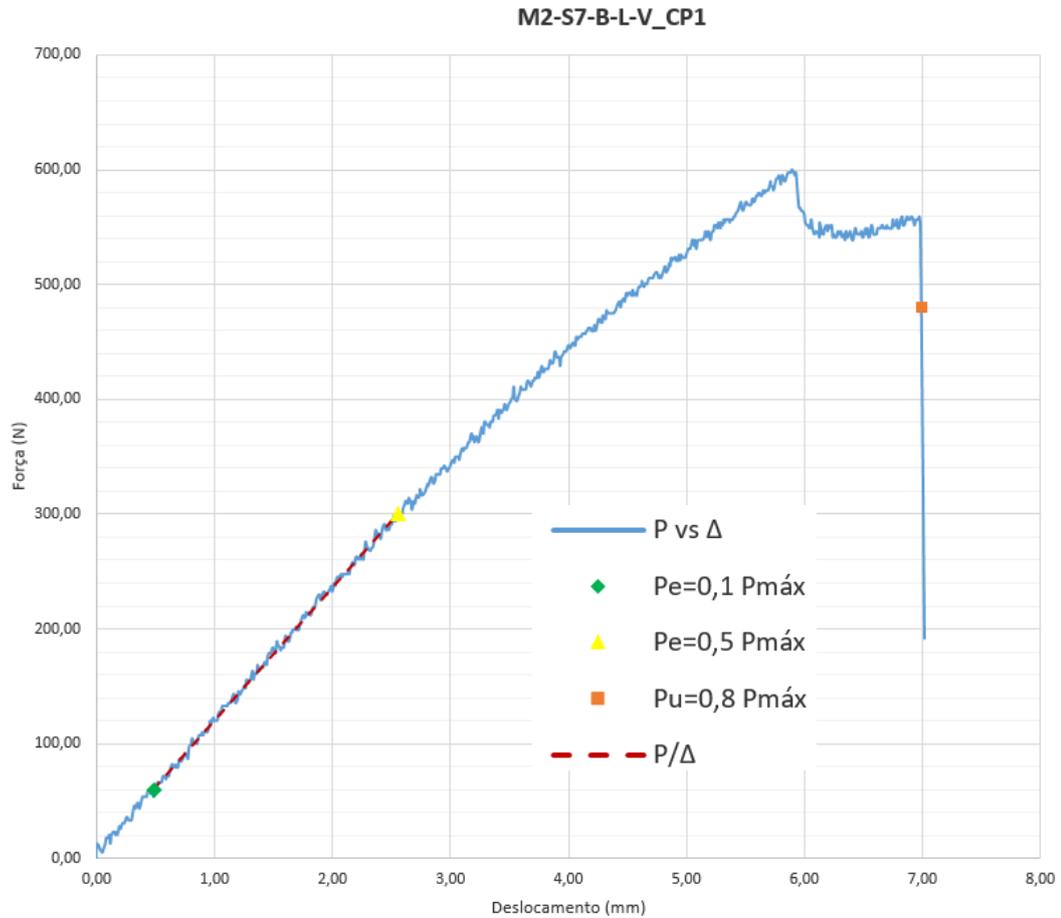


Figura 3.24 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S7 (modelo M2 S7-B-L-V CP1).

No ensaio do CP1 da série S8, o valor de $P_{máx}$ igual a 1.054,67 N foi alcançado com um deslocamento de 2,65 mm seguido de uma queda rápida do carregamento sem influência significativa no valor do deslocamento por causa da ruptura das fibras internas que eram paralelas ao comprimento do CP (Figura 3.25 - Figura 3.26). O valor de I deste CP foi igual a 130.542,20 mm⁴.



Figura 3.25 – Modelo M2 S8-B-T-V CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

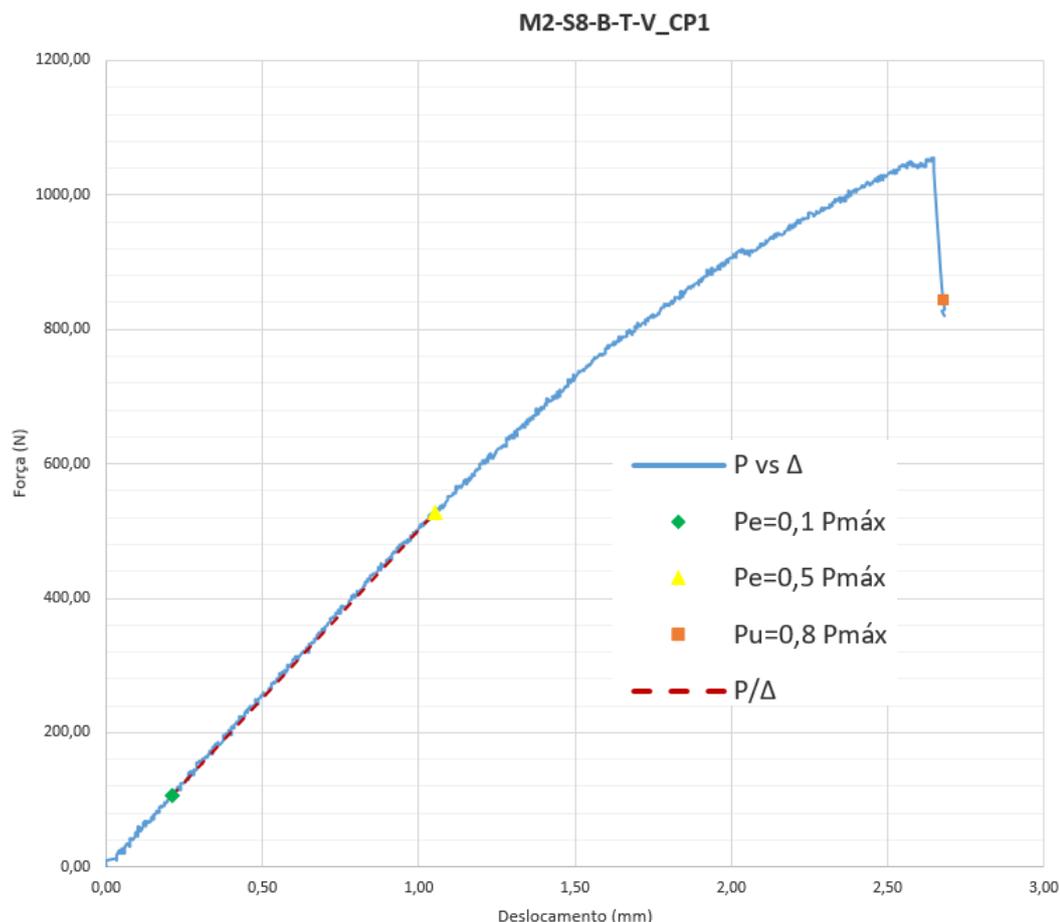


Figura 3.26 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S8 (modelo M2 S8-B-T-V CP1).

3.3 Discussões dos resultados obtidos

Em geral, os ensaios de flexão eram finalizados com a parada automática da máquina de carregamento ao alcançar o limite de deslocamento definido no script. Porém, o ensaio de alguns corpos de prova do modelo M2 das séries S6 e S8 era finalizado clicando em “Abortar Ensaio” do *software* Tesc 3.04, quando a força se zerava depois de alcançar o seu valor máximo ou quando o valor de deslocamento era igual a 8 mm (melhor visibilidade da ruptura nas faces do CP).

A série S1 do modelo M1 (Tabela 3.3) registrou os valores médios da tensão de ruptura (S_b) e do módulo de elasticidade longitudinal (E) respectivamente iguais a 29, 86 MPa e 5.160,01 MPa, com o valor dos seus coeficientes de variação (C_v) inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados.

Tabela 3.3 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S1-A-L-H.

Nomenclatura	$P_{\text{máx}}$ (N)	S_b (MPa)	P/Δ (N/mm)	E (MPa)
M1 S1-A-L-H CP1	248,94	35,49	10,59	5.350,76
M1 S1-A-L-H CP2	228,29	31,46	11,55	5.584,39
M1 S1-A-L-H CP3	177,67	25,86	10,00	5.245,59
M1 S1-A-L-H CP4	203,31	28,58	10,70	5.322,03
M1 S1-A-L-H CP5	220,37	30,34	10,42	4.994,34
M1 S1-A-L-H CP6	176,47	25,73	9,49	4.985,51
M1 S1-A-L-H CP7	244,67	34,07	10,52	5.137,28
M1 S1-A-L-H CP8	188,80	27,32	10,00	5.174,03
M1 S1-A-L-H CP9	246,47	34,08	11,10	5.381,93
M1 S1-A-L-H CP10	190,86	25,62	9,57	4.424,20
X_m	212,59	29,86	10,39	5.160,01
Var (x)	828,18	14,35	0,42	99.925,91
DP	28,78	3,79	0,65	316,11
C_v (%)	13,54	12,69	6,24	6,13

O maior valor de S_b foi obtido pelo CP1 devido ao seu alto valor da força máxima ($P_{\text{máx}}$) e o maior valor de E foi obtido pelo CP2 por causa do seu alto valor da rigidez (P/Δ) (Figura 3.27).

Com a série S1 do modelo M1, a amplitude interquartil (AIQ) de S_b foi igual a 8,25 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 13,46 e 46,44 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o valor t de *Student* foi igual a 2,262 e o intervalo [27,15;32,56] MPa contém a média populacional de S_b com 95 % de confiança. O valor AIQ de E foi igual a 366,42 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 4.442,50 e 5.908,18 MPa. Assim, o valor igual a 4.424,20 MPa do CP10 foi considerado como um valor *outlier*, com os novos valores da média (x_m) e do desvio padrão (DP) respectivamente iguais a 5.241,76 e 192,93 MPa, o valor de t igual a 2,306, o intervalo [5.093,47;5.390,06] MPa contém a média populacional de E com 95 % de confiança.

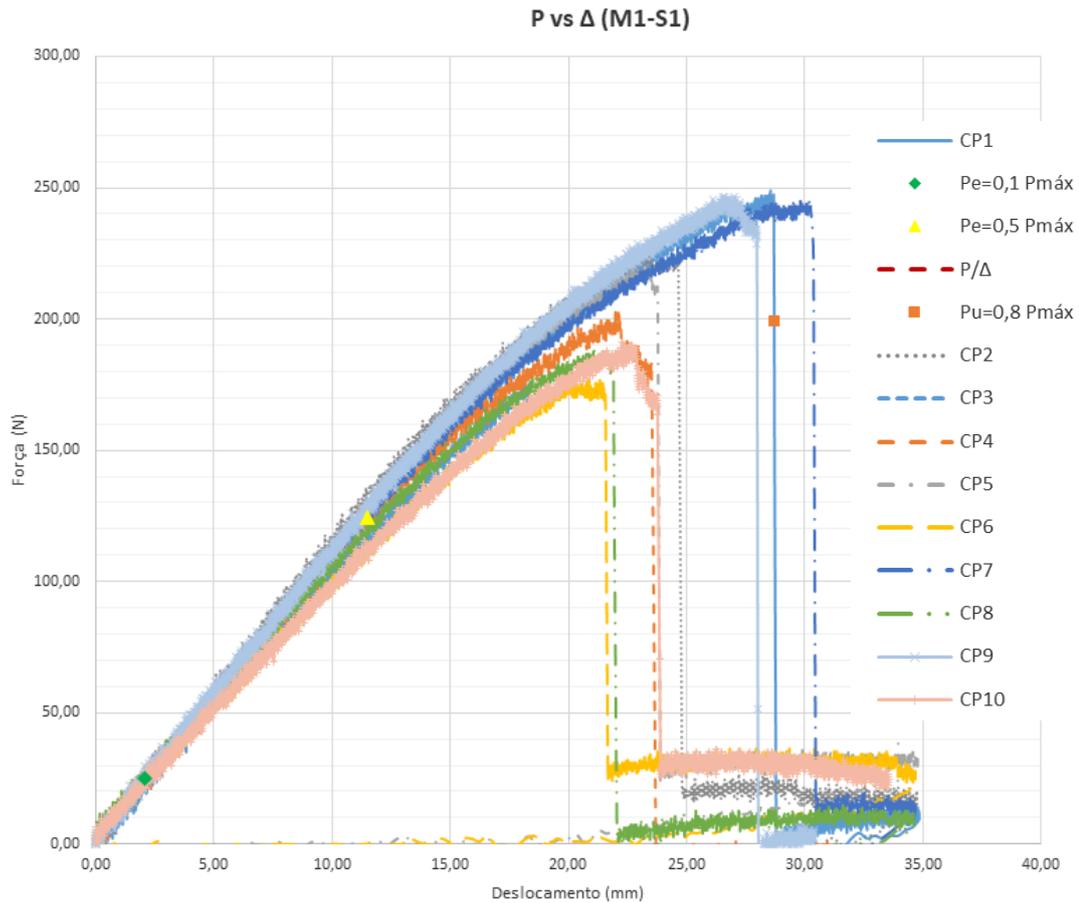


Figura 3.27 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S1 (modelo M1-S1-A-L-H).

A série S2 do modelo M1 (Tabela 3.4) registrou um valor médio de S_b igual a 20,93 MPa com um valor de C_v entre 15 e 30%, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. O valor médio de E foi de 2.704,99 MPa, com um valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados.

Tabela 3.4 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S2-A-T-H.

Nomenclatura	$P_{máx}$ (N)	S_b (MPa)	P/Δ (N/mm)	E (MPa)
M1 S2-A-T-H CP1	288,98	20,79	48,09	3.090,75
M1 S2-A-T-H CP2	277,64	19,15	38,79	2.345,89
M1 S2-A-T-H CP3	291,25	20,09	44,29	2.675,87
M1 S2-A-T-H CP4	341,49	23,31	51,14	3.045,14
M1 S2-A-T-H CP5	221,92	15,31	37,97	2.294,76
M1 S2-A-T-H CP6	301,83	20,71	40,68	2.443,28
M1 S2-A-T-H CP7	494,62	33,41	54,73	3.209,90
M1 S2-A-T-H CP8	361,25	24,70	47,48	2.836,16
M1 S2-A-T-H CP9	255,91	15,57	41,73	2.504,51
M1 S2-A-T-H CP10	234,31	16,30	42,60	2.603,68
Xm	306,92	20,93	44,75	2.704,99
Var (x)	6.214,22	29,04	30,12	105.965,55
DP	78,83	5,39	5,49	325,52
C_v (%)	25,68	25,74	12,26	12,03

Os maiores valores de S_b e de E foram obtidos pelo CP7 devido aos seus altos valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de P/Δ (Figura 3.28).

Com a s\u00e9rie S2 do modelo M1, o valor AIQ de S_b foi igual a 7,54 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 4,81 e 34,97 MPa e, pela n\u00e3o exist\u00eancia de valor *outlier*, o intervalo [17,08;24,79] MPa cont\u00e9m a m\u00e9dia populacional de S_b com 95 % de confian\u00e7a. O valor AIQ de E foi igual a 637,61 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 1.462,52 e 4.012,96 MPa e, pela n\u00e3o exist\u00eancia de valor *outlier*, o intervalo [2.472,13; 2.937,86] MPa cont\u00e9m a m\u00e9dia populacional de E com 95 % de confian\u00e7a.

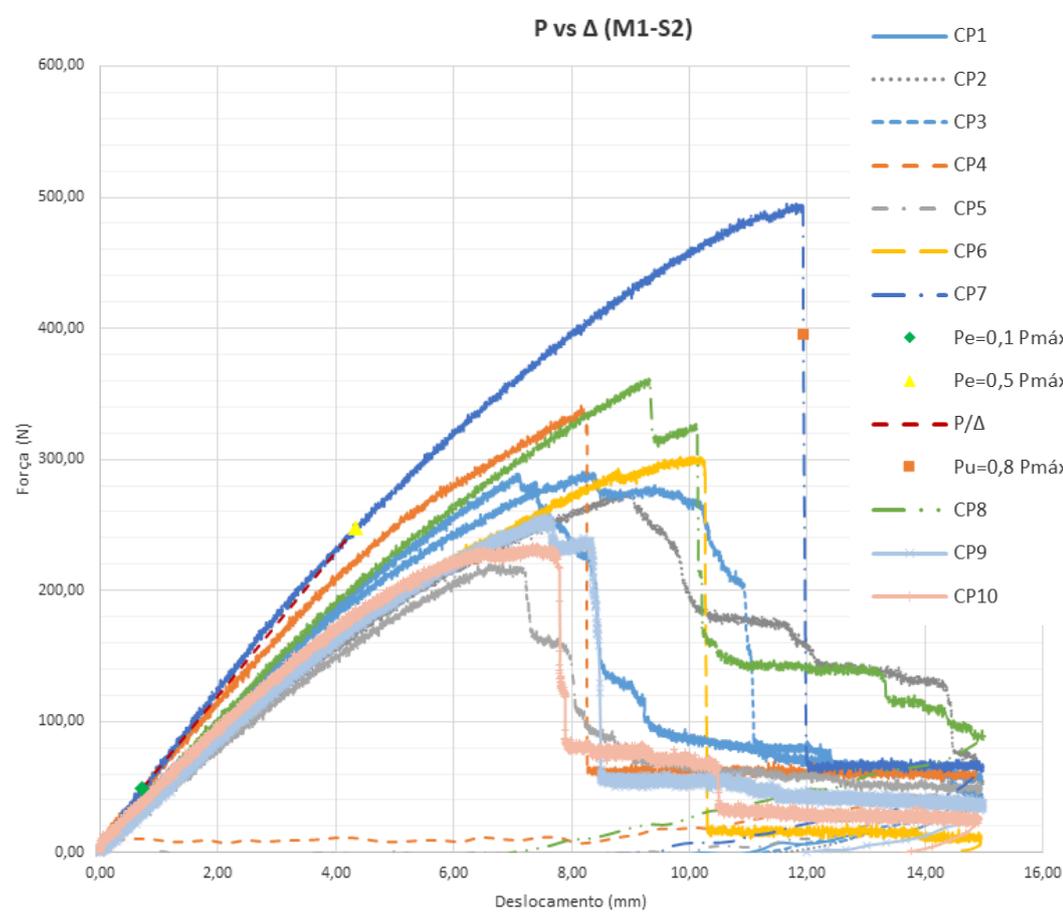


Figura 3.28 – Gr\u00e1fico for\u00e7a versus deslocamento do Modelo M1 da s\u00e9rie S2 (modelo M1-S2-A-T-H).

A s\u00e9rie S3 do modelo M1 (Tabela 3.5) registrou os valores m\u00e9dios de S_b e de E respectivamente iguais a 30, 11 e 5.606,38 MPa, com os seus valores de C_v entre 15 e 30%, o que caracteriza a m\u00e9dia dispers\u00e3o dos resultados.

Tabela 3.5 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S3-B-L-H.

Nomenclatura	$P_{\text{máx}}$ (N)	S_b (MPa)	P/Δ (N/mm)	E (MPa)
M1 S3-B-L-H CP1	301,20	35,63	12,80	6.224,80
M1 S3-B-L-H CP2	183,96	20,91	9,89	4.524,76
M1 S3-B-L-H CP3	253,41	30,01	9,35	4.545,17
M1 S3-B-L-H CP4	269,26	31,86	12,09	5.877,35
M1 S3-B-L-H CP5	321,02	37,80	13,06	6.282,40
M1 S3-B-L-H CP6	238,73	28,42	13,28	6.521,45
M1 S3-B-L-H CP7	269,23	30,10	13,00	5.802,33
M1 S3-B-L-H CP8	186,31	21,95	10,39	5.011,48
M1 S3-B-L-H CP9	324,88	38,46	13,77	6.695,60
M1 S3-B-L-H CP10	226,80	25,98	9,91	4.578,50
Xm	257,48	30,11	11,75	5.606,38
Var (x)	2.505,35	37,06	2,82	742.392,51
DP	50,05	6,09	1,68	861,62
Cv (%)	19,44	20,22	14,28	15,37

Os maiores valores de S_b e de E foram obtidos pelo CP9 devido aos seus altos valores de $P_{\text{máx}}$ e de P/Δ (Figura 3.29).

Com a série S3 do modelo M1, o valor AIQ de S_b foi igual a 11,20 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 8,17 e 52,97 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [25,76;34,47] MPa contém a média populacional de S_b com 95 % de confiança. O valor AIQ de E foi igual a 1.772,00 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 1.912,18 e 9.000,16 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [4.990,02;6.222,75] MPa contém a média populacional de E com 95 % de confiança.

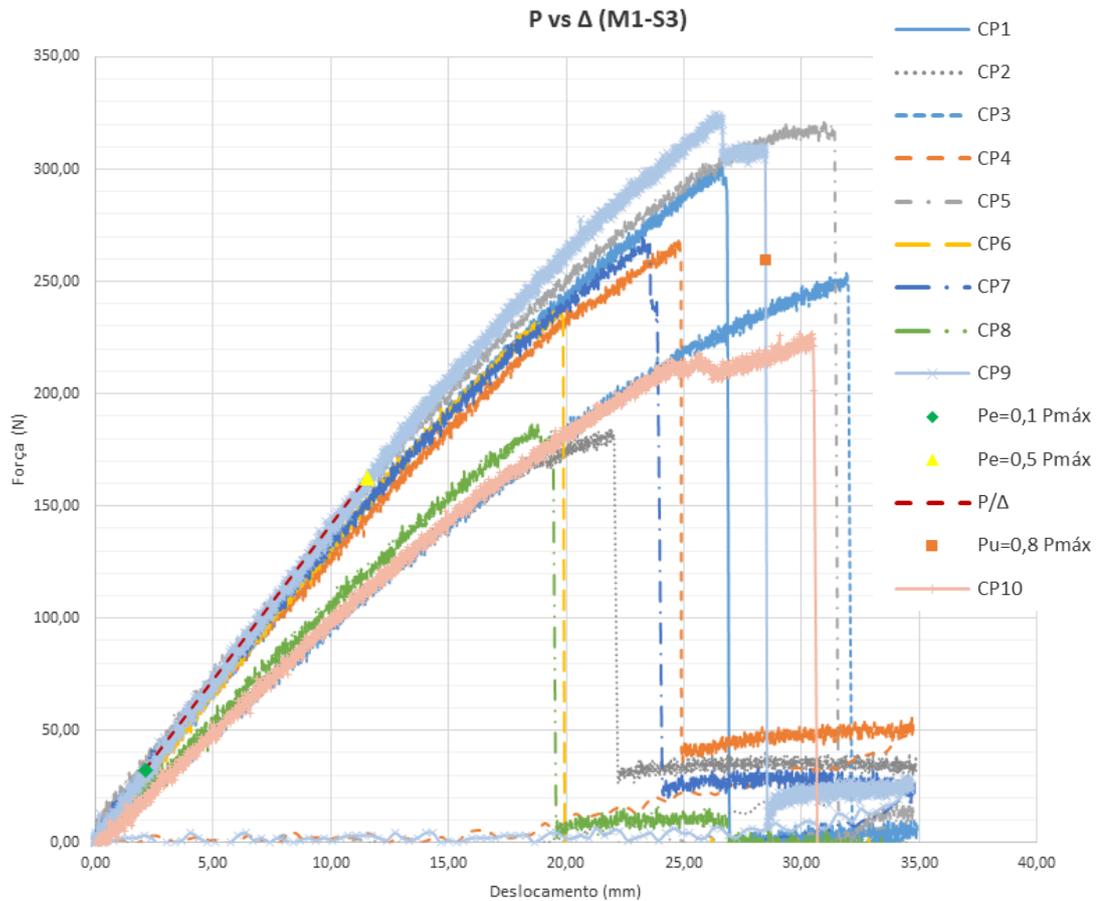


Figura 3.29 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S3 (modelo M1-S3-B-L-H).

A série S4 do modelo M1 (Tabela 3.6) registrou um valor médio de S_b igual a 17,75 MPa com um valor de C_v entre 15 e 30%, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. O valor médio de E foi de 2.369,15 MPa, com um valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados.

Tabela 3.6 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S4-B-T-H.

Nomenclatura	$P_{\text{máx}}$ (N)	S_b (MPa)	P/Δ (N/mm)	E (MPa)
M1 S4-B-T-H CP1	261,36	15,30	38,98	2.333,18
M1 S4-B-T-H CP2	362,32	21,01	43,15	2.540,74
M1 S4-B-T-H CP3	341,39	19,38	42,99	2.459,33
M1 S4-B-T-H CP4	410,25	22,55	50,30	2.736,72
M1 S4-B-T-H CP5	304,99	16,86	47,22	2.590,22
M1 S4-B-T-H CP6	353,55	20,50	38,36	2.260,11
M1 S4-B-T-H CP7	258,09	15,04	36,48	2.165,71
M1 S4-B-T-H CP8	218,88	12,80	32,89	1.963,08
M1 S4-B-T-H CP9	281,25	15,84	41,45	2.337,82
M1 S4-B-T-H CP10	315,18	18,21	39,28	2.304,61
Xm	310,73	17,75	41,11	2.369,15
Var (x)	3.322,88	9,60	26,01	49.574,05
DP	57,64	3,10	5,10	222,65
Cv (%)	18,55	17,46	12,40	9,40

Os maiores valores de S_b e de E foram obtidos pelo CP4 devido aos seus altos valores de $P_{\text{máx}}$ e de P/Δ (Figura 3.30).

Com a série S4 do modelo M1, o valor AIQ de S_b foi igual a 5,39 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 7,15 e 28,72 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [15,53;19,97] MPa contém a média populacional de S_b com 95 % de confiança. O valor AIQ de E foi igual a 316,60 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 1.761,61 e 3.028,01 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [2.209,88;2.528,43] MPa contém a média populacional de E com 95 % de confiança.

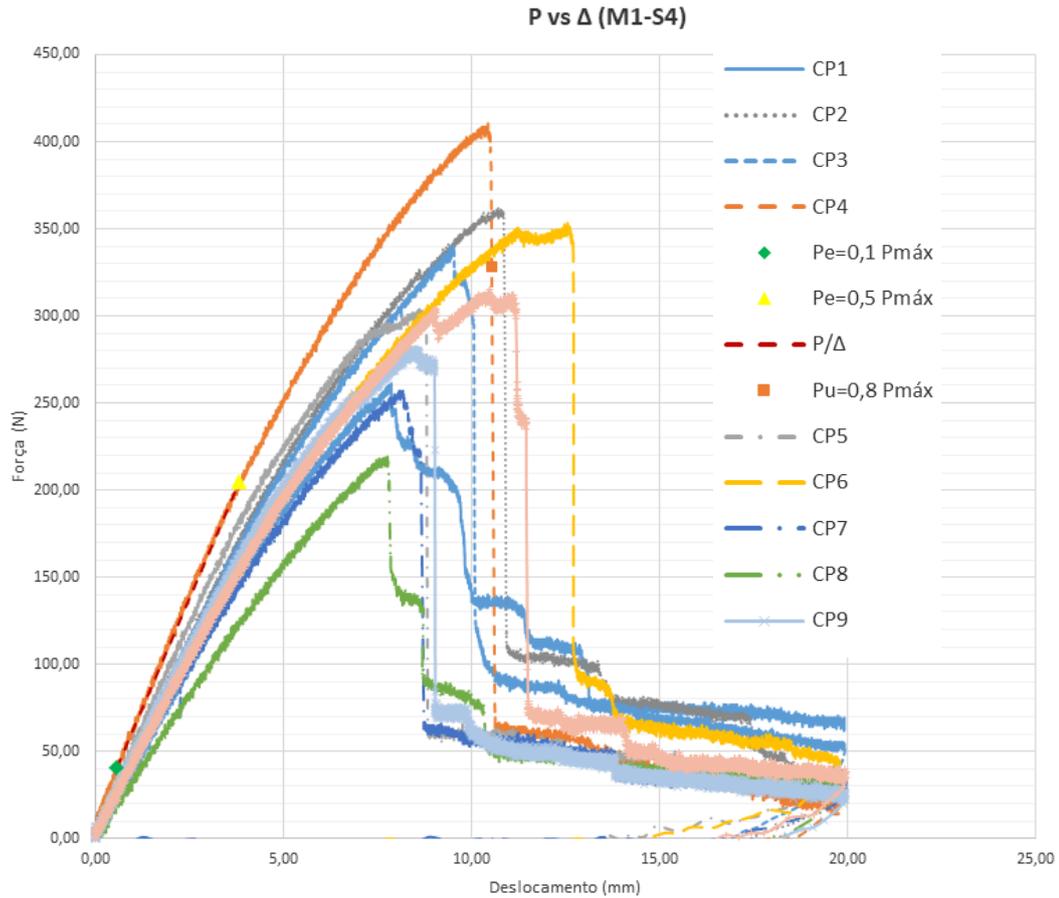


Figura 3.30 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M1 da série S4 (modelo M1-S4-B-T-H).

A série S5 do modelo M2 (Tabela 3.7) registrou um valor médio de S_b igual a 22,70 MPa com um valor de C_v entre 15 e 30%, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. O valor médio de E foi de 3.444,79 MPa, com um valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados.

Tabela 3.7 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S5-A-L-V.

Nomenclatura	$P_{\text{máx}}$ (N)	S_b (MPa)	P/Δ (N/mm)	E (MPa)
M2 S5-A-L-V CP1	554,15	15,82	176,38	3.480,96
M2 S5-A-L-V CP2	587,35	16,28	168,71	3.196,08
M2 S5-A-L-V CP3	916,77	25,40	191,45	3.646,99
M2 S5-A-L-V CP4	1.029,14	28,09	168,08	3.161,04
M2 S5-A-L-V CP5	794,20	22,84	178,88	3.616,87
M2 S5-A-L-V CP6	858,04	23,42	175,28	3.289,51
M2 S5-A-L-V CP7	835,06	23,01	171,63	3.247,74
M2 S5-A-L-V CP8	926,99	25,32	204,92	3.854,75
M2 S5-A-L-V CP9	944,86	25,81	199,87	3.739,36
M2 S5-A-L-V CP10	750,78	21,03	166,96	3.214,56
Xm	819,73	22,70	180,22	3.444,79
Var (x)	23.563,70	16,09	188,08	64.995,61
DP	153,50	4,01	13,71	254,94
Cv (%)	18,73	17,67	7,61	7,40

O maior valor de S_b foi obtido pelo CP4 devido ao seu alto valor de $P_{\text{máx}}$ e o maior valor de E foi obtido pelo CP8 por causa do seu alto valor de P/Δ (Figura 3.31).

Com a série S5 do modelo M2, o valor AIQ de S_b foi igual a 5,66 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 11,35 e 33,99 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [19,83;25,57] MPa contém a média populacional de S_b com 95 % de confiança. O valor AIQ de E foi igual a 460,14 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 2.519,73 e 4.360,30 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [3.262,41;3.627,16] MPa contém a média populacional de E com 95 % de confiança.

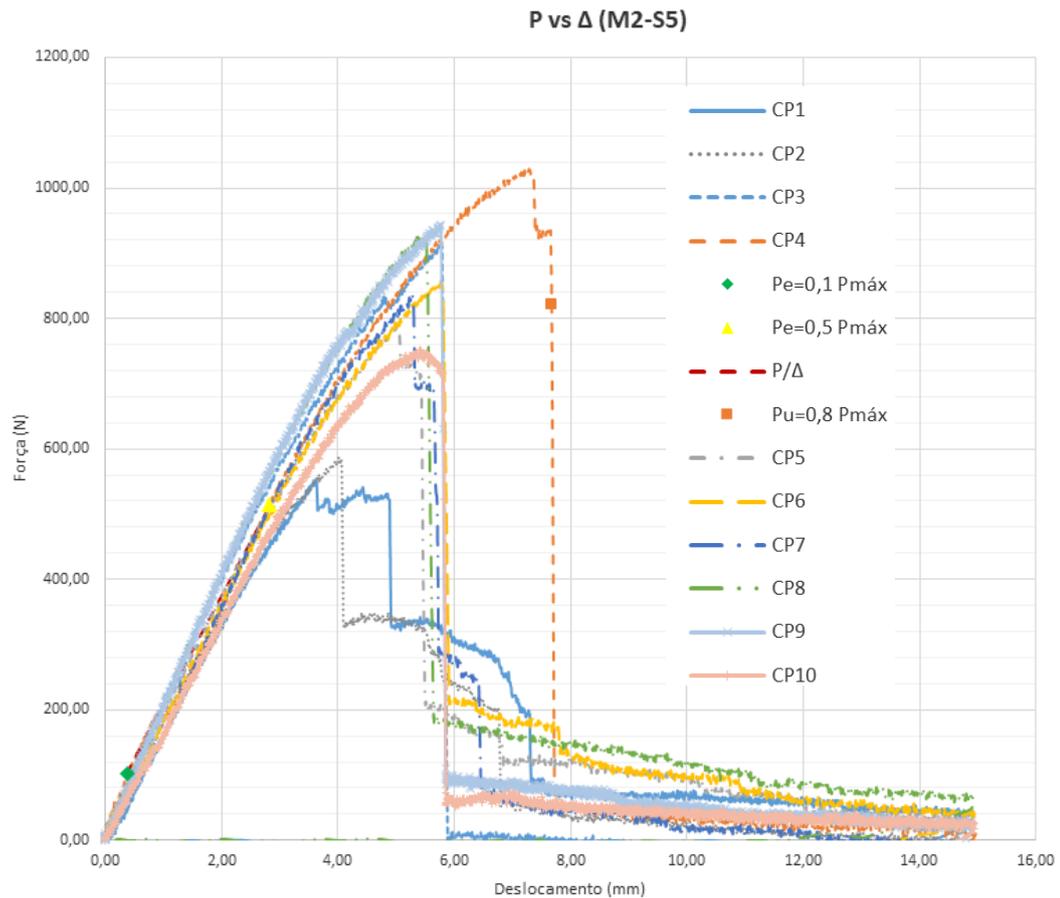


Figura 3.31 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S5 (modelo M2-S5-A-L-V).

A série S6 do modelo M2 (Tabela 3.8) registrou um valor médio de S_b igual a 19,33 MPa com um valor de C_v entre 15 e 30%, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. O valor médio de E foi de 1.708,77 MPa, com um valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados.

Tabela 3.8 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S6-A-T-V.

Nomenclatura	$P_{\text{máx}}$ (N)	S_b (MPa)	P/Δ (N/mm)	E (MPa)
M2 S6-A-T-V CP1	1.455,60	19,64	732,81	1.688,23
M2 S6-A-T-V CP2	1.665,00	22,51	709,98	1.636,50
M2 S6-A-T-V CP3	1.716,08	23,01	726,13	1.659,91
M2 S6-A-T-V CP4	1.647,13	22,31	706,97	1.631,67
M2 S6-A-T-V CP5	1.144,05	15,58	726,46	1.692,42
M2 S6-A-T-V CP6	1.677,77	22,44	906,73	2.069,98
M2 S6-A-T-V CP7	1.149,16	15,84	664,24	1.565,25
M2 S6-A-T-V CP8	1.333,02	18,27	743,59	1.739,59
M2 S6-A-T-V CP9	1.348,35	18,24	712,52	1.657,71
M2 S6-A-T-V CP10	1.128,73	15,44	747,48	1.746,39
X_m	1.426,49	19,33	737,69	1.708,77
Var (x)	57.067,58	9,55	4.080,97	18.920,75
DP	238,89	3,09	63,88	137,55
C_v (%)	16,75	15,99	8,66	8,05

O maior valor de S_b foi obtido pelo CP3 devido ao seu alto valor de $P_{\text{máx}}$ e o maior valor de E foi obtido pelo CP6 por causa do seu alto valor de P/Δ (Figura 3.32).

Com a série S6 do modelo M2, o valor AIQ de S_b foi igual a 6,68 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 5,75 e 32,48 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [17,12;21,54] MPa contém a média populacional de S_b com 95 % de confiança. O valor AIQ de E foi igual a 106,00 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 1.476,30 e 1.900,29 MPa. Assim, o valor igual a 2.069,98 MPa do CP6 foi considerado como um valor *outlier*, com os novos valores de x_m e de DP respectivamente iguais a 1.668,63 e 56,25 MPa, o valor de t igual a 2,306, o intervalo [1.625,39;1.711,87] MPa contém a média populacional de E com 95 % de confiança.

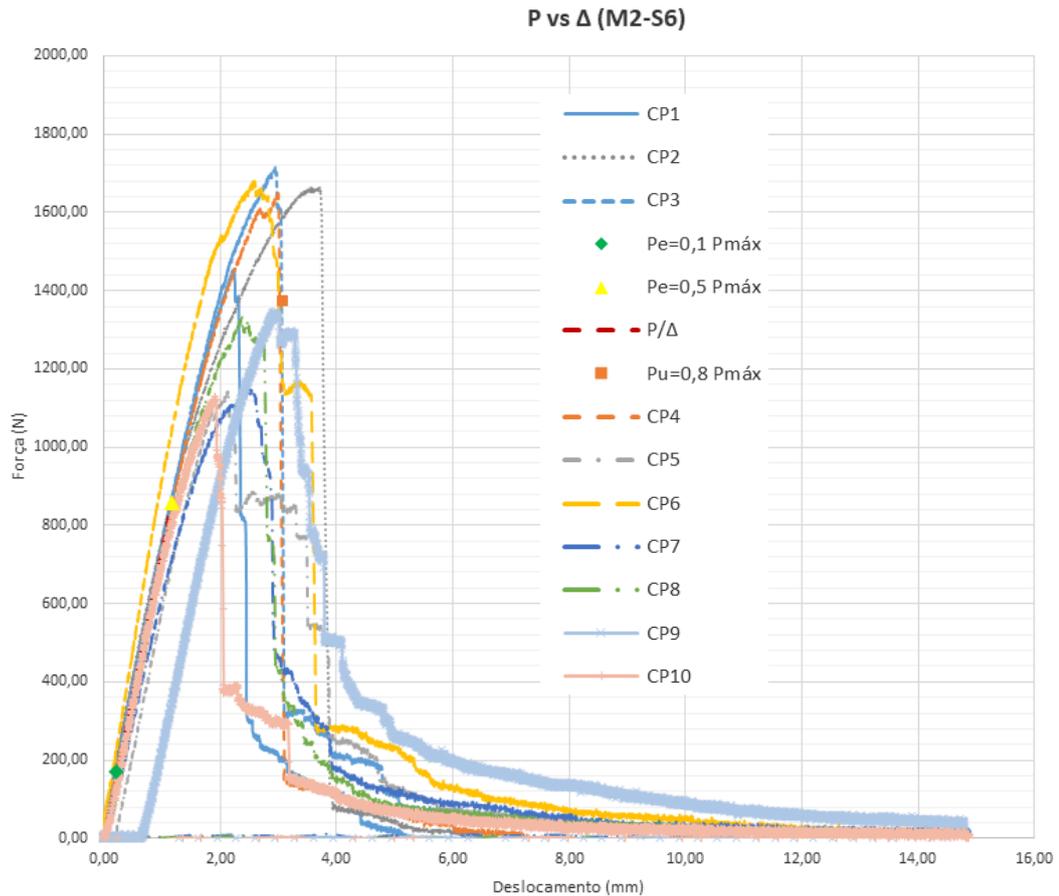


Figura 3.32 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S6 (modelo M2-S6-A-T-V).

A série S7 do modelo M2 (Tabela 3.9) registrou um valor médio de S_b igual a 21,08 MPa com um valor de C_v entre 15 e 30%, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. O valor médio de E foi de 3.235,38 MPa, com um valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados.

Tabela 3.9 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S7-B-L-V.

Nomenclatura	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	S_b (MPa)	P/Δ (N/mm)	E (MPa)
M2 S7-B-L-V CP1	600,12	15,90	115,99	2.851,82
M2 S7-B-L-V CP2	1.016,37	26,44	154,45	3.731,59
M2 S7-B-L-V CP3	766,11	19,96	112,27	2.721,54
M2 S7-B-L-V CP4	569,47	15,12	106,08	2.619,24
M2 S7-B-L-V CP5	666,51	17,59	126,73	3.110,38
M2 S7-B-L-V CP6	924,43	24,37	148,02	3.671,15
M2 S7-B-L-V CP7	995,94	25,76	149,57	3.585,33
M2 S7-B-L-V CP8	863,15	23,58	148,54	3.830,25
M2 S7-B-L-V CP9	860,59	22,26	137,28	3.296,05
M2 S7-B-L-V CP10	758,44	19,81	120,87	2.936,45
Xm	802,11	21,08	131,98	3.235,38
Var (x)	24.677,46	16,28	315,54	201.322,05
DP	157,09	4,03	17,76	448,69
Cv (%)	19,58	19,14	13,46	13,87

O maior valor de S_b foi obtido pelo CP2 devido ao seu alto valor de $P_{m\acute{a}x}$ e o maior valor de E foi obtido pelo CP8 a pesar de o CP2 ter registrado o maior valor de P/Δ (Figura 3.33).

Com a s\u00e9rie S7 do modelo M2, o valor AIQ de S_b foi igual a 7,55 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 5,84 e 36,04 MPa e, pela n\u00e3o exist\u00eancia de valores *outliers*, o intervalo [18,19;23,97] MPa cont\u00e9m a m\u00e9dia populacional de S_b com 95 % de confian\u00e7a. O valor AIQ de E foi igual a 867,01 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 1.518,74 e 4.986,78 MPa e, pela n\u00e3o exist\u00eancia de valores *outliers*, o intervalo [2.914,41;3.556,35] MPa cont\u00e9m a m\u00e9dia populacional de E com 95 % de confian\u00e7a.

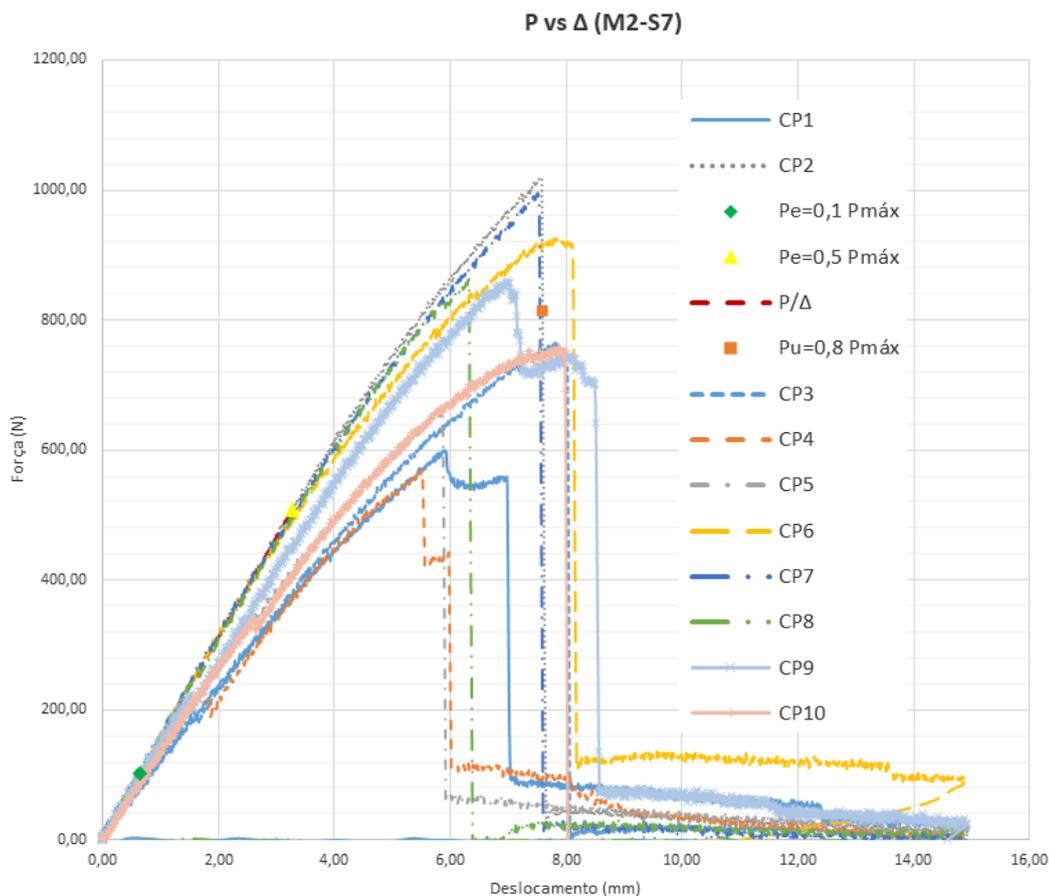


Figura 3.33 – Gráfico força versus deslocamento do Modelo M2 da série S7 (modelo M2-S7-B-L-V).

A série S8 do modelo M2 (Tabela 3.10) registrou os valores médios de S_b e de E respectivamente iguais a 14,98 e 1.576,76 MPa, com os seus valores de C_v inferiores a 15%, o que caracteriza a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados.

Tabela 3.10 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S8-B-T-V.

Nomenclatura	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	S_b (MPa)	P/Δ (N/mm)	E (MPa)
M2 S8-B-T-V CP1	1.054,67	13,69	501,83	1.514,13
M2 S8-B-T-V CP2	1.146,60	14,95	548,92	1.666,29
M2 S8-B-T-V CP3	1.039,35	13,85	475,61	1.480,79
M2 S8-B-T-V CP4	1.054,67	13,65	484,27	1.457,50
M2 S8-B-T-V CP5	995,94	13,30	485,73	1.512,44
M2 S8-B-T-V CP6	1.302,38	17,17	564,61	1.728,50
M2 S8-B-T-V CP7	1.113,41	14,77	533,02	1.653,17
M2 S8-B-T-V CP8	1.310,04	17,09	539,93	1.641,10
M2 S8-B-T-V CP9	1.266,63	16,36	488,50	1.467,89
M2 S8-B-T-V CP10	1.149,16	15,00	543,47	1.645,79
Xm	1.143,29	14,98	516,59	1.576,76
Var (x)	13.054,30	2,08	1.063,51	9.903,26
DP	114,26	1,44	32,61	99,52
C_v (%)	9,99	9,63	6,31	6,31

O maior valor de S_b foi obtido pelo CP6 apesar de o CP8 ter registrado o maior valor de $P_{m\acute{a}x}$ e o maior valor de E foi obtido pelo mesmo CP6 por causa do seu alto valor de P/Δ (Figura 3.34).

Com a s\u00e9rie S8 do modelo M2, o valor AIQ de S_b foi igual a 2,86 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 9,39 e 20,84 MPa e, pela n\u00e3o exist\u00eancia de valores *outliers*, o intervalo [13,95;16,01] MPa cont\u00e9m a m\u00e9dia populacional de S_b com 95 % de confian\u00e7a. O valor AIQ de E foi igual a 178,89 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 1.209,24 e 1.924,78 MPa e, pela n\u00e3o exist\u00eancia de valores *outliers*, o intervalo [1.505,57;1.647,95] MPa cont\u00e9m a m\u00e9dia populacional (x_p) de E com 95 % de confian\u00e7a.

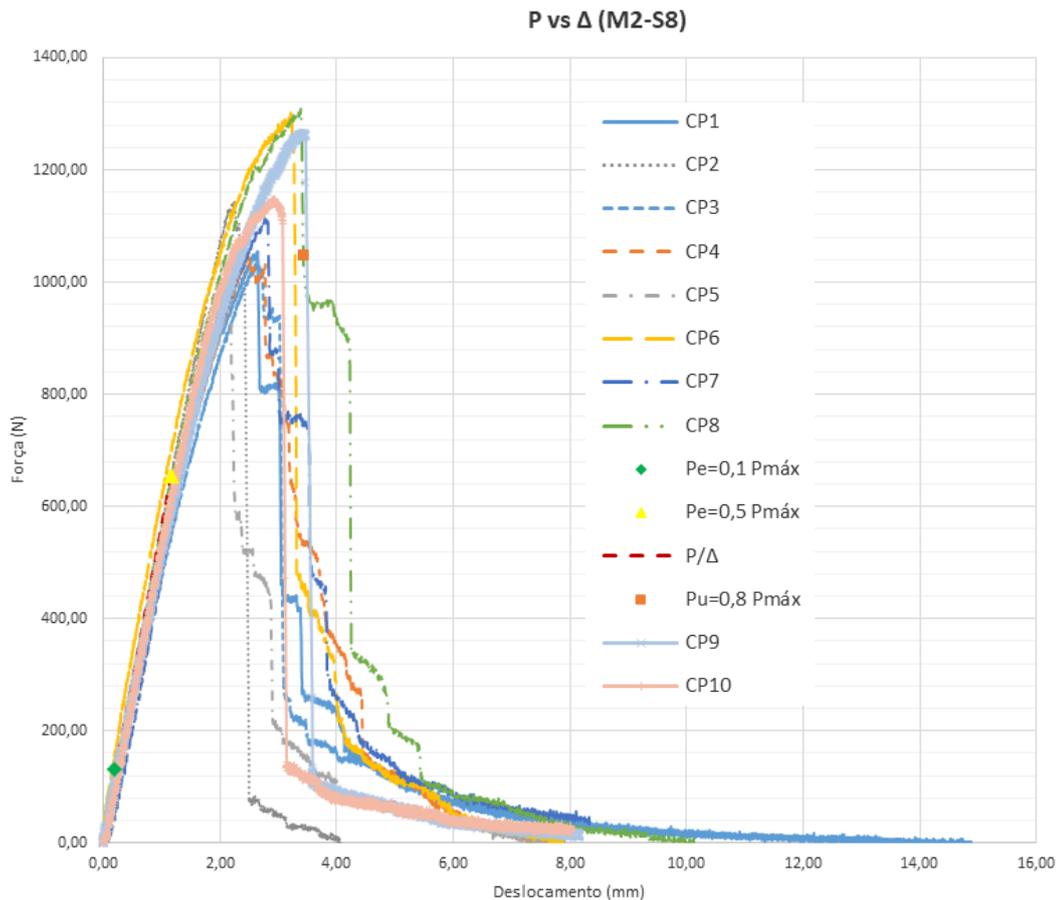


Figura 3.34 – Gr\u00e1fico for\u00e7a versus deslocamento do Modelo M2 da s\u00e9rie S8 (modelo M2-S8-B-T-V).

Os corpos de prova foram extra\u00eddos na dire\u00e7\u00e3o dos eixos longitudinal e transversal do painel inteiro de OSB e carregados nas posi\u00e7\u00f5es horizontal (H) e vertical (V). Esses par\u00e2metros influenciaram os valores da tens\u00e3o de ruptura (S_b) e do m\u00f3dulo de elasticidade longitudinal (E) (Tabela 3.11).

Tabela 3.11 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova - Flexão (valores médios).

Nomenclatura	S_b (MPa)	C_v (%)	x_p (MPa)	E (MPa)	C_v (%)	x_p (MPa)
M1 S1-A-L-H	29,86	12,69	[27,15;32,56]	5.160,01	6,13	[5.093,47;5.390,06]
M1 S2-A-T-H	20,93	25,74	[16,99;22,10]	2.704,99	12,03	[2.472,13;2.937,86]
M1 S3-B-L-H	30,11	20,22	[25,76;34,47]	5.606,38	15,37	[4.990,02;6.222,75]
M1 S4-B-T-H	17,75	17,46	[15,53;19,97]	2.369,15	9,40	[2.209,88;2.528,43]
M2 S5-A-L-V	22,70	17,67	[19,83;25,57]	3.444,79	7,40	[3.262,41;3.627,16]
M2 S6-A-T-V	19,33	15,99	[17,12;21,54]	1.708,77	8,05	[1.625,39;1.711,87]
M2 S7-B-L-V	21,08	19,14	[18,19;23,97]	3.235,38	13,87	[2.914,41;3.556,35]
M2 S8-B-T-V	14,98	9,63	[13,95;16,01]	1.576,76	6,31	[1.505,57;1.647,95]
x_p é a média populacional no intervalo de confiabilidade com 95% de nível de confiança						

3.3.1 Influência do eixo de extração dos corpos de prova sobre os resultados

A série S1, constituída de corpos de prova extraídos na direção do eixo longitudinal dos painéis de OSB, registrou um valor médio da tensão de ruptura (S_b) e do módulo de elasticidade longitudinal (E) respectivamente igual a 29,86 MPa e 5.160,01 MPa. A série S2, constituída de corpos de prova extraídos na direção do eixo transversal dos painéis de OSB, registrou um valor médio de S_b e de E respectivamente igual a 20,93 MPa e 2.704,99 MPa. Observou-se que os valores médios de S_b e de E da série S1 foram respectivamente superiores de 42,67 % e 90,76 % aos valores médios da série S2.

A série S3, constituída de corpos de prova extraídos na direção do eixo longitudinal dos painéis de OSB, registrou um valor médio de S_b e de E respectivamente igual a 30,11 MPa e 5.606,38 MPa. A série S4, constituída de corpos de prova extraídos na direção do eixo transversal dos painéis de OSB, registrou um valor médio de S_b e de E respectivamente igual a 17,75 MPa e 2.369,15 MPa. Esses valores médios de S_b e de E da série S3 foram respectivamente superiores de 69,63 % e 136,64 % aos valores médios da série S4.

A série S5, constituída de corpos de prova extraídos na direção do eixo longitudinal dos painéis de OSB, registrou um valor médio de S_b e de E respectivamente igual a 22,70 MPa e 3.444,79 MPa. A série S6, constituída de corpos de prova extraídos na direção do eixo transversal dos painéis de OSB, registrou um valor médio de S_b e de E respectivamente igual a 19,33 MPa e 1.708,77 MPa. Esses valores médios de S_b e de E da série S5 foram respectivamente superiores de 17,43 % e 101,59 % aos valores médios da série S6.

A série S7, constituída de corpos de prova extraídos na direção do eixo longitudinal dos painéis de OSB, registrou um valor médio de S_b e de E respectivamente igual a 21,08 MPa e 3.235,38

MPa. A série S8, constituída de corpos de prova extraídos na direção do eixo transversal dos painéis de OSB, registrou um valor médio de S_b e de E respectivamente igual a 14,98 MPa e 1.576,76 MPa. Esses valores médios de S_b e de E da série S7 foram respectivamente superiores de 40,72 % e 105,19 % aos valores médios da série S8.

Pode-se explicar esses resultados pelo fato de as fibras das duas camadas externas dos CP's das séries S1 – S3 – S5 e S7, orientadas na direção do eixo longitudinal, trabalharem em flexão em relação ao eixo transversal dessas mesmas fibras.

3.3.2 Influência da espessura dos corpos de prova sobre os resultados

As séries S1 e S2, constituídas de CP's feitos de painéis OSB com 9,5 mm de espessura nominal e ensaiados na posição horizontal, registraram um valor médio da tensão de ruptura (S_b) e do módulo de elasticidade longitudinal (E) respectivamente igual a 25,39 MPa e 3.932,50 MPa. As séries S3 e S4, constituídas de CP's feitos de painéis OSB com 11,1 mm de espessura nominal e ensaiados na posição horizontal, registraram um valor médio de S_b e de E respectivamente igual a 23,93 MPa e 3.987,76 MPa. O valor médio de S_b das séries S1 e S2 foi superior de 6,10 % ao valor médio das séries S3 e S4. O valor médio de E das séries S3 e S4 foi superior de 1,40 % ao valor médio das séries S1 e S2.

Pode-se explicar o resultado de S_b pelo fato de o menor valor médio entre as séries S1-S2 ter sido aproximadamente 1,18 vezes superior ao valor entre as séries S3-S4 e o maior valor médio entre as séries S3-S4 ter sido aproximadamente igual ao valor entre as séries S1-S2. Em relação ao resultado de E, pode-se explicá-lo pelo fato de o menor valor médio entre as séries S1-S2 ter sido aproximadamente 1,14 vezes superior ao valor entre as séries S3-S4 e o maior valor médio entre as séries S3-S4 ter sido aproximadamente 1,08 vezes superior ao valor entre as séries S1-S2.

As séries S5 e S6, constituídas de CP's feitos de painéis OSB com 9,5 mm de espessura nominal e ensaiados na posição vertical, registraram um valor médio de S_b e de E respectivamente igual a 21,01 MPa e 2.576,78 MPa. As séries S7 e S8, constituídas de CP's feitos de painéis OSB com 11,1 mm de espessura nominal e ensaiados na posição vertical, registraram um valor médio de S_b e de E respectivamente igual a 18,03 MPa e 2.406,07 MPa. Os valores médios de S_b e de E das séries S5 e S6 foram respectivamente superiores de 16,53 % e 7,09 % aos valores médios das séries S7 e S8.

Pode-se explicar o resultado de S_b pelo fato de o menor valor médio entre as séries S5-S6 ter sido aproximadamente 1,29 vezes superior ao valor entre as séries S7-S8 e o maior valor médio entre as séries S5-S6 ter sido aproximadamente 1,07 vezes superior ao valor entre as séries S7-S8. Em relação ao resultado de E, pode-se explicá-lo pelo fato de o menor valor médio entre as séries S5-S6 ter sido aproximadamente 1,08 vezes superior ao valor entre as séries S7-S8 e o maior valor médio entre as séries S5-S6 ter sido aproximadamente 1,06 vezes superior ao valor entre as séries S7-S8.

3.3.3 Influência da posição dos corpos de prova sobre os resultados

O modelo M1, composto pelas séries S1 – S2 – S3 e S4, representava os corpos de prova ensaiados na posição horizontal (deitado). Esse mesmo registrou um valor médio da tensão de ruptura (S_b) e do módulo de elasticidade longitudinal (E) respectivamente igual a 24,66 MPa e 3.960,13 MPa.

O modelo M2, composto pelas séries S5 – S6 – S7 e S8, representava os corpos de prova ensaiados na posição vertical (em pé). Esse modelo registrou um valor médio de S_b e de E respectivamente igual a 19,52 MPa e 2.491,42 MPa.

Os valores médios de S_b e de E do modelo M1 foram superiores de 26,33 % e 58,95 % aos valores médios do modelo M2.

Pode-se explicar esses resultados pelo fato de os CP's do modelo M1 terem um momento de inércia inferior ao momento de inércia dos CP's do modelo M2.

3.4 Conclusões

Observou-se que os valores de S_b e de E são diretamente influenciados pelo eixo de extração (definindo o vão) dos corpos de prova, pela espessura e pela posição de ensaio desses mesmos. Sendo assim, pode-se concluir que quanto maiores forem o vão do CP, a sua espessura nominal e a sua velocidade de ensaio, incluindo a sua extração na direção do eixo longitudinal do painel original junto com o seu ensaio na posição horizontal, maiores serão os valores de S_b (maior relação entre a força máxima e o momento de inércia) e de E (maior relação entre a rigidez e o momento de inércia).

Nos modelos M1 e M2, os maiores valores médios de S_b e de E foram aproximadamente 2 vezes superiores aos seus menores valores por causa do eixo de extração dos CP's.

4

ENSAIOS DE CISALHAMENTO

4.1 Materiais e Métodos

4.1.1 Materiais

Para os ensaios de cisalhamento direto, foi necessário o uso de três tipos de materiais que são: i) o painel de OSB; ii) o adesivo para mármore e laminação; iii) e o V1 – Grauth.

O adesivo da marca Iberê é um produto indicado para colagem de peças e rachaduras em mármore, granito e cerâmica. Esse serviu de elemento impermeabilizante, pois a sua secagem rápida após uso com o seu catalizador evitou que parte da água contida no grauth pudesse ser absorvida pelo corpo de prova de OSB (Figura 4.1).



Figura 4.1 – Adesivo e sua aplicação no corpo de prova de OSB.

O V1 – Grauth da Vedacit Impermeabilizantes é uma argamassa autoadensável usada para: grauteamento de máquinas e equipamentos; instalação de torres, guindastes e pontes rolantes; - grauteamento de pré-moldados de concreto armado ou protendido; recuperação estrutural; - reparos em pisos industriais e fixação e chumbamento de tubulações em concreto. Esse foi usado para a fabricação dos pares de discos que serviram como engaste para os corpos de prova em painéis de OSB (Figura 4.2).



Figura 4.2 – V-1 Grauth e sua aplicação para os ensaios de cisalhamento direto de OSB.

4.1.2 Processo de fabricação dos corpos de prova

O Laboratório de Tecnologia de Rochas (LTR) do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais é um laboratório com uma das suas especialidades voltada para a realização de ensaios de cisalhamento direto em rochas. Inspirou-se sobre esse tipo de ensaio substituindo o corpo de prova de rocha pelo painel de OSB.

Antes da elaboração dos ensaios propriamente ditos, foram feitos alguns testes iniciais para avaliar a eficiência desse tipo de ensaio usando o corpo de prova de OSB. Durante essa fase de avaliação, o Super Graute Quartzolit e o V-1 Grauth foram usados como argamassa para fabricação dos discos de engaste. A primeira argamassa chegou a falhar, por fissuração ou esmagamento parcial, sem cisalhamento do corpo de prova de OSB. Essa falha não ocorreu com a segunda argamassa que cisalhou o corpo de prova de OSB, assim, todos os corpos de prova ensaiados foram fabricados com o V1 – Grauth.

No caso de ensaio com corpo de prova de rocha, o Super Graute foi suficientemente utilizado, pois o plano de cisalhamento era anteriormente definido pela separação do CP a ser ensaiado, ou seja, dois corpos de prova cilíndricos de rocha eram grauteados com os seus engastes unidos por palitos que, posteriormente, eram cortados para compor um CP de ensaio (Figura 4.3).

O corpo de prova de rocha tinha aproximadamente uma altura de 60 mm e um diâmetro de 67 mm. Os seus engastes de argamassa tinham aproximadamente uma altura de 60 mm e um diâmetro de 159 mm sendo que o elemento de rocha ultrapassava a face superior do engaste de aproximadamente 2,5 mm.



Figura 4.3 – Composição do CP com corpo de prova de rocha.

O processo de fabricação dos corpos de prova de ensaio com corpo de prova de OSB foi feito respeitando as seguintes etapas: i) extração dos corpos de prova, segundo os eixos longitudinal e transversal, dos painéis originais de OSB com 1200 mm de largura e 2400 de altura; ii) impermeabilização desses elementos com o adesivo; iii) e moldagem dos discos tendo em seu interior um corpo de prova em painel de OSB, de forma que este ficasse engastado nos referidos discos.

Os corpos de prova extraídos tinham aproximadamente 60 mm de largura nominal e 110 mm de altura (comprimento) nominal. A nomenclatura S1-1-A-L-T se refere à Série 1 – modelo 1 – 9,5 mm de espessura nominal do painel de OSB – extração do CP na direção do eixo longitudinal do painel original de OSB – aplicação da força na direção do eixo transversal do painel de OSB. A nomenclatura S1-2-A-T-L se refere à Série 1 – modelo 2 – 9,5 mm de espessura nominal do painel de OSB – extração do CP na direção do eixo transversal do painel original de OSB – aplicação da força na direção do eixo longitudinal do painel de OSB. A nomenclatura S2-3-B-L-E se refere à Série 2 – modelo 3 – 11,1 mm de espessura nominal do painel de OSB – extração do CP na direção do eixo longitudinal do painel original de OSB – aplicação da força paralelamente à espessura do painel de OSB. O eixo longitudinal é aquele considerado na direção paralela ao comprimento de 2.400 mm dos painéis de OSB enquanto o eixo transversal é aquele considerado na direção paralela à largura de 1.200 mm dessas mesmos painéis.

O adesivo foi utilizado para impermeabilizar os corpos de prova de OSB, evitando a absorção da água contida na argamassa de engastamento e mantendo o seu estado original. A aceleração do processo de secagem do adesivo era garantida pelo uso do catalizador correspondente. Foi deixada uma faixa com altura de aproximadamente 5 mm na parte central do corpo de prova sem adesivo, para que as superfícies da região de cisalhamento permanecessem no seu estado original (Figura 4.4).



Figura 4.4 – Faixa de 5 mm ao longo da parte central do corpo de prova de OSB.

A aplicação desse adesivo nos corpos de prova de OSB era feita em dois turnos. No turno de manhã, geralmente a partir das 09:00, a aplicação era feita na primeira extremidade dos corpos de prova e, em seguida, expostos ao sol até às 14:00, horário em que a aplicação era feita na segunda extremidade. Após essa aplicação, os corpos de prova eram expostos ao ar livre até aproximadamente às 18:00, onde posteriormente eram recolhidos e expostos sobre uma das mesas do laboratório para que a secagem se completasse evitando que esses se grudassem entre si após serem empilhados para armazenamento (Figura 4.5).



Figura 4.5 – Disposição dos corpos de prova para secagem do adesivo.

O espaçamento entre os discos de engastamento era de aproximadamente 5 mm, estabelecendo assim a região de cisalhamento. Para a fabricação desses discos, foi necessário o uso de: uma argamassadeira; argamassa do tipo V1-Grauth; uma concha metálica; água; óleo de cozinha; moldes; fita crepe; uma bandeja metálica; uma espátula; uma colher de pedreiro; e as guias.

A argamassadeira auxiliou no preparo da argamassa de engastamento misturando o V1-Grauth com água. A colocação do V1-Grauth dentro da argamassadeira era feita com a concha metálica. A espátula e a colher de pedreiro eram usadas para a mistura final da argamassa dentro da bandeja e para facilitar a colocação dessa argamassa dentro dos moldes (Figura 4.6).



Figura 4.6 – Argamassadeira, concha e espátula com colher de pedreiro e bandeja.

Os moldes de PVC, com aproximadamente 60,70 mm de altura e 159,20 mm de diâmetro interno, segurados com fita crepe, serviam para moldar os discos de engaste. As guias, feitas de acrílico, auxiliaram na centralização do corpo de prova de OSB nesses discos (Figura 4.7).



Figura 4.7 – Molde de PVC com as guias.

Foi utilizado óleo de cozinha para lubrificar a parte interna dos moldes e todas as partes das guias que teriam contato com a argamassa, a fim de evitar que essa argamassa grudasse nos moldes e, assim, facilitasse o desmolde (Figura 4.8).



Figura 4.8 – Lubrificação do molde e da guia.

Para fabricar os corpos de prova foi preciso (Figura 4.9): a) limpar os moldes e passar a fita crepe para estabilizar suas extremidades e preservar a sua geometria circular; b) limpar as guias; c) lubrificar os moldes e as guias (Figura 4.8); d) colocar e misturar a argamassa com água dentro da argamassadeira; e) despejar a argamassa dentro da bandeja e concluir a sua mistura

homogênea com a colher de pedreiro controlando a sua consistência; f) posicionar o primeiro molde, com o auxílio da colher de pedreiro e da espátula, colocar a argamassa dentro desse molde sem preenchimento total; g) introduzir o corpo de prova de OSB e posicionar a primeira guia no topo do molde para centralização desse corpo de prova; h) prosseguir com a colocação da argamassa até preenchimento total do molde e posicionar a segunda guia para completar a centralização do corpo de prova de OSB e nivelamento completo da argamassa no topo do molde completando assim o primeiro disco de engaste; i) estabilizar as guias passando duas camadas de fita crepe nas suas abas circundando o molde; j) preencher o espaço entre o corpo de prova de OSB e a abertura central das guias com a massa de modelar; k) posicionar o segundo molde entre as abas das guias; l) colocar a argamassa até preenchimento total do molde e nivelá-la no topo do molde completando assim o segundo disco de engaste; m) no dia seguinte, tirar a fita crepe que circundava as abas inferiores das guias e removê-las puxando lateralmente; n) limpar a região de cisalhamento do corpo de prova de OSB removendo a massa de modelar que havia entre esse corpo de prova e a abertura central das guias; o) empurrar o disco de engaste curado para baixo e puxar para cima o molde removendo-o, cada um de uma vez, sem danificar a sua fita crepe; p) marcar o posicionamento do corpo de prova de OSB e o sentido de aplicação da força cisalhante sobre um dos discos de engaste; q) datar e nomear o CP antes da disposição final para cura completa da argamassa.



Figura 4.9 – Processo de fabricação dos corpos de prova.

Inicialmente, produzia-se 3 CP's por dia e, em seguida, passou-se a produzir 6 CP's por dia. Esses corpos de prova foram moldados na parte da manhã, geralmente das 09:00 às 12:00 e, os seus desmoldes foram feitos no dia seguinte às 09:00.

4.1.3 Procedimento de ensaio dos corpos de prova

Depois do desmolde, os corpos de prova eram armazenados e posteriormente ensaiados após decorrido o prazo mínimo de uma semana. Os ensaios foram realizados no prazo de 7 dias.

Para a realização dos ensaios de cisalhamento, foi necessário usar: i) um quadro de cisalhamento; ii) dois medidores de deslocamento (LVDT's); iii) um sistema de aquisição; iv) o *Software* catman; v) um computador; vi) e duas bombas hidráulicas de ação manual. Visto que as bombas atuam com pressão (kgf/cm^2), a calibração foi feita para obtenção da força cisalhante em kgf.

O quadro de cisalhamento foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo. Esse quadro é basicamente composto de: uma base inclinada para aplicação da força de cisalhamento; uma base vertical para aplicação da força vertical; um local de posicionamento dos discos que é constituído por dois painéis de aço maciço, sendo a placa

inferior fixada no quadro de cisalhamento e a placa superior móvel. A força vertical é aplicada paralelamente ao eixo vertical do CP para reduzir o levantamento desse mesmo ao receber a força cisalhante. A força cisalhante é aplicada, no painel superior de aço maciço, em um ângulo de 0,36 radiano, ângulo que foi determinado empiricamente pelo IPT para minimizar o levantamento da parte frontal do CP e maximizar a força cisalhante horizontal nesse mesmo durante o ensaio (Figura 4.10).

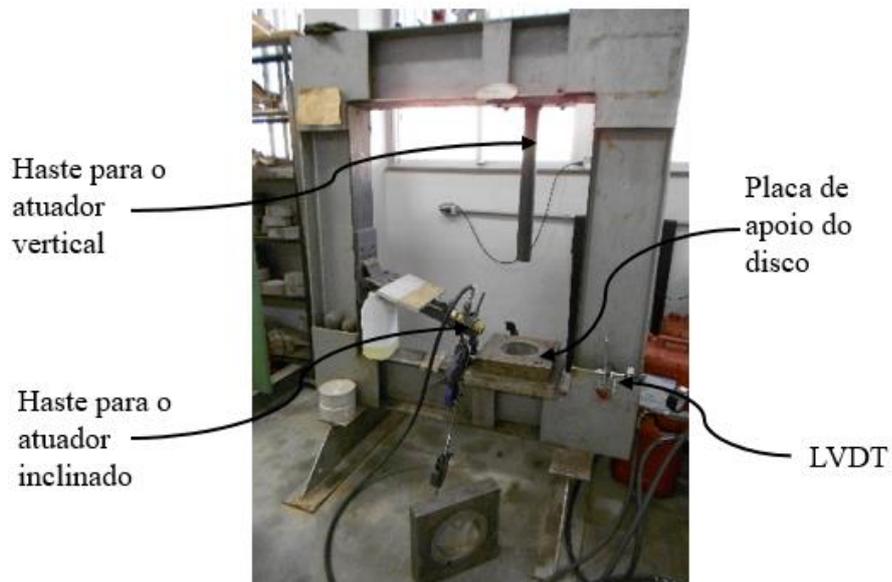


Figura 4.10 – Quadro de cisalhamento.

Os LVDT's (*Linear Variable Differential Transformer*), com curso de 100 mm, foram usados para medir o deslocamento horizontal relativo entre o disco superior e o disco inferior e, conseqüentemente, entre a parte superior e a parte inferior do CP (Figura 4.11).



Figura 4.11 – LVDT's posicionados.

O Spider8 600 Hz, da *Hottinger Baldwin Measurements* – HBM, foi o tipo de sistema usado para a aquisição dos dados de ensaio e, nesse equipamento, foram conectados os transdutores

de pressão das bombas hidráulicas e os LVDT's. O transdutor de pressão da bomba referente à força vertical era do modelo WTP-4010 com capacidade de 100 bar e os LVDT's foram também fabricados pela HBM e, por causa do seu sistema de alimentação, passaram por um conversor externa de energia antes de serem conectados ao Spider. O transdutor de pressão da bomba referente à força cisalhante da marca TRANSTEC e do tipo HMI-2300 com capacidade de 700 bar, devido à sua capacidade de ser alimentado energeticamente pelo Spider, foi conectado diretamente a este mesmo (Figura 4.12).



Figura 4.12 – Spider8 600 Hz.

O HBM *Catman 4.5 Release 2 [Interactive]* é o *software* que foi instalado no computador e, esse foi usado para programar, visualizar, controlar e gravar os dados que eram exportados em formato “.xls” no final do ensaio de cada CP (Figura 4.13).

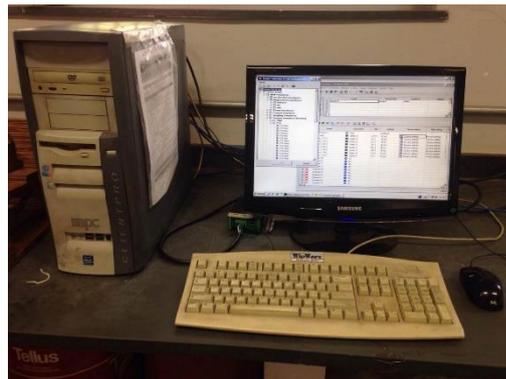


Figura 4.13 – *Catman* aberto no computador.

As bombas hidráulicas utilizadas eram da ENERPAC, tipo pistão, modelo P-80 e tinham uma pressão nominal de 700 bar (Figura 4.14).



Figura 4.14 – Bombas Hidráulicas de ação manual de forças cisalhante e vertical.

Os cilindros hidráulicos, modelo RC-102 da ENERPAC, usados nas bombas, foram devidamente calibrados com o emprego de um anel dinamométrico com capacidade de 500 kN (Figura 4.15).



Figura 4.15 – Anel dinamométrico com cilindro hidráulico.

Para posicionar o CP no quadro de cisalhamento, era preciso (Figura 4.16): buscar o CP do seu local de armazenamento; aspirar quaisquer partículas sólidas dos componentes do quadro de cisalhamento; engraxar a parte traseira do disco de engaste superior do CP para minimizar o atrito entre este e a placa móvel de aço (minimizando a transferência da componente vertical da força aplicada nessa placa móvel para o CP); engraxar quatro roletes com aproximadamente 5 mm de diâmetro e posicioná-los no topo engraxado do painel de aço fixada ao quadro; posicionar o CP dentro dessa placa seguindo o sentido de aplicação da força; posicionar a placa

móvel de aço sobre esses roletes cobrindo o disco de engaste superior do CP; engraxar o lado interno dos painéis laterais e estabilizá-las nos painéis de aço através de grampos para que a placa móvel de aço pudesse se deslocar no sentido e direção da força aplicada; posicionar a rótula da força cisalhante, garantir que o seu cilindro hidráulico seja estabilizado e bombear a sua haste até que encoste suavemente na sua rótula; posicionar uma chapa cilíndrica no topo do CP; engraxar o conjunto chapas – roletes e posicioná-lo sobre a chapa cilíndrica garantindo a movimentação desse conjunto no sentido e direção da força aplicada; posicionar a rótula da força vertical no topo desse conjunto; posicionar o cilindro hidráulico e bombear a sua haste até que essa mesma encostasse no topo da rótula; posicionar os LVDT's e puxar as suas hastes até que essas mesmas encostassem no painel móvel de aço tendo a marca zero alinhada com o seu tubo externo (Figura 4.11).



Figura 4.16 – Posicionamento do CP no quadro de cisalhamento.

Ao final de ensaio de cada CP, os dados foram salvados (Apêndice A.3). Depois de ter salvado os dados, foi preciso efetuar o descarregamento e remover o CP cisalhado do quadro de cisalhamento e, preparar o próximo CP para ser ensaiado seguindo o mesmo procedimento. Visto que as bombas usadas foram manuais, a força cisalhante foi aplicada em um movimento constante e lento até ruptura do CP.

4.2 Apresentação e análise dos resultados obtidos durante os ensaios

4.2.1 Generalidades

Os arquivos exportados do *Catman* eram do formato “.xls” e sempre continham: o comentário do arquivo (data completa de ensaio e nomenclatura do CP); o tempo de aquisição (s); os valores registrados pelos LVDT's (mm); os valores da força vertical (kgf) e os valores da força de cisalhamento (kgf).

Para determinar o valor do módulo de elasticidade transversal (G) de cada CP em megapascal (MPa), foi preciso: i) determinar os valores médios registrados pelos LVDT's; ii) determinar a força horizontal de cisalhamento; iii) elaborar o gráfico força horizontal cisalhante versus deslocamento; e iv) determinar a tensão máxima de cisalhamento.

Depois de ter determinado os valores da força cisalhante horizontal e os valores médios dos deslocamentos medidos com os LVDT's, foram elaborados gráficos de força versus deslocamento. Cada um desses gráficos contém: um ponto cujas coordenadas são determinadas por uma força (P_u) e o deslocamento correspondente (Δ_u) que marcam os 80 % da força máxima ($P_{m\acute{a}x}$) alcançada pelo CP (fim do gráfico) e a rigidez inicial (P_g/Δ ou P/Δ) determinada pela Equação (4.1).

$$\frac{P_g}{\Delta} = \frac{(P_1 - P_2)}{(\Delta_1 - \Delta_2)} \quad (4.1)$$

Onde P_1 é a força cisalhante horizontal equivalente a 0,6 ou 0,5 de $P_{m\acute{a}x}$; P_2 é a força cisalhante horizontal correspondente a 0,2 ou 0,1 de $P_{m\acute{a}x}$; Δ_1 e Δ_2 são os seus deslocamentos correspondentes.

A tensão horizontal máxima de cisalhamento é o maior valor entre os das tensões cisalhantes horizontais (τ) calculadas. A tensão cisalhante horizontal foi obtida pela relação entre o valor máximo da força horizontal cisalhante e a área cisalhada conforme a Equação (4.2).

$$\tau = \frac{P_{m\acute{a}x}}{L_c \cdot t_c} \quad (4.2)$$

Onde $P_{\text{máx}}$ é o valor máximo da força horizontal cisalhante (em N); L_c é o comprimento da área cisalhada (em mm) e t_c é a largura da área cisalhada (em mm).

Segundo Boudreault (2005) e Blais (2006), o módulo de elasticidade transversal (G) é determinado pela Equação (4.3).

$$\begin{aligned}\tau &= \gamma G \\ \tau &= \frac{P}{L_c \cdot t_c} \\ \text{tg}(\gamma) &\cong \gamma = \frac{\Delta}{h} \\ G &= \frac{\tau}{\gamma}\end{aligned}$$

$$G = \frac{P}{\Delta} \cdot \frac{h}{L_c \cdot t_c} \cdot F \quad (4.3)$$

Onde h é o espaçamento entre os discos de engaste ou a altura da área cisalhada (em mm) e F é o fator multiplicador para compensação da distribuição não uniforme de tensão em corpos de prova de pequenas dimensões (1,19 segundo a ASTM D2719-13; Método C item 7.5).

Os corpos de prova foram divididos em duas séries segundo a espessura nominal dos corpos de prova de OSB. Cada série possui três modelos segundo a direção de aplicação da força cisalhante. Além disso, cada modelo era composto por 10 CP's totalizando uma quantidade de 60. Foram também determinados a variância [$\text{var}(x)$], o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (C_v) de cada modelo e, em seguida, definiu-se o intervalo de confiabilidade dos dados a partir da análise estatística do Apêndice A.5.

4.2.2 Corpos de prova da Série S1

O conjunto de ensaios da série S1 foi composto de 30 CP's com corpo de prova de OSB extraídos na direção dos eixos longitudinal e transversal dos painéis de OSB (Tabela 4. 1).

Como nomenclatura dos CP's desta série, tem-se: a série com o seu número (S_i); o número do modelo (x); a espessura nominal do painel de OSB usada no CP (t_{OSB} ou t_{CP} como A igual a 9,5 mm); o eixo de extração do painel de OSB (L – longitudinal e T – transversal); a direção de

carregamento do CP (L – força aplicada paralelamente ao eixo longitudinal, T – força aplicada paralelamente ao eixo transversal e E – força aplicada paralelamente à espessura) e quantidade de CP (Q_{CP}).

Tabela 4. 1 – Parâmetros relativos aos corpos de prova da série S1 ensaiada.

Nomenclatura	t_{CP} (mm)	t_{CP} medida (mm)	Eixo de extração	Direção de carregamento	Q_{CP}
S1-1-A-L-T	9,5	10,02	Longitudinal	Transversal	10
S1-2-A-T-L			Transversal	Longitudinal	10
S1-3-A-L-E			Longitudinal	Espessura	10
Total de corpos de prova (CP)					30

O ensaio dos corpos de prova do modelo 1 foi executado no dia 20 de setembro, sendo que os corpos de prova 1/2/3/4/5/6/7/8/9 foram fabricados no dia 08 e o CP10 no dia 11. A título de exemplo, o gráfico força versus deslocamento do CP1 correspondente a cada modelo desta série foi apresentado neste item. Os gráficos dos demais corpos de prova foram agrupados por modelo e apresentados no item 4.3 objetivando evitar a redundância de análises para ensaios com resultados semelhantes.

No ensaio do CP1 do modelo 1, $P_{máx}$ foi alcançado em um deslocamento de 5,26 mm e o valor de P_u igual a 7.559,80 N em um deslocamento de 6,42 mm (Figura 4.17- Figura 4.18).



Figura 4.17 – Série S1-1-A-L-T CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

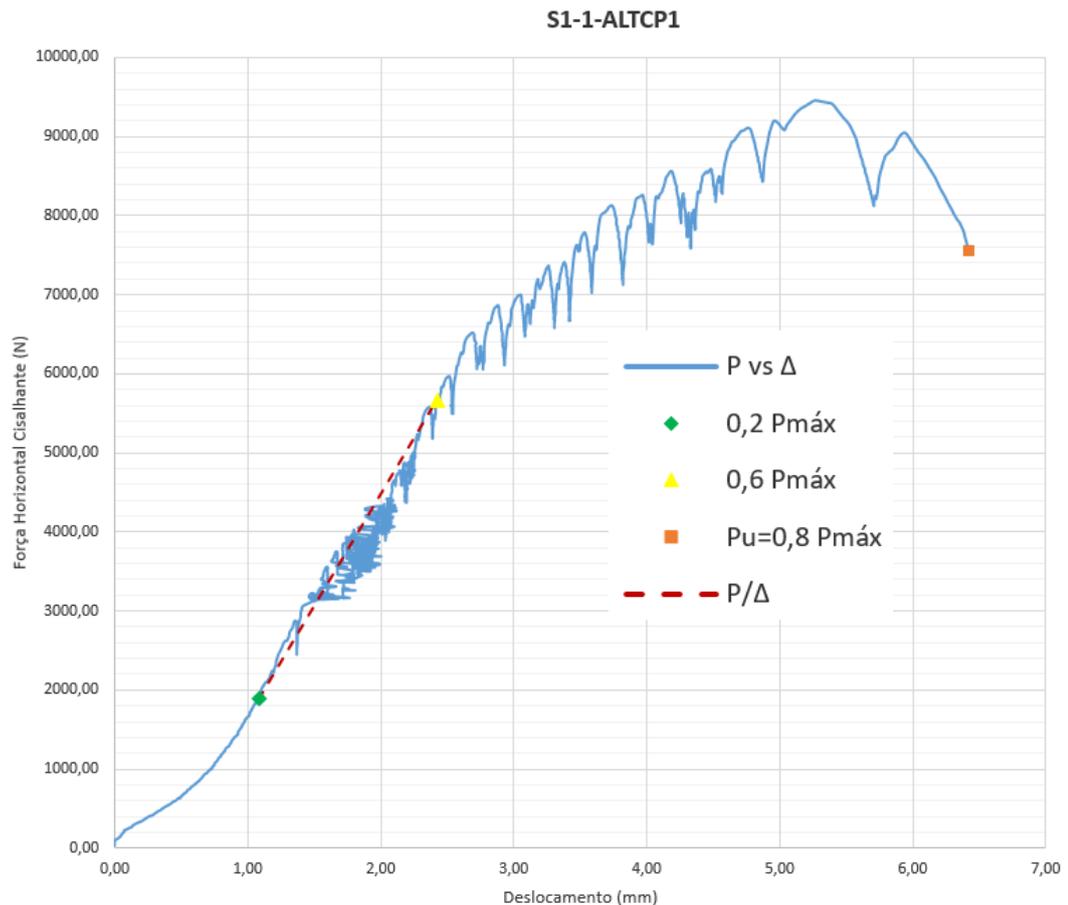


Figura 4.18 – Gráfico força versus deslocamento da Série S1 do Modelo 1 (Série S1-1-A-L-T CP1).

O ensaio dos corpos de prova 1/2/3 do modelo 2 foi executado no dia 18 de setembro, sendo que o CP1 foi fabricado no dia 1, os corpos de prova 2/3/4 foram fabricados no dia 4, os corpos de prova 5/6/7 no dia 5 e os corpos de prova 8/9/10 no dia 06. O ensaio dos corpos de prova 4/5/6/7/8/9/10 do mesmo modelo foi executado no dia 19 de setembro.

No ensaio do CP1 do modelo 2, $P_{máx}$ foi alcançado em um deslocamento de 4,68 mm e o valor de P_u igual a 6.832,18 N em um deslocamento de 5,32 mm (Figura 4.19 - Figura 4.20).



Figura 4.19 – Série S1-2-A-T-L CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

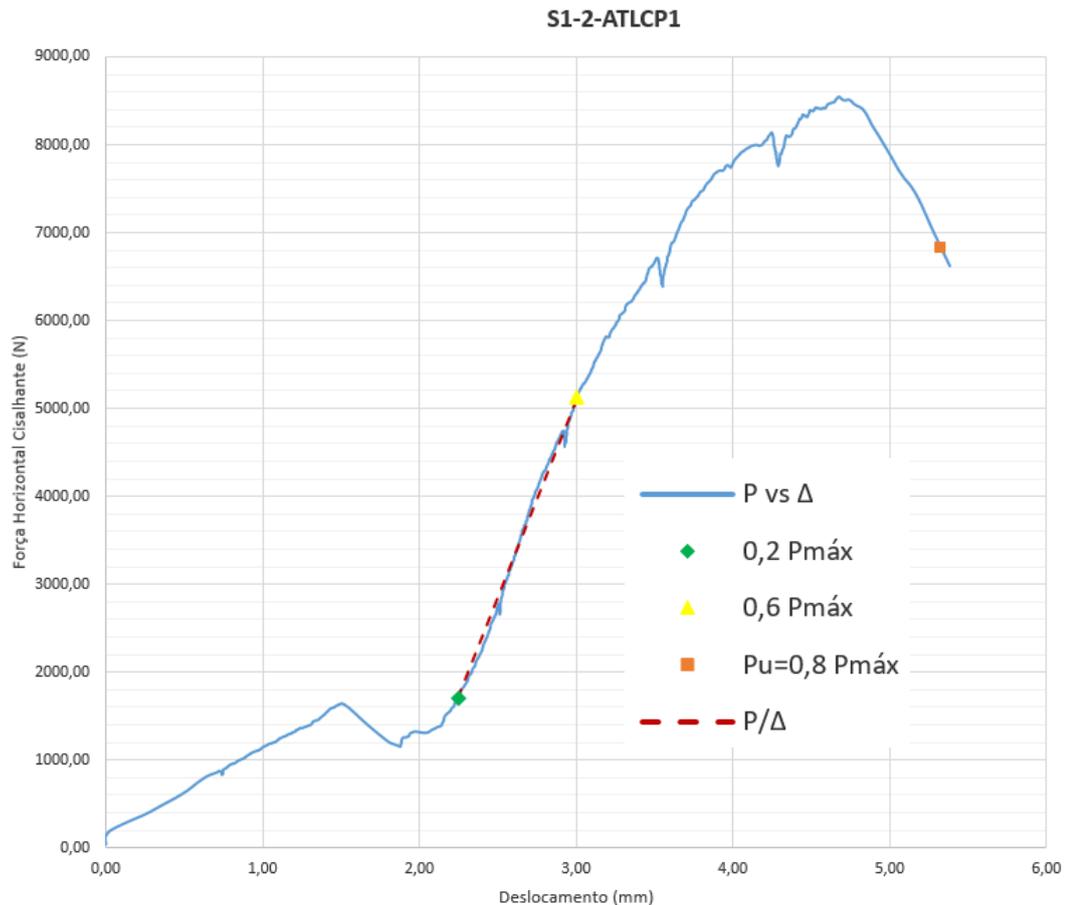


Figura 4.20 – Gráfico força versus deslocamento da Série S1 do modelo 1 (Série S1-2-A-T-L CP1).

O ensaio dos corpos de prova 1/2/3/4/5/6 do modelo 3 foi executado no dia 13 de setembro, sendo que os corpos de prova 1/2/3 foram fabricados no dia 24 de agosto, os corpos de prova 4/5/6 no dia 25, os corpos de prova 7/8/9 no dia 28 e o CP 10 foi fabricado no dia 29 de agosto. O ensaio dos corpos de prova 7/8/9/10 do mesmo modelo foi executado no dia 14 de setembro.

No ensaio do CP1 do modelo 3, $P_{máx}$ foi alcançado em um deslocamento de 13,10 mm e o valor de P_u igual a 3.246,75 N em um deslocamento de 13,80 mm (Figura 4.21 - Figura 4.22).



Figura 4.21 – Série S1-3-A-L-E CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

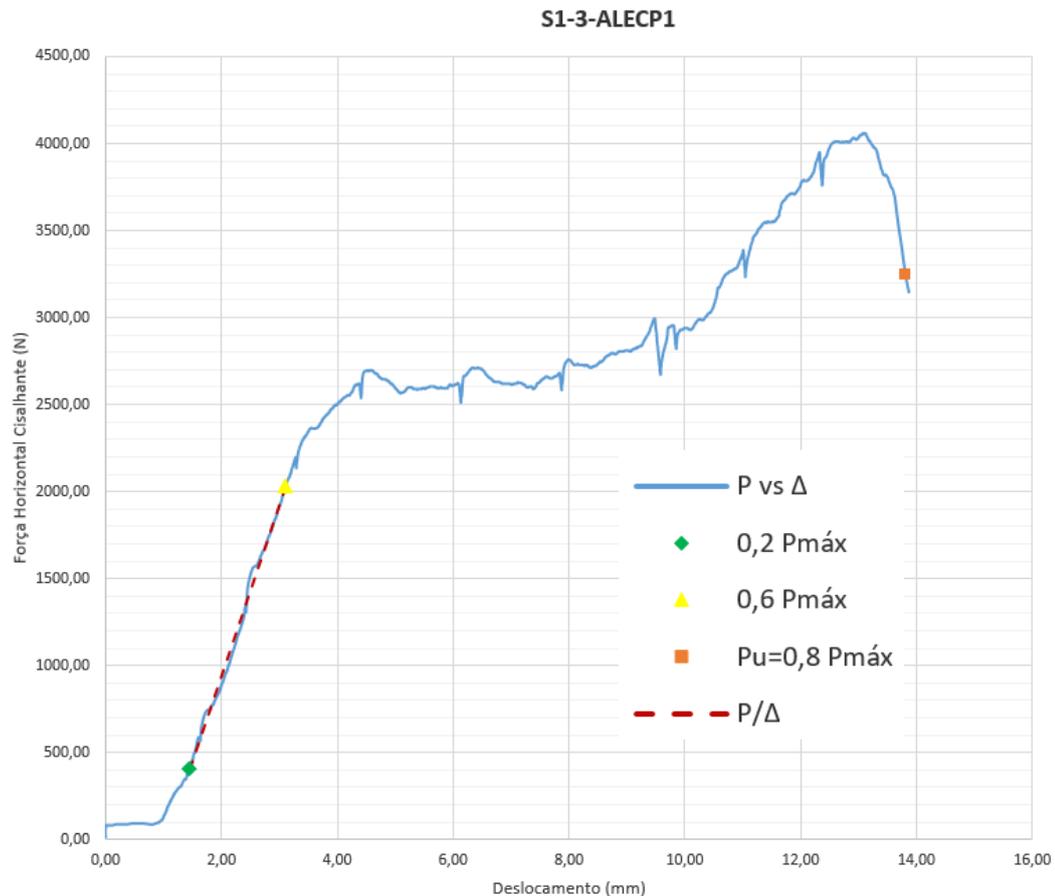


Figura 4.22 – Gráfico força versus deslocamento da Série S1 do Modelo 1 (Série S1-3-A-L-E CP1).

4.2.3 Corpos de prova da Série S2

O conjunto de ensaios da série S2 foi composto de 30 CP's com corpo de prova de OSB extraídos na direção dos eixos longitudinal e transversal dos painéis de OSB (Tabela 4. 2).

Como nomenclatura dos CP's desta série, tem-se: a série com o seu número (Si); o número do modelo (x); a espessura nominal do painel de OSB usada no CP (t_{OSB} ou t_{CP} como B igual a 11,1 mm); o eixo de extração do painel de OSB (L – longitudinal e T – transversal); a direção de carregamento do CP (L – força aplicada paralelamente ao eixo longitudinal, T – força

aplicada paralelamente ao eixo transversal e E – força aplicada paralelamente à espessura) e quantidade de CP (Q_{CP}).

Tabela 4. 2 – Parâmetros relativos aos corpos de prova da série S2 ensaiada.

Nomenclatura	t_{CP} (mm)	t_{CP} medida (mm)	Eixo de extração	Direção de carregamento	Q_{CP}
S2-1-B-L-T	11,1	12,12	Longitudinal	Transversal	10
S2-2-B-T-L			Transversal	Longitudinal	10
S2-3-B-L-E			Longitudinal	Espessura	10
Total de corpos de prova (CP)					30

O gráfico força versus deslocamento do CP1 correspondente a cada modelo desta série foi apresentado a título de exemplo neste item para os demais CP's. Os gráficos dos demais corpos de prova foram agrupados por modelo e apresentados no item 4.3 objetivando evitar a redundância de análises para ensaios com resultados semelhantes.

No ensaio do CP1 do modelo 1, $P_{máx}$ foi alcançado em um deslocamento de 7,77 mm e o valor de P_u igual a 8.542,15 N em um deslocamento de 9,09 mm (Figura 4.23 Figura 4.24)



Figura 4.23 – Série S2-1-B-L-T CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

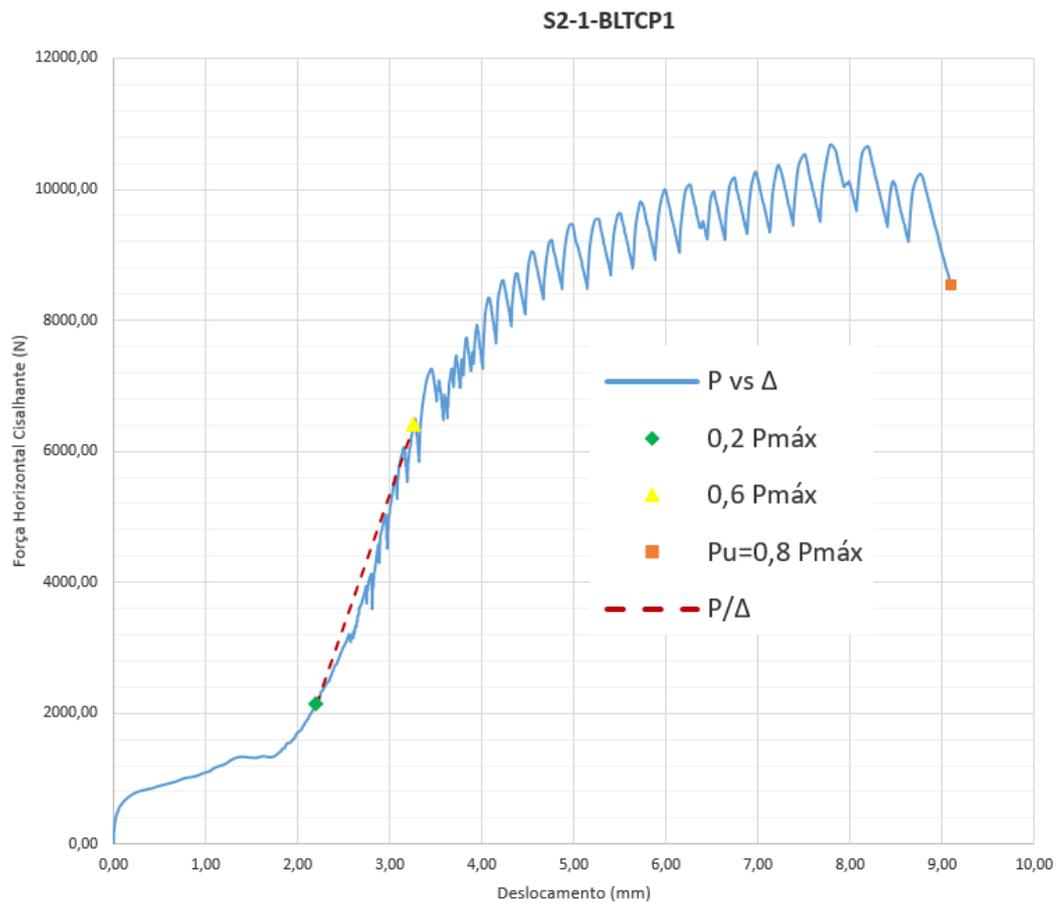


Figura 4.24 – Gráfico força versus deslocamento da Série S2 do Modelo 1 (Série S2-1-B-L-T CP1).

No ensaio do CP1 do modelo 2, $P_{máx}$ foi alcançado em um deslocamento de 4,16 mm e o valor de P_u igual a 6.407,99 N em um deslocamento de 4,93 mm (Figura 4.25 - Figura 4.26).



Figura 4.25 – Série S2-2-B-T-L CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

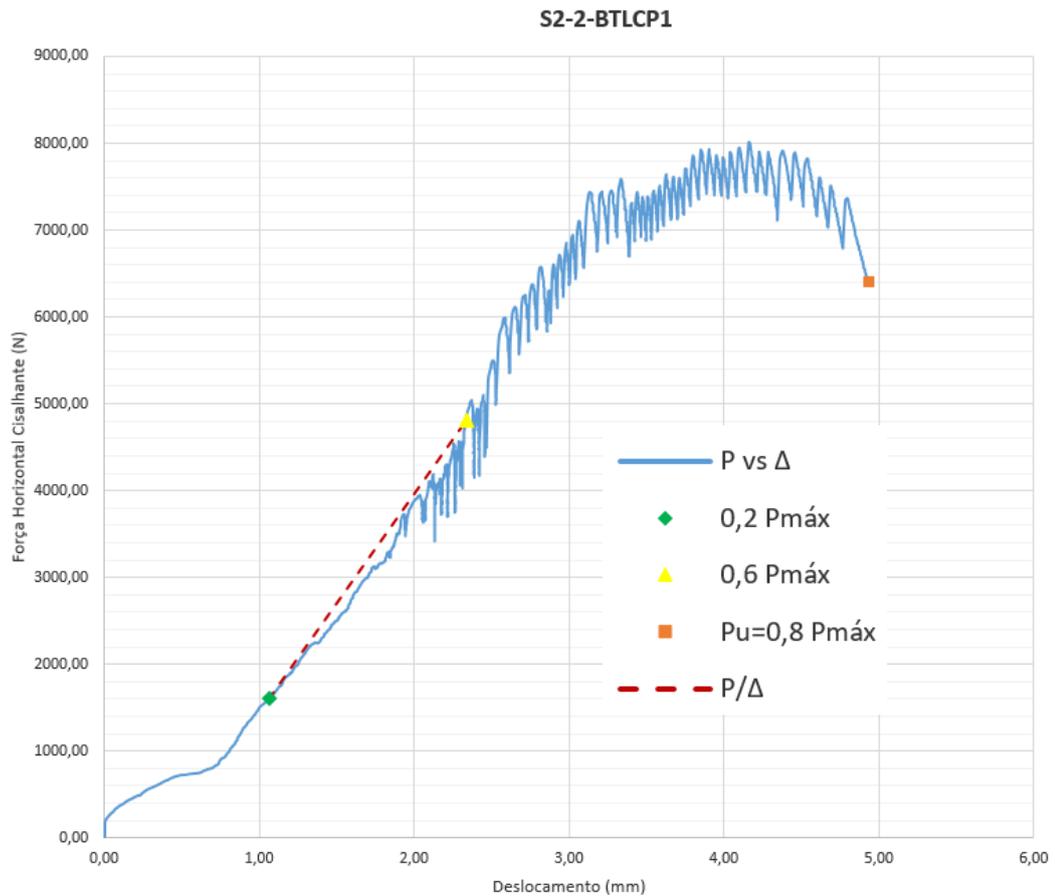


Figura 4.26 – Gráfico força versus deslocamento da Série S2 do Modelo 1 (Série S2-2-B-T-L CP1).

No ensaio do CP1 do modelo 3, $P_{máx}$ foi alcançado em um deslocamento de 9,42 mm e o valor de P_u igual a 3.431,68 N em um deslocamento de 9,70 mm (Figura 4.27 - Figura 4.28).



Figura 4.27 – Série S2-3-B-L-E CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

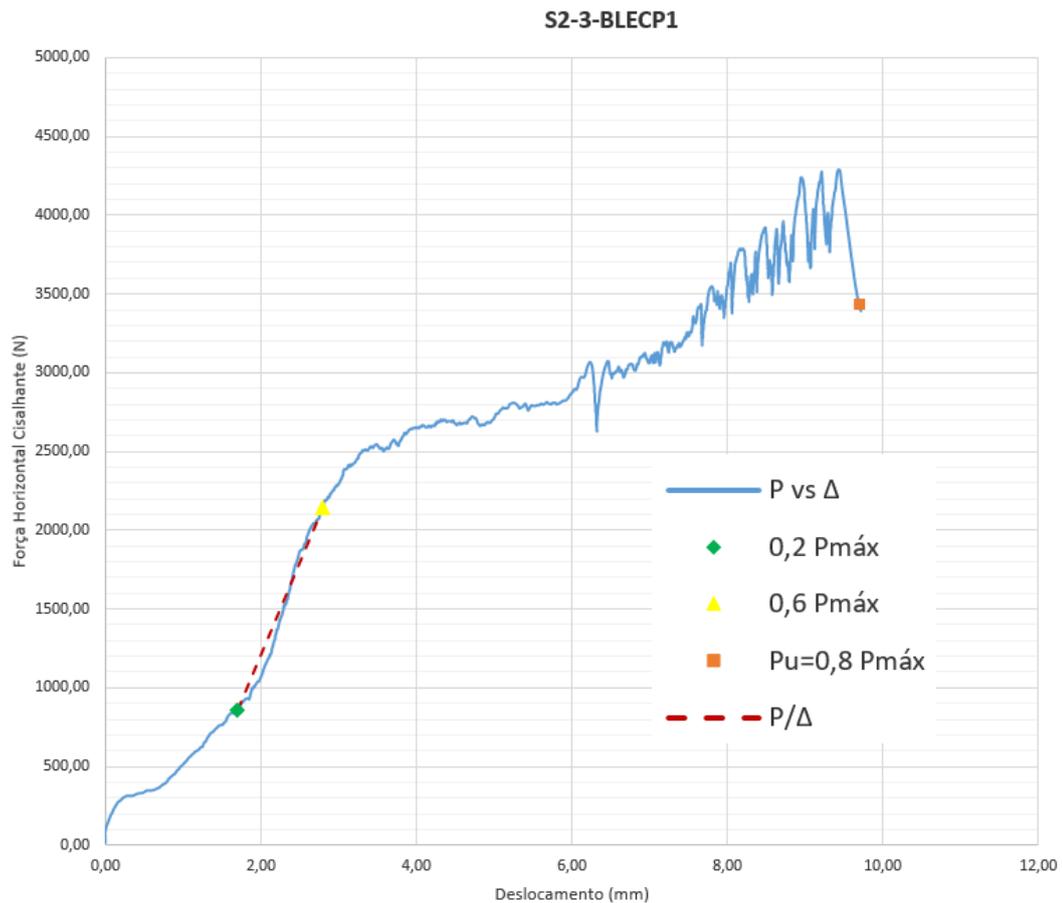


Figura 4.28 – Gráfico força versus deslocamento da Série S2 do Modelo 3 (Série S2-3-B-L-E CP1).

4.3 Discussões dos resultados obtidos

O modelo 1 da série S1 (Tabela 4. 3) registrou o valor médio da tensão máxima de cisalhamento ($\tau_{\text{máx}}$) igual a 13,66 MPa com o valor do seu coeficiente de variação (C_v) inferior a 15 %, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. O valor médio do módulo de elasticidade transversal (G) deste mesmo modelo foi igual a 36,48 MPa sendo que o valor do seu C_v foi registrado entre 15 e 30 % caracterizando a média dispersão dos resultados. Essa média dispersão se deve ao alto valor da rigidez (P/Δ) do CP5.

Tabela 4. 3 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo 1 (S1-1-A-L-T).

Nomenclatura	$P_{r.m\acute{a}x}$ (N)	$P_{a.m.}$ (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	$\tau_{m\acute{a}x}$ (MPa)	P/Δ (N/mm)	G (MPa)	Idade do Grauth (dias)
S1-1-A-L-T CP1	10.097,00	704,96	9.449,75	13,88	2.816,60	24,02	12
S1-1-A-L-T CP2	9.041,76	684,08	8.462,07	11,57	3.271,03	25,97	12
S1-1-A-L-T CP3	11.033,50	681,59	10.326,21	15,61	4.927,00	43,26	12
S1-1-A-L-T CP4	10.367,97	693,92	9.703,35	14,10	5.489,31	46,31	12
S1-1-A-L-T CP5	9.664,41	688,03	9.044,89	13,28	6.201,57	52,89	12
S1-1-A-L-T CP6	9.597,86	674,34	8.982,60	12,28	4.388,82	34,85	12
S1-1-A-L-T CP7	10.857,61	680,28	10.161,60	15,36	5.355,59	47,02	12
S1-1-A-L-T CP8	9.944,88	681,54	9.307,38	13,52	4.496,93	37,94	12
S1-1-A-L-T CP9	9.498,03	670,19	8.889,18	12,69	3.291,63	27,30	12
S1-1-A-L-T CP10	10.710,24	693,95	10.023,68	14,29	3.045,89	25,22	9
Xm			9.435,07	13,66	4.328,44	36,48	
Var (x)			373.180,77	1,63	1.380.585,17	111,62	
DP			610,89	1,28	1.174,98	10,56	
Cv (%)			6,47	9,36	27,15	28,96	

O maior valor de $\tau_{m\acute{a}x}$ foi obtido pelo CP3 devido ao seu alto valor da força resultante máxima ($P_{r.m\acute{a}x}$) que resultou a um alto valor da força máxima ($P_{m\acute{a}x}$) com um valor da força vertical média ($P_{a.m.}$) próximo de 700 N. O maior valor de G foi obtido pelo CP5 por causa do seu alto valor da rigidez (P/Δ) (Figura 4.29).

Com o modelo 1 da série S1, o valor AIQ de $\tau_{m\acute{a}x}$ foi igual a 1,97 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 9,63 e 17,51 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [12,74;14,57] MPa contém a média populacional de $\tau_{m\acute{a}x}$ com 95 % de confiança. O valor AIQ de G foi igual a 20,71 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a -5,28 e 77,55 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [28,92;44,04] MPa contém a média populacional de G com 95 % de confiança.

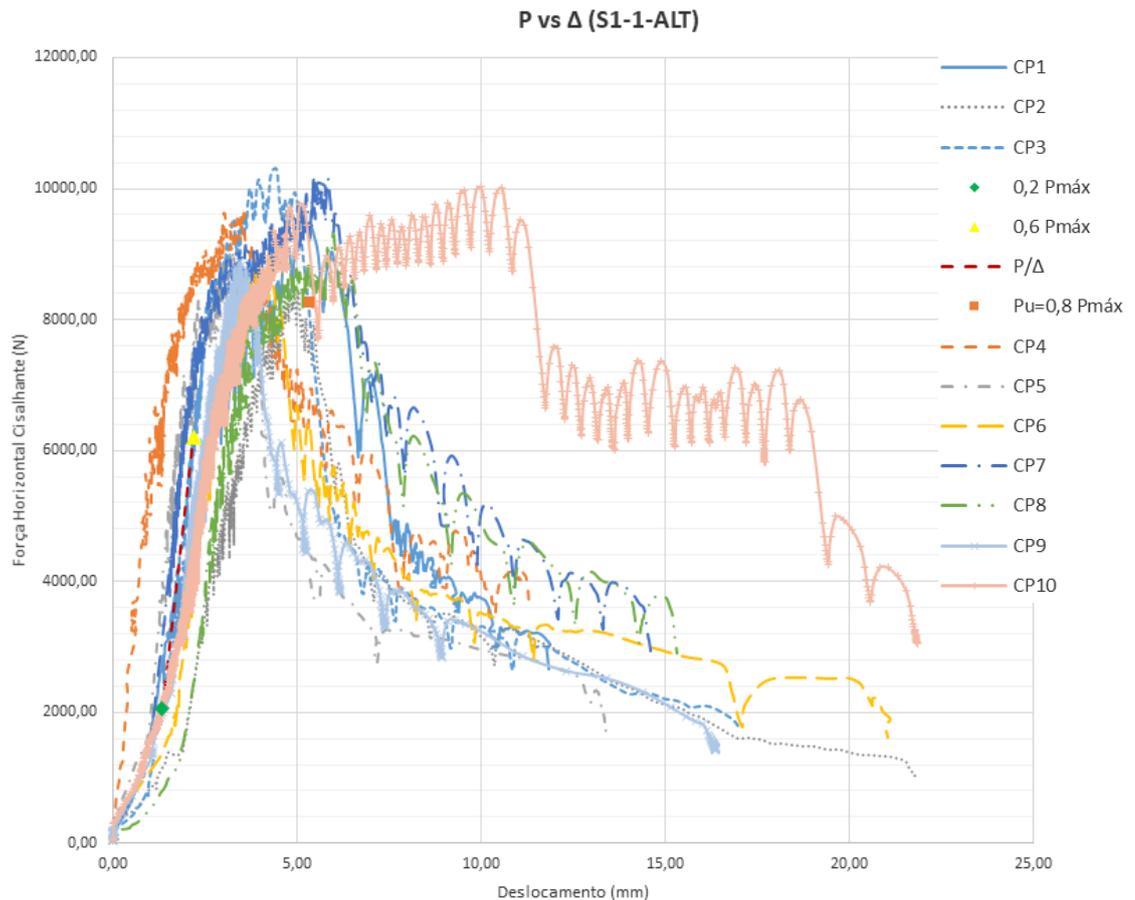


Figura 4.29 – Gráfico força versus deslocamento do modelo 1 da Série S1 (S1-1-A-L-T).

O modelo 2 da série S1 (Tabela 4. 4) registrou o valor médio de $\tau_{máx}$ igual a 13,23 MPa com o valor do seu C_v inferior a 15 %, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. O valor médio de G do mesmo modelo foi igual a 45,62 MPa sendo que o valor do seu C_v foi registrado entre 15 e 30 % caracterizando a média dispersão dos resultados. Essa média dispersão se deve ao alto valor de P/Δ do CP2.

Tabela 4. 4 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo 2 (S1-2-A-T-L).

Nomenclatura	$P_{r.m\acute{a}x}$ (N)	$P_{a.m.}$ (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	$\tau_{m\acute{a}x}$ (MPa)	P/Δ (N/mm)	G (MPa)	Idade do Grauth (dias)
S1-2-A-T-L CP1	9.125,17	678,35	8.540,22	11,79	4.505,86	36,13	17
S1-2-A-T-L CP2	8.712,22	675,07	8.153,74	12,04	7.089,55	60,82	14
S1-2-A-T-L CP3	9.534,11	731,75	8.922,94	13,36	4.653,21	40,44	14
S1-2-A-T-L CP4	8.803,98	680,84	8.239,62	12,36	4.891,42	42,61	15
S1-2-A-T-L CP5	9.032,16	713,31	8.453,17	12,42	4.854,53	41,41	13
S1-2-A-T-L CP6	8.577,44	711,32	8.027,60	12,05	6.355,40	55,41	13
S1-2-A-T-L CP7	10.534,35	632,66	9.859,07	13,63	5.092,21	40,88	13
S1-2-A-T-L CP8	10.705,49	701,14	10.019,23	14,70	5.888,66	50,19	12
S1-2-A-T-L CP9	11.760,82	669,24	11.006,92	15,88	5.830,31	48,86	12
S1-2-A-T-L CP10	10.562,87	690,20	9.885,76	14,09	4.767,61	39,47	12
Xm			9.110,83	13,23	5.392,88	45,62	
Var (x)			1.024.728,66	1,82	733.204,52	62,47	
DP			1.012,29	1,35	856,27	7,90	
Cv (%)			11,11	10,20	15,88	17,32	

O maior valor de $\tau_{m\acute{a}x}$ foi obtido pelo CP9 devido ao seu alto valor de $P_{r.m\acute{a}x}$ que resultou a um alto valor de $P_{m\acute{a}x}$ com um valor de $P_{a.m.}$ próximo de 700 N. O maior valor de G foi obtido pelo CP2 por causa do seu alto valor de P/Δ (Figura 4.30).

Com o modelo 2 da série S1, o valor AIQ de $\tau_{m\acute{a}x}$ foi igual a 2,20 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 8,76 e 17,54 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [12,27;14,20] MPa contém a média populacional de $\tau_{m\acute{a}x}$ com 95 % de confiança. O valor AIQ de G foi igual a 11,30 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 23,25 e 68,44 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [39,97;51,28] MPa contém a média populacional de G com 95 % de confiança.

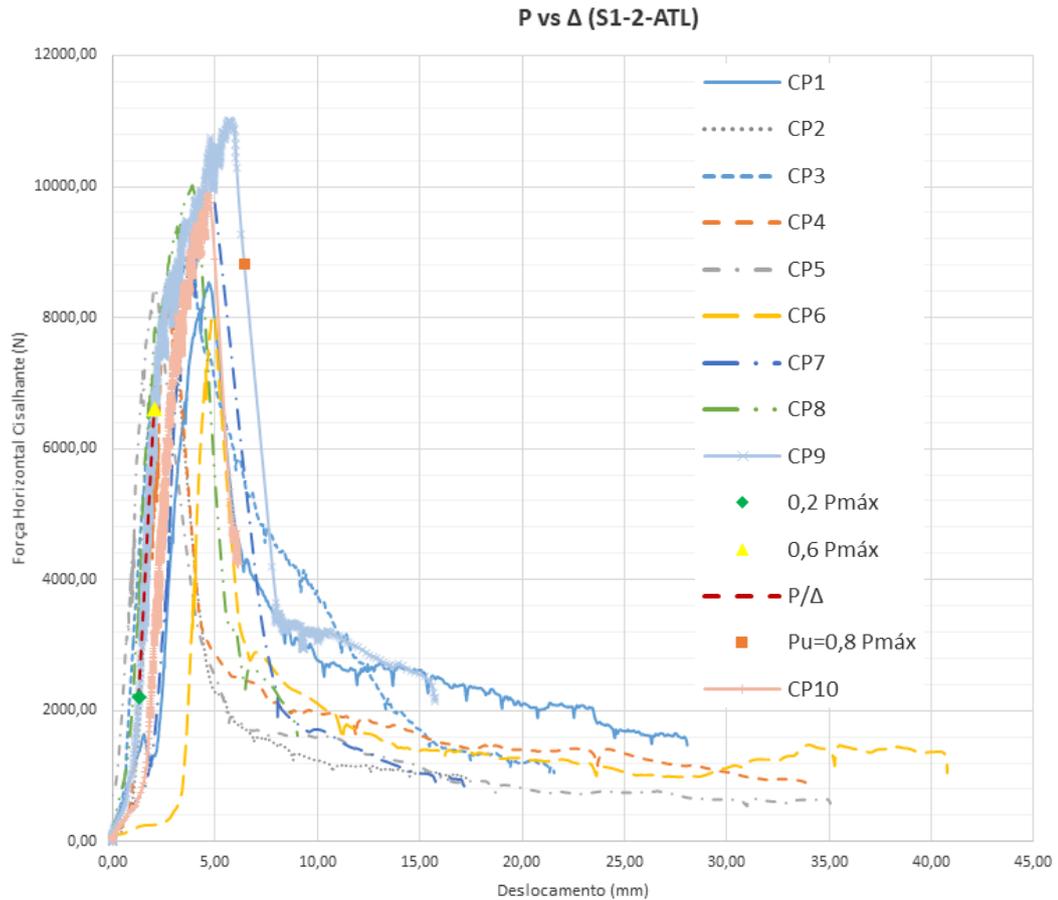


Figura 4.30 – Gráfico força versus deslocamento do modelo 2 da série S1 (S1-2-A-T-L).

O modelo 3 da série S1 (Tabela 4. 5) registrou o valor médio de $\tau_{\text{máx}}$ igual a 5,74 MPa com o valor do seu C_v entre 15 e 30 % caracterizando a média dispersão dos resultados. O valor médio de G do mesmo modelo foi igual a 7,07 MPa sendo que o valor do seu C_v foi superior a 30 % caracterizando a alta dispersão e heterogeneidade dos resultados. Essa alta dispersão se deve aos altos valores de P/Δ dos corpos de prova 7 e 9.

Tabela 4. 5 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo 3 (S1-3-A-L-E).

Nomenclatura	$P_{r.m\acute{a}x}$ (N)	$P_{a.m.}$ (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	$\tau_{m\acute{a}x}$ (MPa)	P/Δ (N/mm)	G (MPa)	Idade do Grauth (dias)
S1-3-A-L-E CP1	4.336,41	669,58	4.058,43	5,65	973,66	7,87	20
S1-3-A-L-E CP2	3.978,26	679,50	3.723,24	5,13	777,69	6,23	20
S1-3-A-L-E CP3	3.542,96	685,34	3.315,85	5,10	499,85	4,47	20
S1-3-A-L-E CP4	4.270,29	683,17	3.996,55	5,61	850,41	6,93	19
S1-3-A-L-E CP5	4.908,15	712,70	4.593,52	6,41	1.041,89	8,45	19
S1-3-A-L-E CP6	6.022,68	708,95	5.636,61	7,81	489,88	3,94	19
S1-3-A-L-E CP7	5.305,82	673,41	4.965,70	7,62	1.364,76	12,17	16
S1-3-A-L-E CP8	4.416,28	668,78	4.133,19	5,81	794,39	6,48	16
S1-3-A-L-E CP9	4.011,32	672,85	3.754,18	5,39	1.373,36	11,45	16
S1-3-A-L-E CP10	2.137,90	697,77	2.000,85	2,85	328,56	2,72	15
Xm			3.905,08	5,74	849,45	7,07	
Var (x)			675.219,09	1,95	124.834,06	9,37	
DP			821,72	1,40	353,32	3,06	
Cv (%)			21,04	24,34	41,59	43,28	

O maior valor de $\tau_{m\acute{a}x}$ foi obtido pelo CP6 devido ao seu alto valor de $P_{r.m\acute{a}x}$ que resultou a um alto valor de $P_{m\acute{a}x}$ com um valor de $P_{a.m.}$ próximo de 700 N. O maior valor de G foi obtido pelo CP7 apesar de o seu valor de P/Δ ter sido inferior ao valor do CP 9 (Figura 4.31).

Com o modelo 3 da série S1, o valor AIQ de $\tau_{m\acute{a}x}$ foi igual a 1,59 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 2,74 e 9,10 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [4,74;6,74] MPa contém a média populacional de $\tau_{m\acute{a}x}$ com 95 % de confiança. O valor AIQ de G foi igual a 4,86 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a -2,96 e 16,49 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [4,88;9,26] MPa contém a média populacional de G com 95 % de confiança.

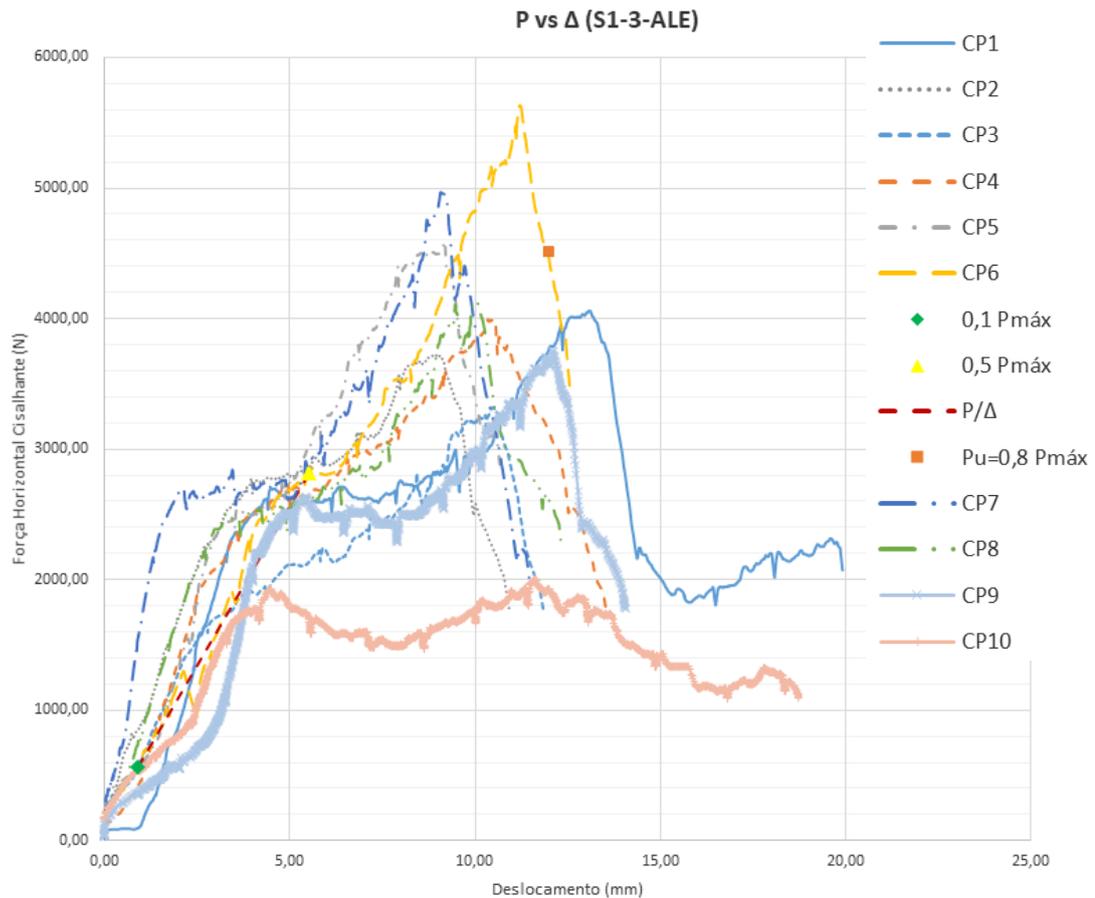


Figura 4.31 – Gráfico força versus deslocamento do modelo 3 da Série S3 (S1-3-A-L-E).

O modelo 1 da série S2 (Tabela 4. 6) registrou os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 12,16 e 31,27 MPa com os seus valores de C_v inferiores a 15 %, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados.

Tabela 4. 6 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo 1 (S2-1-B-L-T).

Nomenclatura	$P_{r.\text{máx}}$ (N)	$P_{a.m.}$ (N)	$P_{\text{máx}}$ (N)	$\tau_{\text{máx}}$ (MPa)	P/Δ (N/mm)	G (MPa)	Idade do Grauth (dias)
S2-1-B-L-T CP1	11.409,04	703,41	10.677,69	13,32	4.013,20	29,08	9
S2-1-B-L-T CP2	9.464,75	705,22	8.858,03	10,84	4.364,27	31,01	8
S2-1-B-L-T CP3	10.306,17	721,00	9.645,51	11,66	5.292,15	37,15	8
S2-1-B-L-T CP4	10.753,02	700,16	10.063,72	12,10	4.252,59	29,68	8
S2-1-B-L-T CP5	9.288,86	711,56	8.693,42	10,50	4.053,95	28,43	8
S2-1-B-L-T CP6	10.425,01	717,15	9.756,74	12,04	4.234,77	30,36	8
S2-1-B-L-T CP7	11.637,22	714,20	10.891,24	13,31	3.659,28	25,98	8
S2-1-B-L-T CP8	11.908,19	697,48	11.144,84	13,42	4.924,09	34,44	7
S2-1-B-L-T CP9	10.562,87	709,11	9.885,76	11,82	4.184,23	29,06	7
S2-1-B-L-T CP10	11.375,77	730,41	10.646,54	12,55	5.473,55	37,47	7
Xm			10.026,35	12,16	4.445,21	31,27	
Var (x)			687.610,97	1,03	346.396,54	14,69	
DP			829,22	1,02	588,55	3,83	
Cv (%)			8,27	8,36	13,24	12,26	

O maior valor de $\tau_{\text{máx}}$ foi obtido pelo CP8 devido ao seu alto valor de $P_{r,\text{máx}}$ que resultou a um alto valor de $P_{\text{máx}}$ com um valor de $P_{a.m.}$ próximo de 700 N. O maior valor de G foi obtido pelo CP10 por causa do seu alto valor de P/Δ (Figura 4.32).

Com o modelo 1 da série S2, o valor AIQ de $\tau_{\text{máx}}$ foi igual a 1,86 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 8,67 e 16,10 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [11,43;12,88] MPa contém a média populacional de $\tau_{\text{máx}}$ com 95 % de confiança. O valor AIQ de G foi igual a 6,22 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 19,58 e 44,44 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [28,52;34,01] MPa contém a média populacional de G com 95 % de confiança.

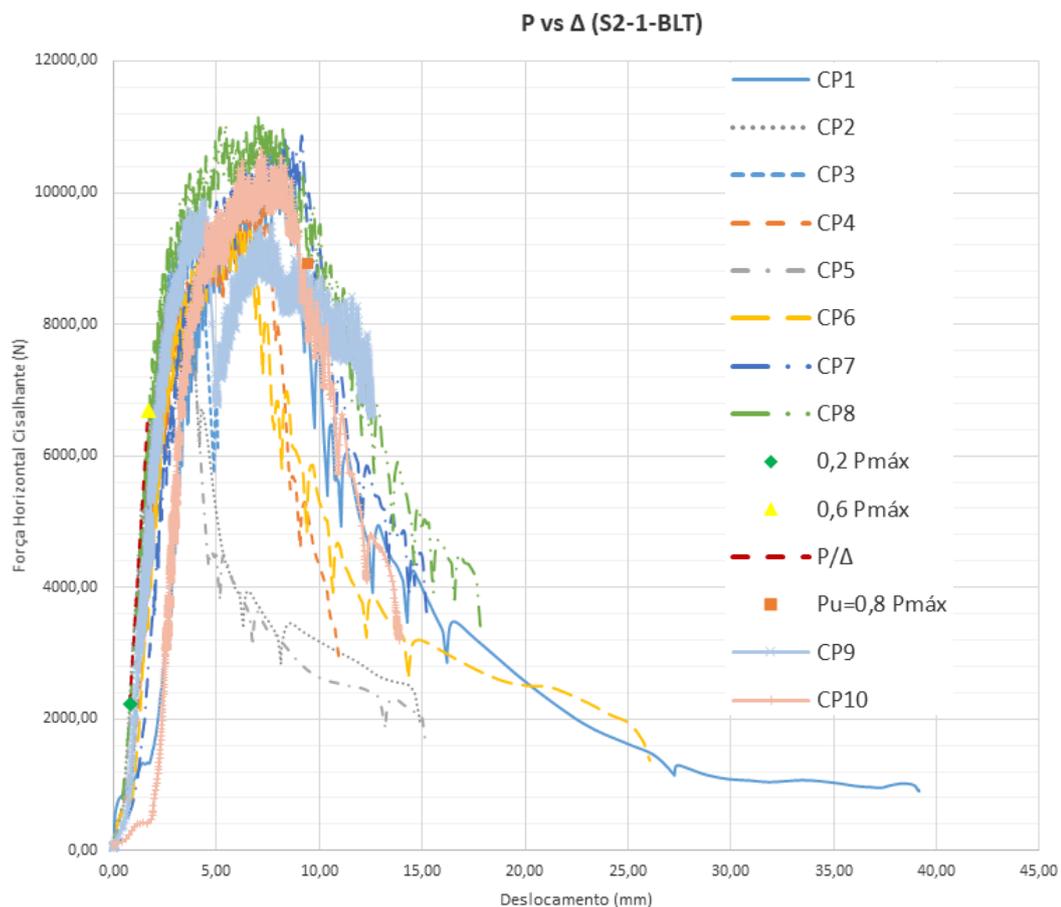


Figura 4.32 – Gráfico força versus deslocamento do modelo 1 da série S2 (S2-1-B-L-T).

O modelo 2 da série S2 (Tabela 4. 7) registrou o valor médio de $\tau_{\text{máx}}$ igual a 11,47 MPa com o valor do seu C_v inferior a 15 %, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. O valor médio de G do mesmo modelo foi igual a 39,56 MPa sendo que o valor do seu C_v foi registrado entre 15 e 30 % caracterizando a média dispersão dos resultados. Essa média dispersão se deve ao baixo valor de P/Δ do CP1.

Tabela 4. 7 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo 2 (S2-2-B-T-L).

Nomenclatura	$P_{r.máx}$ (N)	$P_{a.m.}$ (N)	$P_{máx}$ (N)	$\tau_{máx}$ (MPa)	P/Δ (N/mm)	G (MPa)	Idade do Grauth (dias)
S2-2-B-T-L CP1	8.558,63	684,84	8.009,99	9,20	2.521,67	16,83	9
S2-2-B-T-L CP2	9.084,45	687,51	8.502,11	9,63	4.781,58	31,44	9
S2-2-B-T-L CP3	10.348,95	675,42	9.685,55	11,00	4.418,02	29,14	9
S2-2-B-T-L CP4	11.195,12	702,13	10.477,48	12,46	7.048,47	48,68	9
S2-2-B-T-L CP5	10.695,98	678,51	10.010,33	11,66	6.478,74	43,83	9
S2-2-B-T-L CP6	11.199,88	685,00	10.481,93	12,38	4.838,80	33,19	9
S2-2-B-T-L CP7	10.558,12	713,16	9.881,31	11,53	8.147,16	55,22	9
S2-2-B-T-L CP8	10.691,22	697,65	10.005,88	11,88	6.291,25	43,37	9
S2-2-B-T-L CP9	10.729,25	687,76	10.041,48	11,84	6.113,98	41,85	9
S2-2-B-T-L CP10	11.955,73	704,10	11.189,33	13,13	7.633,69	52,03	9
Xm			9.828,54	11,47	5.827,34	39,56	
Var (x)			877.711,45	1,52	2.871.309,21	139,29	
DP			936,86	1,23	1.694,49	11,80	
Cv (%)			9,53	10,74	29,08	29,84	

O maior valor de $\tau_{máx}$ foi obtido pelo CP10 devido ao seu alto valor de $P_{r.máx}$ que resultou a um alto valor de $P_{máx}$ com um valor de $P_{a.m.}$ próximo de 700 N. O maior valor de G foi obtido pelo CP7 por causa do seu alto valor de P/Δ (Figura 4.33).

Com o modelo 2 da série S2, o valor AIQ de $\tau_{máx}$ foi igual a 1,74 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 8,04 e 15,01 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [10,58;12,35] MPa contém a média populacional de $\tau_{máx}$ com 95 % de confiança. O valor AIQ de G foi igual a 18,65 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 2,89 e 77,50 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [31,12;48,00] MPa contém a média populacional de G com 95 % de confiança.

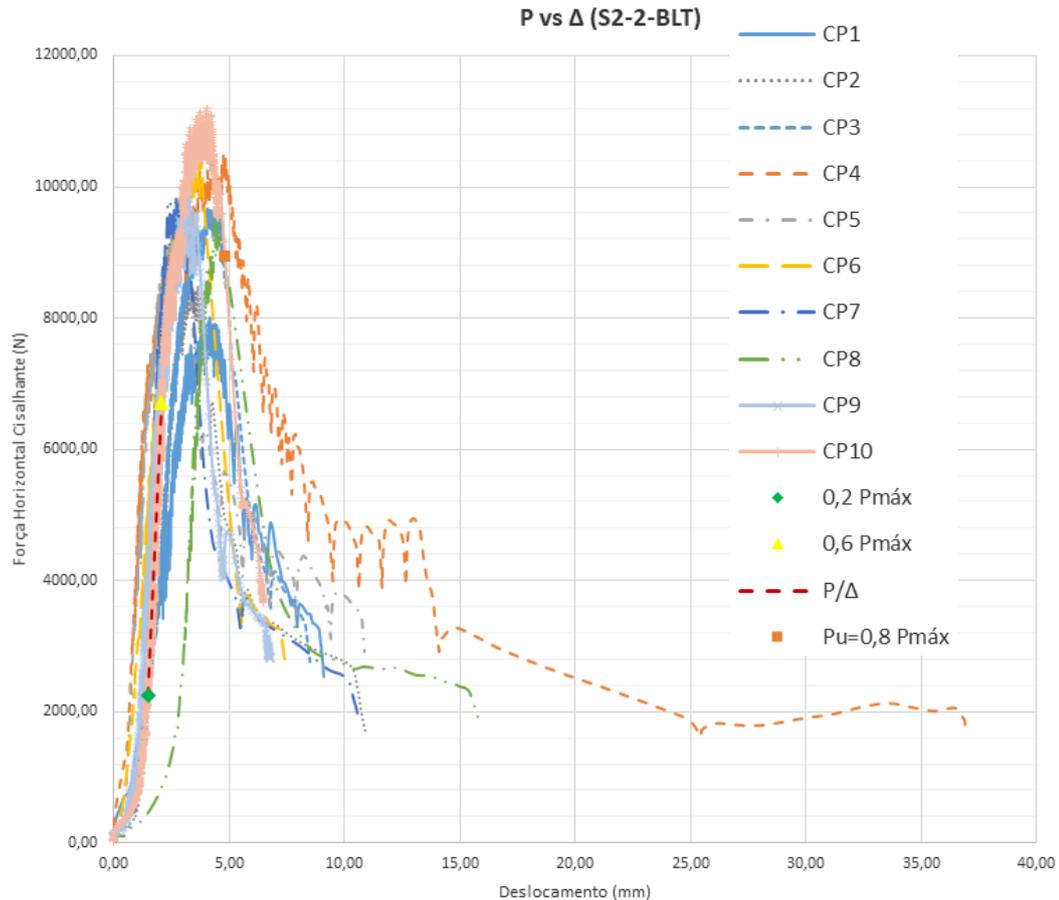


Figura 4.33 – Gráfico força versus deslocamento do modelo 2 da série S2 (S2-2-B-T-L).

O modelo 3 da série S2 (Tabela 4. 8) registrou o valor médio de $\tau_{\text{máx}}$ igual a 4,07 MPa com o valor do seu C_v entre 15 e 30 % caracterizando a média dispersão dos resultados. O valor médio de G do mesmo modelo foi igual a 4,88 MPa sendo que o valor do seu C_v foi superior a 30 % caracterizando a alta dispersão e heterogeneidade dos resultados. Essa alta dispersão se deve aos altos valores de P/Δ dos corpos de prova 1 e 10.

Tabela 4. 8 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo 3 (S2-3-B-L-E).

Nomenclatura	$P_{r.m\acute{a}x}$ (N)	$P_{a.m.}$ (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	$\tau_{m\acute{a}x}$ (MPa)	P/Δ (N/mm)	G (MPa)	Idade do Grauth (dias)
S2-3-B-L-E CP1	4.583,41	673,62	4.289,60	4,97	1.178,01	7,93	22
S2-3-B-L-E CP2	4.218,32	691,55	3.947,91	4,80	415,93	2,94	22
S2-3-B-L-E CP3	3.224,86	696,46	3.018,13	3,66	604,74	4,26	21
S2-3-B-L-E CP4	4.602,22	690,67	4.307,20	5,30	573,90	4,10	21
S2-3-B-L-E CP5	4.239,13	692,99	3.967,38	4,85	874,55	6,20	21
S2-3-B-L-E CP6	2.241,80	697,46	2.098,09	2,51	449,39	3,13	20
S2-3-B-L-E CP7	3.105,22	662,20	2.906,17	3,55	614,21	4,36	20
S2-3-B-L-E CP8	2.543,48	701,30	2.380,43	2,81	556,85	3,82	20
S2-3-B-L-E CP9	2.824,35	677,78	2.643,30	3,12	512,93	3,51	19
S2-3-B-L-E CP10	4.439,20	693,25	4.154,63	4,90	1.242,16	8,50	19
Xm			3.371,28	4,07	702,27	4,88	
Var (x)			721.614,01	1,00	87.130,13	3,92	
DP			849,48	1,00	295,18	1,98	
Cv (%)			25,20	24,54	42,03	40,59	

O maior valor de $\tau_{m\acute{a}x}$ foi obtido pelo CP4 devido ao seu alto valor de $P_{r.m\acute{a}x}$ que resultou a um alto valor de $P_{m\acute{a}x}$ com um valor de $P_{a.m.}$ próximo de 700 N. O maior valor de G foi obtido pelo CP10, devido ao seu alto valor de P/Δ (Figura 4.34).

Com o modelo 3 da série S2, o valor AIQ de $\tau_{m\acute{a}x}$ foi igual a 1,88 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a 0,23 e 7,73 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [3,35;4,78] MPa contém a média populacional de $\tau_{m\acute{a}x}$ com 95 % de confiança. O valor AIQ de G foi igual a 3,22 MPa, com os seus limites inferior e superior respectivamente iguais a -1,41 e 11,46 MPa e, pela não existência de valores *outliers*, o intervalo [3,46;6,29] MPa contém a média populacional de G com 95 % de confiança.

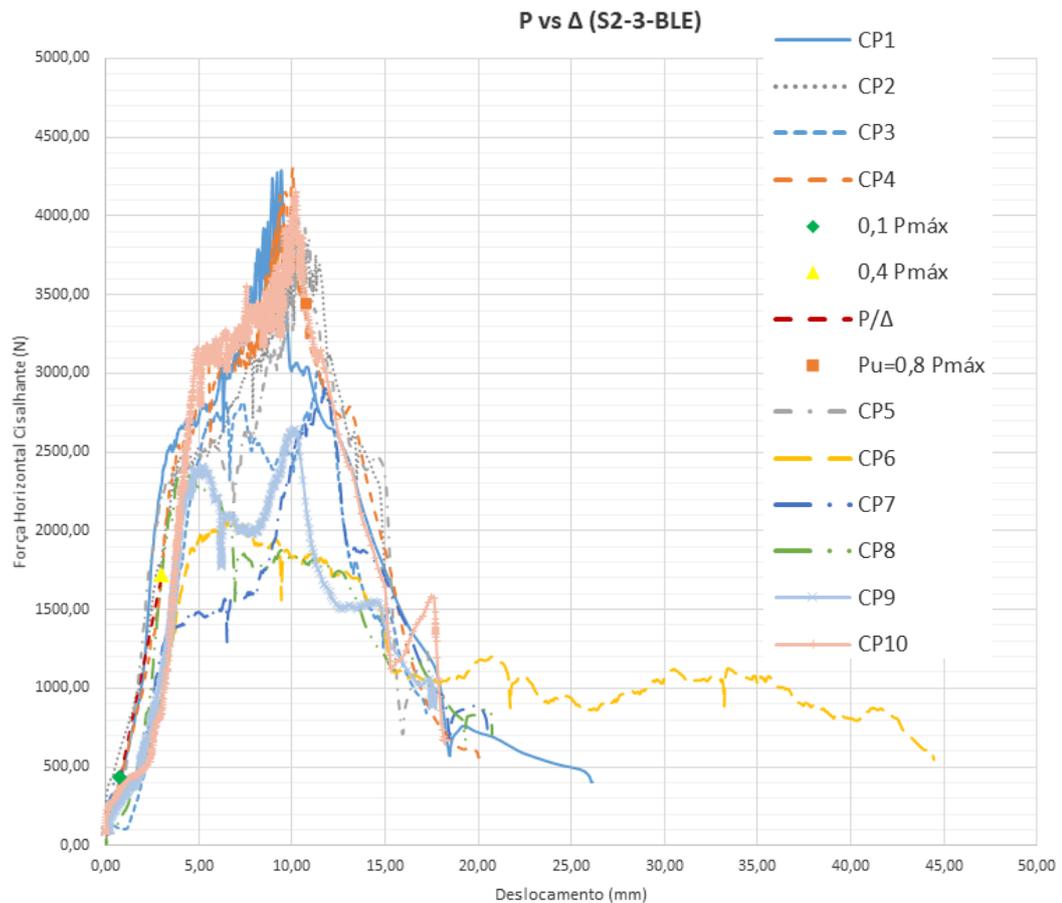


Figura 4.34 – Gráfico força versus deslocamento do modelo 3 da série S2 (S2-3-B-L-E).

Os corpos de prova foram extraídos na direção dos eixos longitudinal e transversal do painel inteiro de OSB e carregados segundo a sua espessura além dos seus eixos longitudinal e transversal. Esses parâmetros influenciaram os valores da tensão máxima de cisalhamento ($\tau_{\text{máx}}$) e do módulo de elasticidade transversal (G) (Tabela 4. 9).

Tabela 4. 9 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova - Cisalhamento (valores médios).

Nomenclatura	$\tau_{\text{máx}}$ (MPa)	C_v (%)	x_p (MPa)	G (MPa)	C_v (%)	x_p (MPa)
M1 S1-1-A-L-T	13,66	9,36	[12,74;14,57]	36,48	28,96	[28,92;44,04]
M2 S1-2-A-T-L	13,23	10,20	[12,27;14,20]	45,62	17,32	[39,97;51,28]
M3 S1-3-A-L-E	5,74	24,34	[4,74;6,74]	7,07	43,28	[4,88;9,26]
M1 S2-1-B-L-T	12,16	8,36	[11,43;12,88]	31,27	12,26	[28,52;34,01]
M2 S2-2-B-T-L	11,47	10,74	[10,58;12,53]	39,56	29,84	[31,12;48,00]
M3 S2-3-B-L-E	4,07	24,54	[3,35;4,78]	4,88	40,59	[3,46;6,29]

x_p é a média populacional no intervalo de confiabilidade com 95% de nível de confiança

4.3.1 Influência da direção de carregamento dos corpos de prova das séries S1 e S2 sobre os resultados

O modelo 1 da série S1, constituído de corpos de prova com aplicação da força cisalhante paralelamente ao eixo transversal dos painéis de OSB, registrou os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 13,66 MPa e 36,48 MPa. O modelo 2 da série S1, constituído de corpos de prova com aplicação da força cisalhante paralelamente ao eixo longitudinal dos painéis de OSB, registrou os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 13,23 MPa e 45,62 MPa. O modelo 3 da mesma série, constituído de corpos de prova com aplicação da força cisalhante paralelamente à espessura dos painéis de OSB, registrou os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 5,74 MPa e 7,07 MPa.

Observou-se que o valor médio de $\tau_{\text{máx}}$ do modelo 1 foi superior de 3,25 % ao valor médio do modelo 2 e de 137,98 % ao valor médio do modelo 3. Porém, o valor de G do modelo 2 foi superior de 25,05 % ao valor médio do modelo 1 e de 545,26 % ao valor médio do modelo 3.

O modelo 1 da série S2, constituído de corpos de prova com aplicação da força cisalhante paralelamente ao eixo transversal dos painéis de OSB, registrou os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 12,16 MPa e 31,27 MPa. O modelo 2 da série S2, constituído de corpos de prova com aplicação da força cisalhante paralelamente ao eixo longitudinal dos painéis de OSB, registrou os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 11,47 MPa e 39,56 MPa. O modelo 3 da mesma série, constituído de corpos de prova com aplicação da força cisalhante paralelamente à espessura dos painéis de OSB, registrou os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 4,07 MPa e 4,88 MPa.

Observou-se que o valor médio de $\tau_{\text{máx}}$ do modelo 1 foi superior de 6,01 % ao valor médio do modelo 2 e de 198,77 % ao valor médio do modelo 3. Porém, o valor de G do modelo 2 foi superior de 26,51 % ao valor médio do modelo 1 e de 710,65 % ao valor médio do modelo 3.

De um modo geral, observou-se que os corpos de prova com aplicação da força cisalhante paralelamente ao eixo transversal dos painéis de OSB obtiveram o maior valor médio de $\tau_{\text{máx}}$ e os corpos de prova com aplicação da força cisalhante paralelamente ao eixo longitudinal dos painéis de OSB obtiveram o maior valor médio de G.

Em cada série, pode-se explicar o maior resultado de $\tau_{\text{máx}}$ pelo fato de a força horizontal de cisalhamento ter sido paralela à maior dimensão da seção cisalhada e ter sido resistida pelas fibras das duas camadas externas. O maior resultado de G pode ser explicado pelo fato de a força horizontal de cisalhamento ter sido paralela à maior dimensão da seção cisalhada e ter sido resistida pelas fibras da camada interna. Além disso, os menores resultados do modelo 3 pode ser explicado pelo fato de a força horizontal de cisalhamento ter sido paralela à menor dimensão da seção cisalhada apesar de esta força ter sido resistida pelas fibras das três camadas.

4.3.2 Influência da espessura dos corpos de prova das séries S1 e S2 sobre os resultados

Os modelos 1-2-3 da série S1, constituídos por corpos de prova feitos com 9,5 mm de espessura nominal dos painéis de OSB, registraram os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 10,88 MPa e 29,72 MPa. Os modelos 1-2-3 da série S2, constituídos por corpos de prova feitos com 11,1 mm de espessura nominal dos painéis de OSB, registraram os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 9,23 MPa e 25,24 MPa. Observou-se que os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G dos modelos 1-2-3 da série S1 foram respectivamente superiores de 17,88 % e 17,75 % aos valores médios dos modelos 1-2-3 da série S2.

Pode-se explicar esses resultados pelo fato de os corpos de prova feitos com painel OSB de menor espessura terem registrados uma menor relação entre a força máxima e a área da parte cisalhada influenciando o valor de $\tau_{\text{máx}}$ e uma menor relação entre a rigidez inicial e a área da parte cisalhada influenciando o valor de G.

Observou-se que quanto maior for a espessura nominal dos painéis de OSB, menores serão os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G.

4.3.3 Influência do eixo de extração dos corpos de prova da série S1 sobre os resultados

Os modelos 1 e 3, constituídos por corpos de prova extraídos na direção do eixo longitudinal dos painéis de OSB, registraram os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 9,70 MPa e 21,77 MPa. O modelo 2 da mesma série, constituído por corpos de prova extraídos na direção do eixo transversal dos painéis de OSB, registrou os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 13,23 MPa e 45,62 MPa. Observou-se que os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G do modelo 2 foram respectivamente superiores de 36,64 % e 109,55 % aos valores médios dos modelos 1 e 3 da mesma série.

Pode-se explicar esses resultados pelo fato de o modelo 3 ter obtidos os menores valores de $\tau_{\text{máx}}$ e de G. Para uma explicação mais confiável, seria melhor executar ensaios complementares com corpos de prova extraídos na direção do eixo transversal e cisalhados em relação à espessura (modelo M4 S1-4-A-T-E).

4.3.4 Influência do eixo de extração dos corpos de prova da série S2 sobre os resultados

Os modelos 1 e 3, constituídos por corpos de prova extraídos na direção do eixo longitudinal dos painéis de OSB, registraram os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 8,11 MPa e 18,07 MPa. O modelo 2 da mesma, constituído por corpos de prova extraídos na direção do eixo transversal dos painéis de OSB, registrou os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G respectivamente iguais a 11,47 MPa e 39,56 MPa. Observou-se que os valores médios de $\tau_{\text{máx}}$ e de G do modelo 2 foram respectivamente superiores de 41,43 % e 118,93 % aos valores médios dos modelos 1 e 3 da mesma série.

Pode-se explicar esses resultados pelo fato de o modelo 3 ter obtidos os menores valores de $\tau_{\text{máx}}$ e de G. Para uma explicação mais confiável, seria melhor executar ensaios complementares com corpos de prova extraídos na direção do eixo transversal e cisalhados em relação à espessura (modelo M4 S2-4-B-T-E).

4.4 Conclusões

Observou-se que os valores de $\tau_{\text{máx}}$ e de G são diretamente influenciados pelo eixo de extração dos corpos de prova, pela espessura e pela direção de carregamento desses mesmos durante os ensaios. Sendo assim, pode-se concluir que quanto menor for a espessura nominal do corpo de prova extraído na direção do eixo longitudinal do painel original e carregado paralelamente ao eixo transversal, maior será o valor de $\tau_{\text{máx}}$ (maior relação entre a força máxima e a área da parte cisalhada). E quanto menor for a espessura nominal do corpo de prova extraído na direção do eixo transversal do painel original e carregado paralelamente ao eixo longitudinal, maior será o valor de G (maior relação entre o valor da rigidez inicial e a área da parte cisalhada).

Nos modelos M1 e M2, o maior valor médio de $\tau_{\text{máx}}$ foi aproximadamente 3 vezes superior ao menor valor, o que pode ser explicado pela direção de aplicação da força horizontal de cisalhamento. O maior valor médio de G foi até 8 vezes superior ao menor valor por causa do eixo de extração e da direção de aplicação da força.

5

ENSAIOS DE CISALHAMENTO (*PUSH-TEST*)

5.1 Materiais e Métodos

5.1.1 Materiais

O termo “*Push-Test*” é empregado internacionalmente para referenciar os ensaios de cisalhamento ou ensaios de deslizamento. Para a análise do sistema *light steel framing* (LSF), considerando a placa de revestimento como parte da estrutura, é importante considerar a ação conjunta do reticulado metálico, do painel de revestimento e dos parafusos de fixação. O estudo da interface perfil de aço e placa tem importância fundamental, pois é nesta região que atuam forças de cisalhamento que são transmitidas pelos parafusos de fixação, do reticulado metálico para os painéis de vedação. Os parafusos de fixação são responsáveis por garantir a ação conjunta entre esses dois importantes componentes do subsistema de parede.

Para a fabricação dos corpos de prova ensaiados e apresentados neste capítulo, foi necessário o uso dos três tipos de materiais: i) painéis de OSB; ii) perfis formados a frio (PFF); e iii) parafusos autobrocantes e auto-atarraxantes.

Os painéis de OSB foram fabricados pela empresa LP, com as dimensões nominais de 9,5 mm e 11,1 mm (espessuras), 1.200 mm (largura) e 2.400 mm (comprimento).

Os perfis foram formados a frio com seção U enrijecido (Ue), com as dimensões nominais de b_w igual a 140 mm (alma), de b_f igual a 40 mm (mesas) e de D igual a 10 mm (enrijecedores). As bobinas, produzidas pela Usiminas, utilizadas para a fabricação desses perfis eram galvanizadas por imersão a quente (GI), totalizando uma massa de revestimento com zinco de 110 g/m² (Z100). As espessuras nominais (t_n) dessas bobinas foram de 0,80 mm e 0,95 mm com 232 mm de largura nominal, sendo que a resistência ao escoamento do aço é no mínimo igual

a 230 MPa. A bobina com espessura nominal de 1,25 mm não foi entregue à empresa Flasan e, por isso, as séries 5, 6, 11 e 12 dos modelos M1, M2 e M3 não foram produzidas.

As ligações entre os perfis formados a frio foram feitas com parafusos cabeça lentilha e ponta broca da marca Ancora com 4,2 mm de diâmetro e 12,7 mm de comprimento. Os parafusos do mesmo tipo, porém da marca Ciser, com 4,8 mm de diâmetro e 19 mm de comprimento foram usados na fabricação dos perfis caixas que reforçaram a parte superior do montante que ficava desprovida dos painéis de OSB. As ligações entre os painéis de OSB e o reticulado metálico foram feitas com parafusos cabeça trombeta e ponta broca da marca Ciser com 4,2 mm de diâmetro e 32 mm de comprimento.

5.1.2 Processo de fabricação dos corpos de prova

Para esta pesquisa, foram consideradas as dimensões nominais mais empregadas no sistema construtivo *light steel framing* (LSF), tais como as duas espessuras das chapas dos PFF's (0,80 mm e 0,95 mm), as duas espessuras dos painéis de OSB (9,5 mm e 11,1 mm) e os dois espaçamentos axiais entre os parafusos empregados na produção das paredes do sistema LSF (150 mm e 300 mm).

Foram estabelecidos 3 CP's para compor cada série e a posição do montante junto com o modo de aplicação do carregamento para a definição dos três tipos de modelos. As séries eram dependentes da espessura do painel de OSB, da espessura da chapa do perfil de aço e do espaçamento axial entre os parafusos. Para cada espessura de chapa de aço, foram consideradas duas espessuras dos painéis de OSB. E para cada espessura dos painéis de OSB, foram considerados dois espaçamentos axiais entre os parafusos (Figura 5.1 - Figura 5.2 - Figura 5.3).

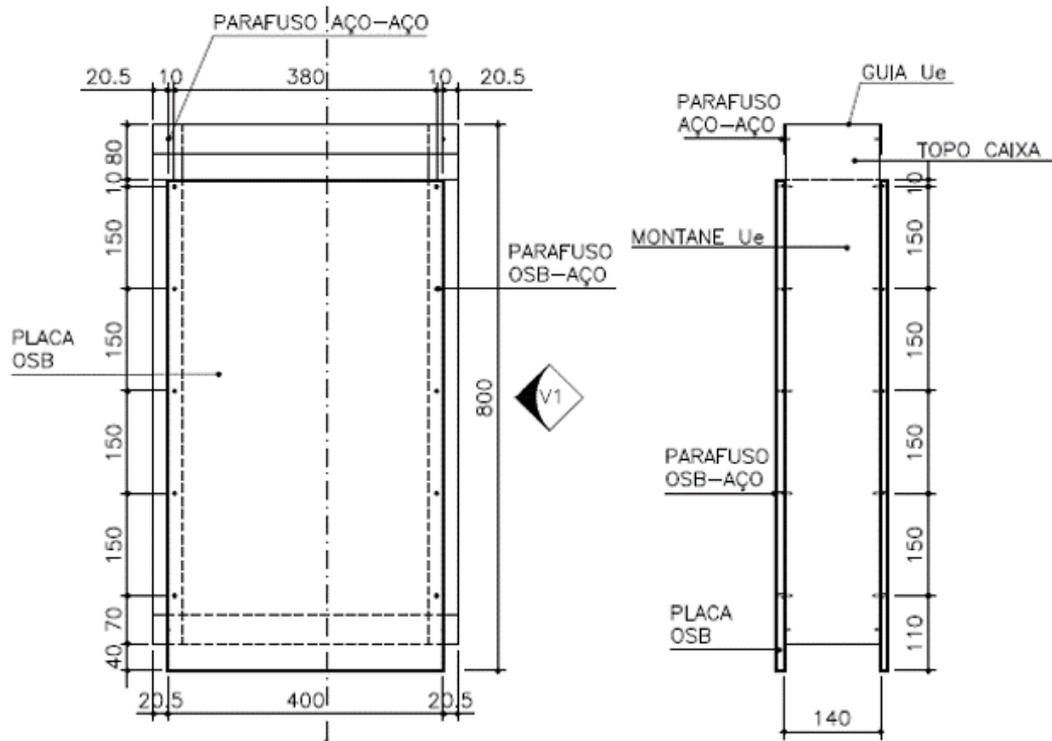


Figura 5.1 – Modelo M1 com espaçamento axial de 150 mm entre os parafusos.

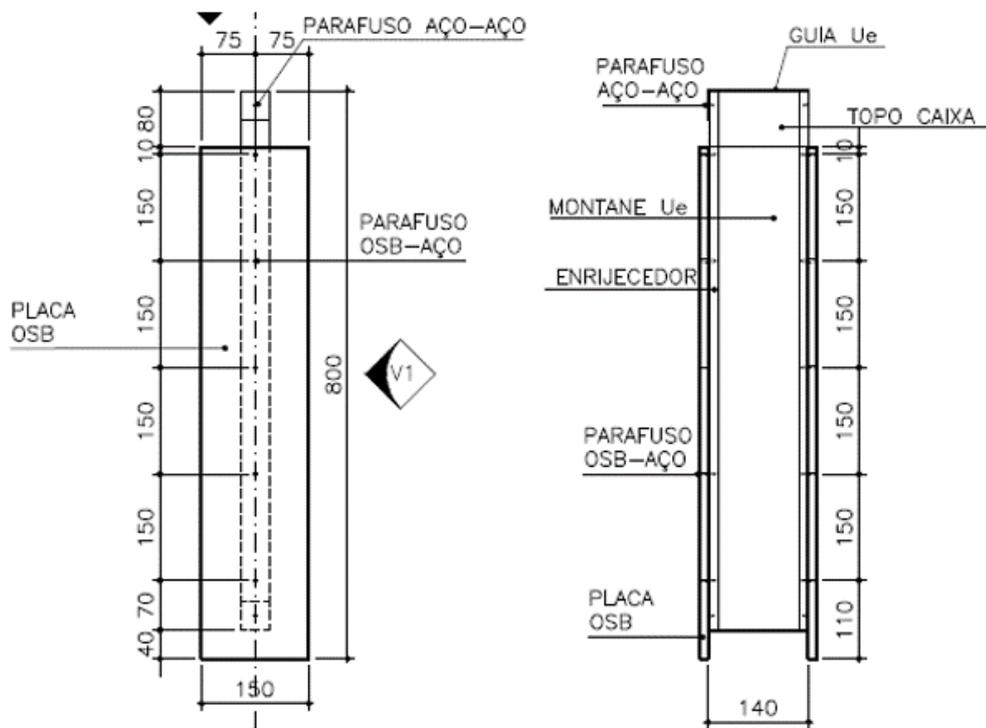


Figura 5.2 – Modelo M2 com espaçamento axial de 150 mm entre os parafusos.

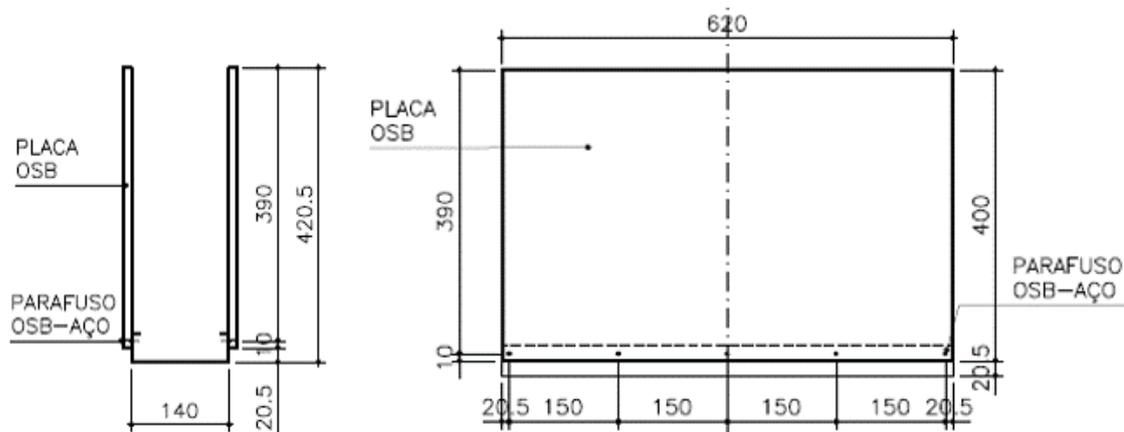


Figura 5.3 – Modelo M3 com espaçamento axial de 150 mm entre os parafusos.

A fabricação dos corpos de prova foi feita em duas etapas, sendo que na primeira, durante 4 dias, foram cortadas os painéis de OSB segundo os tipos de modelos a serem produzidos e foi fabricado o suporte de ensaio dos corpos de prova do modelo M3 (Figura 5.4). Na segunda etapa, durante 3 dias, foram fabricados 72 CP's compostos do reticulado metálico.

Os painéis de OSB usadas para a fabricação dos modelos M1 (com 720 mm de comprimento e 400 mm de largura) e M2 (com 720 mm de comprimento e 150 mm de largura) foram extraídas com seus respectivos comprimentos paralelos ao comprimento de 2.400 mm dos painéis originais de OSB. A força aplicada a esses modelos foi paralela às tiras superficiais dos painéis de OSB e aos montantes de aço.

Os painéis de OSB usadas para produzir o modelo M3 (com 620 mm de comprimento e 400 mm de largura) foram extraídas com seu comprimento paralelo ao comprimento de 2.400 mm dos painéis originais de OSB. A força aplicada a esse modelo foi perpendicular às tiras superficiais dos painéis de OSB e ao montante de aço.



Figura 5.4 – Painéis de OSB cortadas e suporte fabricado para ensaio do modelo M3: a) modelo M1; b) modelo M2; c) modelo M3; d) suporte.

Durante o processo de fabricação dos corpos de prova, muitos cuidados foram tomados para respeitar o projeto e minimizar os erros (Figura 5.5).

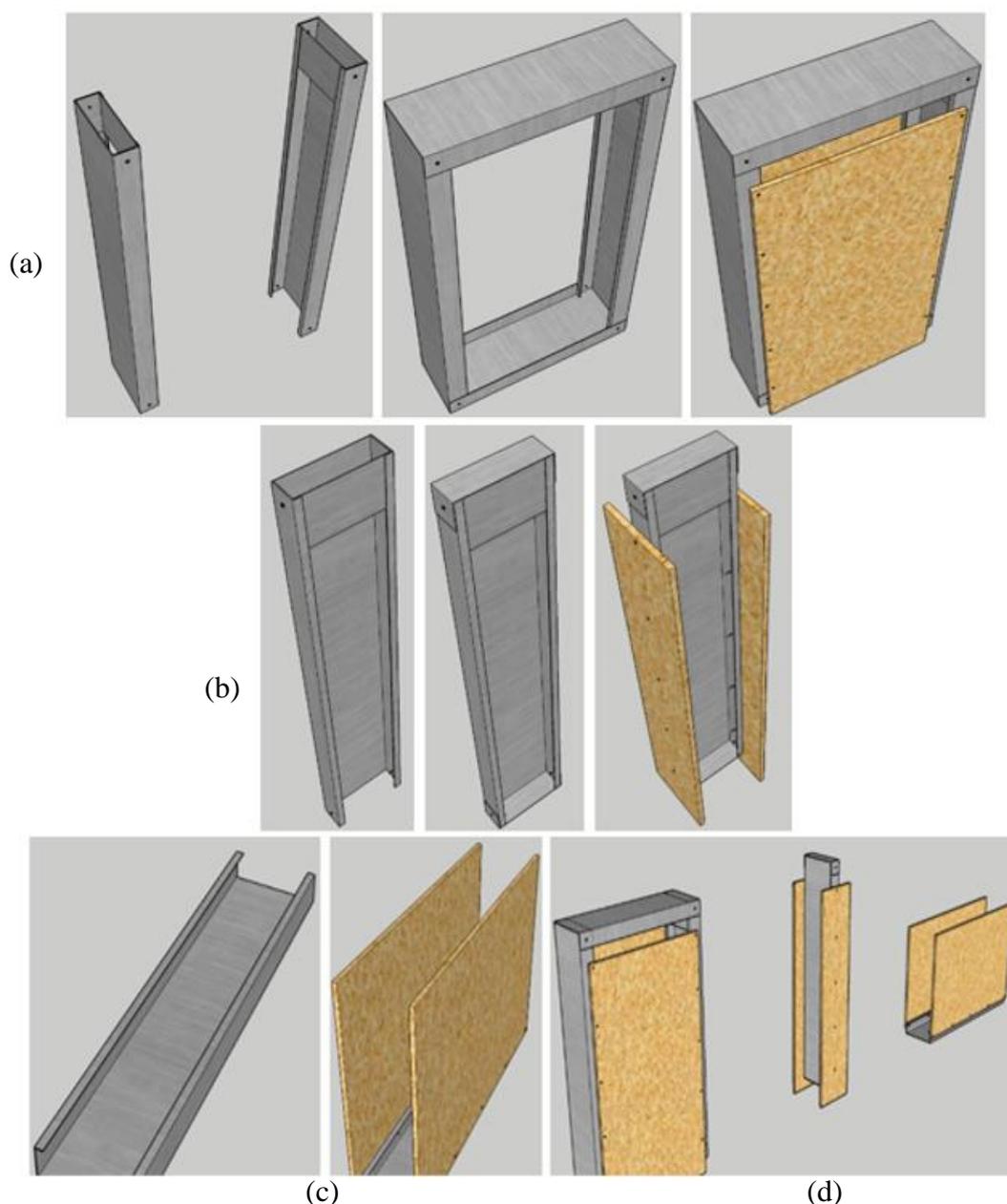


Figura 5.5 – Detalhe de fabricação: a) modelo M1; b) modelo M2; c) modelo M3; d) modelos.

5.1.3 Procedimento de ensaio dos corpos de prova

Foram ensaiados 71 CP's ao invés de 72 CP's, pois o CP1 da Série 8 do modelo M3 foi danificado durante o transporte (modelo M3 S8-M1-B-0,80-140-300 CP1).

Para realizar esses ensaios de cisalhamento, foi necessário usar: i) um pórtico de reação; ii) dois a quatro DT's (*Displacement Transducer*); iii) dois sistemas de aquisição de dados da marca Spider8 600 Hz; iv) o *Software Catman*; v) um laptop; vi) um anel dinamométrico; vii) e uma bomba hidráulica manual.

No pórtico de reação, foi instalado um cilindro hidráulico de dupla ação, da ENERPAC, modelo RR-506 com curso de 156 mm, capacidade de 50 toneladas e com 700 bar como pressão máxima de trabalho, no qual foi montado o anel dinamométrico (Figura 5.6).



Figura 5.6 – Pórtico de reação, equipamentos e instrumentação durante ensaio de um dos CP's do modelo M3.

Para os ensaios, foram usados o DT01 com número de série FF2790017, o DT05 com número de série FF2790018, o DT06 com número de série FK2830001 e o DT02 com número de série FK2830002 para medir o deslocamento vertical relativo entre o reticulado metálico e os painéis de OSB causado pela aplicação da força cisalhante. Esses DT's são do tipo DT-100A com capacidade de medição de 100 mm e da marca *KYOWA* (Figura 5.7).



Figura 5.7 – DT's usados nos ensaios.

Os sistemas da marca Spider8 600 Hz, da *Hotting Baldwin Measurements* – HBM, foram usados para a aquisição dos dados de ensaio. No Spider8 intermediário, foram conectados os

DT's 01 e 05 juntos com a bomba hidráulica nos respectivos canais 10, 11 e 12. No Spider8 inferior, foram conectados os DT's 06 e 02 nos respectivos canais 1 e 2 (Figura 5.8).



Figura 5.8 – Spider8 600 Hz e laptop com mouse.

O *HBM Catman 4.5 Release 2 [Interactive]* foi o *software* usado para programar, visualizar, monitorar e gravar os dados que foram exportados em formato “.xls” no final do ensaio de cada CP (Figura 5.9).

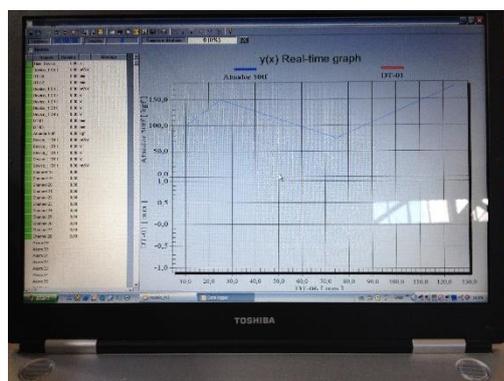


Figura 5.9 – Tela do *software* *Catman* preparado para iniciar o ensaio.

O anel dinamométrico para compressão e tração, da CONTENCO modelo I-1068-N com capacidade de 50.000 kgf, foi usado para a calibração (Apêndice A.4) do transdutor de pressão instalado na bomba do atuador hidráulico e também para controlar a aplicação da força e monitorar o descarregamento após o alcance da força máxima pelo CP durante os ensaios (Figura 5.10).



Figura 5.10 – Anel dinamométrico.

A bomba hidráulica manual utilizada para aplicação da força foi da TROVEL, tipo pistão, modelo PT-464 com 700 bar como máxima pressão de trabalho. Nessa bomba, foi fixado um transdutor de pressão da TRANSTEC, tipo HMI-2300 com capacidade de 700 bar (Figura 5.11).



Figura 5.11 – Bomba hidráulica manual.

Seguindo as prescrições da norma europeia EN BS594:1996 e da análise de algumas referências bibliográficas, o ensaio foi realizado em dois procedimentos, denominados de 1 e 2.

No procedimento 1, o primeiro CP de cada série foi carregado continuamente até a sua ruptura. O procedimento 2 foi aplicado aos demais corpos de prova da mesma série e era composto por três etapas de carregamento: inicialmente, foram aplicados incrementos de força até atingir 10% da força máxima obtida no primeiro CP e esperou-se por 2 minutos para que o subsistema pudesse se estabilizar; carregou-se novamente o CP até alcançar 40% da mesma força máxima e esperou-se por 5 minutos; voltou-se ao carregamento progressivo até a força máxima e esperou-se mais uma vez durante 5 minutos. Monitorou-se, durante todo o ensaio, a movimentação dos parafusos e o comportamento das ligações até que a força aplicada decrescesse alcançando os 80% do valor máximo alcançado.

O ensaio foi finalizado quando o pico máximo e/ou o pico correspondente aos seus 80% não era mais superados pelos três próximos picos. Nos modelos M1 e M2, além de considera os picos, o ensaio foi finalizado somente após o descarregamento completo com o posicionamento do ponteiro do extensômetro no seu valor inicial 0.

O processo de configuração do *software Catman* para o ensaio e para a gravação dos dados de ensaio estão apresentados no Apêndice A.4.

5.2 Apresentação e análise dos resultados obtidos durante os ensaios

5.2.1 Generalidades

Seguindo as prescrições das normas ECCS-1985, *AISI Research Report* RP00-6 e AISI S917-17, foram determinados o valor, por ligação, da rigidez inicial (k_e) pela Equação (5.1), da energia dissipada (A) e da ductilidade (μ) pela Equação (1.1), de cada CP. Para determinar esses valores, foi preciso considerar os valores médios dos deslocamentos relativos obtidos com cada DT, determinar a força em cada parafuso e elaborar o gráfico força versus deslocamento da ligação.

A força em cada parafuso foi determinada pela relação entre a força máxima registrada pelo CP e a quantidade de parafusos no mesmo CP.

Além da curva de força versus deslocamento entre o painel de OSB e o perfil de aço, foi também elaborada a curva de EEEP (*Equivalent Energy Elastic-Plastic*: curva elasto-plástica da energia equivalente). A curva elasto-plástica da energia equivalente mostra como uma ligação ideal e perfeitamente elasto-plástica desenvolveria e dissiparia uma quantidade equivalente de energia conforme o modelo realmente testado. Essa curva é definida de modo que as áreas delimitadas por ela e pelo modelo real, do deslocamento zero até o deslocamento (δ_u) correspondente à força de ruptura (P_u), sejam iguais. A parte elástica de EEEP contém a origem zero e a inclinação igual ao valor da rigidez elástica ou Inicial. A linha horizontal representa a parte plástica e é definida pelo valor da força inicial de escoamento (P_y) que deve ser superior ou igual ao valor de P_u , Equação (5.2). A energia dissipada (A) é equivalente à área abaixo da curva do CP ensaiado, da origem 0 até δ_u .

A curva da ligação constituída por painel de OSB, parafuso e perfil foi elaborada considerando, nas abcissas, a média dos deslocamentos medidos com os DT's e, nas ordenadas, a sua correspondente força (P) dividida pelo número total de parafuso.

$$k_e = \frac{P_e}{\delta_e} \quad (5.1)$$

$$A_{EEEE} = \frac{\delta_y \cdot P_y}{2} + P_y(\delta_u - \delta_y) = A \quad (a)$$

Sabendo que $k_e = k_y$; $k_e = \frac{P_y}{\delta_y}$; $\delta_y = \frac{P_y}{k_e}$

Substituindo δ_y pela sua expressão na Equação (a), tem-se: $-\frac{(P_y)^2}{(2 \cdot k_e)} + \delta_u \cdot P_y - A = 0$

Estabelecendo, $P_y = x$; $-\frac{1}{(2 \cdot k_e)} = a$; $\delta_u = b$; $-A = c$ (b)

Tem-se, $ax^2 + bx + c = 0$ (c)

Desenvolvendo a Equação (c) e substituindo as suas respectivas expressões pelas expressões estabelecidas em (b), tem-se a equação de determinação da força inicial de escoamento.

$$P_y = \frac{-\delta_u \pm \left(\sqrt{(\delta_u)^2 - \frac{2 \cdot A}{k_e}} \right)}{-\frac{1}{k_e}} \quad (5.2)$$

Onde $P_{m\acute{a}x}$ (N) é a força máxima alcançada pela ligação e δ_e (mm) é o deslocamento correspondente ao valor de $P_e = 0,4 P_{m\acute{a}x}$; $P_u = 0,8 P_{m\acute{a}x}$.

Foram também determinados os valores da variância [$\text{var}(x)$], do desvio padrão (DP) e do coeficiente de variação (C_v) de cada série dos modelos M1, M2 e M3.

5.2.2 Corpos de prova do modelo M1

O conjunto de ensaios do modelo M1 foi composto por 36 CP's, sendo que cada CP foi constituído de dois montantes com topos feitos em perfil caixa como reforço, de duas guias

feitas com os mesmos perfis que os montantes, de dois painéis de OSB e de parafusos de fixação (Tabela 5. 1).

Como nomenclatura dos CP's deste modelo, tem-se: a série com o seu número (Si), o montante com a sua quantidade (Mx), a espessura nominal do painel de OSB (t_{OSB} como A para indicar 9,5 mm e B para 11,1 mm), a espessura nominal da chapa do perfil de aço (t_n), a dimensão da alma do perfil (b_w), a distância axial entre os montantes (e_m), o espaçamento axial entre os parafusos (e_p). A Tabela 5. 1 apresenta ainda a quantidade de parafusos (Q_p) e a quantidade dos corpos de prova (Q_{cp}).

Tabela 5. 1 – Parâmetros relativos aos corpos de prova do modelo M1 ensaiado (montantes de borda).

Nomenclatura	t_{OSB} (mm)	t_n (mm)	$b_w ; e_m$ (mm)	e_p (mm)	Q_p	Q_{cp}	
S1-M2-A-0,80-140-400-150	9,5	0,80	140 ; 400	150	20	3	
S2-M2-A-0,80-140-400-300				300	12	3	
S3-M2-A-0,95-140-400-150		0,95		150	20	3	
S4-M2-A-0,95-140-400-300				300	12	3	
S5-M2-A-1,25-140-400-150		1,25		1,25	150	20	3
S6-M2-A-1,25-140-400-300					300	12	3
S7-M2-B-0,80-140-400-150	11,1	0,80		150	20	3	
S8-M2-B-0,80-140-400-300				300	12	3	
S9-M2-B-0,95-140-400-150		0,95		0,95	150	20	3
S10-M2-B-0,95-140-400-300					300	12	3
S11-M2-B-1,25-140-400-150		1,25		1,25	150	20	3
S12-M2-B-1,25-140-400-300					300	12	3
Total de corpos de prova (CP)						36	

Para preparar os corpos de prova desse modelo para os ensaios, foi preciso: - marcar, sobre os montantes, a posição das cantoneiras que receberão a base magnética dos DT's de tal modo que o eixo dessa base coincidisse com o eixo dos parafusos centrais; - executar os furos dessas cantoneiras com uma furadeira; - usar os rebites para a fixação dessas cantoneiras; - posicionar o CP sobre um suporte composto por um bloco de concreto, por três placas de aço e por um bloco de madeira feito em laminados colados; - numerar sequencialmente os parafusos, de cima para baixo, do painel P1 ao painel P2 de OSB; - posicionar sobre a guia superior a mesma chapa que foi usada dentro do montante para distribuição do carregamento nos corpos de prova do modelo M3 (modelo apresentado posteriormente, porém, foi o primeiro a ser ensaiado); - posicionar um perfil caixa soldado sobre essa chapa; - posicionar uma pequeno painel de aço sobre esse perfil caixa; - posicionar um bloco de aço junto com a rótula sobre essa chapa; - amarrar o perfil caixa soldado sobre o pórtico de ensaio; - efetuar levemente o carregamento

até estabilidade dessa rótula sobre os aços de distribuição da força aplicada estabilizando também o CP; - marcar sobre os painéis de OSB e efetuar os furos das cantoneiras de apoio das hastes dos DT's; - fixar essas cantoneiras usando os parafusos auto-atarraxantes; - posicionar uma chapa de aço sobre essas cantoneiras pelo uso de um grampo; - posicionar a haste dos DT's sobre essas chapas de aço posicionando as suas bases magnéticas sobre as cantoneiras que foram fixadas anteriormente sobre a alma dos montantes; - e manter os DT's 06/02 no painel P1 de OSB e os DT's 01/05 no painel P2 sendo que os DT's 01 e 02 foram posicionados sobre o mesmo montante (Figura 5.12). Os aços de distribuição da força aplicada eram levantados manualmente para retirada e posicionamento dos corpos de prova.



Figura 5.12 – CP do modelo M1 preparado para ser ensaiado.

Foi possível descarregar os corpos de prova antes de parar a aquisição de dados devido ao modo de ruptura. O gráfico força versus deslocamento do CP1 de cada série deste modelo foi apresentado neste item a título de exemplo para os demais CP's. Os gráficos dos demais corpos de prova foram agrupados por série e apresentados no item 5.3 objetivando evitar a redundância de análises para ensaios com resultados semelhantes.

No ensaio do CP1 da série 1, o valor de $P_{m\acute{a}x}$ igual a 1.760,01 N foi alcançado com um deslocamento de 6,63 mm, o de P_y igual a 1.475,60 N com um deslocamento de 1,14 mm e o de P_u igual 1.408,01 N com um deslocamento correspondente de 8,99 mm (Figura 5.13). Esse CP tinha um leve afundamento da cabeça dos parafusos 7 e 19 nos painéis P1 e P2 de OSB, uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 10,15 mm e de 156,50 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, a rotação dos parafusos 16 a 20 ocorreu com aproximadamente 19.201,42 N; o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 23.996,87 N com a rotação dos parafusos 1 a 5 e 11 a 14. A ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 1 a 5 e 16 a 20 com a rotação de todos os parafusos (Figura 5.14).

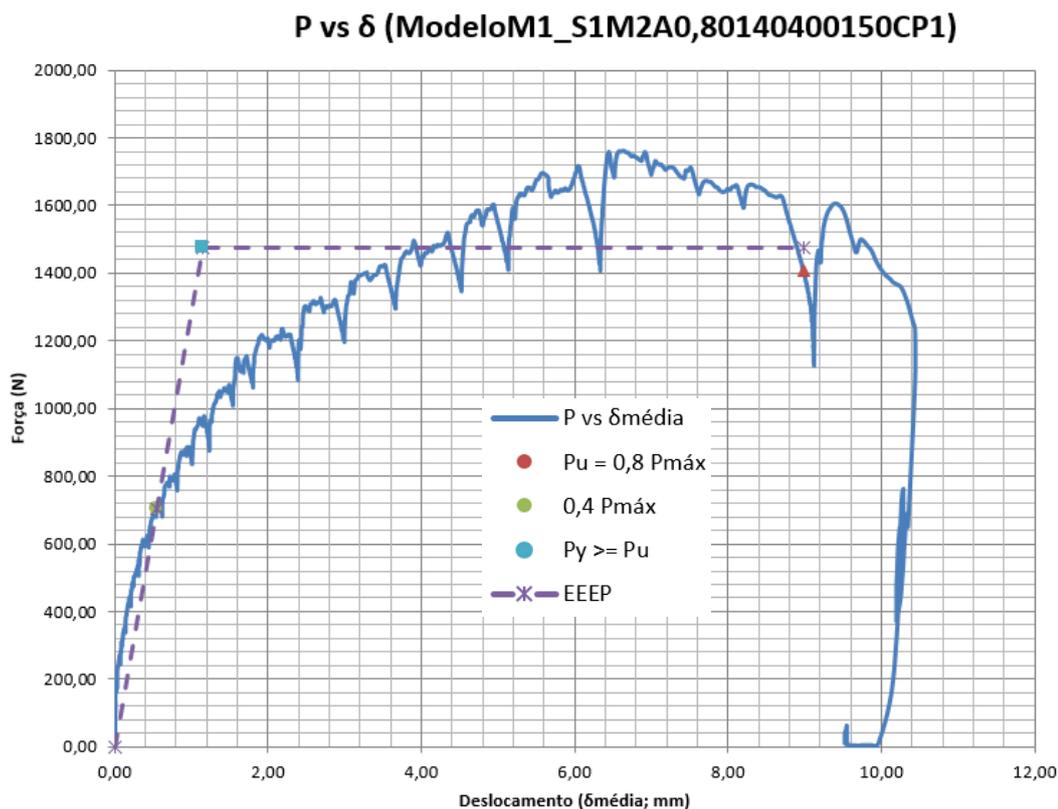


Figura 5.13 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S1 (modelo M1 S1-M2-A-0,80-140-400-150 CP1).



Figura 5.14 – Modelo M1 S1-M2-A-0,80-140-400-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 2, o valor de $P_{máx}$ igual a 1.945,91 N foi alcançado com um deslocamento de 7,06 mm, o de P_y igual a 1.598,70 N com um deslocamento de 0,89 mm e o de P_u igual a 1.556,73 N com um deslocamento correspondente de 8,38 mm (Figura 5.16). Esse CP tinha um leve afundamento da cabeça do parafuso 2 no painel P1 de OSB, uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 15,50 mm e de 306,50 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 15.710,25 N e a rotação de todos os parafusos ocorreu com aproximadamente 19.201,42 N. A ruptura do

CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 1 a 3 e 10 a 12 (Figura 5.15).



Figura 5.15 – Modelo M1 S2-M2-A-0,80-140-400-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

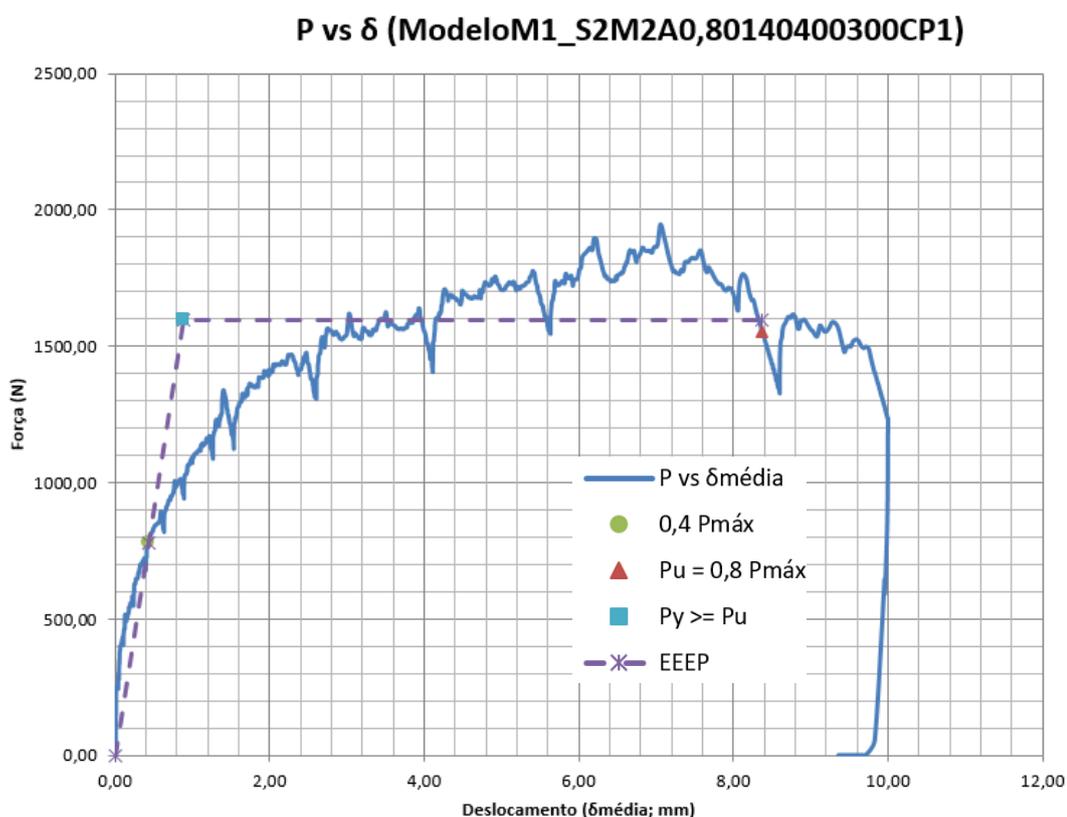


Figura 5.16 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S2 (modelo M1 S2-M2-A-0,80-140-400-300 CP1).

No ensaio do CP1 da série 3, o valor de $P_{m\acute{a}x}$ igual a 1.748,91 N foi alcançado com um deslocamento de 8,63 mm, o de P_y igual a 1.481,88 N com um deslocamento de 1,86 mm e o de P_u igual a 1.399,13 N com um deslocamento correspondente de 10,66 mm (Figura 5.18). Esse CP tinha um leve afundamento da cabeça dos parafusos 1, 8, 13 e 18 nos painéis P1 e P2 de OSB, uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 12 mm e de 156,50 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com

aproximadamente 22.692,59 N com a rotação de todos os parafusos. A ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 1 a 5 e 16 a 20 (Figura 5.17). O topo desse CP não foi feito em perfil caixa.



Figura 5.17 – Modelo M1 S3-M2-A-0,95-140-400-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

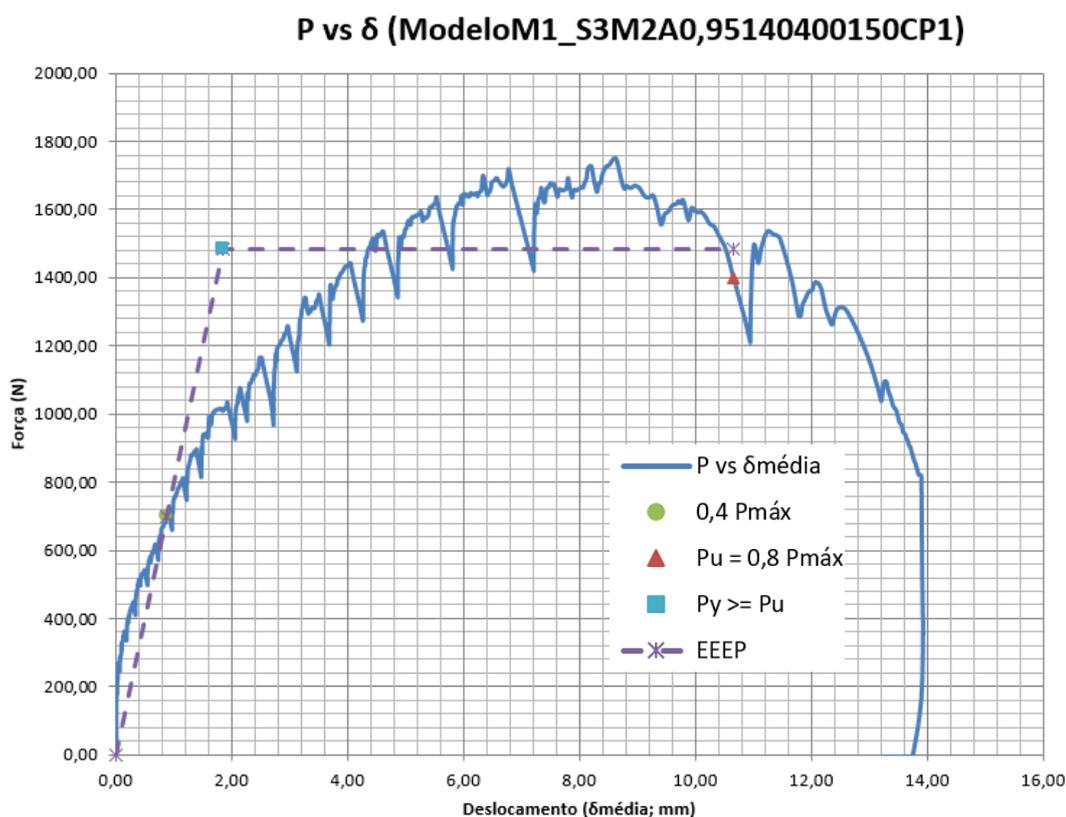


Figura 5.18 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S3 (modelo M1 S3-M2-A-0,95-140-400-150 CP1).

No ensaio do CP1 da série 4, o valor de $P_{máx}$ igual a 1.772,11 N foi alcançado com um deslocamento de 7,32 mm, o de P_y igual a 1.491,68 N com um deslocamento de 0,64 mm e o de P_u igual a 1.417,69 N com um deslocamento correspondente de 9,75 mm (Figura 5.20). Esse CP tinha um leve afundamento da cabeça dos parafusos 3 e 12 nos painéis P1 e P2 de OSB,

uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 12,50 mm e de 307,50 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 15.710,25 N com a rotação dos parafusos 1 a 3 e 10 a 12. A ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 1 a 3 e 10 a 12 com a rotação de todos os parafusos (Figura 5.19).



Figura 5.19 – Modelo M1 S4-M2-A-0,95-140-400-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

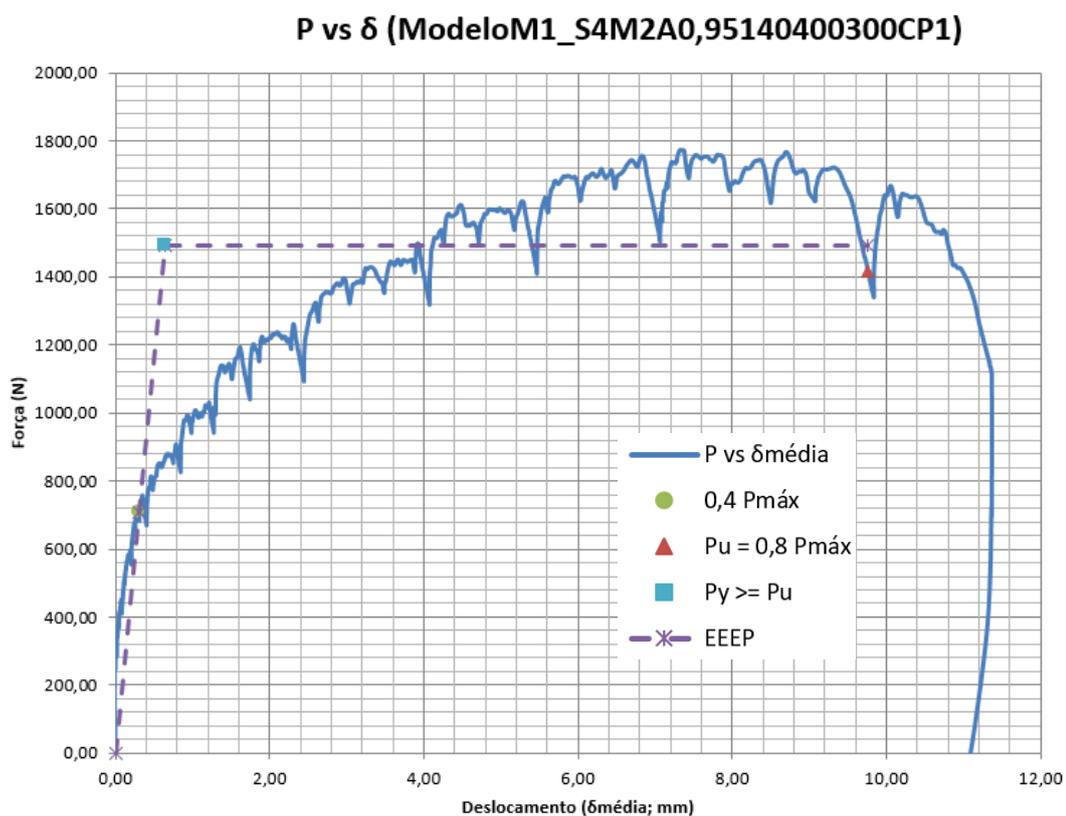


Figura 5.20 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S4 (modelo M1 S4-M2-A-0,95-140-400-300 CP1).

No ensaio do CP1 da série 7, um valor de $P_{máx}$ igual a 1.734,49 N foi alcançado com um deslocamento de 6,84 mm, um de P_y igual a 1.482,45 N com um deslocamento de 1,37 mm e

um de P_u igual a 1.387,59 N com um deslocamento correspondente de 9,29 mm (Figura 5.22). Esse CP tinha um leve afundamento da cabeça dos parafusos 14, 15, 16, 18 e 19 no painel P2 de OSB e uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 11 mm. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 24.438,17 N com a rotação dos parafusos 1 a 5, 6, 7, 11 a 13 e 17 a 20. A rotação de todos os parafusos ocorreu com aproximadamente 29.674, 92 N e a ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 1 a 5 e 16 a 20 (Figura 5.21).



Figura 5.21 – Modelo M1 S7-M2-B-0,80-140-400-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

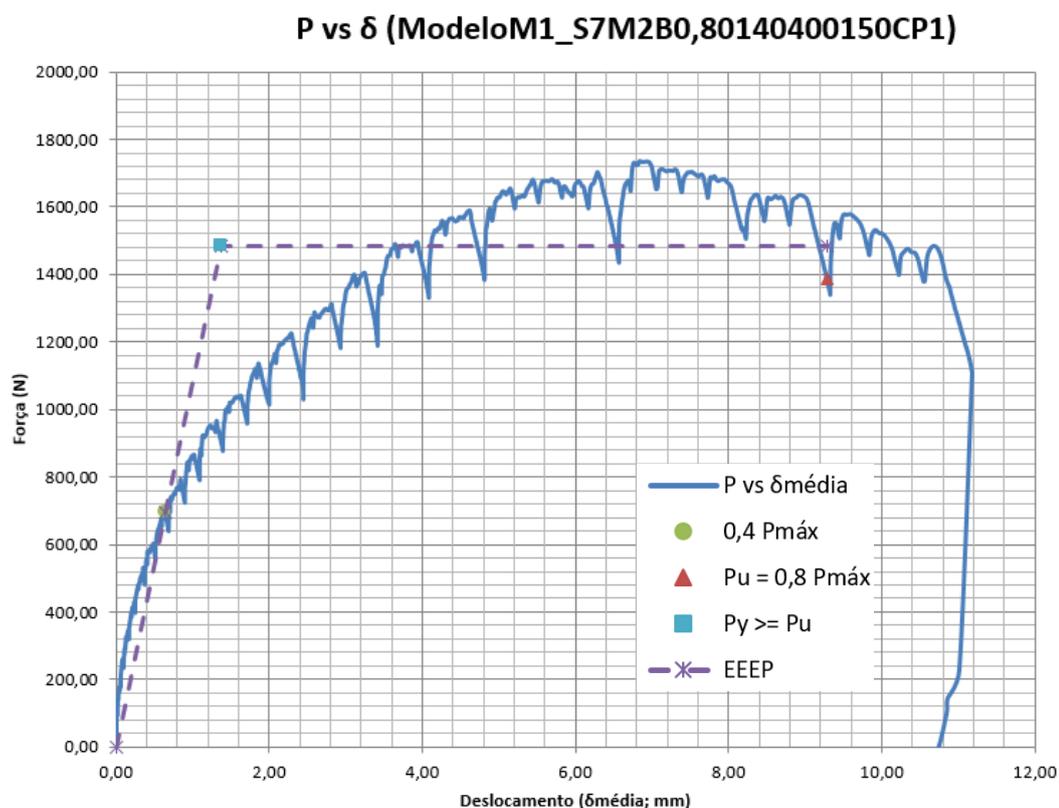


Figura 5.22 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S7 (modelo M1 S7-M2-B-0,80-140-400-150 CP1).

No ensaio do CP1 da série 8, um de $P_{m\acute{a}x}$ igual a 1.801,20 N foi obtido com um deslocamento de 8,43 mm, um de P_y igual a 1.528,70 N com um deslocamento de 1,61 mm e um de P_u igual a 1.440,96 N com um deslocamento correspondente de 10,40 mm (Figura 5.24). Esse CP tinha uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 14 mm. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 13.964,67 N com a rotação dos parafusos 1 a 3, 4 a 6, 7 a 9 e 10. A ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 4 a 9 com a rotação de todos os parafusos (Figura 5.23).



Figura 5.23 – Modelo M1 S8-M2-B-0,80-140-400-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

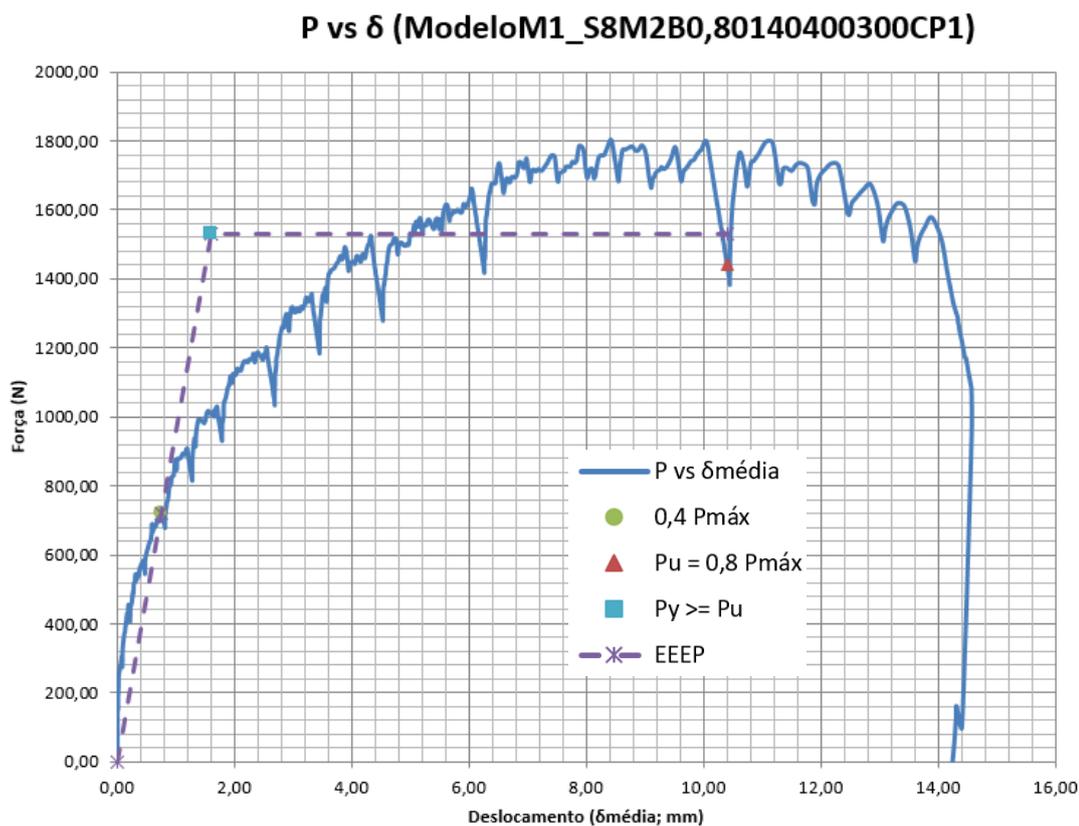


Figura 5.24 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S8 (modelo M1 S8-M2-B-0,80-140-400-300 CP1).

No ensaio do CP1 da série 9, um de $P_{m\acute{a}x}$ igual a 1.967,48 N foi obtido com um deslocamento de 7,84 mm, um de P_y igual a 1.676,20 N com um deslocamento de 1,84 mm e um de P_u igual a 1.573,98 N com um deslocamento correspondente de 10,73 mm (Figura 5.26). Esse CP tinha um leve afundamento da cabeça dos parafusos 9 e 19 nos painéis P1 e P2 de OSB, uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 10,50 mm e de 153,50 entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 20.947 N com a rotação dos parafusos 1 a 5, 11, 12, 16 e 20. A rotação de todos os parafusos ocorreu com aproximadamente 26.183,75 N e a ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 1 a 5 e 16 a 20 (Figura 5.25).



Figura 5.25 – Modelo M1 S9-M2-B-0,95-140-400-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

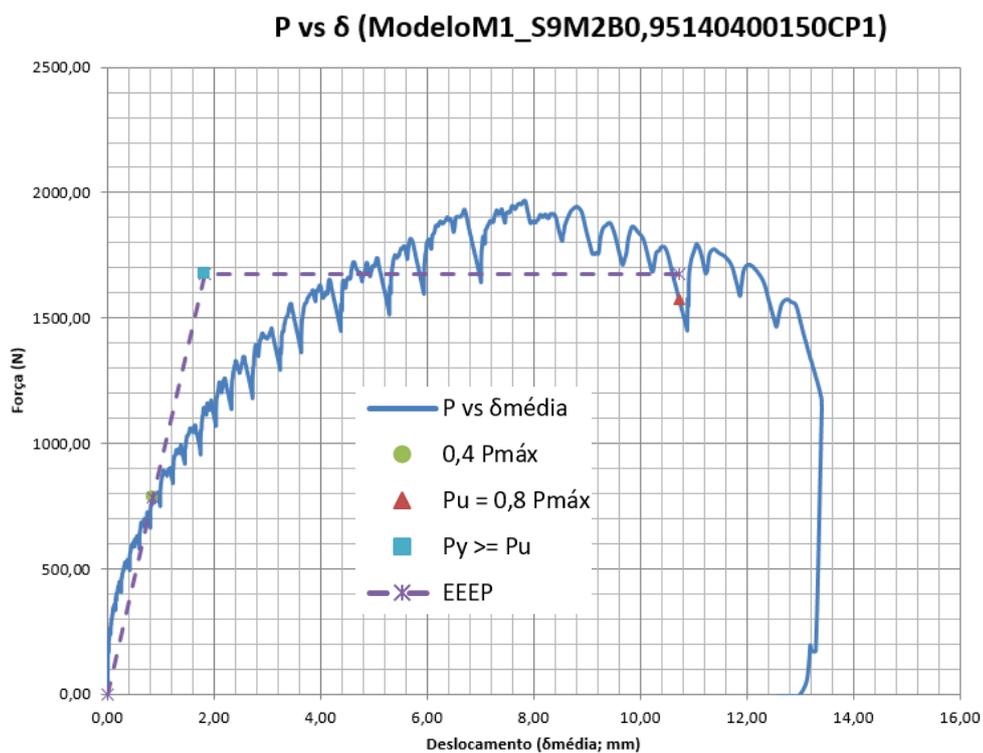


Figura 5.26 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S9 (modelo M1 S9-M2-B-0,95-140-400-150 CP1).

No ensaio do CP1 da série 10, um $P_{m\acute{a}x}$ igual a 1.790,93 N foi obtido com um deslocamento de 8,33 mm, um P_y igual a 1.527,94 N com um deslocamento de 1,73 mm e um P_u igual a 1.432,75 N com um deslocamento correspondente de 10,27 mm (Figura 5.28). Esse CP tinha uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 11 mm e de 301 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 15.710,25 N com a rotação dos parafusos 1 a 3, 7 a 9 e 10 a 12. A ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 1 a 3, 10 e 12 e por *Pull-out* no parafuso 11 com a rotação de todos os parafusos (Figura 5.27).



Figura 5.27 – Modelo M1 S10-M2-B-0,95-140-400-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

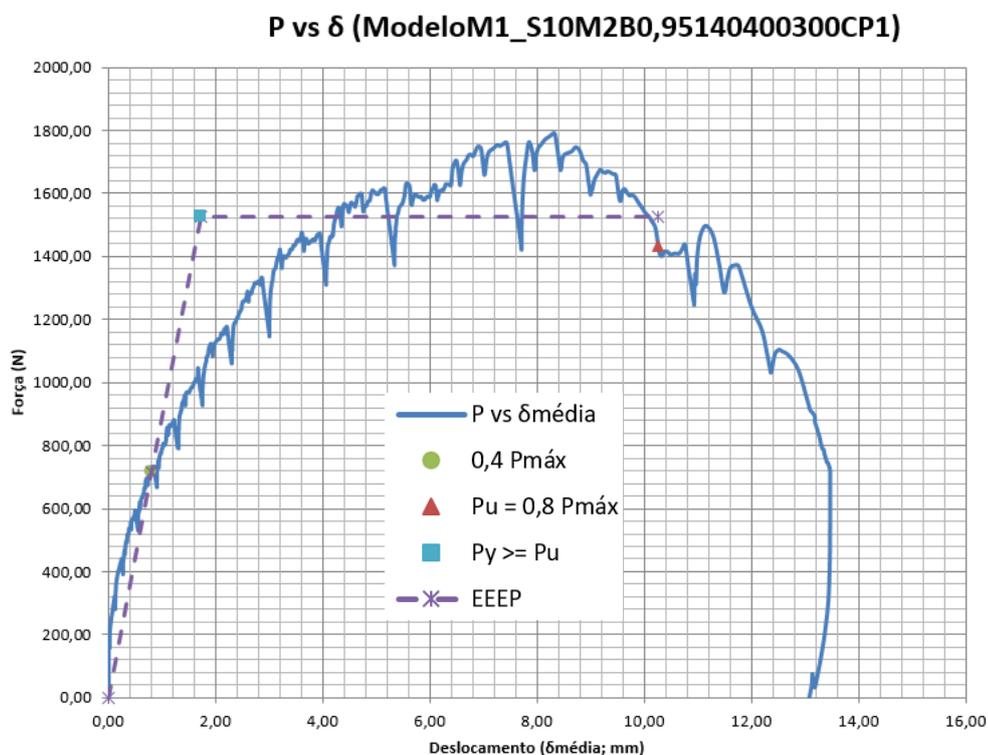


Figura 5.28 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M1 da série S10 (modelo M1 S10-M2-B-0,95-140-400-300 CP1).

5.2.3 Corpos de prova do modelo M2

O conjunto de ensaios do modelo M2 foi composto por 36 CP's, sendo que cada CP foi constituído de um montante com topo feito em perfil caixa como reforço, de dois painéis de OSB e de parafusos de fixação (Tabela 5. 2). As aberturas superior e inferior desse montante foram fechadas com os mesmos perfis cujos enrijecedores foram previamente cortados.

Como nomenclatura dos CP's deste modelo, tem-se: a série com o seu número (Si), o montante com a sua quantidade (Mx), a espessura nominal do painel de OSB (t_{OSB} como A igual a 9,5 mm e B igual a 11,1 mm), a espessura nominal da chapa do perfil de aço (t_n), a dimensão da alma do perfil (b_w), o espaçamento axial entre os parafusos (e_p). A Tabela 5. 2 apresenta ainda a quantidade de parafusos (Q_p) e a quantidade dos corpos de prova (Q_{cp}).

Tabela 5. 2 – Parâmetros relativos aos corpos de prova do modelo M2 ensaiado (montante intermediário).

Nomenclatura	t_{OSB} (mm)	t_n (mm)	b_w (mm)	e_p (mm)	Q_p	Q_{cp}	
S1-M1-A-0,80-140-150	9,5	0,80	140	150	10	3	
S2-M1-A-0,80-140-300				300	6	3	
S3-M1-A-0,95-140-150		0,95		150	10	3	
S4-M1-A-0,95-140-300				300	6	3	
S5-M1-A-1,25-140-150		1,25		0,80	150	10	3
S6-M1-A-1,25-140-300					300	6	3
S7-M1-B-0,80-140-150	11,1	0,80		150	10	3	
S8-M1-B-0,80-140-300				300	6	3	
S9-M1-B-0,95-140-150		0,95		150	10	3	
S10-M1-B-0,95-140-300				300	6	3	
S11-M1-B-1,25-140-150		1,25		0,80	150	10	3
S12-M1-B-1,25-140-300					300	6	3
Total de corpos de prova (CP)						36	

Para preparar os corpos de prova desse modelo para os ensaios, foi preciso: - posicionar o CP sobre o mesmo suporte usado para os ensaios dos corpos de prova do modelo M1; - numerar sequencialmente os parafusos, de cima para baixo, do painel P1 ao painel P2 de OSB; - posicionar no topo do montante uma placa de aço para a distribuição do carregamento no CP; - posicionar sobre essa placa o mesmo perfil caixa soldado que foi usado no modelo M1 mantendo a sua placa de aço; - posicionar sobre essa placa a rótula; - manter amarrado o perfil caixa soldado sobre o pórtico de ensaio; - efetuar levemente o carregamento até estabilidade dessa rótula sobre os aços de distribuição da força aplicada estabilizando também o CP; - marcar sobre os painéis de OSB e efetuar os furos das cantoneiras de apoio das hastes dos DT's; - fixar

essas cantoneiras usando os parafusos auto-atarraxantes; - posicionar uma chapa de aço sobre essas cantoneiras pelo uso de um grampo; - posicionar a haste dos DT's sobre essas chapas de aço posicionando as suas bases magnéticas na alma do perfil; - e manter o DT 01 no painel P1 de OSB e o DT 05 no painel P2 sendo que as bases magnéticas desses DT's foram posicionadas uma de costa para outra aumentando assim o campo magnético (Figura 5.29). Os aços de distribuição da força aplicada foram levantados manualmente para retirada e posicionamento dos corpos de prova.



Figura 5.29 – CP do modelo M2 preparado para ser ensaiado.

Foi possível descarregar os corpos de prova antes de parar a aquisição de dados devido ao modo de ruptura. O gráfico força versus deslocamento do CP1 de cada série deste modelo foi apresentado neste item a título de exemplo para os demais CP's. Os gráficos dos demais corpos de prova foram agrupados em série e apresentados no item 5.3 objetivando evitar a redundância de análises para ensaios semelhantes.

No ensaio do CP1 da série 1, um $P_{m\acute{a}x}$ igual a 1.898,58 N foi obtido com um deslocamento de 9,93 mm, um P_y igual a 1.601,04 N com um deslocamento de 1,12 mm e um P_u igual a 1.518,86 N com um deslocamento correspondente de 13,19 mm (Figura 5.30). Esse CP tinha uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 12 mm. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 10.473,50 N com a rotação dos parafusos 1, 3 e 6 a 12. A rotação de todos os parafusos ocorreu com aproximadamente 15.710,25 N e a ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 1 a 10 (Figura 5.31).

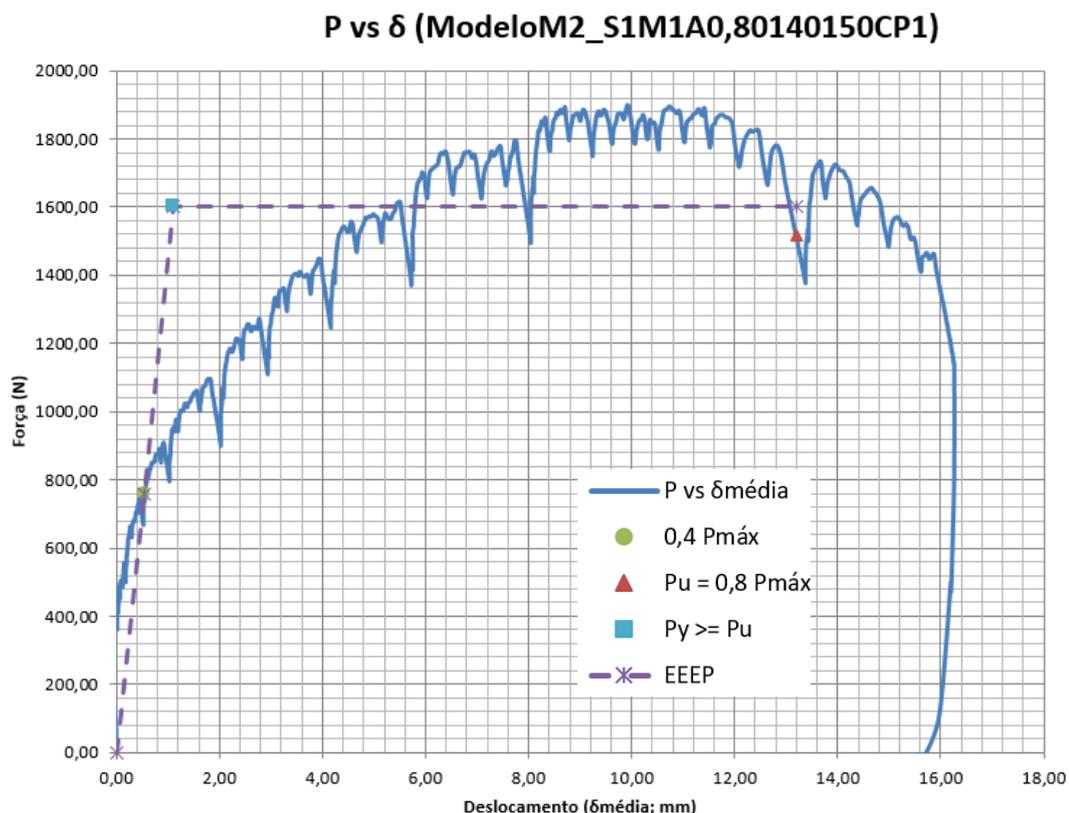


Figura 5.30 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S1 (modelo M2 S1-M1-A-0,80-140-150 CP1).



Figura 5.31 – Modelo M2 S1-M1-A-0,80-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 2, um $P_{máx}$ igual a 2.169,71 N foi alcançado com um deslocamento de 6,29 mm, um P_y igual a 1.880,45 N com um deslocamento de 0,50 mm e um P_u igual a 1.735,77 N com um deslocamento correspondente de 8,89 mm (Figura 5.32). Esse CP tinha uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 13 mm e de 300,50 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 9.600,71 N com a rotação de todos os parafusos e a ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 1 a 6 (Figura 5.33).

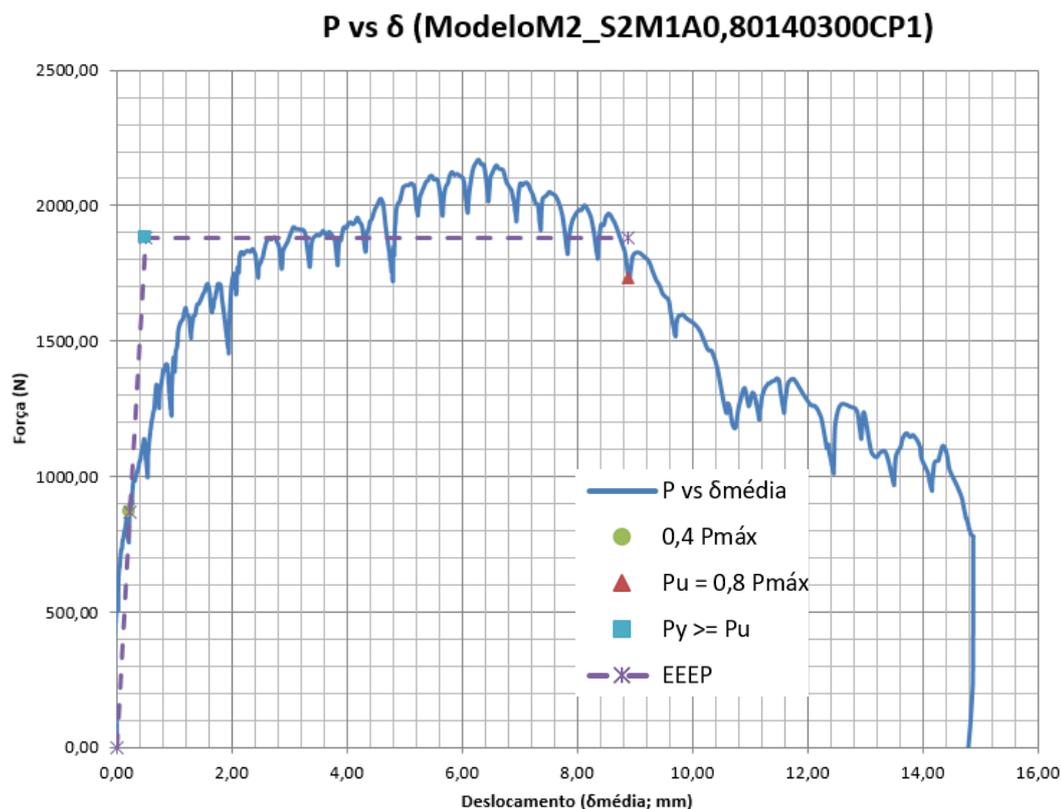


Figura 5.32 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S2 (modelo M2 S2-M1-A-0,80-140-300 CP1).



Figura 5.33 – Modelo M2 S2-M1-A-0,80-140-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 3, um $P_{máx}$ igual a 2.149,12 N foi obtido com um deslocamento de 6,11 mm, um P_y igual a 1.804,19 N com um deslocamento de 0,34 mm e um P_u igual a 1.719,30 N com um deslocamento correspondente de 6,55 mm (Figura 5.34). Esse CP tinha uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 12 mm. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 17.455,84 N com a rotação de todos os parafusos e a ruptura do CP ocorreu por esmagamento da base do painel P2 de OSB na extremidade direita causando a rotação do CP em direção ao painel P1 de OSB. Isso provocou o encaminhamento para o *Pull-over* nos parafusos 1 a 10 (Figura 5.35).

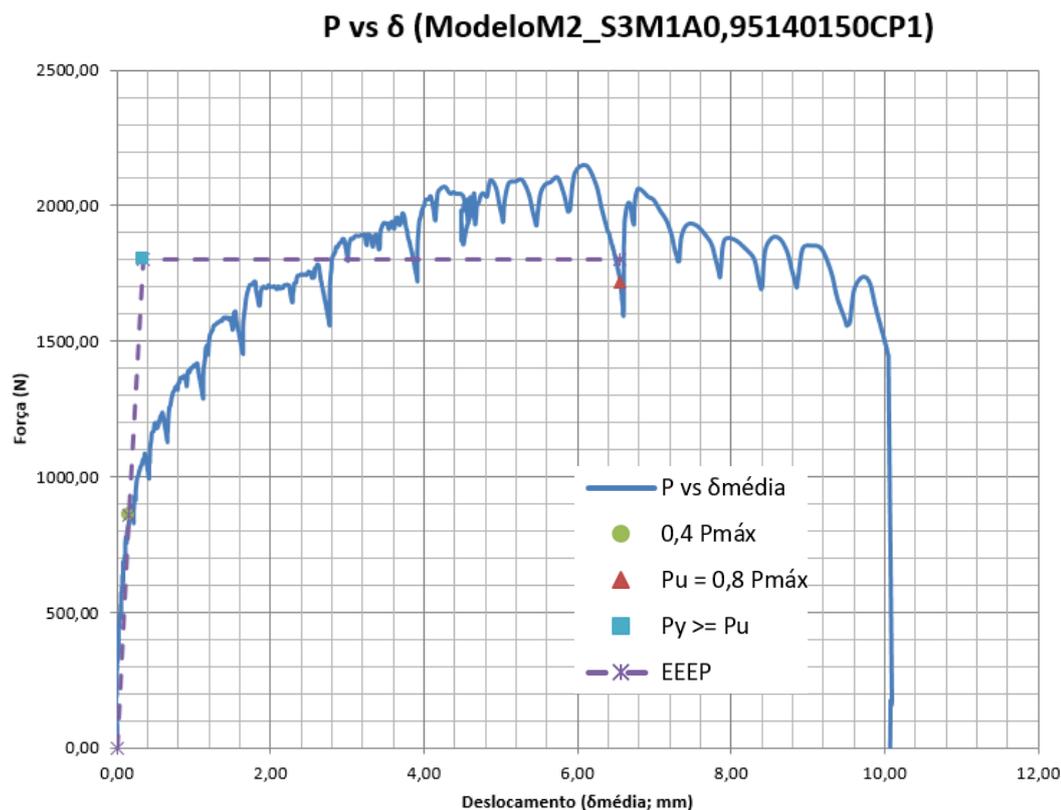


Figura 5.34 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S3 (modelo M2 S3-M1-A-0,95-140-150 CP1).



Figura 5.35 – Modelo M2 S3-M1-A-0,95-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 4, um $P_{máx}$ igual a 2.018,99 N foi obtido com um deslocamento de 9,57 mm, um P_y igual a 1.747,69 N com um deslocamento de 0,46 mm e um P_u igual a 1.615,19 N com um deslocamento correspondente de 13,55 mm (Figura 5.36). Esse CP tinha uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 10,50 mm e de 300,50 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 9.600,71 N com a rotação de todos os parafusos e a ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 1 a 6 (Figura 5.37).

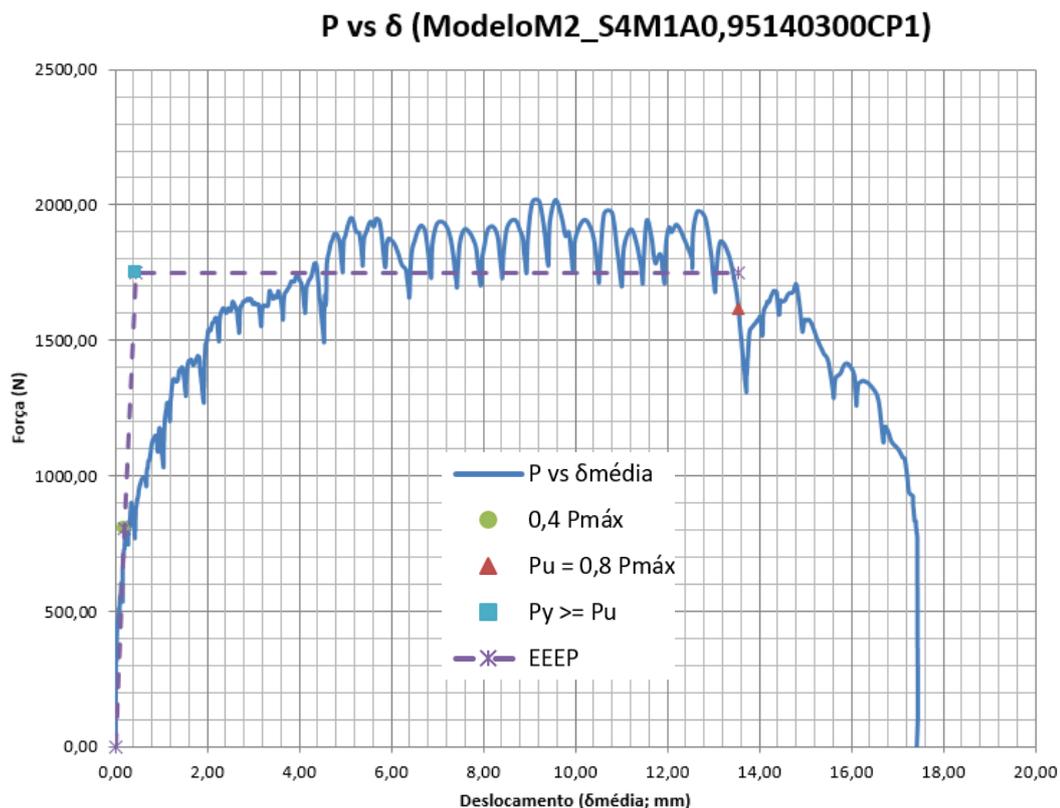


Figura 5.36 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S4 (modelo M2 S4-M1-A-0,95-140-300 CP1).



Figura 5.37 – Modelo M2 S4-M1-A-0,95-140-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 7, um $P_{máx}$ igual a 1.738,57 N foi obtido com um deslocamento de 3,18 mm, um P_y igual a 1.426,28 N com um deslocamento de 0,23 mm e um P_u igual a 1.390,85 N com um deslocamento correspondente de 3,19 mm (Figura 5.38). Esse CP tinha uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 15 mm e de 148,50 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 15.710,25 N com a rotação dos parafusos 6 a 10 e a ruptura do CP ocorreu por plastificação dos enrijecedores e das mesas com a flambagem distorcional da alma do perfil em direção ao painel P1 de OSB com a rotação de todos os parafusos (Figura 5.39).

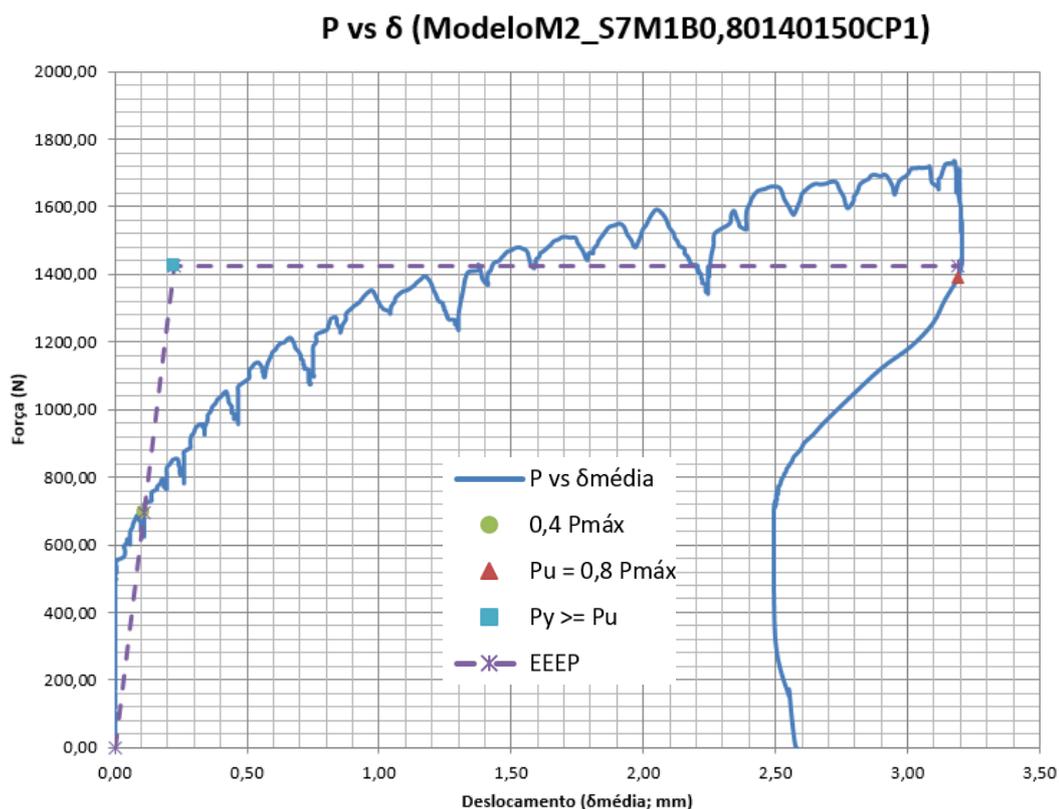


Figura 5.38 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S7 (modelo M2 S7-M1-B-0,80-140-150 CP1).



Figura 5.39 – Modelo M2 S7-M1-B-0,80-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 8, um $P_{máx}$ igual a 2.239,82 N foi alcançado com um deslocamento de 6,29 mm, um P_y igual a 1.893,30 N com um deslocamento de 0,33 mm e um P_u igual a 1.791,85 N com um deslocamento correspondente de 8,71 mm (Figura 5.40). Esse CP tinha uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 13 mm. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 10.473,50 N com a rotação de todos os parafusos e a ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 2 a 6 e por *Pull-out* no parafuso 1 (Figura 5.41).

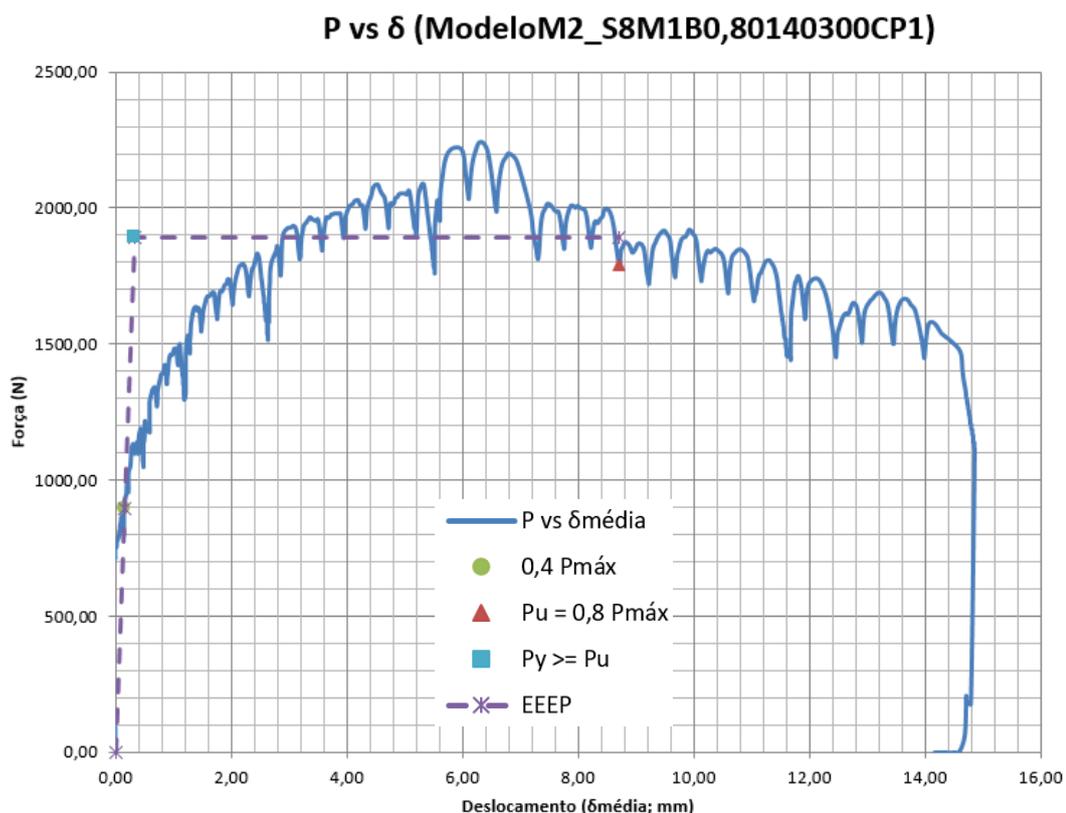


Figura 5.40 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S8 (modelo M2 S8-M1-B-0,80-140-300 CP1).



Figura 5.41 – Modelo M2 S8-M1-B-0,80-140-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 9, um $P_{máx}$ igual a 2.013,58 N foi obtido com um deslocamento de 5,71 mm, um P_y igual a 1.585,14 N com um deslocamento de 0,18 mm e um P_u igual a 1.610,87 N com um deslocamento correspondente de 5,91 mm (Figura 5.42). Esse CP tinha um leve afundamento da cabeça dos parafusos 6 e 9 no painel P2 de OSB, uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 11,50 mm e de 149 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 15.710,25 N com a rotação de todos os parafusos e a ruptura do CP ocorreu por plastificação dos enrijecedores juntos com as mesas com a flambagem distorcional do topo do perfil em direção aos parafusos

1 causando o encaminhamento para o *Pull-over* nos parafusos 1 a 10 (Figura 5.43).

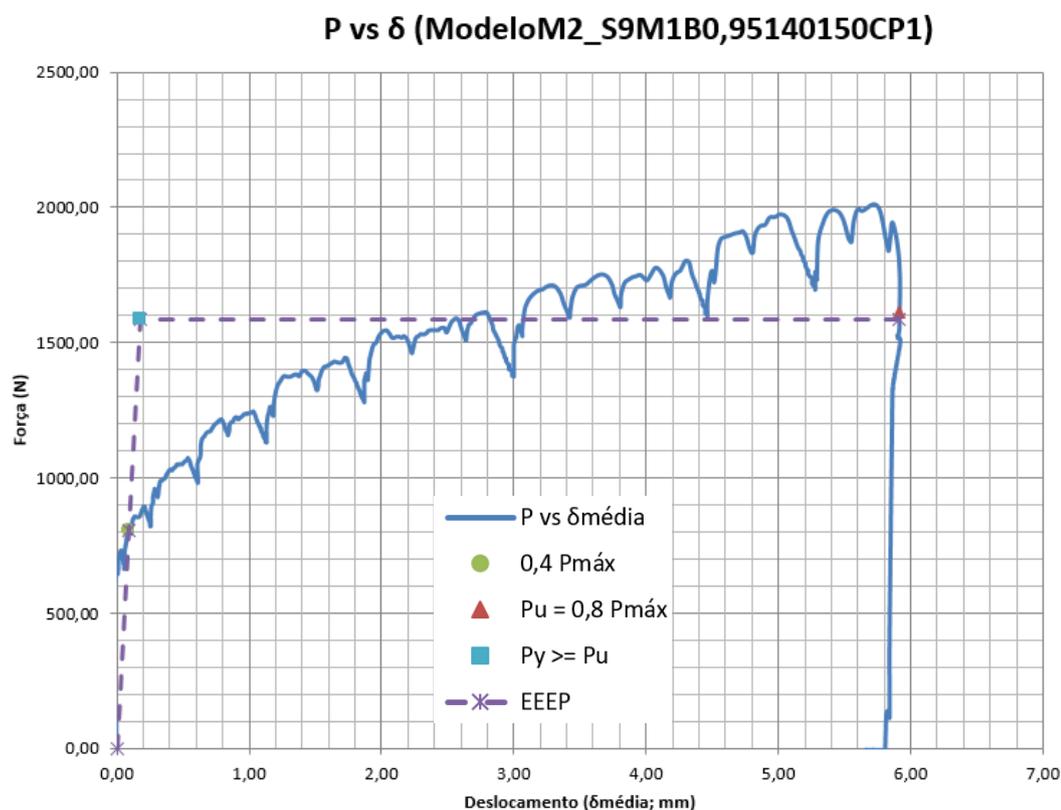


Figura 5.42 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S9 (modelo M2 S9-M1-B-0,95-140-150 CP1).



Figura 5.43 – Modelo M2 S9-M1-B-0,95-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 10, um $P_{máx}$ igual a 2.236,31 N foi alcançado com um deslocamento de 9,97 mm, um P_y igual a 1.844,88 N com um deslocamento de 1,32 mm e um P_u igual a 1.789,05 N com um deslocamento correspondente de 13,31 mm (Figura 5.44). Esse CP tinha uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 11 mm. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 7.855,13 N com a rotação de todos os parafusos e a ruptura do CP ocorreu por *Pull-over* nos parafusos 1 a 6 (Figura 5.45).

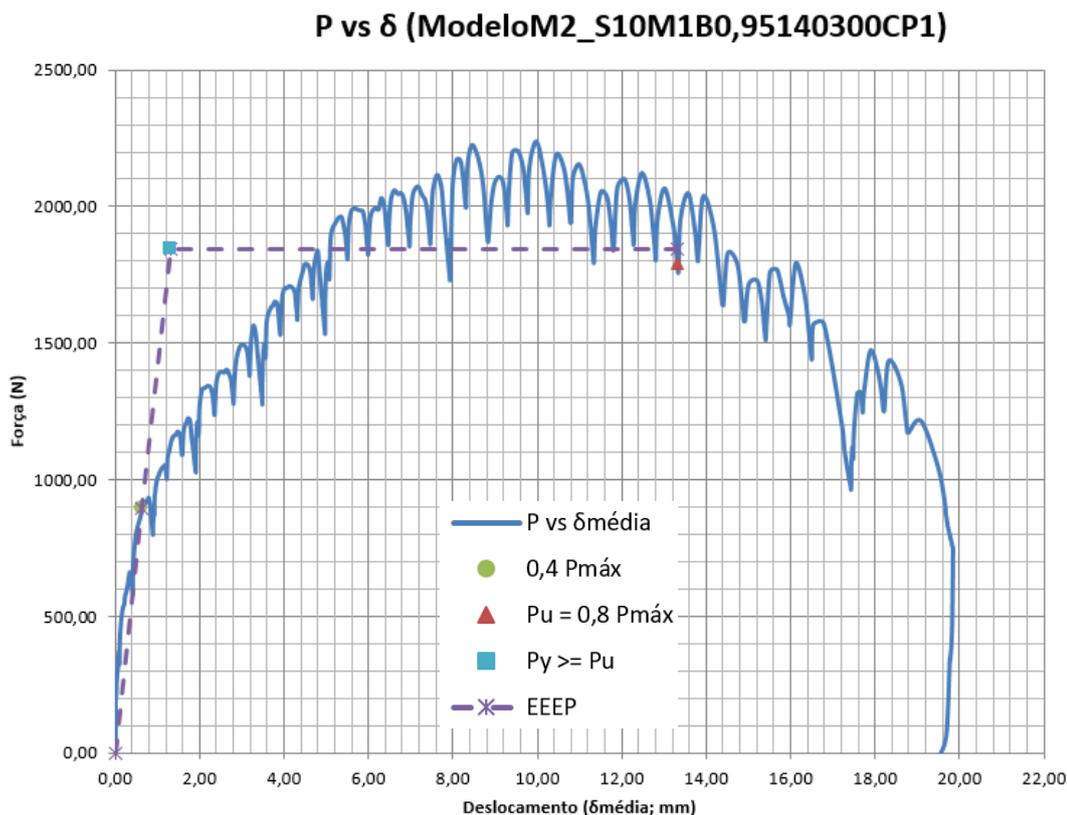


Figura 5.44 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M2 da série S10 (modelo M2 S10-M1-B-0,95-140-300 CP1).



Figura 5.45 – Modelo M2 S10-M1-B-0,95-140-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

5.2.4 Corpos de prova do modelo M3

O conjunto de ensaio do modelo M3 foi composto de 36 CP's, sendo que cada CP foi composto de um montante com alma reforçada com uma chapa de 1,25 mm (espessura nominal) e de dois painéis de OSB e parafusos de fixação (Tabela 5. 3). Os CP's deste modelo foram ensaiados com a utilização de uma haste cilíndrica para aplicação da força distribuída sobre a alma do montante (Figura 5.46).

Como nomenclatura dos CP's deste modelo, tem-se: a série com o seu número (Si), o montante

com a sua quantidade (M_x), a espessura nominal do painel de OSB (t_{OSB} sendo A igual a 9,5 mm e B igual a 11,1 mm), a espessura nominal da chapa do perfil de aço (t_n), a dimensão da alma do perfil (b_w), o espaçamento axial entre os parafusos (e_p). A Tabela 5. 3 apresenta ainda a quantidade de parafusos (Q_p) e a quantidade dos corpos de prova (Q_{cp}).

Tabela 5. 3 – Parâmetros relativos aos corpos de prova do modelo M3 ensaiado (montante de borda).

Nomenclatura	t_{OSB} (mm)	t_n (mm)	b_w (mm)	e_p (mm)	Q_p	Q_{cp}
S1-M1-A-0,80-140-150	9,5	0,80	140	150	10	3
S2-M1-A-0,80-140-300				300	6	3
S3-M1-A-0,95-140-150		0,95		150	10	3
S4-M1-A-0,95-140-300				300	6	3
S5-M1-A-1,25-140-150		1,25		150	10	3
S6-M1-A-1,25-140-300				300	6	3
S7-M1-B-0,80-140-150	11,1	0,80		150	10	3
S8-M1-B-0,80-140-300				300	6	3
S9-M1-B-0,95-140-150		0,95		150	10	3
S10-M1-B-0,95-140-300				300	6	3
S11-M1-B-1,25-140-150		1,25		150	10	3
S12-M1-B-1,25-140-300				300	6	3
Total de corpos de prova (CP)						36

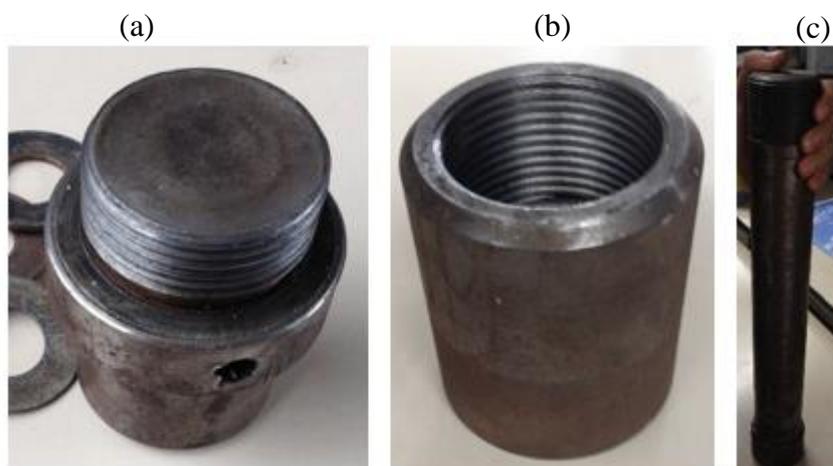


Figura 5.46 – Componentes da haste cilíndrica: a) base; b) topo; c) corpo.

Para preparar os corpos de prova desse modelo para os ensaios, foi preciso: - posicionar o CP no suporte de ensaio; - posicionar quatro hastes roscadas que atravessaram o CP pelos furos que foram executados durante a fabricação do modelo (na parte interna do CP, deve-se colocar quatro porcas e suas arruelas para garantir a verticalidade entre os painéis de OSB e a sua estabilidade após a ruptura do CP); - posicionar as abas laterais de apoio que foram fabricadas com painéis de OSB; - numerar sequencialmente os parafusos da esquerda do painel P1 à direita

do painel P2 de OSB; - estabilizar essas abas no CP com quatro arruelas e porcas tipo borboletas; - marcar a posição das cantoneiras nos painéis de OSB (essas serviram de apoio à haste do DT); - com uma furadeira, efetuar os furos das cantoneiras; - posicionar as cantoneiras usando quatro arruelas, porcas e parafusos com cabeça redonda, fenda simples; - posicionar os DT's com as duas bases magnéticas sobre a alma do perfil (montante) mantendo os DT's 06/02 no painel P1 de OSB e os DT's 01/05 no painel P2 sendo que os DT's 01 e 02 foram montados na mesma base magnética; - posicionar uma chapa dentro do montante para distribuir o carregamento; - posicionar uma barra comprida para minimizar a flambagem global da alma do perfil; - posicionar dois blocos de aço junto com a rótula na base da haste cilíndrica de aplicação da força; - e efetuar levemente o carregamento até estabilidade dessa rótula sobre os blocos de aço (Figura 5.47).



Figura 5.47 – CP do modelo M3 preparado para ser ensaiado.

Não foi possível descarregar os corpos de prova antes de parar a aquisição de dados devido ao modo de ruptura. Além disso, não foi possível determinar o valor da ductilidade (μ) com todos os corpos de prova devido ao pequeno valor de deslocamento alcançado pela força de ruptura afetando o valor da energia dissipada (A). O gráfico força versus deslocamento do CP1 de cada série deste modelo foi apresentado neste item a título de exemplo para os demais CP's. Os gráficos dos demais corpos de prova foram agrupados em série e apresentados no item 5.3 objetivando evitar a redundância de análises para ensaios semelhantes.

No ensaio do CP1 da série 1, um $P_{m\acute{a}x}$ igual a 719,52 N foi obtido com um deslocamento de 5,24 mm, um P_y igual a 630,79 N com um deslocamento de 3,18 mm e um P_u igual a 575,62 N com um deslocamento correspondente de 5,53 mm (Figura 5.48). Esse CP tinha uma distância axial média de 148,50 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 5.236,75 N e a ruptura do CP ocorreu através do rasgamento do painel

P1 de OSB pelos parafusos 2, 3, 4 e 5 (Figura 5.49). As bases magnéticas dos DT's se desprenderam da alma do perfil.

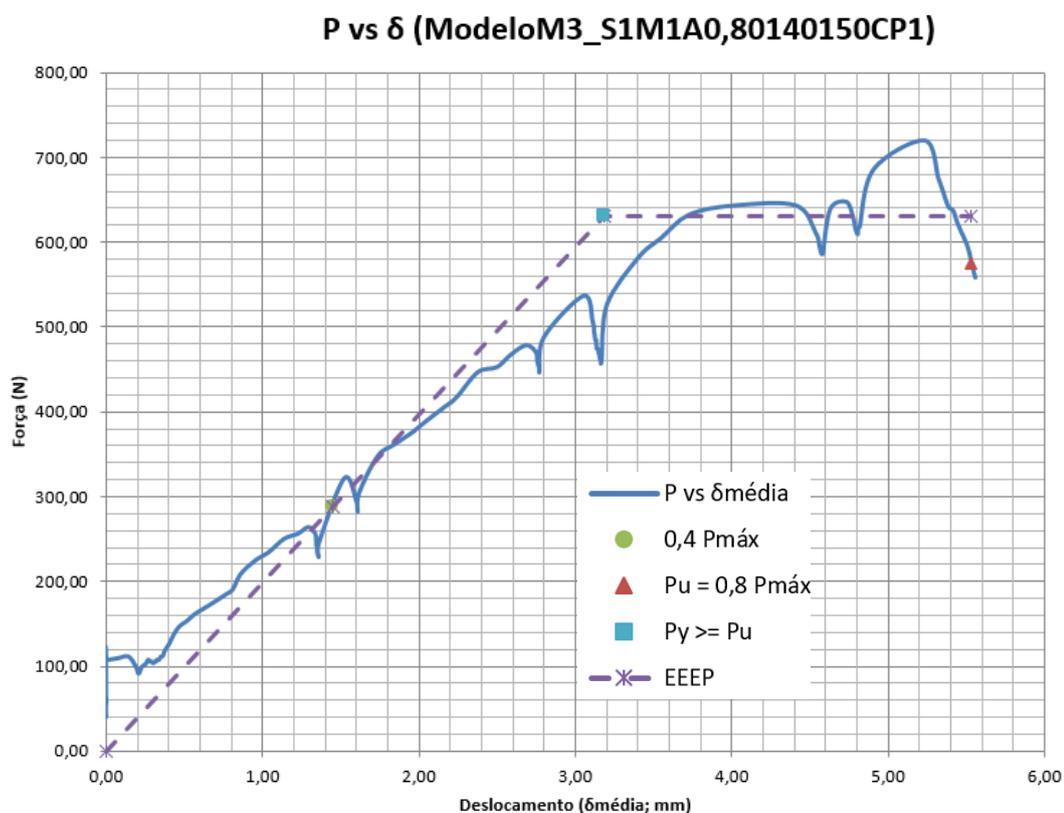


Figura 5.48 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S1 (modelo M3 S1-M1-A-0,80-140-150 CP1).



Figura 5.49 – Modelo M3 S1-M1-A-0,80-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 2, um $P_{máx}$ igual a 866,18 N foi obtido com um deslocamento de 1,88 mm, um P_y igual a 680,24 N com um deslocamento de 0,97 mm e um P_u igual a 692,94 N com um deslocamento correspondente de 2,31 mm (Figura 5.50). Esse CP tinha uma distância média da borda do painel até o eixo dos parafusos de 11 mm e de 299,50 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 2.618,37 N e a ruptura

do CP ocorreu através do rasgamento do painel P1 de OSB pelo parafuso 3 (Figura 5.51).

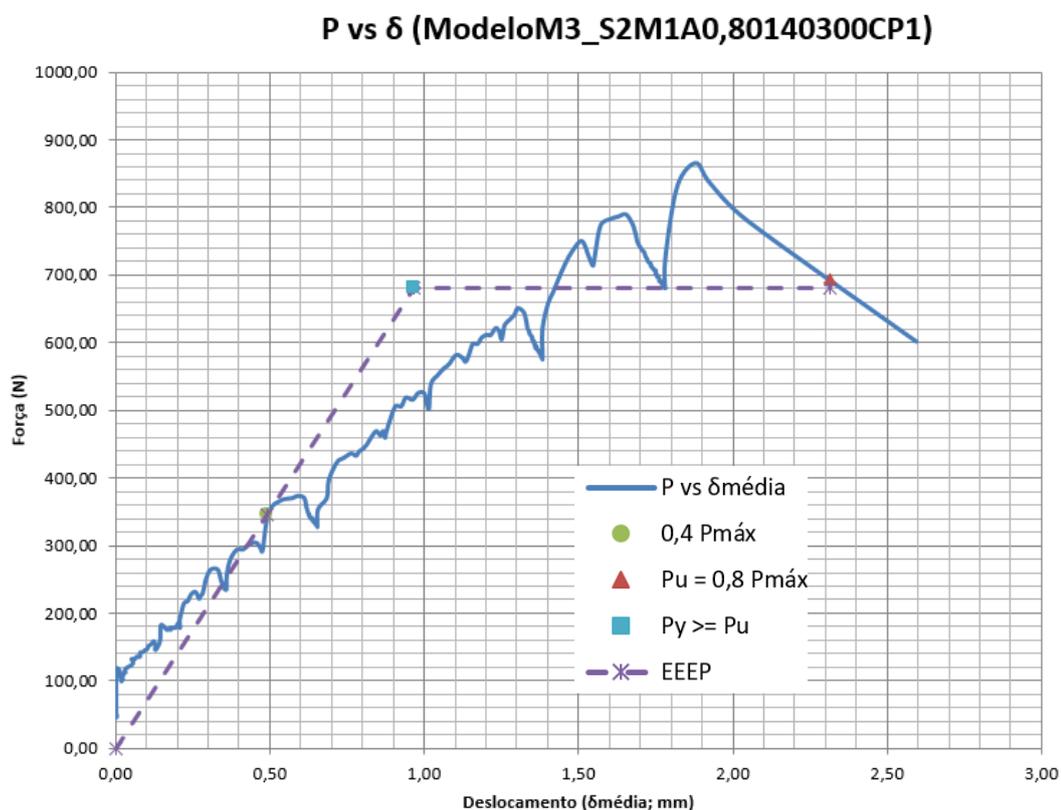


Figura 5.50 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S2 (modelo M3 S2-M1-A-0,80-140-300 CP1).



Figura 5.51 – Modelo M3 S2-M1-A-0,80-140-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 3, um $P_{máx}$ igual a 600,31 N foi obtido com um deslocamento de 2,58 mm e um P_u igual a 480,25 N com um deslocamento correspondente de 3,03 mm (Figura 5.52). O pequeno deslocamento alcançado por P_u afetou o valor de A e impossibilitou a determinação dos valores de P_y e μ . Esse CP tinha uma distância média da borda do painel até o eixo dos parafusos de 12 mm e de 149,50 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início

dos estalos ocorreu com aproximadamente 5.668,24 N e a ruptura do CP ocorreu através do rasgamento do painel P1 de OSB pelos parafusos 2, 3, 4 e 5 com a rotação do parafuso 4 (Figura 5.53).

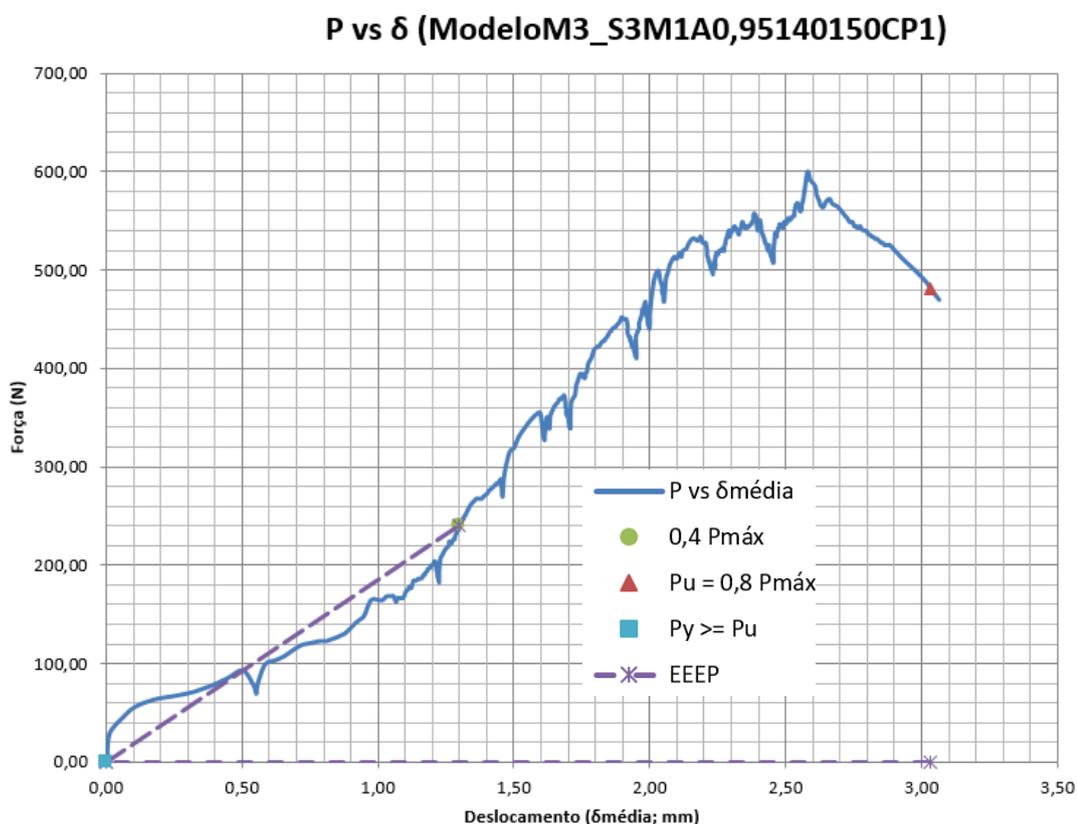


Figura 5.52 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S3 (modelo M3 S3-M1-A-0,95-140-150 CP1).



Figura 5.53 – Modelo M3 S3-M1-A-0,95-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 4, um $P_{máx}$ igual a 644,68 N foi obtido com um deslocamento de 2,10 mm (Figura 5.54). Esse CP tinha um leve afundamento da cabeça do parafuso 1 no painel P1 de OSB, uma distância média da borda do painel até o eixo dos parafusos de 10,40 mm e de

301 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 3.922,66 N com a rotação dos parafusos 1 e 5 e a ruptura do CP ocorreu através do rasgamento dos painéis P1 e P2 de OSB pelos parafusos 1, 5 e 6 (Figura 5.55).

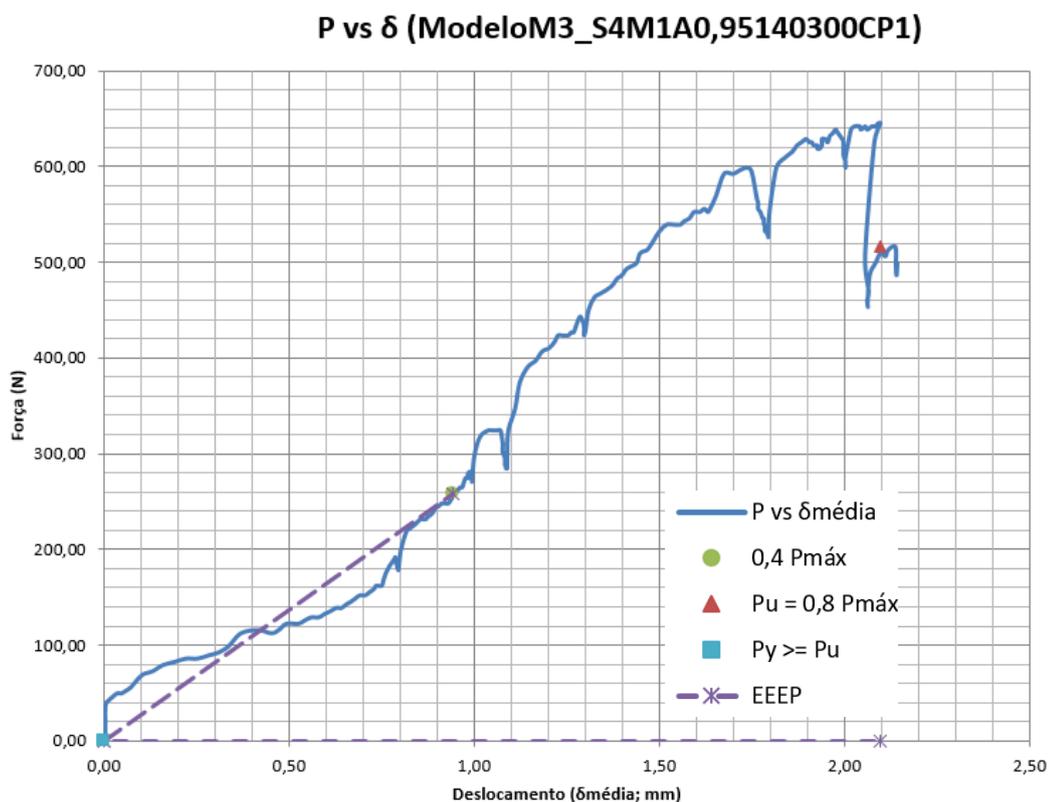


Figura 5.54 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S4 (modelo M3 S4-M1-A-0,95-140-300 CP1).



Figura 5.55 – Modelo M3 S4-M1-A-0,95-140-300 CP1, antes e depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 7, um $P_{máx}$ igual a 668,43 N foi alcançado com um deslocamento de 3,03 mm, um P_y igual a 592,76 N com um deslocamento de 1,56 mm e um P_u igual a 534,74 N com um deslocamento correspondente de 3,85 mm (Figura 5.56). Esse CP tinha o canto do

painel P1 danificado pelo parafuso 5. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 5.668,24 N e a ruptura do CP ocorreu através do rasgamento do painel P1 de OSB pelos parafusos 2, 3, 4 e 5 com a rotação do parafuso 4 (Figura 5.57).

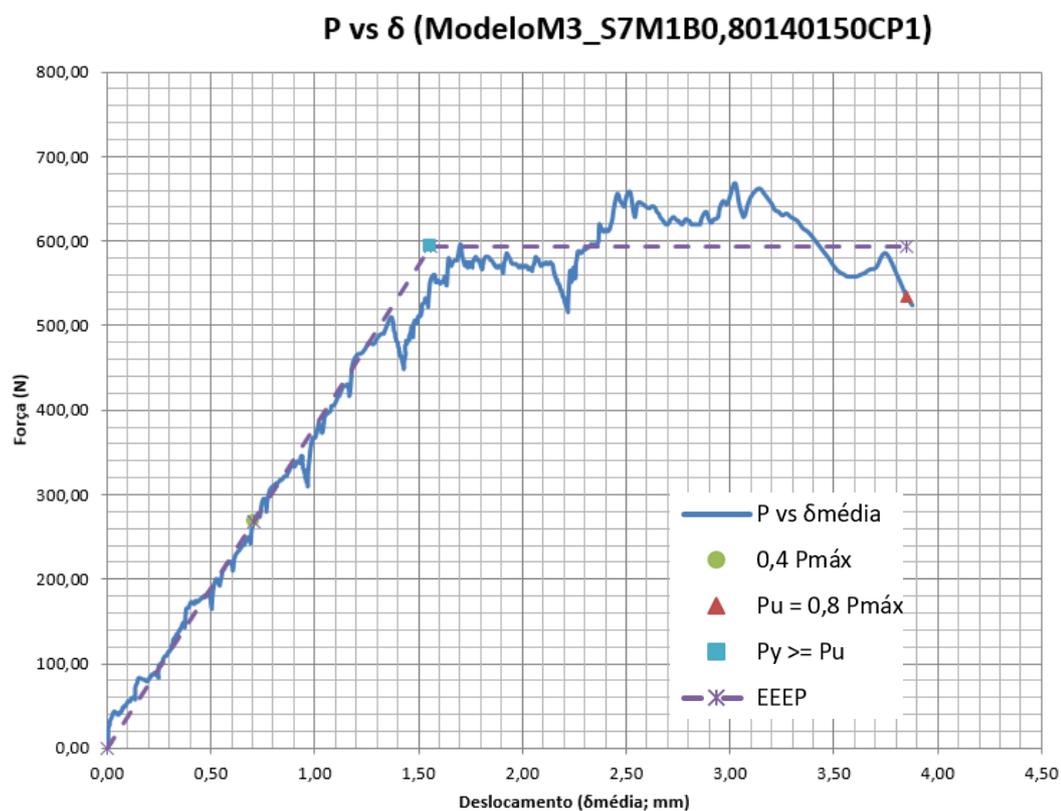


Figura 5.56 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S7 (modelo M3 S7-M1-B-0,80-140-150 CP1).



Figura 5.57 – Modelo M3 S7-M1-B-0,80-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP2 da série 8, um $P_{máx}$ igual a 806,67 N foi obtido com um deslocamento de 3,12 mm (Figura 5.58). Esse CP tinha um leve afundamento da cabeça do parafusos 5 no painel P2 de OSB, uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 9,50

mm e de 299,50 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 3.927,56 N com a rotação dos parafusos 1, 5 e 6 e a ruptura do CP ocorreu através do rasgamento do painel P2 de OSB pelos parafusos 5 e 6 (Figura 5.59). As bases magnéticas dos DT's se desprenderam da alma do perfil antes do registro do valor de P_u .

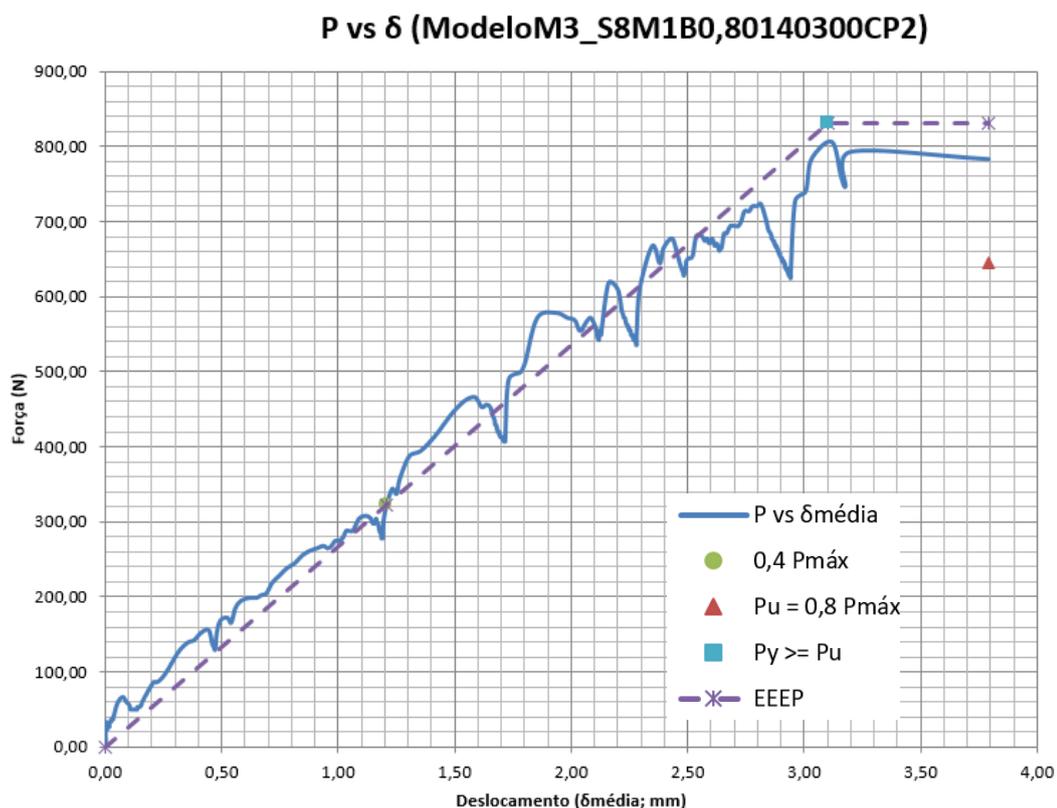


Figura 5.58 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP2 do modelo M3 da série S8 (modelo M3 S8-M1-B-0,80-140-300 CP2).



Figura 5.59 – Modelo M3 S8-M1-B-0,80-140-300 CP2: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 9, um $P_{máx}$ igual a 996,88 N foi alcançado com um deslocamento de 4,07 mm, um P_y igual a 827,61 N com um deslocamento de 3,89 mm e um P_u igual a 797,50 N

com um deslocamento correspondente de 7,22 mm (Figura 5.60). Esse CP tinha uma leve torção do perfil para o parafuso 6, um leve afundamento da cabeça dos parafusos 2 e 3 no painel P1 de OSB, uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 10,70 mm e de 149,50 mm entre os parafusos. Durante o ensaio, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 6.109,54 N com a rotação dos parafusos 2, 3 e 4 e a ruptura do CP ocorreu através do rasgamento do painel P1 de OSB pelos parafusos 2, 3, 4 e 5 (Figura 5.61). As bases dos DT's se desprenderam da alma do perfil durante o rompimento do CP.

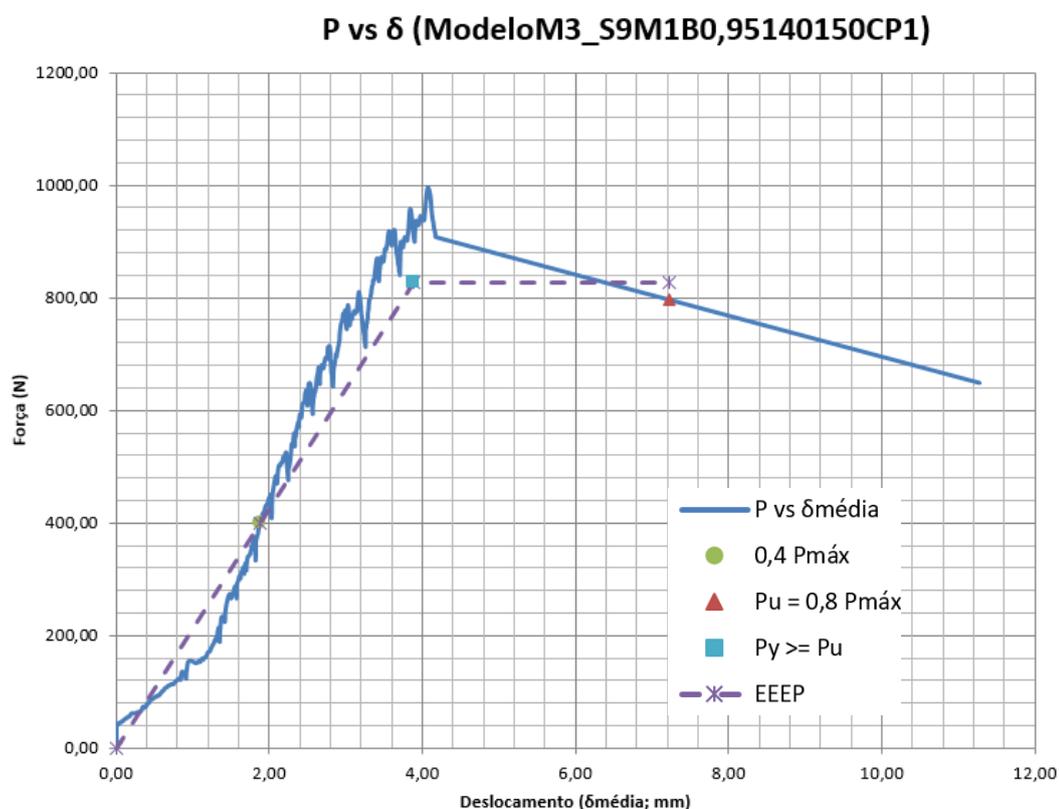


Figura 5.60 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S9 (modelo M3 S9-M1-B-0,95-140-150 CP1).



Figura 5.61 – Modelo M3 S9-M1-B-0,95-140-150 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

No ensaio do CP1 da série 10, um $P_{\text{máx}}$ igual a 714,10 N foi alcançado com um deslocamento de 3,20 mm e um P_u igual a 571,28 N com um deslocamento de 3,57 mm (Figura 5.62). Esse CP tinha um leve afundamento da cabeça do parafuso 4 no painel P2 de OSB, uma distância média da borda do painel de OSB até o eixo dos parafusos de 10,95 mm e de 301,50 mm entre os parafusos. Durante os ensaios, o início dos estalos ocorreu com aproximadamente 3.491,17 N com a rotação do parafuso 2 e a ruptura do CP ocorreu através do rasgamento do painel P1 de OSB pelos parafusos 2 e 3 (Figura 5.63).

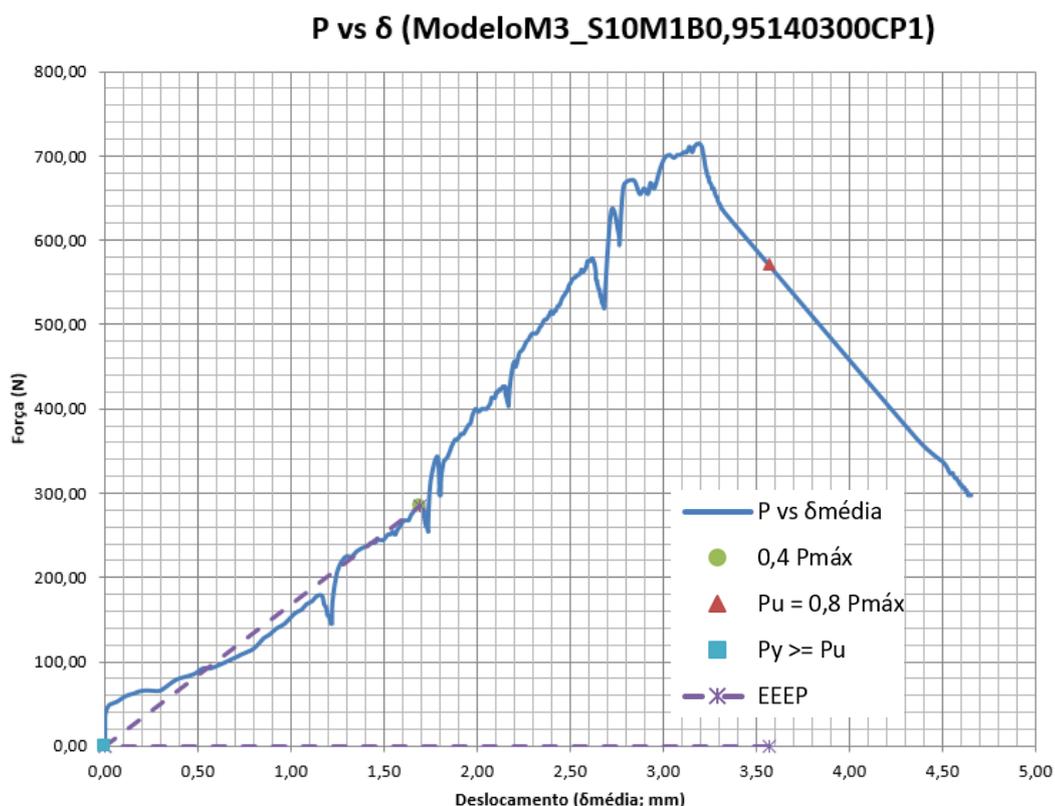


Figura 5.62 – Gráfico força versus deslocamento do corpo de prova CP1 do modelo M3 da série S10 (modelo M3 S10-M1-B-0,95-140-300 CP1).



Figura 5.63 – Modelo M3 S10-M1-B-0,95-140-300 CP1: a) antes e b) depois do ensaio.

5.3 Discussões dos resultados obtidos

A série 1 do modelo M1 (Tabela 5. 4) registrou os valores médios, por ligação, da força máxima ($P_{m\acute{a}x}$), da rigidez (k_e), da energia dissipada (A) e da ductilidade (μ) respectivamente iguais a 1.807,72 N, 1.422,29 N/mm, 13.465,16 N.mm e 8,48, com os valores dos coeficientes de variação (C_v) de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e e de μ inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. O C_v a partir dos valores de A foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Essa média dispersão foi causada pelos altos valores de $P_{m\acute{a}x}$ e do deslocamento corresponde à força de ruptura (δ_u) alcançados pelo CP2.

Tabela 5. 4 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S1-M2-A-0,80-140-400-150.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S1-M2-A-0,80-140-400-150 CP1	35.200,18	1.760,01	704,00	0,54	1.291,93	12.418,35	7,87
S1-M2-A-0,80-140-400-150 CP2	38.572,99	1.928,65	771,46	0,55	1.400,85	16.560,19	9,28
S1-M2-A-0,80-140-400-150 CP3	34.689,75	1.734,49	693,80	0,44	1.574,08	11.416,93	8,29
x_m		1.807,72			1.422,29	13.465,16	8,48
var (x)		11.131,47			20.246,80	7.435.134,00	0,52
DP		105,51			142,29	2.726,74	0,72
C_v (%)		5,84			10,00	20,25	8,54
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ foram obtidos pelo CP2. O maior valor de k_e foi obtido pelo CP3 por causa do seu baixo valor de deslocamento (δ_e) apesar de ter registrado o menor valor de $P_{m\acute{a}x}$ (Figura 5.64).

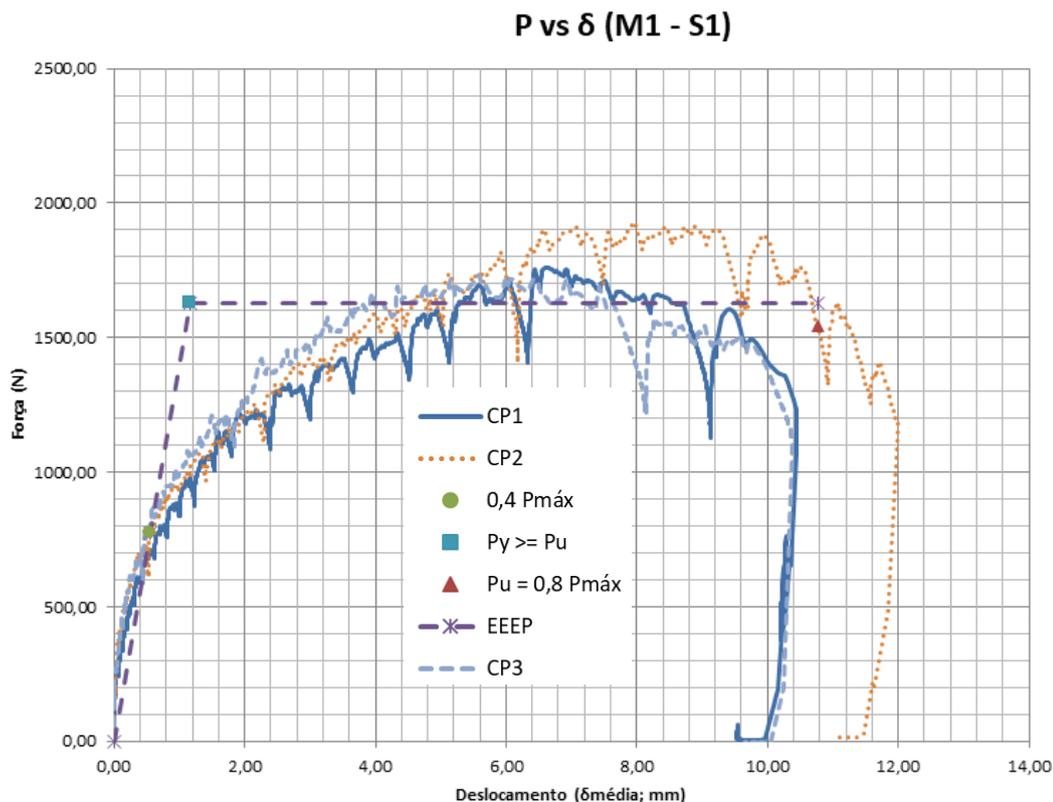


Figura 5.64 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S1 (modelo M1 S1-M2-A-0,80-140-400-150).

A série 2 do modelo M1 (Tabela 5. 5) registrou os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 1.858,57 N, 1.190,59 N/mm, 12.882,98 N.mm e 6,75, sendo que $P_{máx}$ e A tiveram seus valores de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. Com os valores de k_e e de μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve aos baixos valores de k_e e de μ alcançados pelo CP3 por causa dos seus altos valores de δ_e e de δ_y .

Tabela 5. 5 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S2-M2-A-0,80-140-400-300.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S2-M2-A-0,80-140-400-300 CP1	23.350,91	1.945,91	778,36	0,43	1.805,44	12.687,77	9,46
S2-M2-A-0,80-140-400-300 CP2	21.737,62	1.811,47	724,59	0,71	1.027,21	12.919,82	6,02
S2-M2-A-0,80-140-400-300 CP3	21.819,80	1.818,32	727,33	0,98	739,11	13.041,36	4,78
x_m		1.858,57			1.190,59	12.882,98	6,75
var (x)		5.733,37			304.283,87	32.274,18	5,88
DP		75,72			551,62	179,65	2,42
C_v (%)		4,07			46,33	1,39	35,90
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e e de μ foram obtidos pelo CP1. O maior valor de A foi obtido pelo CP3. O maior valor de k_e se deve ao alto valor de P_e e baixo valor de δ_e (Figura 5.65).

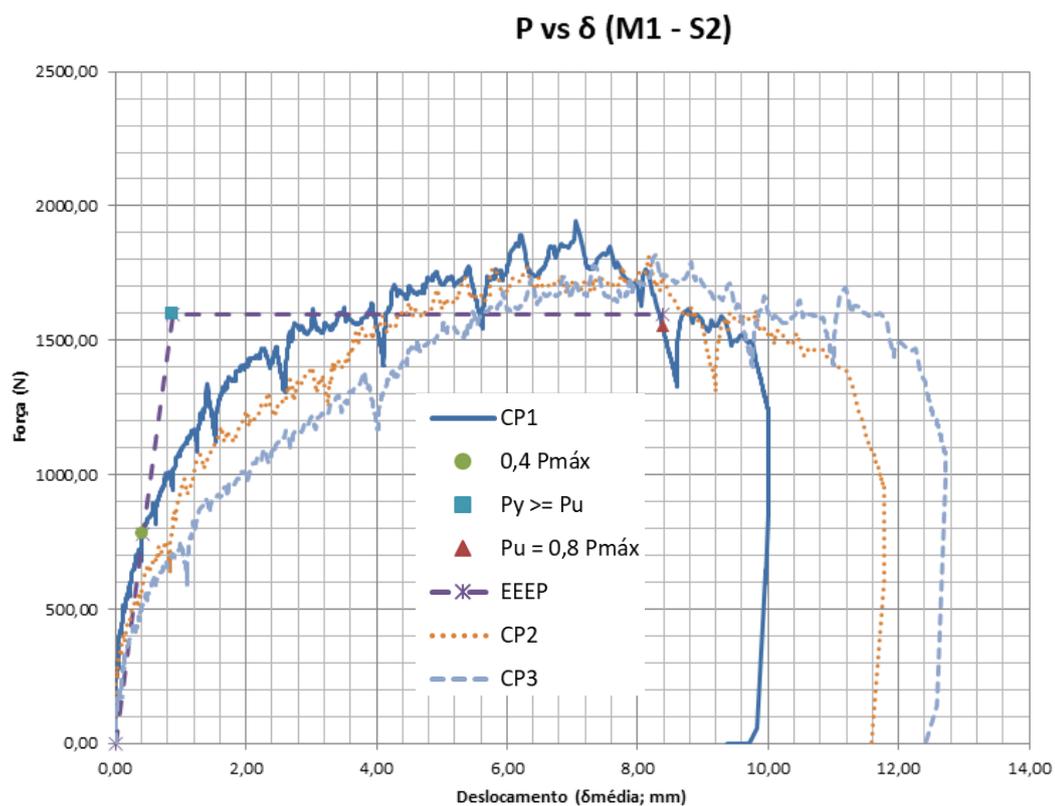


Figura 5.65 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S2 (modelo M1 S2-M2-A-0,80-140-400-300).

A série 3 do modelo M1 (Tabela 5. 6) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 1.580,27 N, 1.237,23 N/mm, 7.906,39 N.mm e 5,23, sendo que $P_{m\acute{a}x}$ e μ tiveram seus valores de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e

homogeneidade dos resultados. Com os valores de k_e e de A , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve ao baixo valor de k_e e ao alto valor de A alcançados pelo CP1 por causa dos seus altos valores de δ_e e de δ_u .

Tabela 5. 6 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S3-M2-A-0,95-140-400-150.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S3-M2-A-0,95-140-400-150 CP1	34.978,26	1.748,91	699,56	0,88	796,53	14.416,03	5,73
S3-M2-A-0,95-140-400-150 CP2	30.473,77	1.523,69	609,47	0,38	1.596,57	4.981,28	5,54
S3-M2-A-0,95-140-400-150 CP3	29.364,25	1.468,21	587,29	0,45	1.318,60	4.321,86	4,42
X_m		1.580,27			1.237,23	7.906,39	5,23
var (x)		22.099,09			164.981,40	31.890.268,38	0,50
DP		148,66			406,18	5.647,15	0,71
C_v (%)		9,41			32,83	71,43	13,54
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ foram obtidos pelo CP1. O maior valor de k_e foi obtido pelo CP2 e esse mesmo se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.66).

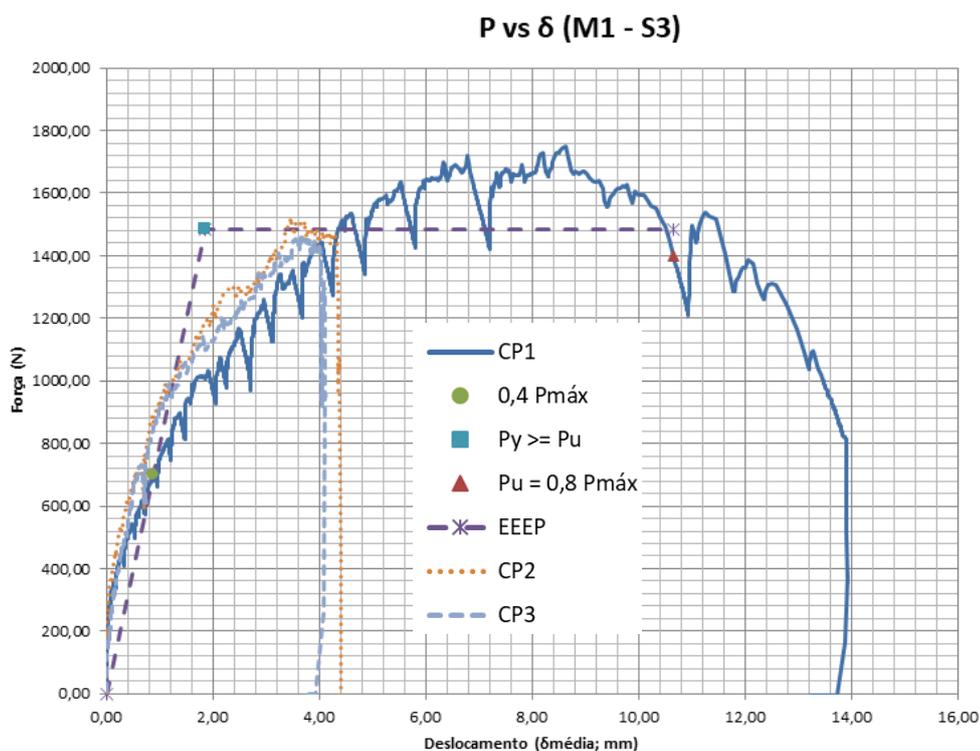


Figura 5.66 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S3 (modelo M1 S3-M2-A-0,95-140-400-150).

A série 4 do modelo M1 (Tabela 5. 7) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 1.815,22 N, 1.605,92 N/mm, 14.094,63 N.mm e 10,17, sendo que $P_{m\acute{a}x}$ e A tiveram seus valores de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. Com os valores de k_e e μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve aos altos valores de k_e e de μ alcançados pelo CP1 por causa dos seus baixos valores de δ_e e de δ_y .

Tabela 5. 7 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S4-M2-A-0,95-140-400-300.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S4-M2-A-0,95-140-400-300 CP1	21.265,33	1.772,11	708,84	0,31	2.322,83	14.070,61	15,19
S4-M2-A-0,95-140-400-300 CP2	22.529,89	1.877,49	751,00	0,58	1.304,31	13.959,49	7,71
S4-M2-A-0,95-140-400-300 CP3	21.552,86	1.796,07	718,43	0,60	1.190,62	14.253,80	7,60
\bar{x}_m		1.815,22			1.605,92	14.094,63	10,17
var (x)		3.051,37			388.701,32	22.087,43	18,93
DP		55,24			623,46	148,62	4,35
C_v (%)		3,04			38,82	1,05	42,79
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

O maior valor de $P_{m\acute{a}x}$ foi obtido pelo CP2, o maior valor de A pelo CP3 e os maiores valores de k_e e de μ foram obtidos pelo CP1. O maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.67).

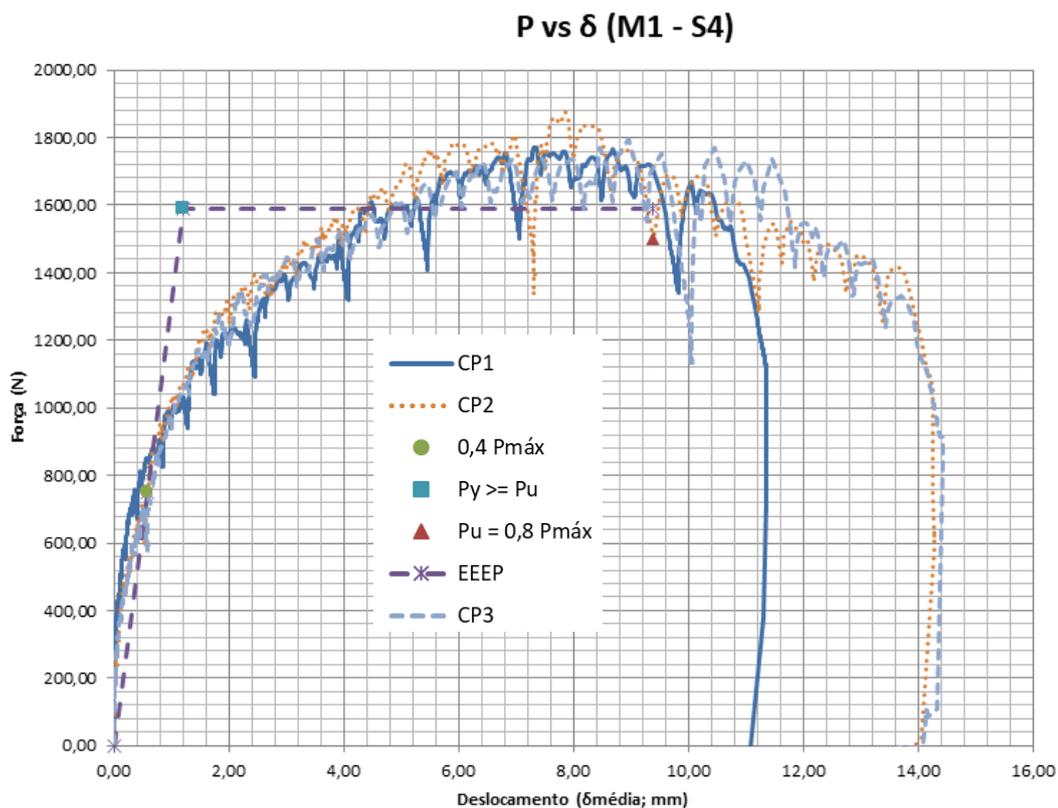


Figura 5.67 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S4 (modelo M1 S4-M2-A-0,95-140-400-300).

A série 7 do modelo M1 (Tabela 5. 8) registrou os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 1.852,83 N, 1.301,20 N/mm, 13.478,91 N.mm e 7,32, sendo que $P_{máx}$, A e μ tiveram seus valores de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. O C_v a partir dos valores de k_e foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Essa média dispersão foi causada pelo alto valor de k_e alcançado pelo CP3 por causa do seu baixo valor de δ_e .

Tabela 5. 8 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S7-M2-B-0,80-140-400-150.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{máx}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S7-M2-B-0,80-140-400-150 CP1	34.689,75	1.734,49	693,80	0,64	1.080,78	12.755,90	6,77
S7-M2-B-0,80-140-400-150 CP2	38.351,06	1.917,55	767,02	0,66	1.160,32	15.254,28	7,21
S7-M2-B-0,80-140-400-150 CP3	38.129,14	1.906,46	762,58	0,46	1.662,51	12.426,55	7,98
X_m		1.852,83			1.301,20	13.478,91	7,32
var (x)		10.534,61			99.488,53	2.391.071,83	0,38
DP		102,64			315,42	1.546,31	0,61
C_v (%)		5,54			24,24	11,47	8,37
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A foram obtidos pelo CP2 e os maiores valores de k_e e de μ foram obtidos pelo CP3. O maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.68).

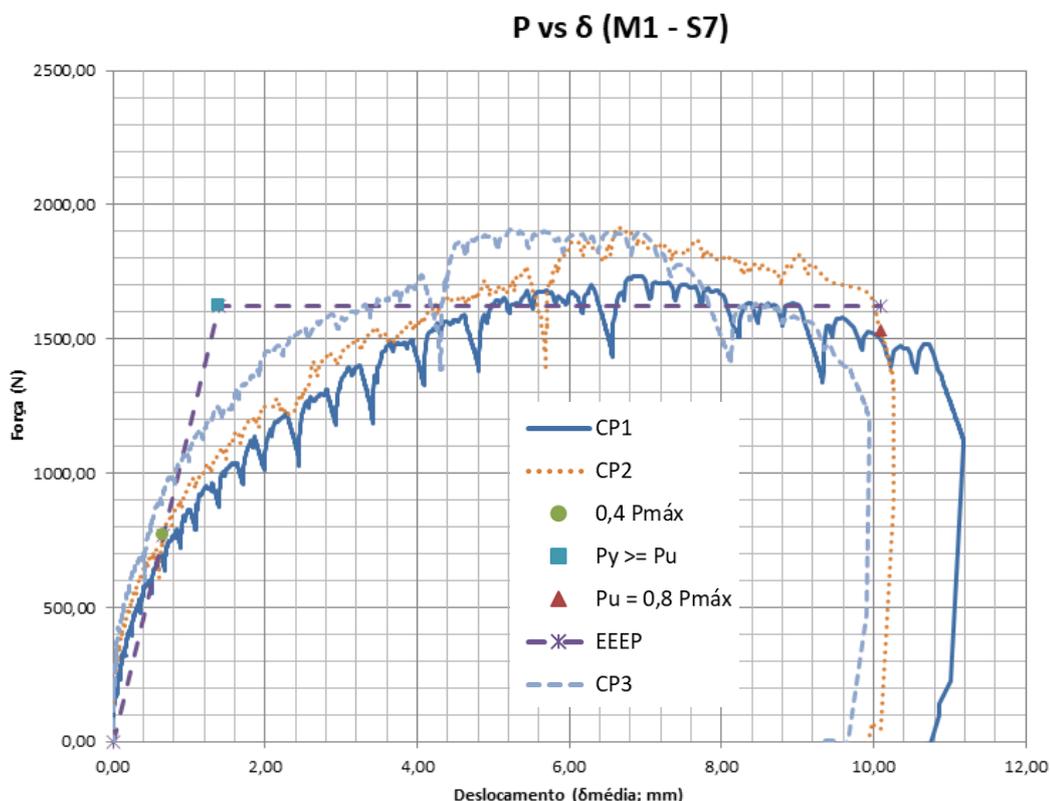


Figura 5.68 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S7 (modelo M1 S7-M2-B-0,80-140-400-150).

A série 8 do modelo M1 (Tabela 5. 9) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 1.749,18 N, 1.249,07 N/mm, 15.706,11 N.mm e 9,37, sendo que $P_{m\acute{a}x}$ e A tiveram seus valores de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. Com os valores de k_e e de μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve aos altos valores de k_e e alto valor de μ alcançados pelo CP3 por causa dos seus baixos valores de δ_e e de δ_y incluindo o seu alto valor de δ_u .

Tabela 5. 9 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S8-M2-B-0,80-140-400-300.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S8-M2-B-0,80-140-400-300 CP1	21.614,44	1.801,20	720,48	0,76	946,64	14.661,24	6,44
S8-M2-B-0,80-140-400-300 CP2	19.314,39	1.609,53	643,81	0,64	999,71	14.320,48	7,73
S8-M2-B-0,80-140-400-300 CP3	22.041,72	1.836,81	734,72	0,41	1.800,87	18.136,62	13,94
X_m		1.749,18			1.249,07	15.706,11	9,37
var (x)		14.943,61			229.063,78	4.459.551,34	16,08
DP		122,24			478,61	2.111,76	4,01
C_v (%)		6,99			38,32	13,45	42,80
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ foram obtidos pelo CP3. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.69).

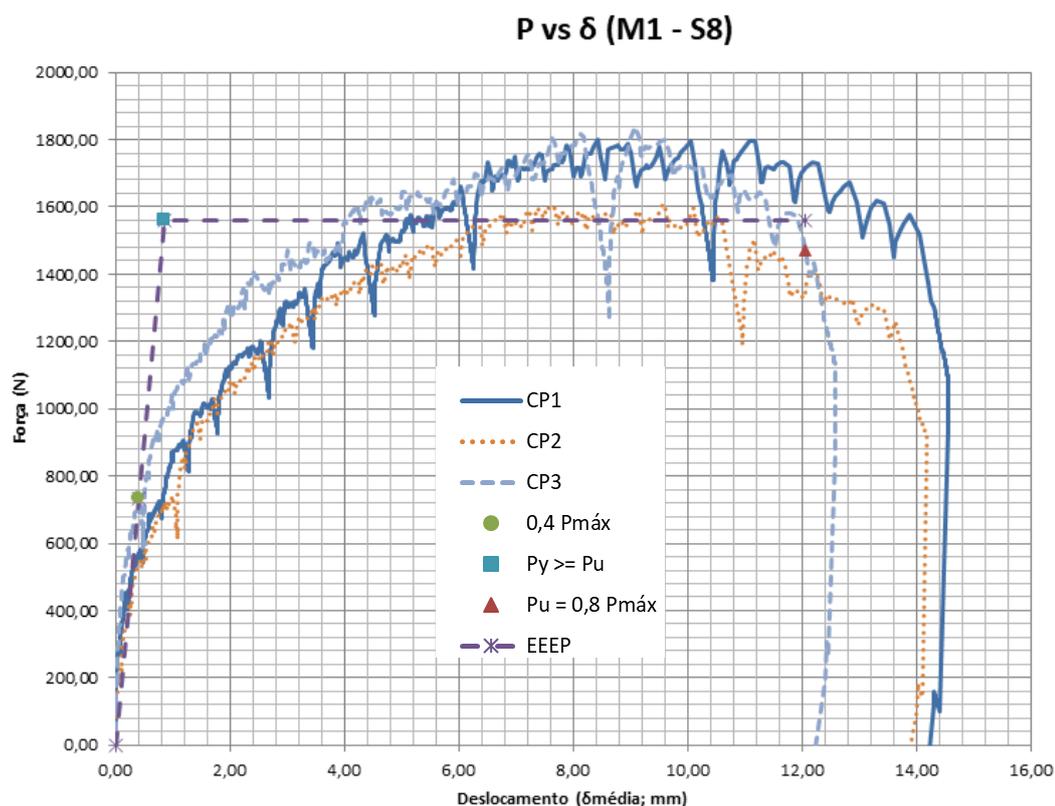


Figura 5.69 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S8 (modelo M1 S8-M2-B-0,80-140-400-300).

A série 9 do modelo M1 (Tabela 5. 10) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 1.791,44 N, 1.273,24 N/mm, 13.068,55 N.mm e 7,68, sendo que $P_{m\acute{a}x}$ teve seu valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade

dos resultados. O C_v a partir dos valores de k_e , de A e de μ foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Essa média dispersão foi causada pelos baixos valores de k_e e de μ incluindo o alto valor de A alcançado pelo CP1 por causa dos seus altos valores de δ_e , de δ_u e de δ_y (deslocamento correspondente ao início de escoamento).

Tabela 5. 10 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M1 S9-M2-B-0,95-140-400-150.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S9-M2-B-0,95-140-400-150 CP1	39.349,57	1.967,48	786,99	0,86	912,39	16.446,32	5,84
S9-M2-B-0,95-140-400-150 CP2	36.908,70	1.845,44	738,17	0,52	1.431,96	10.924,04	7,25
S9-M2-B-0,95-140-400-150 CP3	31.228,20	1.561,41	624,56	0,42	1.475,36	11.835,28	9,96
x_m		1.791,44			1.273,24	13.068,55	7,68
var (x)		43.409,94			98.128,63	8.764.604.10	4,38
DP		208,35			313,25	2.960,51	2,09
C_v (%)		11,63			24,60	22,65	27,25
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A foram obtidos pelo CP1 e os maiores valores de k_e e de μ pelo CP3. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.70).

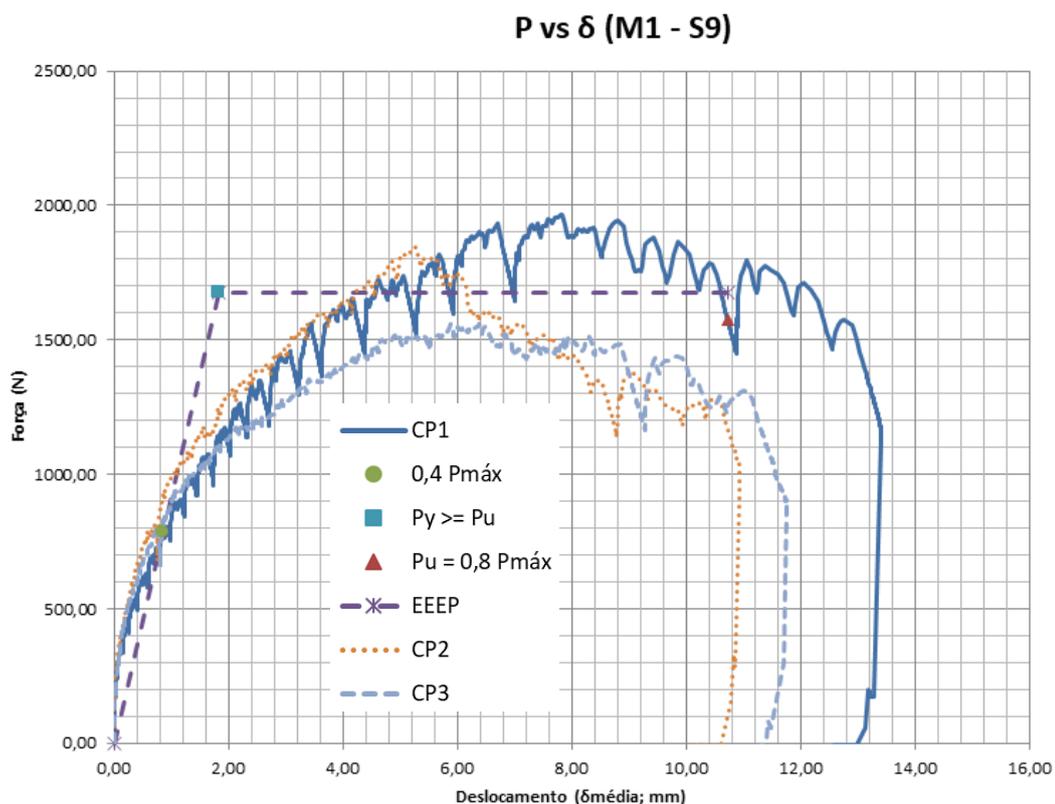


Figura 5.70 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S9 (modelo M1 S9-M2-B-0,95-140-400-150).

A série 10 do modelo M1 (Tabela 5. 11) registrou os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 1.768,69 N, 857,72 N/mm, 14.985,17 N.mm e 6,00, sendo que $P_{máx}$, k_e e A tiveram seus valores de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. O C_v a partir do valor de μ foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Essa média dispersão foi causada pelo alto valor de μ alcançado pelo CP3 por causa do seu alto valor de δ_u .

Tabela 5. 11 – Resultados relativos ao ensaio dos CP's do modelo M1 S10-M2-B-0,95-140-400-300.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S10-M2-B-0,95-140-400-300 CP1	21.491,17	1.790,93	716,37	0,81	885,27	14.370,37	5,95
S10-M2-B-0,95-140-400-300 CP2	21.347,50	1.778,96	711,58	0,93	768,63	13.644,79	5,03
S10-M2-B-0,95-140-400-300 CP3	20.834,03	1.736,17	694,47	0,76	919,25	16.940,35	7,02
\bar{x}_m		1.768,69			857,72	14.985,17	6,00
var (x)		828,82			6.240,99	2.998.663,21	0,99
DP		28,79			79,00	1.731,66	1,00
C_v (%)		1,63			9,21	11,56	16,60
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

O maior valor de $P_{m\acute{a}x}$ foi obtido pelo CP 1 e os maiores valores de k_e , de A e de μ foram obtidos pelo CP3. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.71).

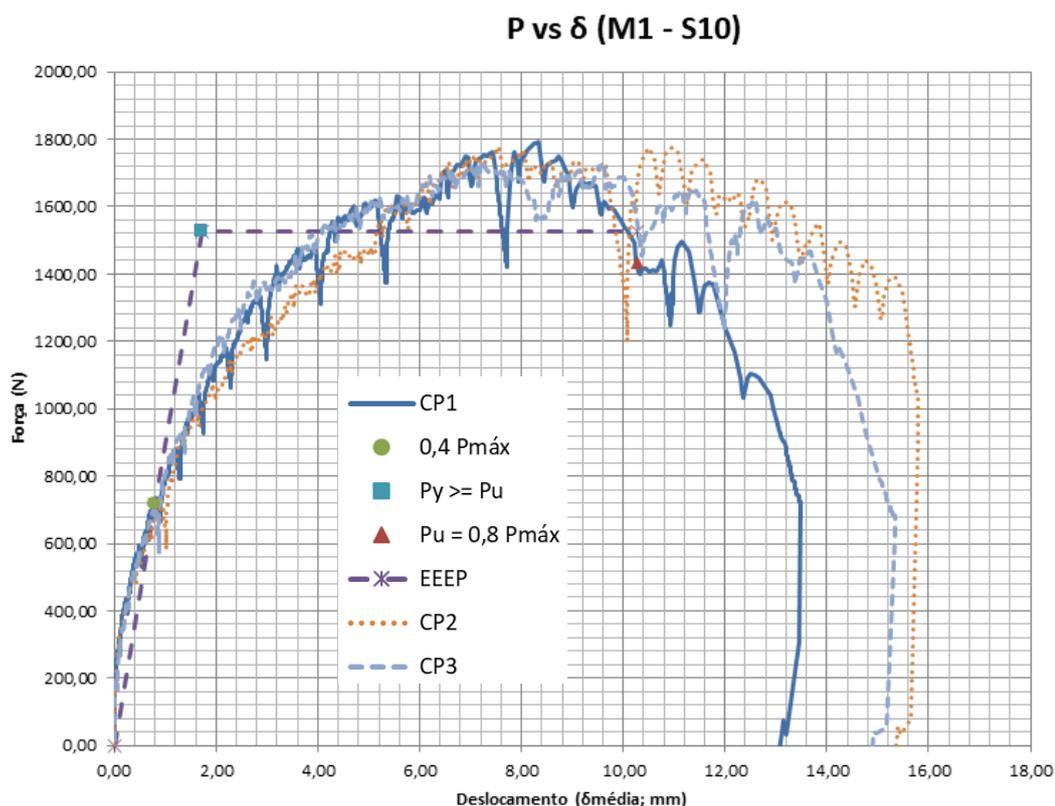


Figura 5.71 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M1 da série S10 (modelo M1 S10-M2-B-0,95-140-400-300).

A série 1 do modelo M2 (Tabela 5. 12) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 1.997,84 N, 1.659,31 N/mm, 17.731,30 N.mm e 11,48, sendo que $P_{m\acute{a}x}$

teve seu valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. O C_v a partir do valor de A foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Com os valores de k_e e de μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve aos altos valores de k_e e de μ alcançado pelo CP2 por causa dos seus baixos valores de δ_e e de δ_y .

Tabela 5. 12 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S1-M1-A-0,80-140-150.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S1-M1-A-0,80-140-150 CP1	18.985,77	1.898,58	759,43	0,53	1.433,49	20.229,96	11,81
S1-M1-A-0,80-140-150 CP2	19.273,30	1.927,33	770,93	0,31	2.525,21	18.762,07	17,59
S1-M1-A-0,80-140-150 CP3	21.676,03	2.167,60	867,04	0,85	1.019,24	14.201,88	5,04
x_m		1.997,84			1.659,31	17.731,30	11,48
$var(x)$		21.821,33			605.233,54	9.881.297,06	39,46
DP		147,72			777,97	3.143,45	6,28
C_v (%)		7,39			46,88	17,73	54,72
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

O maior valor de $P_{m\acute{a}x}$ foi obtido pelo CP3, o maior valor de A pelo CP1 e os maiores valores de k_e e de μ foram obtidos pelo CP2. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.72).

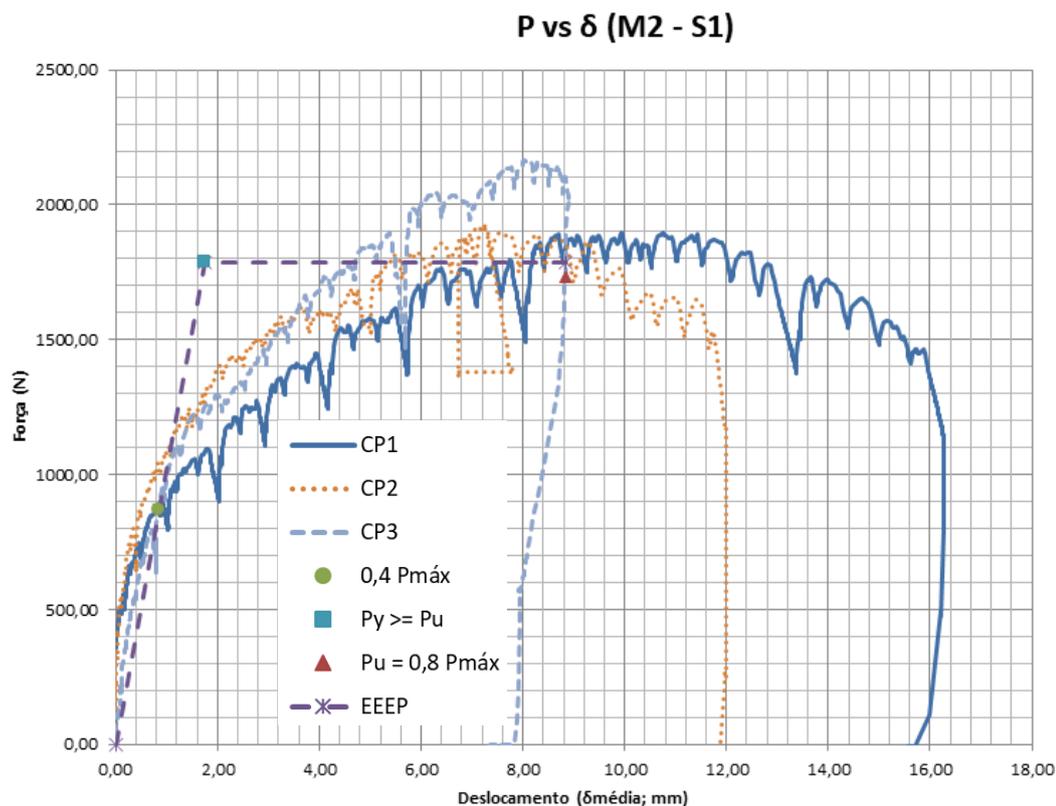


Figura 5.72 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S1 (modelo M2 S1-M1-A-0,80-140-150).

A série 2 do modelo M2 (Tabela 5. 13) registrou os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 2.079,74 N, 2.825,60 N/mm, 17.010,34 N.mm e 14,52, sendo que $P_{máx}$ e A tiveram seus valores de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. Com os valores de k_e e de μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve aos baixos valores de k_e e de μ alcançados pelo CP2 por causa dos seus altos valores de δ_e e de δ_y .

Tabela 5. 13 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S2-M1-A-0,80-140-300.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S2-M1-A-0,80-140-300 CP1	13.018,23	2.169,71	867,88	0,23	3.758,27	16.253,53	17,77
S2-M1-A-0,80-140-300 CP2	10.788,98	1.798,16	719,26	0,74	965,50	17.243,10	7,53
S2-M1-A-0,80-140-300 CP3	13.628,20	2.271,36	908,54	0,24	3.753,03	17,534,40	18,26
x_m		2.079,74			2.825,60	17.010,34	14,52
var (x)		62.050,06			2.594.985,87	450.788,74	36,71
DP		249,10			1.610,90	671,41	6,06
C_v (%)		11,98			57,01	3,95	41,73
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ foram obtidos pelo CP3 e o maior valor de k_e pelo CP1. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.73).

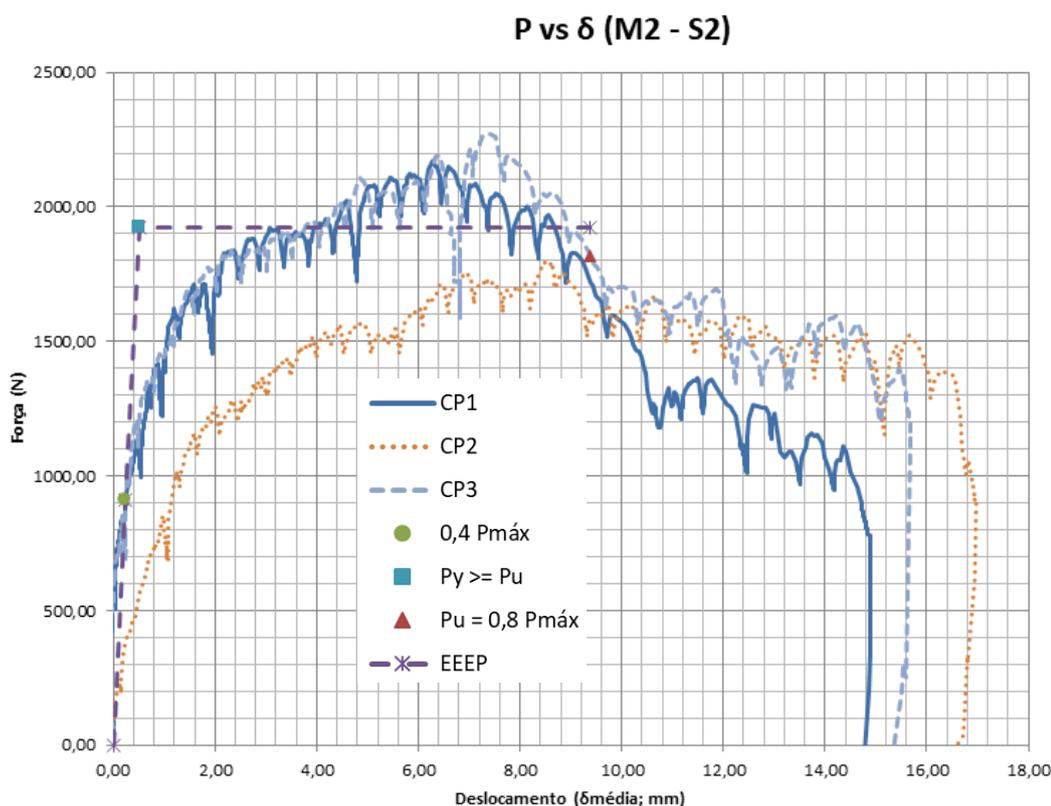


Figura 5.73 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S2 (modelo M2 S2-M1-A-0,80-140-300).

A série 3 do modelo M2 (Tabela 5. 14) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 1.974,55 N, 4.050,20 N/mm, 9.885,11 N.mm e 14,58, sendo que $P_{m\acute{a}x}$ teve seu valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade

dos resultados. O C_v a partir do valor de A foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Com os valores de k_e e de μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve aos altos valores de k_e e de μ alcançados pelo CP1 por causa do seu baixo valor de δ_e e alto valor de δ_u .

O CP2 desta série não foi considerado, pois a retirada da haste de aperto do grampo que estava encostando no painel P2 afetou os dados iniciais do DT05 no primeiro intervalo de espera de 2 min. Sendo assim, os valores de k_e , de A e de μ foram excessivamente superiores aos valores dos CP1 e 3.

Tabela 5. 14 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S3-M1-A-0,95-140-150.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S3-M1-A-0,95-140-150 CP1	21.491,17	2.149,12	859,65	0,16	5.316,09	11.517,34	19,31
S3-M1-A-0,95-140-150 CP2							
S3-M1-A-0,95-140-150 CP3	17.999,71	1.799,97	719,99	0,26	2.784,30	8.252,88	9,85
x_m		1.974,55	-		4.050,20	9.885,11	14,58
var (x)		60.952,86			3.204.980,30	5.328.349,55	44,75
DP		246,89			1.790,25	2.308,32	6,69
C_v (%)		12,50			44,20	23,35	45,88
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ foram obtidos pelo CP1. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.74).

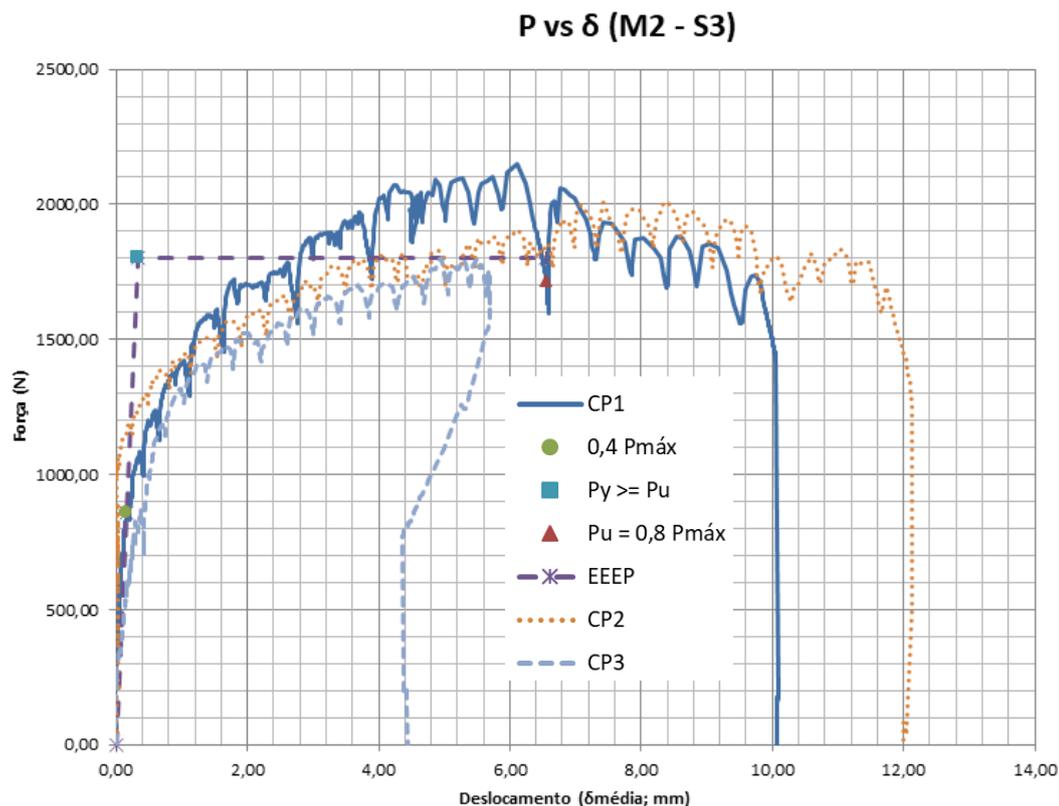


Figura 5.74 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S3 (modelo M2 S3-M1-A-0,95-140-150).

A série 4 do modelo M2 (Tabela 5. 15) registrou os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 2.105,45 N, 2.635,40 N/mm, 20.441,48 N.mm e 18,48, sendo que $P_{máx}$ e A tiveram seus valores de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. Com os valores de k_e e de μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve aos altos valores de k_e e de μ alcançados pelo CP1 por causa do seu baixo valor de δ_e e alto valor de δ_u .

Tabela 5. 15 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S4-M1-A-0,95-140-300.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S4-M1-A-0,95-140-300 CP1	12.113,96	2.018,99	807,60	0,21	3.828,73	23.280,32	29,68
S4-M1-A-0,95-140-300 CP2	12.198,10	2.033,01	813,20	0,43	1.891,03	18.552,04	12,08
S4-M1-A-0,95-140-300 CP3	13.586,13	2.264,35	905,74	0,41	2.186,44	19.492,08	13,67
x_m		2.105,45			2.635,40	20.441,48	18,48
var (x)		18.986,05			1.089.844,13	6.265.178,21	94,77
DP		137,79			1.043,96	2.503,03	9,73
C_v (%)		6,54			39,61	12,24	52,69
P_t é a força máxíma alcançada pelo CP durante o ensaio							

O maior valor de $P_{m\acute{a}x}$ foi obtido pelo CP3 e os maiores valores de k_e , de A e de μ foram obtidos pelo CP1. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.75).

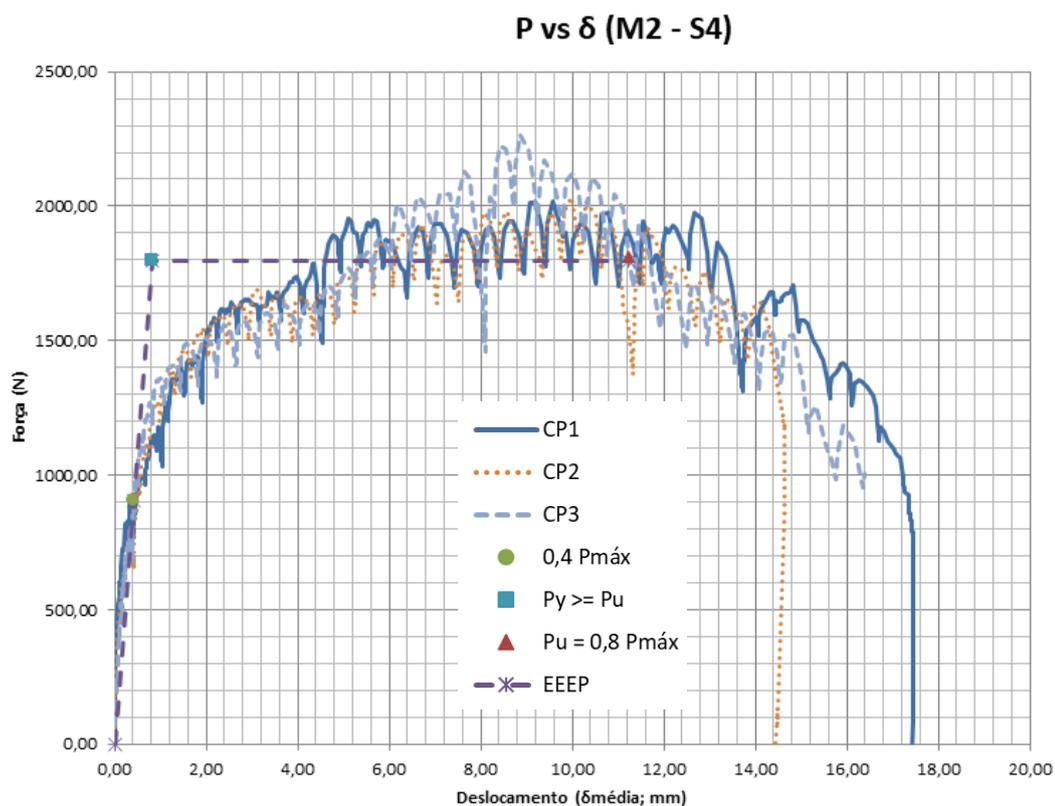


Figura 5.75 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S4 (modelo M2 S4-M1-A-0,95-140-300).

A série 7 do modelo M2 (Tabela 5. 16) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 1.939,71 N, 3.528,63 N/mm, 10.274,37 N.mm e 10,77, sendo que $P_{m\acute{a}x}$ teve seu valor de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade

dos resultados. Com os valores de k_e , de A e de μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve aos altos valores de k_e e de A alcançados pelo CP1 por causa dos seus baixos valores de δ_e e de δ_y . Essa heterogeneidade também se deve ao alto valor de A alcançado pelo CP2 por causa do seu alto valor de δ_u .

Tabela 5. 16 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S7-M1-B-0,80-140-150.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S7-M1-B-0,80-140-150 CP1	17.385,62	1.738,57	695,43	0,11	6.273,94	4.385,54	14,03
S7-M1-B-0,80-140-150 CP2	21.018,89	2.101,89	840,76	0,47	1.805,20	20.673,01	11,99
S7-M1-B-0,80-140-150 CP3	19.786,68	1.978,67	791,47	0,32	2.506,76	5.764,56	6,29
x_m		1.939,71			3.528,63	10.274,37	10,77
var (x)		34.138,77			5.775.578,13	81.574.209,43	16,09
DP		184,77			2.403,24	9.031,84	4,01
C_v (%)		9,53			68,11	87,91	37,25
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A foram obtidos pelo CP2 e os maiores valores de k_e e de μ pelo CP1. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.76).

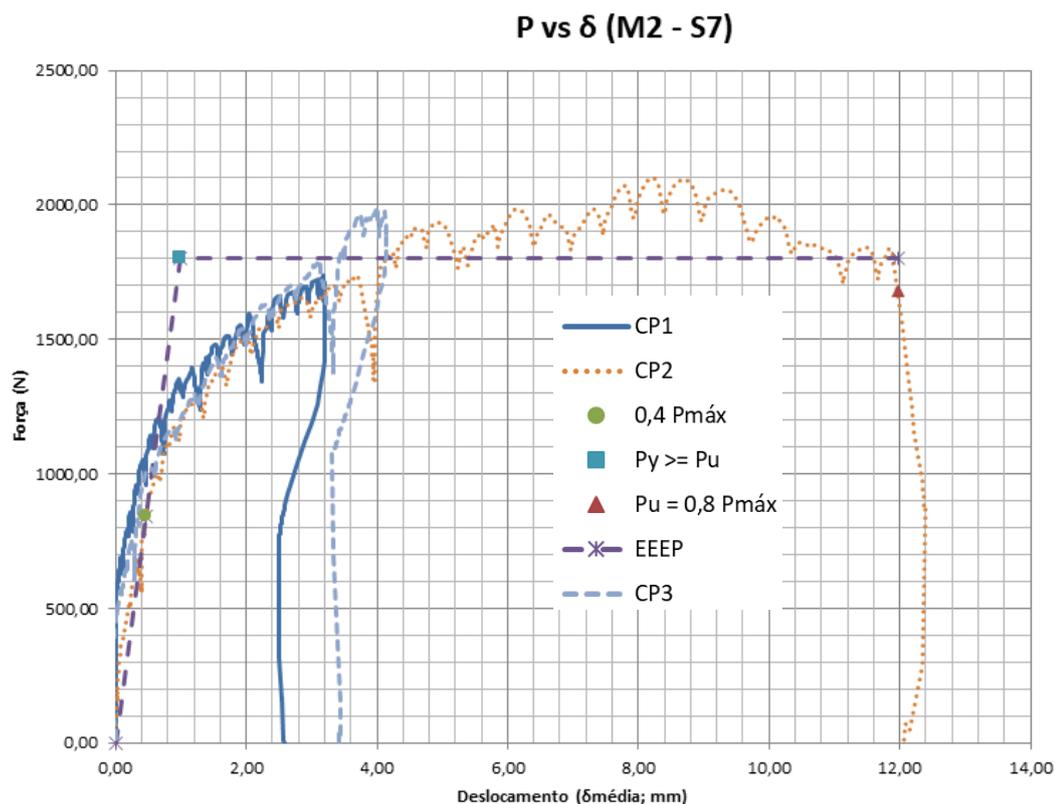


Figura 5.76 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S7 (modelo M2 S7-M1-B-0,80-140-150).

A série 8 do modelo M2 (Tabela 5. 17) registrou os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 2.216,45 N, 3.647,87 N/mm, 17.493,54 N.mm e 19,62, sendo que $P_{máx}$ teve seu valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. O C_v a partir do valor de A foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Com os valores de k_e e de μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve aos baixos valores de k_e e de μ alcançados pelo CP3 por causa dos seus altos valores de δ_e e δ_y .

Tabela 5. 17 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S8-M1-B-0,80-140-300.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S8-M1-B-0,80-140-300 CP1	13.438,93	2.239,82	895,93	0,16	5.768,30	16.187,13	26,55
S8-M1-B-0,80-140-300 CP2	12.997,24	2.166,21	866,48	0,22	3.933,39	21.585,89	26,64
S8-M1-B-0,80-140-300 CP3	13.459,92	2.243,32	897,33	0,72	1.241,92	14.707,60	5,67
x_m		2.216,45			3.647,87	17.493,54	19,62
var (x)		1.896,11			5.183.170,23	13.107.748,65	145,95
DP		43,54			2.276,66	3.620,46	12,08
C_v (%)		1,96			62,41	20,70	61,58

P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A foram obtidos pelo CP3, o maior valor de k_e pelo CP1 e o maior valor de μ pelo CP2. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.77).

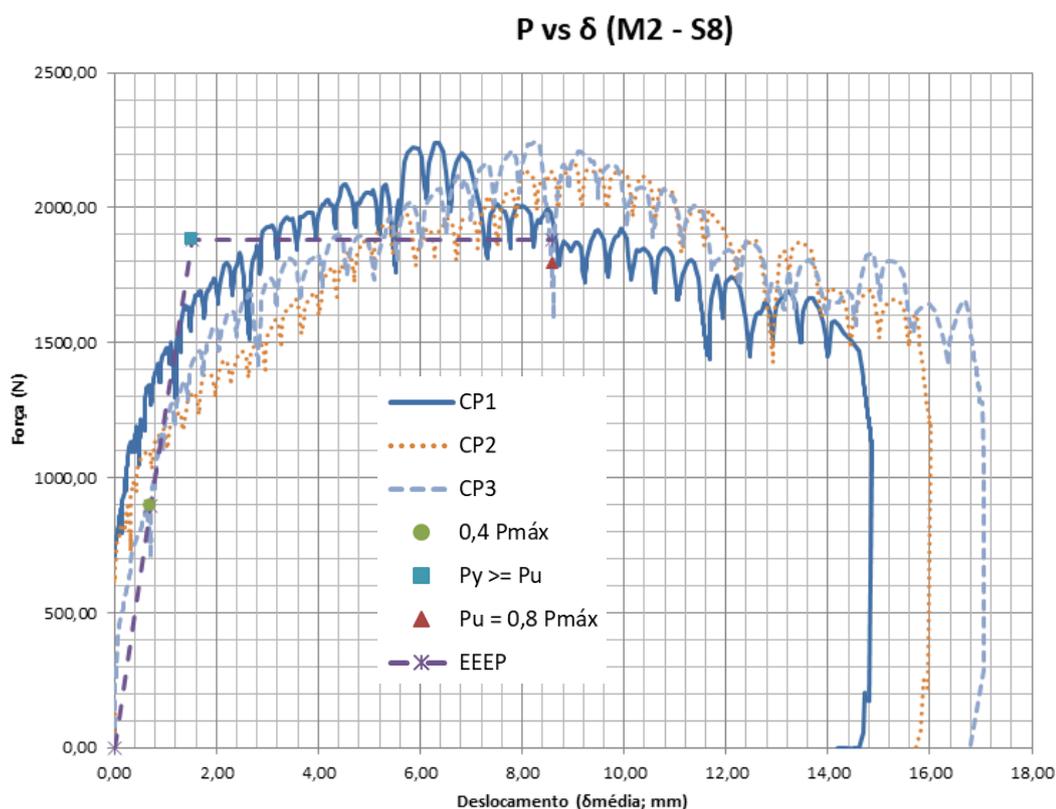


Figura 5.77 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S8 (modelo M2 S8-M1-B-0,80-140-300).

A série 9 do modelo M2 (Tabela 5. 18) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 2.112,46 N, 4.100,33 N/mm, 16.723,08 N.mm e 18,31, sendo que $P_{m\acute{a}x}$ teve seu valor de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade

dos resultados. Com os valores de k_e , de A e de μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve aos altos valores de k_e e de δ_u alcançados pelo CP1 incluindo o seu baixo valor de A por causa dos seus baixos valores de δ_e , de δ_u e de δ_y .

Tabela 5. 18 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S9-M1-B-0,95-140-150.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S9-M1-B-0,95-140-150 CP1	20.135,79	2.013,58	805,43	0,09	8.810,27	9.229,69	32,86
S9-M1-B-0,95-140-150 CP2	21.018,89	2.101,89	840,76	0,68	1.240,18	20.236,65	8,60
S9-M1-B-0,95-140-150 CP3	22.219,22	2.221,92	888,77	0,39	2.250,54	20.702,91	13,46
x_m		2.112,46			4.100,33	16.723,08	18,31
$var(x)$		10.935,24			16.892.857,9	42.167.557,33	164,75
DP		104,57			4.110,09	6.493,66	12,84
C_v (%)		4,95			100,24	38,83	70,11
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A foram obtidos pelo CP3 e os maiores valores de k_e e de μ pelo CP1. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.78).

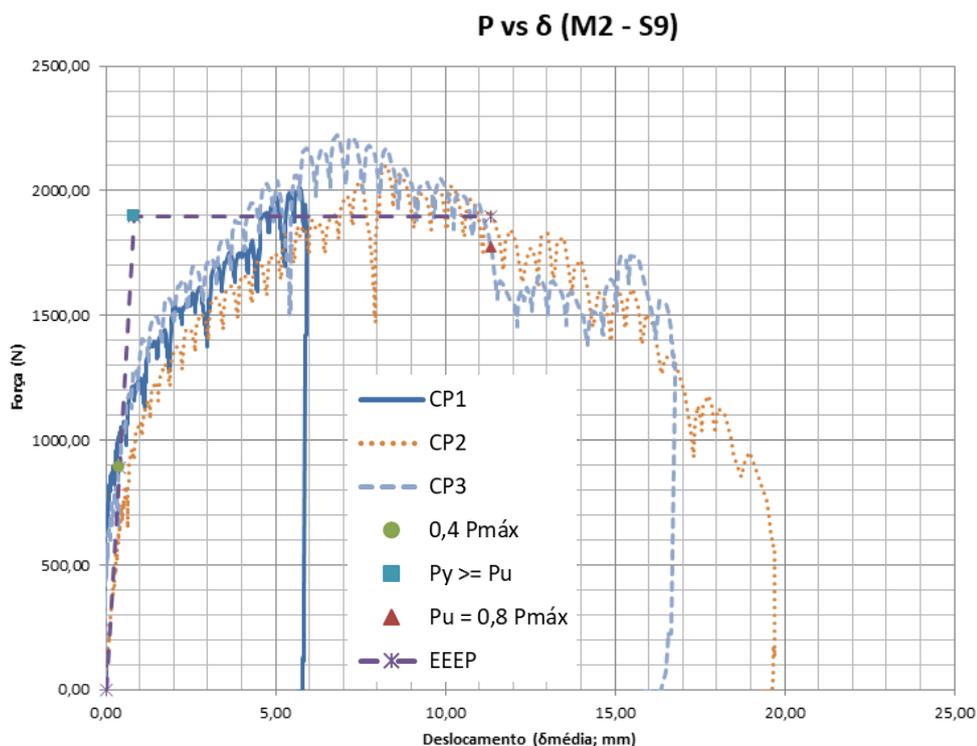


Figura 5.78 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S9 (modelo M2 S9-M1-B-0,95-140-150).

A série 10 do modelo M2 (Tabela 5. 19) registrou os valores médios de $P_{\text{máx}}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 2.181,40 N, 2.272,10 N/mm, 22.091,49 N.mm e 14,92, sendo que $P_{\text{máx}}$ e A tiveram seus valores de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. O C_v a partir dos valores de μ foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Com os valores de k_e , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve ao baixo valor de k_e alcançado pelo CP1 por causa do seu alto valor de δ_e .

Tabela 5. 19 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M2 S10-M1-B-0,95-140-300.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{\text{máx}}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S10-M1-B-0,95-140-300 CP1	13.417,85	2.236,31	894,52	0,64	1.402,59	23.343,14	10,12
S10-M1-B-0,95-140-300 CP2	12.681,76	2.113,63	845,45	0,40	2.124,78	24.306,34	16,39
S10-M1-B-0,95-140-300 CP3	13.165,52	2.194,25	877,70	0,27	3.288,93	18.624,99	18,25
x_m		2.181,40			2.272,10	22.091,49	14,92
var (x)		3.886,50			905.847,04	9.244.405,25	18,14
DP		62,34			951,76	3.040,46	4,26
C_v (%)		2,86			41,89	13,76	28,55
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

O maior valor de $P_{\text{máx}}$ foi obtido pelo CP1, o maior valor de A pelo CP2 e os maiores valores de k_e e de μ foram obtidos pelo CP3. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.79).

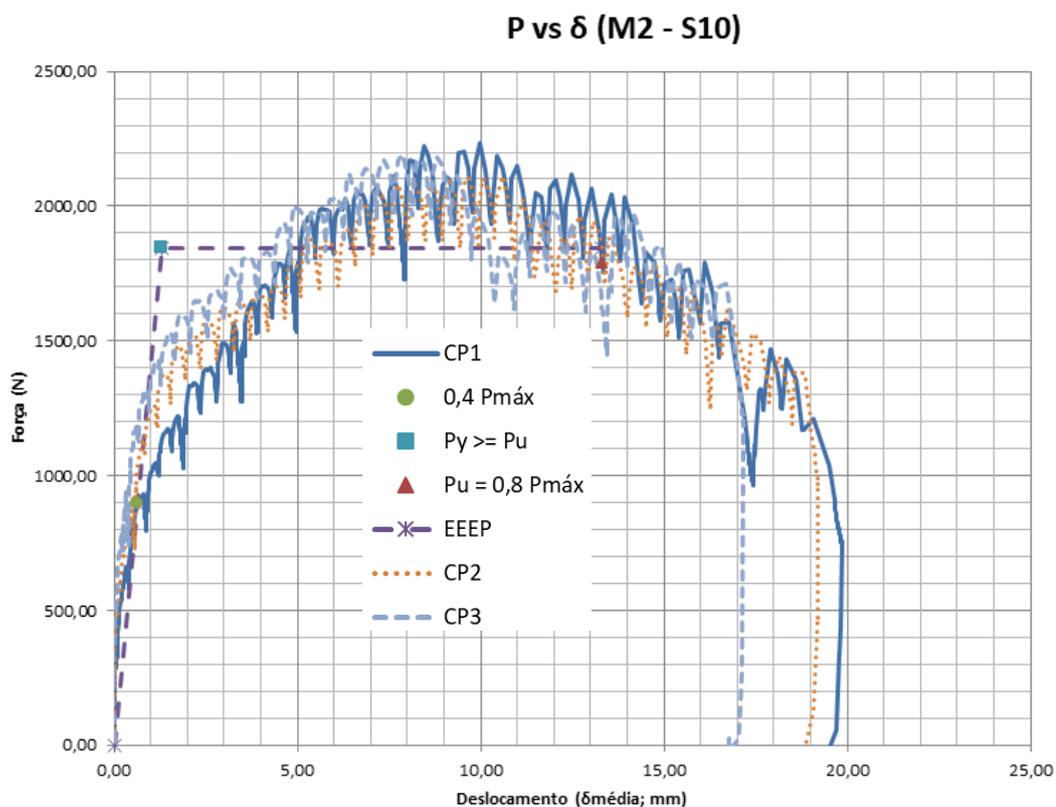


Figura 5.79 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M2 da série S10 (modelo M2 S10-M1-B-0,95-140-300).

A série 1 do modelo M3 (Tabela 5. 20) registrou os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 726,62 N, 241,29 N/mm, 2.234,43 N.mm e 1,60, sendo que $P_{máx}$ e μ tiveram seus valores de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. O C_v a partir dos valores de k_e e de A foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Essa média dispersão se deve ao baixo valor de k_e e ao alto valor de A alcançados pelo CP1 por causa dos seus altos valores de δ_e e de δ_u .

Tabela 5. 20 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S1-M1-A-0,80-140-150.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S1-M1-A-0,80-140-150 CP1	7.195,24	719,52	278,81	1,45	198,11	2.486,90	1,74
S1-M1-A-0,80-140-150 CP2	8.323,49	832,35	332,94	1,03	323,97	1.981,96	1,46
S1-M1-A-0,80-140-150 CP3	640,376.279,88	627,98	251,19	1,24	201,79	-	-
x_m		726,62			241,29	2.234,43	1,60
var (x)		10.479,55			5.130,37	127.482,20	0,04
DP		102,37			71,63	357,05	0,20
C_v (%)		14,09			29,68	15,98	12,37
P _t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de k_e foram obtidos pelo CP2 e os maiores valores de A e de μ pelo CP1. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.80).

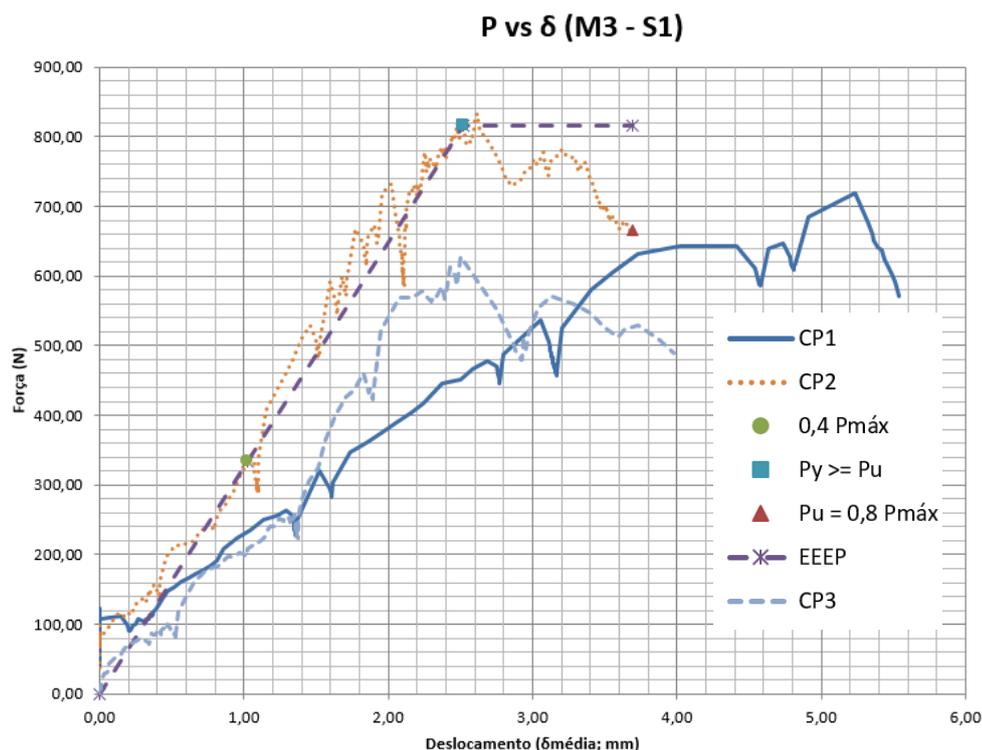


Figura 5.80 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S1 (modelo M3 S1-M1-A-0,80-140-150).

A série 2 do modelo M3 (Tabela 5. 21) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 735,04 N, 531,33 N/mm, 1.003,97 N.mm e 2,26, sendo que μ teve seu valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. O C_v a partir dos valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de k_e foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Com os valores de A, tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve ao baixo valor de A alcançado pelo CP3 por causa do seu baixo valor de δ_u .

Tabela 5. 21 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S2-M1-A-0,80-140-300.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S2-M1-A-0,80-140-300 CP1	5.197,03	866,18	346,47	0,49	704,79	1.245,41	2,40
S2-M1-A-0,80-140-300 CP2	4.701,21	783,53	313,41	0,75	420,52	-	-
S2-M1-A-0,80-140-300 CP3	3.332,49	555,41	222,17	0,47	468,67	762,52	2,11
x_m		735,04			531,33	1.003,97	2,26
var (x)		25.907,96			23.146,75	116.591,38	0,04
DP		160,96			152,14	341,45	0,21
C_v (%)		21,90			28,63	34,01	9,09
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ foram obtidos pelo CP1. Esse maior valor de k_e se deve ao alto valor de P_e (Figura 5.81).

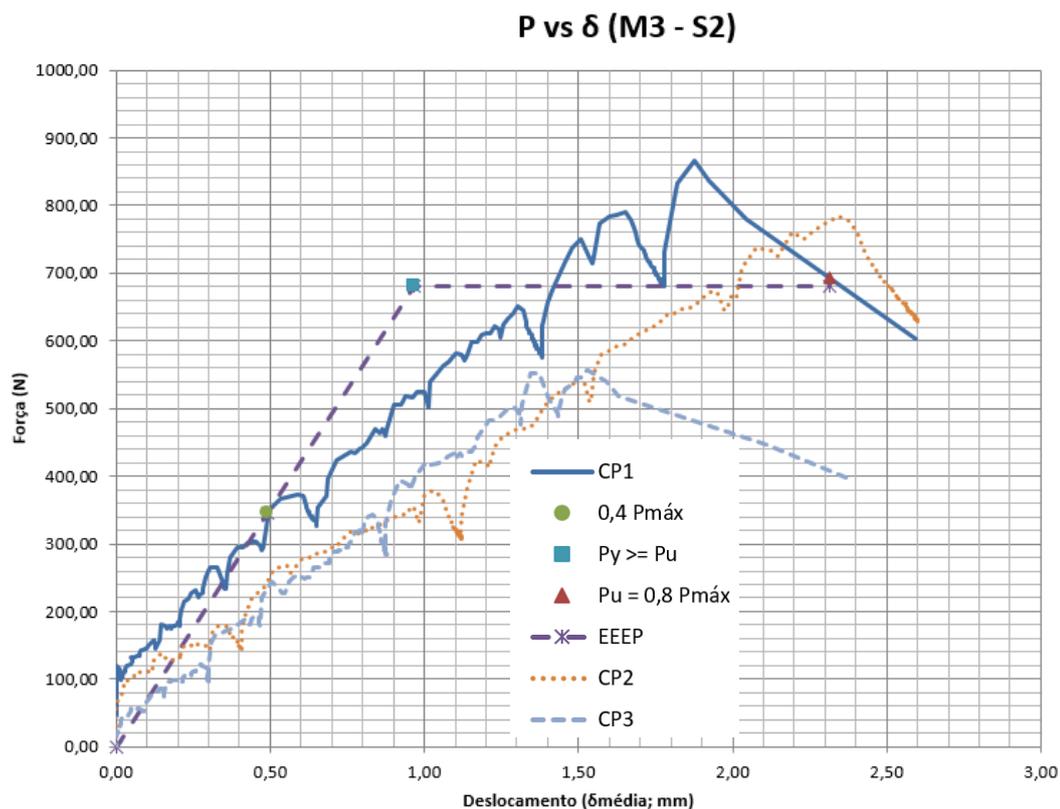


Figura 5.81 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S2 (modelo M3 S2-M1-A-0,80-140-300).

A série 3 do modelo M3 (Tabela 5. 22) registrou os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 661,33 N, 187,10 N/mm, 1.692,38 N.mm e 1,23, sendo que $P_{máx}$ e k_e tiveram seus valores de C_v inferiores a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados.

Tabela 5. 22 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S3-M1-A-0,95-140-150.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{máx}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S3-M1-A-0,95-140-150 CP1	6.003,14	600,31	240,12	1,30	184,97	-	-
S3-M1-A-0,95-140-150 CP2	6.875,93	687,59	275,04	1,30	211,41	1.692,38	1,23
S3-M1-A-0,95-140-150 CP3	6.961,05	696,10	278,44	1,69	164,91	-	-
x_m		661,33			187,10	1.692,38	1,23
var (x)		2.810,99			543,95	-	-
DP		53,02			23,32	-	-
C_v (%)		8,02			12,47	-	-

P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio

O maior valor de $P_{m\acute{a}x}$ foi obtido com o CP3 e o maior valor de k_e com o CP2. Esse maior valor de k_e se deve ao alto valor de P_e em relação ao CP1 (Figura 5.82).

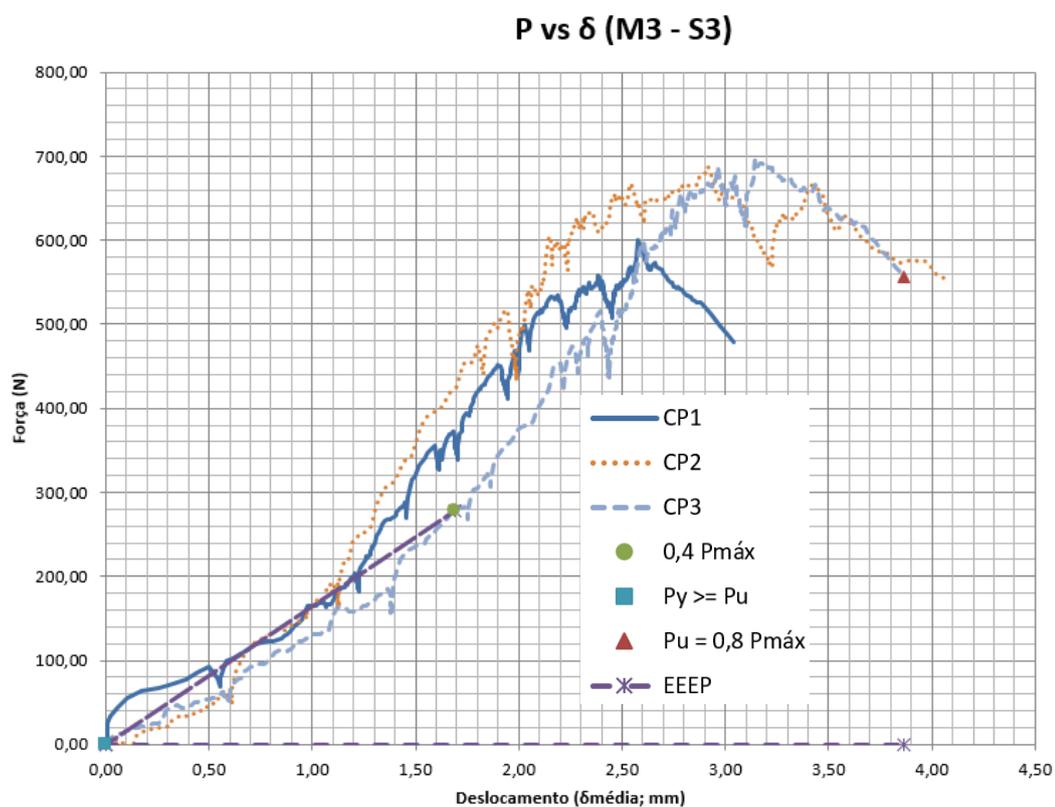


Figura 5.82 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S3 (modelo M3 S3-M1-A-0,95-140-150).

A série 4 do modelo M3 (Tabela 5. 23) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 705,77 N, 252,57 N/mm, 2.369,13 N.mm e 2,38, sendo que k_e teve seu valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos resultados. O C_v a partir dos valores de $P_{m\acute{a}x}$ foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Essa média dispersão se deve ao alto valor de $P_{m\acute{a}x}$ alcançado pelo CP2.

Tabela 5. 23 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S4-M1-A-0,95-140-300.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S4-M1-A-0,95-140-300 CP1	3.868,04	644,68	257,87	0,94	273,55	-	-
S4-M1-A-0,95-140-300 CP2	5.364,43	894,08	357,63	1,34	265,91	-	-
S4-M1-A-0,95-140-300 CP3	3.471,36	578,56	231,42	1,06	218,25	2.369,13	2,38
x_m		705,77			252,57	2.369,13	2,38
var (x)		27.687,51			897,99	-	-
DP		166,40			29,97	-	-
C_v (%)		23,58			11,86	-	-

P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio

O maior valor de $P_{m\acute{a}x}$ foi obtido com o CP2 e o maior valor de k_e com o CP1. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.83).

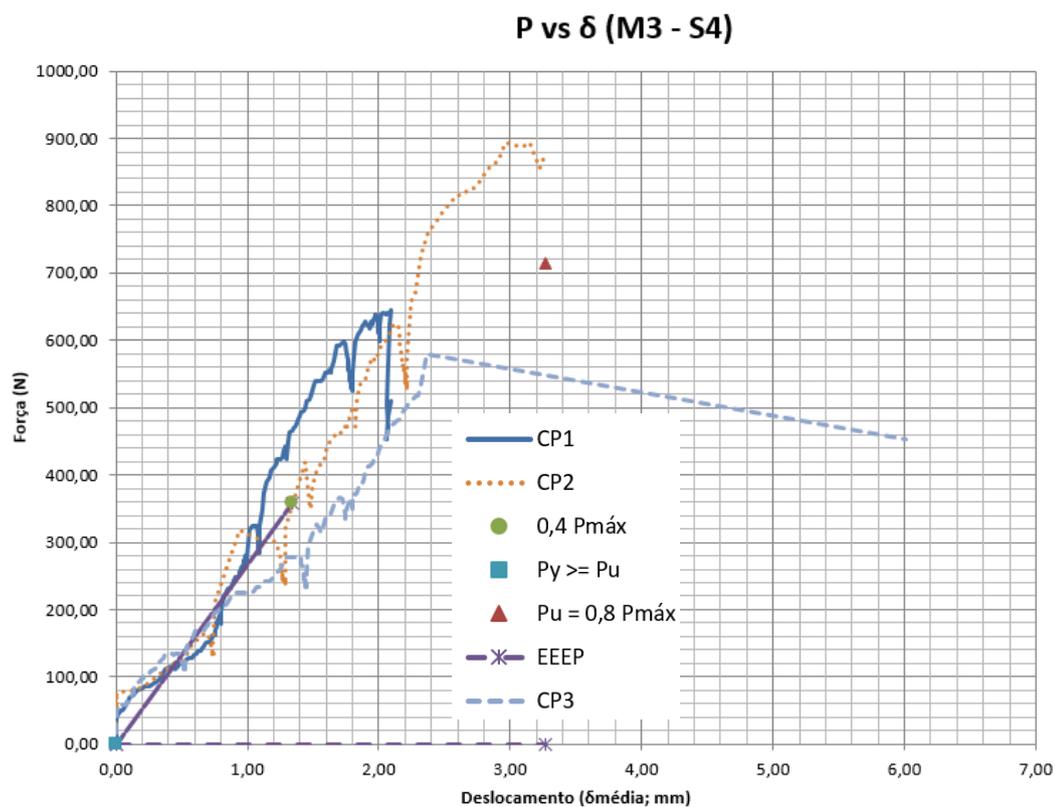


Figura 5.83 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S4 (modelo M3 S4-M1-A-0,95-140-300).

A série 7 do modelo M3 (Tabela 5. 24) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 647,14 N, 297,75 N/mm, 1.438,71 N.mm e 1,44, sendo que $P_{m\acute{a}x}$ teve seu valor de C_v inferior a 15%, o que demonstra a maior confiabilidade e homogeneidade dos

resultados. O C_v a partir dos valores de k_e foi registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Com os valores de A e de μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve aos baixos valores de A e de μ alcançados pelo CP3 por causa do seu baixo valor de δ_u .

Tabela 5. 24 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S7-M1-B-0,80-140-150.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S7-M1-B-0,80-140-150 CP1	6.684,31	668,43	267,37	0,70	379,74	1.820,45	2,47
S7-M1-B-0,80-140-150 CP2	7.216,52	721,65	288,66	1,07	270,49	-	-
S7-M1-B-0,80-140-150 CP3	5.513,49	551,35	220,54	0,91	243,01	1.056,97	1,44
\bar{x}_m		647,14			297,75	1.438,71	1,96
var (x)		7.590,36			5.230,97	291.450,86	0,53
DP		87,12			72,33	539,86	0,73
C_v (%)		13,46			24,29	37,52	37,25
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

O maior valor de $P_{m\acute{a}x}$ foi obtido com o CP2 e os maiores valores de k_e , de A e de μ foram obtidos com o CP1. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.84).

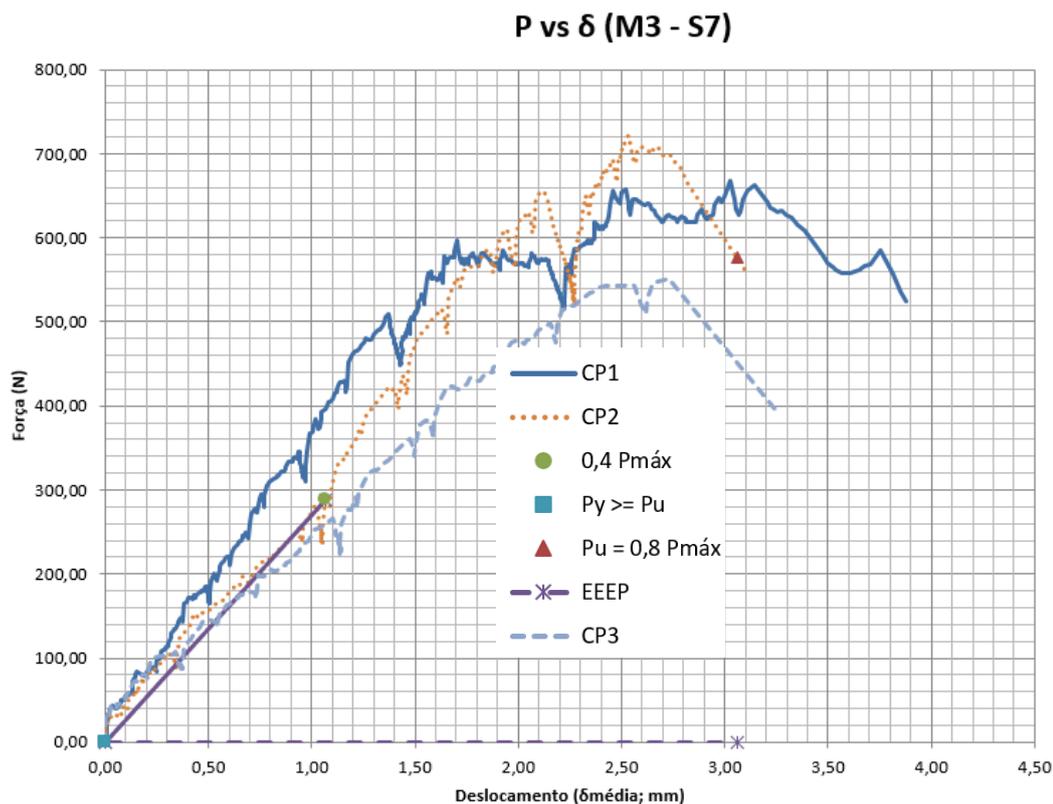


Figura 5.84 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S7 (modelo M3 S7-M1-B-0,80-140-150).

A série 8 do modelo M3 (Tabela 5. 25) registrou os valores médios de $P_{máx}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 646,33 N, 329,85 N/mm, 1.020,77 N.mm e 3,09, sendo que k_e teve seu valor de C_v registrado entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Com os valores de $P_{máx}$, de A e de μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve aos baixos valores de $P_{máx}$ e de A alcançados pelo CP3 incluindo o seu alto valor de μ por causa do modo de ruptura e dos baixos valores de δ_u e de δ_y .

O CP1 desta série foi danificado durante o transporte e, por isso, não foi possível efetuar o seu ensaio.

Tabela 5. 25 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S8-M1-B-0,80-140-300.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S8-M1-B-0,80-140-300 CP1							
S8-M1-B-0,80-140-300 CP2	4.840,07	806,67	322,67	1,21	267,46	1.859,12	1,22
S8-M1-B-0,80-140-300 CP3	2.915,91	485,99	194,39	0,50	392,24	1.020,77	3,09
x_m		646,33			329,85	1.439,95	2,16
var (x)		51.417,83			7.785,02	351.415,36	1,75
DP		226,76			88,23	592,80	1,32
C_v (%)		35,08			26,75	41,17	61,36
P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio							

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A foram obtidos com o CP2 e os maiores valores de k_e e de μ com o CP3. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.85).

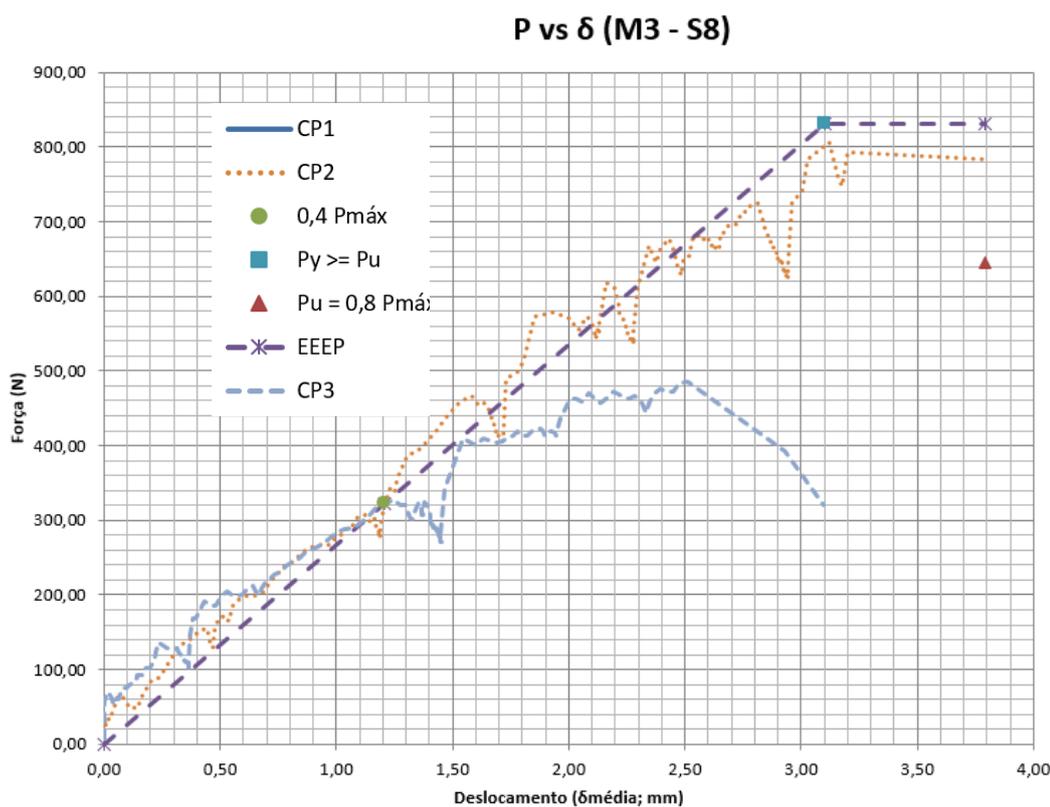


Figura 5.85 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S8 (modelo M3 S8-M1-B-0,80-140-300).

A série 9 do modelo M3 (Tabela 5. 26) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 807,72 N, 213,23 N/mm, 4.364,88 N.mm e 1,86, sendo que $P_{m\acute{a}x}$ e k_e tiveram seus valores de C_v registrados entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos

resultados. Essa média dispersão se deve ao alto valor de $P_{m\acute{a}x}$ alcançado pelo CP1 por causa do seu modo de ruptura e ao baixo valor de k_e alcançado pelo CP2 por causa do seu alto valor de δ_e .

Tabela 5. 26 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S9-M1-B-0,95-140-150.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S9-M1-B-0,95-140-150 CP1	9.968,75	996,88	398,75	1,87	212,98	4.364,88	1,86
S9-M1-B-0,95-140-150 CP2	7.642,22	764,23	305,69	1,89	161,88	-	-
S9-M1-B-0,95-140-150 CP3	6.620,47	662,04	264,82	1,54	264,82	-	-
x_m		807,72			213,23	4.364,88	1,86
var (x)		29.447,77			2.649,21	-	-
DP		171,60			51,47	-	-
C_v (%)		21,25			24,14	-	-

P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio

O maior valor de $P_{m\acute{a}x}$ foi obtido com o CP1 e o maior valor de k_e com o CP3. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.86).

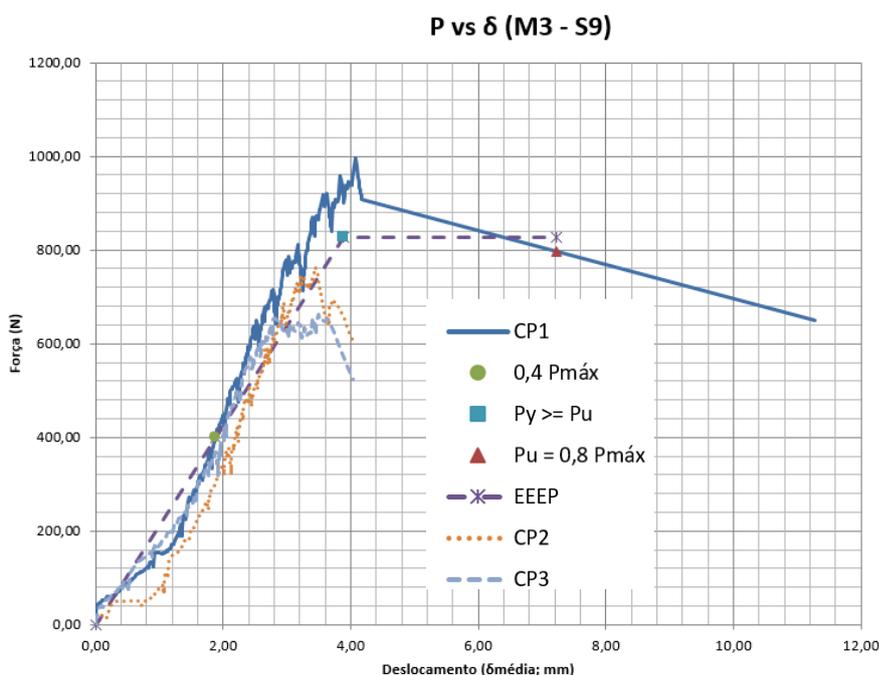


Figura 5.86 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S9 (modelo M3 S9-M1-B-0,95-140-150).

A série 10 do modelo M3 (Tabela 5. 27) registrou os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente iguais a 699,77 N, 248,94 N/mm, 3.219,54 N.mm e 3,81, sendo que $P_{m\acute{a}x}$ e

A tiveram seus valores de C_v registrados entre 15 e 30 %, o que caracteriza a média dispersão dos resultados. Com os valores de k_e e de μ , tem-se um C_v acima de 30% demonstrando a alta dispersão e a heterogeneidade dos resultados. Essa heterogeneidade se deve ao baixo valor de k_e alcançado pelo CP1 por causa do seu alto valor de δ_e e ao alto valor de μ alcançado pelo CP2 por causa do seu baixo valor de δ_y .

Tabela 5. 27 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova do modelo M3 S10-M1-B-0,95-140-300.

Nomenclatura	P_t (N)	$P_{m\acute{a}x}$ (N)	P_e (N)	δ_e (mm)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
S10-M1-B-0,95-140-300 CP1	4.284,62	714,10	285,64	1,69	168,77	-	-
S10-M1-B-0,95-140-300 CP2	3.134,11	522,35	208,94	0,62	338,20	2.685,26	5,39
S10-M1-B-0,95-140-300 CP3	5.177,22	862,87	345,15	1,44	239,84	3.753,82	2,23
\bar{x}_m		699,77			248,94	3.219,54	3,81
var (x)		29.142,41			7.238,69	570.910,24	4,99
DP		170,71			85,08	755,59	2,23
C_v (%)		24,40			34,18	23,47	58,65

P_t é a força máxima alcançada pelo CP durante o ensaio

Os maiores valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A foram obtidos com o CP3 e os maiores valores de k_e e de μ com o CP2. Esse maior valor de k_e se deve ao baixo valor de δ_e (Figura 5.87).

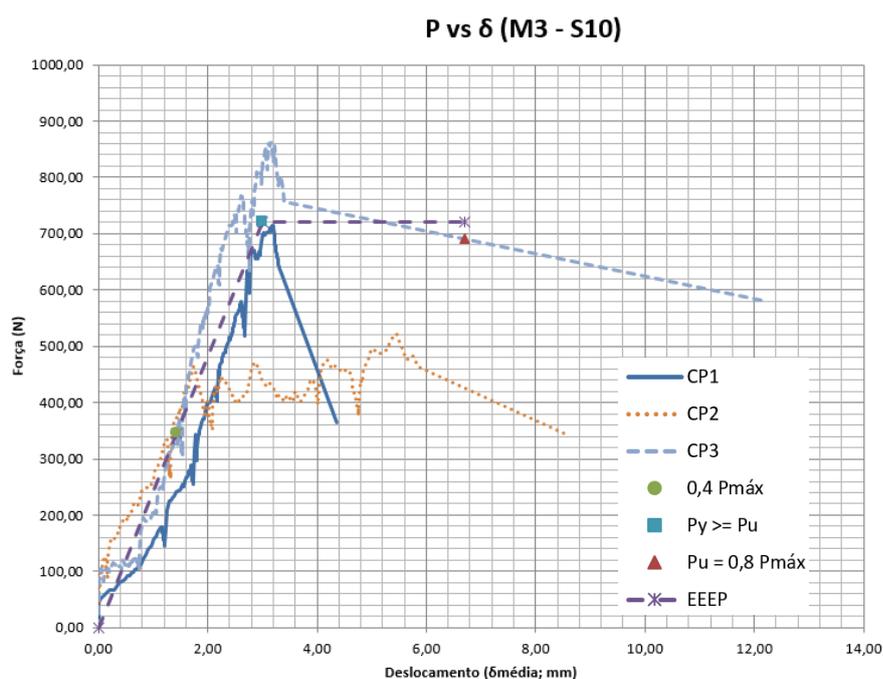


Figura 5.87 – Gráfico força versus deslocamento dos CP's do modelo M3 da série S10 (modelo M3 S10-M1-B-0,95-140-300).

Tabela 5. 28 – Resultados relativos ao ensaio dos corpos de prova – Cisalhamento (*Push-Test*) (valores médios).

Nomenclatura	P _{máx} (N)	C _v (%)	k _e (N/mm)	C _v (%)	A (N.mm)	C _v (%)	μ	C _v (%)
M1 S1-M2-A-0,80-140-400-150	1.807,72	5,84	1.422,29	10,00	13.465,16	20,25	8,48	8,54
M1 S2-M2-A-0,80-140-400-300	1.858,57	4,07	1.190,59	46,33	12.882,98	1,39	6,75	35,90
M1 S3-M2-A-0,95-140-400-150	1.580,27	9,41	1.237,23	32,83	7.906,39	71,43	5,23	13,54
M1 S4-M2-A-0,95-140-400-300	1.815,22	3,04	1.605,92	38,82	14.094,63	1,05	10,17	42,79
M1 S7-M2-B-0,80-140-400-150	1.852,83	5,54	1.301,20	24,24	13.478,91	11,47	7,32	8,37
M1 S8-M2-B-0,80-140-400-300	1.749,18	6,99	1.249,07	38,32	15.706,11	13,45	9,37	42,80
M1 S9-M2-B-0,95-140-400-150	1.791,44	11,63	1.273,24	24,60	13.068,55	22,65	7,68	27,25
M1 S10-M2-B-0,95-140-400-300	1.768,69	1,63	857,72	9,21	14.985,17	11,56	6,00	16,60
M2 S1-M1-A-0,80-140-150	1.997,84	7,39	1.659,31	46,88	17.731,30	17,73	11,48	54,72
M2 S2-M1-A-0,80-140-300	2.079,74	11,98	2.825,60	57,01	17.010,34	3,95	14,52	41,73
M2 S3-M1-A-0,95-140-150	1.974,55	12,50	4.050,20	44,20	9.885,11	23,35	14,58	45,88
M2 S4-M1-A-0,95-140-300	2.105,45	6,54	2.635,40	39,61	20.441,48	12,24	18,48	52,69
M2 S7-M1-B-0,80-140-150	1.939,71	9,53	3.528,63	68,11	10.274,37	87,91	10,77	37,25
M2 S8-M1-B-0,80-140-300	2.216,45	1,96	3.647,87	62,41	17.493,54	20,70	19,62	61,58
M2 S9-M1-B-0,95-140-150	2.112,46	4,95	4.100,33	100,24	16.723,08	38,83	18,31	70,11
M2 S10-M1-B-0,95-140-300	2.181,40	2,86	2.272,10	41,89	22.091,49	13,76	14,92	28,55
M3 S1-M1-A-0,80-140-150	726,62	14,09	241,29	29,68	2.234,43	15,98	1,60	12,37
M3 S2-M1-A-0,80-140-300	735,04	21,90	531,33	28,63	1.003,97	34,01	2,26	9,09
M3 S3-M1-A-0,95-140-150	661,33	8,02	187,10	12,47	1.692,38	-	1,23	-
M3 S4-M1-A-0,95-140-300	705,77	23,58	252,57	11,86	2.369,13	-	2,38	-
M3 S7-M1-B-0,80-140-150	647,14	13,46	297,75	24,29	1.438,71	37,52	1,96	37,25
M3 S8-M1-B-0,80-140-300	646,33	35,08	329,85	26,75	1.439,95	41,17	2,16	61,36
M3 S9-M1-B-0,95-140-150	807,72	21,25	213,23	24,14	4.364,88	-	1,86	-
M3 S10-M1-B-0,95-140-300	699,77	24,40	248,94	34,18	3.219,54	23,47	3,81	58,65

5.3.1 Influência do espaçamento axial entre os parafusos sobre os resultados do modelo M1

A série 1 (Tabela 5. 28), constituída de corpos de prova com 20 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registrou um valor médio, por ligação, da força máxima ($P_{m\acute{a}x}$), da rigidez (k_e), da energia dissipada (A) e da ductilidade (μ) respectivamente igual a 1.807,72 N, 1.422,29 N/mm, 13.465,16 N.mm e 8,48. A série 2, constituída de corpos de prova com 12 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.858,57 N, 1.190,59 N/mm, 12.882,98 N.mm e 6,75. Observou-se que o valor médio de $P_{m\acute{a}x}$ da série 2 foi 2,81 % superior ao valor da série 1. Porém, os valores médios de k_e , de A e de μ da série 1 foram respectivamente 19,46 %, 4,52 % e 25,63 % superiores aos valores da série 2.

A série 3, constituída de corpos de prova com 20 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.580,27 N, 1.237,23 N/mm, 7.906,39 N.mm e 5,23. A série 4, constituída de corpos de prova com 12 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.815,22 N, 1.605,92 N/mm, 14.094,63 N.mm e 10,17. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ da série 4 foram respectivamente 14,87 %, 29,80 %, 78,27 % e 94,45 % superiores aos valores da série 3.

A série 7, constituída de corpos de prova com 20 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.852,83 N, 1.301,20 N/mm, 13.478,91 N.mm e 7,32. A série 8, constituída de corpos de prova com 12 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.749,18 N, 1.249,07 N/mm, 15.706,11 N.mm e 9,37. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de k_e da série 7 foram respectivamente 5,92 % e 4,17 % superiores aos valores da série 8. Porém, os valores médios de A e de μ da série 8 foram respectivamente 16,52 % e 28,00 % superiores aos valores da série 7.

A série 9, constituída de corpos de prova com 20 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.791,44 N, 1.273,24 N/mm, 13.068,55 N.mm e 7,68. A série 10, constituída de corpos de prova com 12 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.768,69 N, 857,72 N/mm, 14.985,17 N.mm e 6,00.

Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e e de μ da série 9 foram respectivamente 1,27 %, 48,44 % e 28,00 % superiores aos valores da série 10. Porém, o valor médio de A da série 10 foi 14,66 % superior ao valor da série 9.

As séries 1-3-7-9, associando os corpos de prova com 20 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.758,07 N, 1.308,49 N/mm, 11.979,75 N.mm e 7,18. As séries 2-4-8-10, agrupando os corpos de prova com 12 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.797,92 N, 1.225,83 N/mm, 14.417,22 N.mm e 8,07. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ das séries 2-4-8-10 foram respectivamente 2,27 %, 20,35 % e 12,39 % superiores aos valores das séries 1-3-7-9. Porém, o valor médio de k_e das séries 1-3-7-9 foi respectivamente 6,74 % superior ao valor das séries 2-4-8-10.

Observou-se que quanto maior for a distância axial entre os parafusos (menor quantidade de parafusos), maiores serão os valores de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ e menor será o valor de k_e .

5.3.2 Influência da espessura dos perfis de aço sobre os resultados do modelo M1

As séries 1 e 2, feitas com 0,80 mm de espessura nominal dos perfis de aço e painéis de OSB com 9,5 mm de espessura nominal, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.833,14 N, 1.306,44 N/mm, 13.174,07 N.mm e 7,61. As séries 3 e 4, feitas com 0,95 mm de espessura nominal dos perfis de aço e painéis de OSB com 9,5 mm de espessura nominal, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.697,74 N, 1.421,57 N/mm, 11.000,51 N.mm e 7,70. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de A das séries 1 e 2 foram respectivamente 7,97 % e 19,76 % superiores aos valores das séries 3 e 4. Porém, os valores médios de k_e e de μ das séries 3 e 4 foram respectivamente 8,81 % e 1,18 % superiores aos valores das séries 1 e 2.

As séries 7 e 8, feitas com 0,80 mm de espessura nominal dos perfis de aço e painéis de OSB com 11,1 mm de espessura nominal, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.801,00 N, 1.275,13 N/mm, 14.592,51 N.mm e 8,34. As séries 9 e 10, feitas com 0,95 mm de espessura nominal dos perfis de aço e painéis de OSB com 11,1 mm de espessura nominal, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.780,06 N, 1.065,48 N/mm, 14.026,86 N.mm e 6,84. Observou-se que os valores

médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ das séries 7 e 8 foram respectivamente 1,18 %, 19,68 %, 8,81 % e 1,18 % superiores aos valores das séries 9 e 10.

As séries 1-2-7-8, associando os CP's feitos com 0,80 mm de espessura nominal dos perfis de aço, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.817,08 N, 1.290,79 N/mm, 13.883,29 N.mm e 7,98. As séries 3-4-9-10, associando os CP's feitos com 0,95 mm de espessura nominal dos perfis de aço, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.738,91 N, 1.243,53 N/mm, 12.513,69 N.mm e 7,27. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ das séries 1-2-7-8 foram respectivamente 1,70 %, 11,98 %, 10,61 % e 17,52 % superiores aos valores das séries 3-4-9-10.

Observou-se que quanto menor for a espessura nominal dos perfis de aço, maiores serão os valores de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ .

5.3.3 Influência da espessura dos painéis de OSB sobre os resultados do modelo M1

As séries 1-2-3-4, associando os CP's feitos com 9,5 mm de espessura nominal dos painéis de OSB, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.765,44 N, 1.364,01 N/mm, 12.087,29 N.mm e 7,66. As séries 7-8-9-10, associando os CP's feitos com 11,1 mm de espessura nominal dos painéis de OSB, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.790,53 N, 1.170,31 N/mm, 14.309,68 N.mm e 7,59. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de A das séries 7-8-9-10 foram respectivamente 1,42 % e 18,37 % superiores aos valores das séries 1-2-3-4. Porém, os valores médios de k_e e de μ das séries 1-2-3-4 foram respectivamente 16,55 % e 0,92 % superiores aos valores das séries 7-8-9-10.

Observou-se que quanto maior for a espessura nominal dos painéis de OSB, maiores serão os valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A e menores serão os valores de k_e e de μ . Pode-se observar também que a variação da espessura nominal dos painéis OSB não teve uma influência significativa sobre o valor da ductilidade (μ).

5.3.4 Influência do espaçamento axial entre os parafusos sobre os resultados do modelo M2

A série 1, constituída de corpos de prova com 10 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.997,84 N, 1.659,31 N/mm, 17.731,30 N.mm e 11,48. A série 2, constituída de corpos de prova com 6 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.079,74 N, 2.825,60 N/mm, 17.010,34 N.mm e 14,52. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e e de μ da série 2 foram respectivamente 4,10 %, 70,23 % e 26,48 % superiores aos valores da série 1. Porém, o valor médio de A da série 1 foi 4,24 % superior ao valor da série 2.

A série 3, constituída de corpos de prova com 10 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.974,55 N, 4.050,20 N/mm, 9.885,11 N.mm e 14,58. A série 4, constituída de corpos de prova com 6 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.105,45 N, 2.635,40 N/mm, 20.441,18 N.mm e 18,48. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ da série 4 foram respectivamente 6,63 %, 106,79 % e 26,75 % superiores aos valores da série 3. Porém, o valor médio de k_e da série 3 foi 53,68 % superior ao valor da série 4.

A série 7, constituída de corpos de prova com 10 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.939,71 N, 3.528,63 N/mm, 10.274,37 N.mm e 10,77. A série 8, constituída de corpos de prova com 6 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.216,45 N, 3.647,87 N/mm, 17.493,54 N.mm e 19,62. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ da série 8 foram respectivamente 14,27 %, 3,38 %, 70,26 % e 82,17 % superiores aos valores da série 7.

A série 9, constituída de corpos de prova com 10 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.112,46 N, 4.100,33 N/mm, 16.723,08 N.mm e 18,31. A série 10, constituída de corpos de prova com 6 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.181,40 N, 2.272,10 N/mm, 22.091,49 N.mm e 14,92. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de A da série 10 foram respectivamente 3,26 % e

32,10 % superiores aos valores da série 9. Porém, os valores médios de k_e e de μ da série 9 foram respectivamente 80,46 % e 22,72 % superiores aos valores da série 10.

As séries 1-3-7-9, agrupando os CP's feitos com 10 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.006,14 N, 3.334,62 N/mm, 13.653,47 N.mm e 13,79. As séries 2-4-8-10, agrupando os CP's feitos com 6 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.145,76 N, 2.845,24 N/mm, 19.259,21 N.mm e 16,89. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ das séries 2-4-8-10 foram respectivamente 6,96 %, 41,06 % e 22,48 % superiores aos valores das séries 1-3-7-9. Porém, o valor médio de k_e das séries 1-3-7-9 foi respectivamente 17,20 % superior ao valor das séries 2-4-8-10.

Observou-se que quanto maior for a distância axial entre os parafusos, maiores serão os valores de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ e menor será o valor de k_e .

5.3.5 Influência da espessura dos perfis de aço sobre os resultados do modelo M2

As séries 1 e 2, feitas com 0,80 mm de espessura nominal dos perfis de aço e painéis de OSB com 9,5 mm de espessura nominal, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.038,79 N, 2.242,45 N/mm, 17.370,82 N.mm e 13,00. As séries 3 e 4, feitas com 0,95 mm de espessura nominal dos perfis de aço e painéis de OSB com 9,5 mm de espessura nominal, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.040,00 N, 3.342,80 N/mm, 15.163,29 N.mm e 16,53. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e e de μ das séries 3 e 4 foram respectivamente 0,06 %, 49,07 % e 27,15 % superiores aos valores das séries 1 e 2. Porém, o valor médio de A das séries 1 e 2 foi 14,56 % superior ao valor das séries 3 e 4.

As séries 7 e 8, feitas com 0,80 mm de espessura nominal dos perfis de aço e painéis de OSB com 11,1 mm de espessura nominal, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.078,08 N, 3.588,25 N/mm, 13.883,95 N.mm e 15,19. As séries 9 e 10, feitas com 0,95 mm de espessura nominal dos perfis de aço e painéis de OSB com 11,1 mm de espessura nominal, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.146,93 N, 3.186,21 N/mm, 19.407,28 N.mm e 16,61. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ das séries 9 e 10 foram respectivamente 3,31 %, 39,78 % e 9,35 %

superiores aos valores das séries 7 e 8. Porém, o valor médio de k_e das séries 7 e 8 foi 12,62 % superior ao valor das séries 9 e 10.

As séries 1-2-7-8, agrupando os CP's feitos com 0,80 mm de espessura nominal dos perfis de aço, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.058,44 N, 2.915,35 N/mm, 15.627,39 N.mm e 14,10. As séries 3-4-9-10, agrupando os CP's feitos com 0,95 mm de espessura nominal dos perfis de aço, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.093,47 N, 3.264,51 N/mm, 17.285,29 N.mm e 16,57. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ das séries 3-4-9-10 foram respectivamente 1,70 %, 11,98 %, 10,61 % e 17,52 % superiores aos valores das séries 1-2-7-8.

Observou-se que quanto maior for a espessura nominal dos perfis de aço, maiores serão os valores de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ . Observou-se também que a variação da espessura nominal do perfil não influenciou significativamente o valor da força máxima ($P_{m\acute{a}x}$) alcançada por cada ligação.

5.3.6 Influência da espessura dos painéis de OSB sobre os resultados do modelo M2

As séries 1-2-3-4, agrupando os CP's feitos com 9,5 mm de espessura nominal dos painéis de OSB, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.039,39 N, 2.792,63 N/mm, 16.267,06 N.mm e 14,76. As séries 7-8-9-10, agrupando os CP's feitos com 11,1 mm de espessura nominal dos painéis de OSB, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.112,50 N, 3.387,23 N/mm, 16.645,62 N.mm e 15,90. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ das séries 7-8-9-10 foram respectivamente 3,58 %, 21,29 %, 12,33 % e 7,72 % superiores aos valores das séries 1-2-3-4.

Observou-se que quanto maior for a espessura nominal dos painéis de OSB, maiores serão os valores de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ .

5.3.7 Influência do espaçamento axial entre os parafusos sobre os resultados do modelo M3

A série 1, constituída de corpos de prova com 10 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 726,62 N, 241,29 N/mm, 2.234,43 N.mm e 1,60. A série 2, constituída de corpos de prova com 6

parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 735,04 N, 531,33 N/mm, 1.003,97 N.mm e 2,26. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e e de μ da série 2 foram respectivamente 1,16 %, 120,20 % e 41,25 % superiores aos valores da série 1. Porém, o valor médio de A da série 1 foi 122,56 % superior ao valor da série 2.

A série 3, constituída de corpos de prova com 10 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 661,33 N, 187,10 N/mm, 1.692,38 N.mm e 1,23. A série 4, constituída de corpos de prova com 6 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 705,77 N, 252,57 N/mm, 2.369,13 N.mm e 2,38. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e e de μ da série 4 foram respectivamente 6,72 %, 34,99 %, 39,99 % e 93,49 % superiores aos valores da série 3.

A série 7, constituída de corpos de prova com 10 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 647,14 N, 297,75 N/mm, 1.438,71 N.mm e 1,96. A série 8, constituída de corpos de prova com 6 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 646,33 N, 329,85 N/mm, 1.439,95 N.mm e 2,16. Observou-se que os valores médios de k_e , de A e de μ da série 8 foram respectivamente 10,78 %, 0,09 % e 10,20 % superiores aos valores da série 7. Porém, o valor médio de $P_{m\acute{a}x}$ da série 7 foi 0,12 % superior ao valor da série 8.

A série 9, constituída de corpos de prova com 10 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 807,72 N, 213,23 N/mm, 4.364,88 N.mm e 1,86. A série 10, constituída de corpos de prova com 6 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registrou um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 699,77 N, 248,94 N/mm, 3.219,54 N.mm e 3,81. Observou-se que os valores médios de k_e e de μ da série 10 foram respectivamente 16,75 % e 104,84 % superiores aos valores da série 9. Porém, o valor médio de $P_{m\acute{a}x}$ e de A da série 9 foram respectivamente 15,47 % e 35,57 % superiores aos da série 10.

As séries 1-3-7-9, associando os CP's feitos com 10 parafusos espaçados axialmente entre si de 150 mm, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 710,70

N, 234,84 N/mm, 2.432,60 N.mm e 1,66. As séries 2-4-8-10, associando os CP's feitos com 6 parafusos espaçados axialmente entre si de 300 mm, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 696,73 N, 340,67 N/mm, 2.008,15 N.mm e 2,65. Observou-se que os valores médios de k_e e de μ das séries 2-4-8-10 foram respectivamente 45,06 % e 59,64 % superiores aos valores das séries 1-3-7-9. Porém, os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de A das séries 1-3-7-9 foram respectivamente 2,00 % e 21,14 % superiores aos das séries 2-4-8-10.

Observou-se que quanto maior for a distância axial entre os parafusos, maiores serão os valores de k_e e de μ e menores serão os valores de $P_{m\acute{a}x}$ e de A. Observou-se também que essa variação no espaçamento axial entre os parafusos não influenciou significativamente o valor de $P_{m\acute{a}x}$ de um modo geral.

5.3.8 Influência da espessura dos perfis de aço sobre os resultados do modelo M3

As séries 1 e 2, feitas com 0,80 mm de espessura nominal dos perfis de aço e painéis de OSB com 9,5 mm de espessura nominal, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 730,83 N, 386,31 N/mm, 1.619,20 N.mm e 1,93. As séries 3 e 4, feitas com 0,95 mm de espessura nominal dos perfis de aço e painéis de OSB com 9,5 mm de espessura nominal, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 683,55 N, 219,82 N/mm, 2.030,75 N.mm e 1,80. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e e de μ das séries 1 e 2 foram respectivamente 6,92 %, 75,74 % e 7,22 % superiores aos valores das séries 3 e 4. Porém, o valor médio de A das séries 3 e 4 foi 25,42 % superior ao valor das séries 1 e 2.

As séries 7 e 8, feitas com 0,80 mm de espessura nominal dos perfis de aço e painéis de OSB com 9,5 mm de espessura nominal, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 646,73 N, 313,80 N/mm, 1.439,33 N.mm e 2,06. As séries 9 e 10, feitas com 0,95 mm de espessura nominal dos perfis de aço e painéis de OSB com 9,5 mm de espessura nominal, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 753,74 N, 231,08 N/mm, 3.792,21 N.mm e 2,83. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ das séries 9 e 10 foram respectivamente 16,55 %, 163,47 % e 37,38 % superiores aos valores das séries 7 e 8. Porém, o valor médio de k_e das séries 7 e 8 foi 35,80 % superior ao valor das séries 9 e 10.

As séries 1-2-7-8, agrupando os CP's feitos com 0,80 mm de espessura nominal dos perfis de aço, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 688,78 N, 350,05 N/mm, 1.529,26 N.mm e 1,99. As séries 3-4-9-10, agrupando os CP's feitos com 0,95 mm de espessura nominal dos perfis de aço, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 718,64 N, 225,45 N/mm, 2.911,48 N.mm e 2,31. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ das séries 3-4-9-10 foram respectivamente 4,33 %, 90,38 % e 16,08 % superiores aos valores das séries 1-2-7-8. Porém, o valor médio de k_e das séries 1-2-7-8 foi 55,27 % superior ao valor das séries 3-4-9-10.

Observou-se que quanto maior for a espessura nominal dos perfis de aço, maiores serão os valores de $P_{m\acute{a}x}$, de A e de μ e menor será o valor de k_e . Observou-se também que essa variação na espessura nominal do perfil não influenciou significativamente o valor de $P_{m\acute{a}x}$ de um modo geral.

5.3.9 Influência da espessura dos painéis de OSB sobre os resultados do modelo M3

As séries 1-2-3-4, agrupando os CP's feitos com 9,5 mm de espessura nominal dos painéis de OSB, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 707,19 N, 303,07 N/mm, 1.824,98 N.mm e 1,87. As séries 7-8-9-10, associando os CP's feitos com 11,1 mm de espessura nominal dos painéis de OSB, registraram um valor médio de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 700,24 N, 272,44 N/mm, 2.615,77 N.mm e 2,44. Observou-se que os valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de k_e das séries 1-2-3-4 foram respectivamente 0,99 % e 11,24 % superiores aos valores das séries 7-8-9-10. Porém, os valores médios de A e de μ das séries 7-8-9-10 foram respectivamente 43,33 % e 30,48 % superiores aos valores das séries 1-2-3-4.

Observou-se que quanto maior for a espessura nominal dos painéis de OSB, maiores serão os valores de A e de μ e menores os valores $P_{m\acute{a}x}$ e de k_e . Observou-se também que essa variação na espessura nominal do painel não influenciou significativamente o valor de $P_{m\acute{a}x}$ de um modo geral.

5.3.10 Influência do modo de carregamento sobre os resultados dos modelos M1, M2 e M3

O modelo M1 (montantes de extremidade), composto pelas séries 1-2-3-4-7-8-9-10, representava os corpos de prova ensaiados com carregamento paralelo às tiras de madeiras superficiais (fibras externas) dos painéis de OSB e aos seus dois montantes. Esse mesmo registrou um valor médio de $P_{\text{máx}}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.777,99 N, 1.267,16 N/mm, 13.198,49 N.mm e 7,63.

O modelo M2 (montante intermediário), composto pelas séries 1-2-3-4-7-8-9-10, representava os corpos de prova ensaiados com carregamento paralelo às fibras externas dos painéis de OSB e ao seu único montante. Esse mesmo registrou um valor médio de $P_{\text{máx}}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 2.075,95 N, 3.089,93 N/mm, 16.456,34 N.mm e 15,34.

O modelo M3 (montante de extremidade), composto pelas séries 1-2-3-4-7-8-9-10, representava os corpos de prova ensaiados com carregamento perpendicular às fibras externas dos painéis de OSB e ao seu único montante. Esse mesmo registrou um valor médio de $P_{\text{máx}}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 703,72 N, 287,76 N/mm, 2.220,37 N.mm e 2,16.

Os valores médios de $P_{\text{máx}}$, de k_e , de A e de μ do modelo M2 foram respectivamente 16,76 %, 143,85 %, 24,68 % e 101,05 % superiores aos valores do modelo M1.

Observou-se que, com o carregamento paralelo às fibras externas dos painéis de OSB e ao montante, quanto menores forem a quantidade de montantes e a quantidade de parafusos, maiores serão os valores de $P_{\text{máx}}$, de k_e , de A e de μ .

Os modelos M1 e M2, associando os CP's ensaiados com carregamento paralelo às fibras externas dos painéis de OSB e ao montante, registraram um valor médio de $P_{\text{máx}}$, de k_e , de A e de μ respectivamente igual a 1.926,97 N, 2.178,54 N/mm, 14.827,41 N.mm e 11,48.

Os valores médios de $P_{\text{máx}}$, de k_e , de A e de μ dos modelos M1 e M2 foram respectivamente 173,83 %, 657,07 %, 567,79 % e 431,48 % superiores aos valores do modelo M3.

Observou-se que os valores de $P_{\text{máx}}$, de k_e , de A e de μ foram altos com o carregamento paralelo às fibras externas dos painéis de OSB e ao montante. Nesta pesquisa, os valores de $P_{\text{máx}}$, de k_e ,

de A e de μ foram muito baixos com o carregamento perpendicular às fibras externas dos painéis de OSB e ao montante por causa da posição do montante nos corpos de prova. A distância de borda dos painéis até o eixo dos parafusos do modelo M3 era de aproximadamente 10 mm, distância essa que era paralela ao carregamento causando, de uma maneira geral, um modo de ruptura por rasgamento dos painéis de OSB pelos parafusos.

5.4 Conclusões

Observou-se que os valores de $P_{m\acute{a}x}$, de k_e , de A e de μ dos modelos M1, M2 e M3 foram influenciados pelo espaçamento axial entre os parafusos, pela espessura dos perfis de aço, pela espessura dos painéis OSB e pelo modo de carregamento. Esse carregamento foi aplicado paralelamente às fibras das camadas externas dos painéis OSB e ao montante de todos CP's dos modelos M1 e M2, porém perpendicularmente às fibras das camadas externas dos painéis OSB e ao montante de todos os CP's do modelo M3. Além disso, os parafusos em cada painel OSB de todos os CP's dos modelos M1 e M2 foram fixados no montante, posição vertical, e a distância da borda do painel OSB até o eixo do parafuso mais próxima da base desses CP's foi de 110 mm. Com os CP's do modelo M3, os parafusos em cada painel OSB foram fixados no montante, posição horizontal, e a distância da borda do painel OSB até o eixo desses parafusos foi de 10 mm.

Quanto à força máxima alcançada por ligação ($P_{m\acute{a}x}$), o maior valor médio foi aproximadamente 3 vezes superior ao menor valor. Esse maior valor médio foi alcançado pelos CP's da série 8 do modelo M2 que foram fabricados com painéis OSB de 11,1 mm de espessura, um montante com 0,80 mm de espessura e 6 parafusos com espaçamento axial de 300 mm. O menor valor médio foi alcançado pelos CP's da série 8 do modelo M3 que foram fabricados com painéis OSB de 11,1 mm de espessura, um montante com 0,80 mm de espessura e 6 parafusos com espaçamento axial de 300 mm. Pode-se explicar esse resultado pelo fato de a base dos painéis OSB dos CP's da série 8 – modelo M3 terem rasgada pela rotação não significativa dos seus parafusos.

Quanto à rigidez alcançada por ligação (k_e), o maior valor médio foi aproximadamente 22 vezes superior ao menor valor. Esse maior valor médio foi alcançado pelos CP's da série 9 do modelo M2 que foram fabricados com painéis OSB de 11,1 mm de espessura, um montante com 0,95 mm de espessura e 10 parafusos com espaçamento axial de 150 mm. O menor valor médio foi

alcançado pelos CP's da série 3 do modelo M3 que foram fabricados com painéis OSB de 9,5 mm de espessura, um montante com 0,95 mm de espessura e 10 parafusos com espaçamento axial de 150 mm. Pode-se explicar esse resultado pelo fato de os CP's da série 9 – modelo M2 terem sido feitos com painéis OSB de maior espessura além do seu modo de carregamento.

Quanto à energia dissipada por ligação (A), o maior valor médio foi 22 vezes superior ao menor valor. Esse maior valor médio foi alcançado pelos CP's da série 10 do modelo M2 que foram fabricados com painéis OSB de 11,1 mm de espessura, um montante com 0,95 mm de espessura e 6 parafusos com espaçamento axial de 300 mm. O menor valor médio foi alcançado pelos CP's da série 2 do modelo M3 que foram fabricados com painéis OSB de 9,5 mm de espessura, um montante com 0,80 mm de espessura e 6 parafusos com espaçamento axial de 300 mm. Pode-se explicar esse resultado pelo fato de os CP's da série 10 – modelo M2 terem sido feitos com painéis OSB e perfis de maior espessura além do seu modo de carregamento.

Quanto à ductilidade da ligação (μ), o maior valor médio foi aproximadamente 16 vezes superior ao menor valor. Esse maior valor médio foi alcançado pelos CP's da série 8 do modelo M2 que foram fabricados com painéis OSB de 11,1 mm de espessura, um montante com 0,80 mm de espessura e 6 parafusos com espaçamento axial de 300 mm. O menor valor médio foi alcançado pelos CP's da série 3 do modelo M3 que foram fabricados com painéis OSB de 9,5 mm de espessura, um montante com 0,95 mm de espessura e 10 parafusos com espaçamento axial de 150 mm. Pode-se explicar esse resultado pelo fato de os CP's da série 8 – modelo M2 terem sido feitos com painéis OSB de maior espessura, perfis de menor espessura e maior espaçamento axial entre os parafusos além do seu modo de carregamento.

Pode-se concluir que com o carregamento paralelo ao montante, quanto maior for a distância axial entre os parafusos, maiores serão os valores de $P_{\text{máx}}$, de k_e , de A e de μ . E, independente do modo de carregamento, quanto maior for a espessura nominal dos painéis OSB, maior será o valor de A .

6

COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

6.1 Comparação Entre os Resultados da Presente Pesquisa e os Resultados das Bibliografias Usadas

Como nomenclatura, tem-se: a espessura nominal do painel de OSB (t_{OSB}), as dimensões da parte cisalhada (D_c), o modo de aplicação da força (M_r : M_L – paralelamente ao eixo longitudinal dos painéis de OSB; M_T – paralelamente ao eixo transversal dos painéis de OSB; M_E – paralelamente à espessura dos painéis de OSB), a posição do corpo de prova para o ensaio (P_{CP} : P_H – horizontal ou deitado; P_V – vertical ou em pé), o eixo de extração dos corpos de prova dos painéis de OSB (E_e : E_L – do eixo longitudinal dos painéis de OSB; E_T – do eixo transversal dos painéis de OSB), a tensão de ruptura (S_b), o módulo de elasticidade longitudinal (E), a tensão de cisalhamento (τ), o módulo de elasticidade transversal (G), a força aplicada (P), a rigidez inicial ou elástica (k_e), a energia dissipada (A), a ductilidade (μ). IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (Tabela 6. 1)

Tabela 6. 1 – Comparação entre os resultados (valores máximos ou valores médios*).

Autores	t_{OSB} (mm)	D_c (mm)	$M_r /$ $P_{CP} /$ E_e	S_b (MPa)	E (GPa)	τ (MPa)	G (MPa)	P (kN)	k_e (kN/ mm)	A (kN.m m)	μ	
Mendes* (2001)	15	-	E_T	49,13	4,80	-	-	-	-	-	-	
			E_L	62,37	6,77							
Okasha* (2004)	11	254x25,4	-	-	-	9,09	925	-	-	-	-	
		-	M_L			-	-	3,52	5	-	-	
	12,5	-	-			-	-	-	-	-	23	
	15,5	-	-			-	-	-	-	-	31,9	
Thomas* (2004)	18	-	E_T	-	1,53	-	-	-	-	-	-	
			E_L		3,01							
		225x100	E_T		-							60,40
			E_L		-							71,98
Dias <i>et al.</i> * (2004)	12	610x610	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	18		-		-							1730,30
	12		E_T		-							1806
					2,43							

Autores	t_{OSB} (mm)	D_c (mm)	$M_f / P_{CP} / E_e$	S_b (MPa)	E (GPa)	τ (MPa)	G (MPa)	P (kN)	ke (kN/mm)	A (kN.m m)	μ		
	18		E_L		5,46								
			P_V		4,47								
			E_T		2,72								
			E_L		5,87								
			P_V		4,84								
Boudreault * (2005)	11,1	254x25,4	E_L	-	-	9,05	-	-	-	-	-		
			E_T			9,14							
			E_L			-	473						
			E_T			-	530						
Blais* (2006)	9	254x25,4	-	-	-	9,04	1096	-	-	-	-		
Fiorino et al. (2007)	9,5	-	M_L	-	-	-	-	-	2,05	14	22,2		
Okino et al. * (2008)	12	-	E_L	72,5	9,56	-	-	-	-	-	-		
			E_T	36,2	4,21								
Vieira e Schafer* (2009)	11,1	-	-	-	-	-	-	2,98	1,45	-	-		
Bastos* (2009)	17 Fo.	-	-	35,04	5,90	24,68	5938,27	-	-	-	-		
	17 Pl.			34,39	5,60	-	-						
IPT* – LP (2012)	11,1	-	E_L	38,5	5,09	-	-	-	-	-	-		
			E_T	22,4	2,49								
Peterman et al.* (2014)	11,1	-	-	-	-	-	-	2,20	2,04	-	-		
Alldritt et al.-ASCE* (2014)	13,3	-	-	28,43	9,53	9,5	1520	-	-	-	-		
Iuorio et al*. (2014)	9	254x25,4	E_L	-	-	7,62	1156	-	-	-	-		
	18	-	M_T			-	-	-	-	3,17	-	21,72	17,5
			M_L			-	-	-	-	-	2,03	-	-
Ye et al. * (2016)	18	-	E_L	-	-	-	-	2,14	-	-	4,11		
Júnior et al. * (2016)	15	-	E_L	48,6	6,65	-	-	-	-	-	-		
			E_T	18,56	2,02								
Plenzler et al. * (2017)	18	-	E_L	-	5,15	-	2263	-	-	-	-		
Datchoua* (2018)	9,5	-	E_L / P_H	29,86	5,16	-	-	-	-	-	-		
			E_L / P_V	22,7	3,44								
			E_T / P_H	20,93	2,70								
			E_T / P_V	19,33	1,71								
	11,1	-	E_L / P_H	30,11	5,61	-	-	-	-	-	-		
			E_L / P_V	21,08	3,23								
			E_T / P_H	17,75	2,37								
			E_T / P_V	14,98	1,58								

Autores	t_{OSB} (mm)	D_c (mm)	$M_f / P_{CP} / E_e$	S_b (MPa)	E (GPa)	τ (MPa)	G (MPa)	P (kN)	ke (kN/mm)	A (kN.m m)	μ		
	9,5	67,95x10	E_L / M_T	-	-	13,66	36,48	-	-	-	-		
		72,3x10	E_T / M_L			13,23	45,62						
		71x10,02	E_L / M_E			5,74	7,07						
	11,1	66,1x12	E_L / M_T			12,16	31,27						
		71,8x12	E_T / M_L			11,47	39,56						
		71,2x12	E_L / M_E			4,07	4,88						
	9,5	-	E_L / M_L			1,81	1,42					13,46	8,48
						1,86	1,19					12,88	6,75
						1,58	1,23					7,91	5,23
						1,81	1,60					14,09	10,1
			E_L / M_L			1,99	1,66					17,33	11,5
						2,08	2,82					17,01	14,5
						1,97	4,05					9,88	14,6
						2,10	2,63					20,44	18,5
			E_L / M_T			0,73	0,24					2,23	1,60
						0,73	0,53					1,00	2,26
						0,66	0,19					1,69	1,23
						0,70	0,25					2,37	2,38
	11,1	-	E_L / M_L			1,85	1,30					13,48	7,32
						1,75	1,25					15,71	9,37
						1,79	1,27					13,07	7,68
						1,77	0,86					14,98	6,00
			E_L / M_L			1,94	3,53					10,27	10,8
						2,21	3,65					17,49	19,6
						2,11	4,10					16,72	18,3
						2,18	2,27					22,09	14,9
			E_L / M_T			0,65	0,29					1,44	1,96
						0,65	0,33					1,44	2,16
						0,81	0,21					4,36	1,86
						0,69	0,25					3,22	3,81

Na presente pesquisa, os maiores valores médios da tensão de ruptura (S_b) e do módulo de elasticidade longitudinal (E), respectivamente iguais a 30,11 MPa e 5,61 GPa, foram obtidos com os corpos de prova extraídos na direção do eixo longitudinal dos painéis de OSB com 11,1 mm de espessura nominal e ensaiados na posição horizontal (M1 S3-B-L-H). Os valores dos seus C_v foram respectivamente iguais a 20,22 % e 15,37 % (Tabela 3.11).

O maior valor médio da tensão de cisalhamento (τ), igual a 13,66 MPa, foi obtido a partir dos corpos de prova extraídos na direção do eixo longitudinal dos painéis de OSB com 9,5 mm de espessura nominal e com aplicação da força paralelamente ao eixo transversal do painel original de OSB (S1-1-A-L-T). O maior valor médio do módulo de elasticidade transversal (G), igual a

45,62 MPa, foi obtido a partir dos corpos de prova extraídos na direção do eixo transversal dos painéis de OSB com 9,5 mm de espessura nominal e com aplicação da força paralelamente ao eixo longitudinal do painel original de OSB (S1-2-A-T-L). Os valores dos seus C_v foram respectivamente iguais a 9,36 % e 17,32 % (Tabela 4. 9).

Os maiores valores médios, por ligação, da força máxima ($P_{m\acute{a}x}$) e da ductilidade (μ), respectivamente iguais a 2,21 kN e 19,62, foram obtidos a partir dos corpos de prova com um montante de 0,80 mm como espessura nominal sobre o qual foram fixadas dois painéis de OSB de 11,1 mm como espessura nominal com parafusos autobrocantes e auto-atarraxantes espaçados axialmente entre si de 300 mm e carregados paralelamente ao montante (M2 S8-M1-B-0,80-140-300). Os valores dos seus C_v foram respectivamente iguais a 1,96 % e 61,58 % (Tabela 5. 28).

O maior valor médio, por ligação, da rigidez inicial ou elástica (k_e), igual a 4,10 kN/mm, foi obtido a partir dos corpos de prova com um montante de 0,95 mm como espessura nominal sobre o qual foram fixadas dois painéis de OSB de 11,1 mm como espessura nominal com parafusos autobrocantes e auto-atarraxantes espaçados axialmente entre si de 150 mm e carregados paralelamente ao montante (M2 S9-M1-B-0,95-140-150). O valor do seu C_v foi igual a 100,24 % (Tabela 5. 28).

O maior valor médio, por ligação, da energia dissipada (A), igual a 22,09 kN.mm, foi obtido a partir dos corpos de prova com um montante de 0,95 mm como espessura nominal sobre o qual foram fixadas dois painéis de OSB de 11,1 mm como espessura nominal com parafusos autobrocantes e auto-atarraxantes espaçados axialmente entre si de 300 mm e carregados paralelamente ao montante (M2 S10-M1-B-0,95-140-300). O valor do seu C_v foi igual a 13,76 % (Tabela 5. 28).

Na Tabela 6. 1, considerando apenas as pesquisas referenciadas, pode-se observar que os maiores valores médios de S_b e de E , respectivamente iguais a 72,50 MPa e 9,56 GPa, foram obtidos por Okino *et al.* (2008) com os corpos de prova extraídos na direção do eixo longitudinal dos painéis OSB. Esses valores foram respectivamente superiores de 140,78 % e de 70,41 % aos valores obtidos na presente pesquisa. Esses autores fabricaram seus próprios painéis com espessura nominal de 12 mm, o que minimiza a confiabilidade comparativa entre os seus resultados e aos resultados da presente pesquisa.

Os valores de S_b e de E , respectivamente iguais a 38,50 MPa e 5,09 GPa, foram obtidos por IPT (2012) com os corpos de prova extraídos na direção do eixo longitudinal dos painéis de OSB fabricados pela empresa LP. O valor de S_b foi superior de 27,86 % ao valor obtido na presente pesquisa enquanto o valor de E da presente pesquisa foi superior de 10,22 % ao valor obtido por IPT (2012). Essa comparação é mais confiável pelo fato os painéis usados na presente pesquisa terem sido fabricados pela empresa LP.

Os maiores valor de τ e de G , respectivamente iguais a 24,68 MPa e 5.938,27 MPa, foram obtidos por Bastos (2009). Esses valores foram respectivamente superiores de 80,67 % e de 12.916,81 % aos valores obtidos na presente pesquisa. O maior valor de τ obtido na presente pesquisa está próximo aos valores obtidos pelos outros autores citados na Tabela 6. 1. O maior valor de G , igual a 71,98 MPa, obtido por Thomas (2004), com corpos de prova extraídos na direção do eixo longitudinal dos painéis de OSB com 18 mm de espessura, foi superior de 57,78 % ao valor médio máximo de G obtido na presente pesquisa com painéis de 9,5 mm de espessura nominal.

Os maiores valores médios de $P_{m\acute{a}x}$ e de k_e , respectivamente iguais a 3,52 kN e 5 kN/mm, foram obtidos por Okasha (2004) com painéis de OSB de 11 mm de espessura nominal. Esses valores foram respectivamente superiores de 59,28 % e de 21,95 % aos valores obtidos na presente pesquisa com painéis de 11,1 mm.

O maior valor médio de A , igual a 31,90 kN.mm, foi obtido por Okasha (2004) a partir dos corpos de prova com força aplicada paralelamente ao eixo longitudinal do painel de OSB com 15,5 mm como espessura nominal. Esse valor foi superior de 44,41 % ao valor obtido na presente pesquisa com painéis de 11,1 mm e com o mesmo modo de carregamento.

O maior valor médio de μ , igual a 23, foi obtido por Okasha (2004) a partir dos corpos de prova com força aplicada paralelamente ao eixo longitudinal do painel de OSB com 12,5 mm como espessura nominal. Esse valor foi superior de 17,23 % ao valor obtido na presente pesquisa com painéis de 11,1 mm e com o mesmo modo de carregamento.

6.2 Recomendações e Sugestões para Estudos Futuros

- i) Executar ensaios de cisalhamento, com painéis de OSB com 9,5 e 11,1 mm de espessura nominal, seguindo as prescrições de um dos métodos da norma americana ASTM

D2719-13 a fim de comparar os valores do módulo de elasticidade transversal com os valores obtidos na presente pesquisa. Nesta fase, também executar ensaios complementares com corpos de prova extraídos na direção do eixo transversal e cisalhados em relação à espessura (modelo M4 S2-4-B-T-E).

- ii) Determinar o coeficiente de Poisson dos painéis OSB.
- iii) Executar ensaios com os perfis de aço de 1,25 mm de espessura nominal a fim de comparar o comportamento da ligação com os resultados obtidos na presente pesquisa.
- iv) Melhorar o modo de fabricação dos perfis caixas no topo de todos os corpos de prova com um montante a fim de evitar a ruptura desses mesmos por plastificação do mesmo montante.
- v) Fabricar todos os corpos de prova reforçando o topo de todos os montantes com perfil do tipo caixa.
- vi) Automatizar todas as máquinas de ensaio para que a velocidade de aplicação da força possa ser garantida durante os ensaios aumentando a confiabilidade dos resultados.
- vii) Determinar as propriedades mecânicas dos perfis de aço usados na presente pesquisa.

7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISI – Steel Framing Alliance, *Effect of Anchorage and Sheathing Configuration on the Cyclic Response of Long Steel-Frame Shear Walls*. Research report RP00-6. Revision 2007.

ALLDRITT, Kenton; SINHA, Arijit; MILLER, Thomas H., *Designing a strand orientation pattern for improved shear properties of oriented strand board*. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 26, n. 7, p. 04014022, 2014. (American Society of Civil Engineers - ASCE)

American Iron and Steel Institute - AISI S917-17, *Test Standard for Determining the Fastener-Sheathing Local Translational Stiffness of Sheathed Cold-Formed Steel Assemblies*.

American Society for Testing and Materials - ASTM D3043-00 (2011), *Standard Test Methods for Structural Panels in Flexure*, ASTM International, West Conshohocken, USA.

American Society for Testing and Materials - ASTM D2719-13, *Standard Test Methods for Structural Panels in Shear Through-the-Thickness*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

American National Standard – ANS. *Matformed wood particleboard: specification ANSI/A 208.1.1993*. Gaithersburg: National Particleboards Association, 1993. 9p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais*. NBR 15253, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização*. NBR 6355, 2012.

BASTOS, E. F., *Caracterização física e mecânica de painel de OSB do tipo FORM*. Dissertação de Mestrado. 2009. 113p. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas, Brasil.

BLAIS, C., *Testing and Analysis of Light Gauge Steel Frame / 9 mm OSB Wood Panel Shear Walls*. Dissertação de Mestrado. 2006. 300p. Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montréal, Que.

BOUDREAULT, F. A., *Seismic analysis of steel frame/wood panel shear walls*. M. Eng. 2005. 169p. Tese de Doutorado. thesis, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montréal, Que.

BREDEL, Daniel, *Performance capabilities of light-frame shear walls sheathed with long OSB panels*. 2003.

CORNER, S. M. W.; *Screw-Fastened Cold-Formed Steel-to-Steel Shear Connection Behavior and Models*. 2014. Tese de Doutorado. Virginia Tech.

DIAS, G. L.; Santos, A. C. dos; Lima, A. L.; Szücs, C. A., *Determinação de propriedades mecânicas do OSB*. IX ENCONTRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, v. 9, p. 51, 2004. Cuiabá, Brasil.

DESIGN, ECCS Seismic, *Recommended Testing Procedure for Assessing the Behavior of Structural Steel Elements Under Cyclic Loads*. Tech. Comm. 1-Structural Safety and Loadings, TTVGL3-Rep. (ECCS-1985: European Convention for Construction Steelwork).

European Committee for Standardization, *Timber structures - Test methods - Racking strength and stiffness of timber frame wall panels*. EN, BS594: 1996.

FIORINO, L.; DELLA CORTE, G.; LANDOLFO, R., *Experimental tests on typical screw connections for cold-formed steel housing*. Engineering Structures, v. 29, n. 8, p. 1761-1773, 2007.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, *Relatório Técnico 126 416 – 205, Ensaios em Chapas OSB – LP Brasil*. 2012. 7p. Centro de Tecnologia de Recursos Florestais – Laboratório de Madeira e Produtos Derivados.

IUORIO, O.; FIORINO, L.; LANDOLFO, R.; *Testing CFS structures: The new school BFS in Naples*. Thin-walled structures, v. 84, p. 275-288, 2014.

JÚNIOR, J. B. G.; MENDES, R. F., GUIMARÃES, I. L., LISBOA, F. N., DE PAULA PROTÁSIO, T., MENDES, L. M., *Qualidade de painéis OSB (Oriented Strand Board)*

produzidos com a madeira de clones de Eucalyptus urophylla. Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science), v. 7, n. 3, 2017.

MENDES, L. M., *Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)*. 2001. 156p. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

OKASHA, A. F., *Performance of steel frame/wood sheathing screw connections subjected to monotonic and cyclic loading*. Dissertação de Mestrado. Department of Civil Engineering and Applied Mechanics. McGill University, Canada, 2004. 104p.

OKINO, E. Y. A.; TEIXEIRA, D. E.; DE SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; DE SOUSA, M. E., *Propriedades de chapas OSB de Eucalyptus grandis e de Cupressus glauca - Physico-mechanical properties of oriented strand boards of Eucalyptus grandis and Cupressus glauca*. SCIENTIA FORESTALIS - Sci. For., Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 123-131, 2008.

PETERMAN, K. D.; NAKATA, N.; SCHAFER, B. W., *Hysteretic characterization of cold-formed steel stud-to-sheathing connections*. Journal of Constructional Steel Research, v. 101, p. 254-264, 2014.

PLENZLER, R.; LUDWICZAK-NIEWIADOMSKA, L.; STRZELECKI, P., *Elastic and Strength Properties of OSB Layers*. Drvna industrija: Znanstveni časopis za pitanja drvne tehnologije, v. 68, n. 1, p. 3-9, 2017.

POSSAS, L. de C.; *Análise Experimental sobre a Força Resistente e o Comportamento da Ligação entre o Perfil de Aço e as Painéis de OSB com Parafuso Auto-Atarraxante no Sistema Light Steel Framing*. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 73, 2015.

RODRIGUES, F.C., *Steel Framing: Engenharia*. 2ª edição revisada. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia - Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2016. 224p.

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.

THOMAS, W. H., *Planar shear moduli of rigidity of an oriented strand board from bending and shear tests*. Materials and structures, v. 37, n. 7, p. 480-484, 2004.

VAGH, S.; DOLAN, D.; EASTERLING, S., *Effect of anchorage and sheathing configuration on the cyclic response of long steel-frame shear walls*. 2007. (AISI Research Report RP00-6 – Revision 2007).

VIEIRA, L. C. M.; SCHAFER, B. W., *Experimental results for translational stiffness of stud-sheathing assemblies*. AISI-COFS supplemental report, 2009.

VILLELA, S.M., *Determinação das Propriedades Mecânicas dos painéis de OSB e do Comportamento da Ligação entre os painéis de OSB e o Reticulado de Aço do Sistema Light Steel Framing*. Dissertação de Mestrado. 2015. 177p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas - Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

YE, Ye; WANG, Xingxing; ZHAO, Mengyuan, *Experimental study on shear behavior of screw connections in CFS sheathing*. Journal of Constructional Steel Research, v. 121, p. 1-12, 2016.

APÊNDICE A

SCRIPT E CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE ENSAIO

A.1 Script de ensaio dos corpos de prova

Este script foi feito a partir da edição de um dos scripts encontrado no programa. Para isso, foi preciso: - ligar a máquina de carregamento; - ligar o computador; - abrir o *software* Tesc 3.04; - em Método, escolher o script a ser editado; - em Arquivo, escolher Novo e preencher a janela Identificação da Amostra e clicar em *Ok*; - em Método, escolher Script de ensaio e editar conforme desejar. Para esta pesquisa, o script usado foi detalhado abaixo conforme linhas nº. 1 a 91.

Para o ensaio dos corpos de prova na posição vertical (corpos de prova do modelo M2), o limite de deslocamento ou deformação, linha nº. 63, foi estabelecido como 15 mm em caso de não aborto do ensaio. Para o ensaio dos corpos de prova na posição horizontal (corpos de prova do modelo M1), esse limite foi alterado para 35 mm (corpos de prova das séries S1 e S3), para 20 mm (corpos de prova da série S4) e para 15 mm (corpos de prova da série S2).

```
>>>>> Programa Tesc - Esboço de Script
>>>>> Método Flexão_3 pontos_OSB_Stéphane
>>>>> Data: 02/02/19
```

```
1 ***Variáveis de entrada
2 CP -> "CP", "", Ent, Res, Rel, Edi
3 t_OSB -> "Espessura do CP", 9.5 mm, Ent, Res, Rel, Edi
4 l -> "Largura do CP", 50.00 mm, Ent, Res, Rel, Edi
5 lf -> "Vão", 228 mm, Ent, Res, Rel, Edi
6 Pmáxp -> "Força maxima prevista (N)", 0.00 N, Ent, Res, Edi
7 N -> "velocidade de ensaio (mm/min)", 1.3680 mm/min, Ent, Res, Edi
```

8

9***Variáveis atribuíveis

10 S -> "Área", mm2, Res

11 Tr -> "Tensão Ruptura", MPa, Res, Rel

12 E -> "Mód. Elast. Long.", MPa, Res, Rel

13 Pmáx -> "Força Máxima", N, Res, Rel

14 P1 -> "0.1Pmáx", N, Res

15 P2 -> "0,5Pmáx", N, Res

16 d1 -> "d1->P1", mm, Res

17 d2 -> "d2->P2", mm, Res

18

19 ***Reta

20 Reta -> "", Vis

21

22 ***Mensagens

23 M1 -> INÍCIO DO ENSAIO

24 Fim de Curso -> FIM DE CURSO ATINGIDO ENSAIO ABORTADO

25 M2 -> FIM DO ENSAIO

26 LimForça -> LIMITE DE FORÇA ATINGIDO ENSAIO ABORTA...

27 Início desloc -> INÍCIO DE CONTROLE DO DESLOCAMENTO

28 Lim desloc -> LIMITE DE DESLOCAMENTO ATINGIDO

29

30 ***Eventos

31 @Colapso -> "", Vis

32 @Pmáx -> "", Vis

33 @P1 -> "", Vis

34 @P2 -> "", Vis

35

36 ***Atribuições

37 SIS_COMPR_BASE = COMPR_BASE_EQV_FLEX_3PTS(t_OSB; lf)

38 @Colapso = @COLAPSO(10.00 %)

39 @Pmáx = @FORÇA_MAX()

40 Pmáx = FORÇA(@Pmáx)

41 P1 = AX+B(Pmáx; 10.00 %; ***)

42 P2 = AX+B(Pmáx; 50.00 %; ***)

43 @P1 = @FORÇA(P1)

44 @P2 = @FORÇA(P2)

45 d1 = DEFORM(@P1)

46 d2 = DEFORM(@P2)

47 SIS_ÁREA = ÁREA_EQV_FLEX_3PTS(t_OSB; l; lf)

48 SIS_ÁREA = CÓPIA(S)

49 Tr = TENSÃO(@Pmáx)

50 Reta = RETA_SECANTE(@P1; @P2)

51 E = MÓDULO(Reta)

52

53 ***Comandos

54 SALVAR_POSIÇÃO_INICIAL()

55 AJUSTAR_DEFORM(0.0000 mm)

56 AJUSTAR_FORÇA(0.0000 N)

57 BIP(0.0000)

58 DISPARAR_MENSAGEM(M1; 3.000 s)
59 MOV_ATÉ___A___(Pmáxp; 10.00 N/s)
60 AGUARDAR_CHEGADA()
61 PARAR_SUAVEMENTE()
62 DISPARAR_MENSAGEM(Início desloc; 3.000 s)
63 ATIVAR_LIMITE_DEFORM(15.00 mm)
64 ATIVAR_LIMITE_FORÇA(2000 kgf)
65 DESCER_COM_VELOC_CONST(N)
66 AGUARDAR_CHEGADA()
67 BIP(-1.000)
68 DISPARAR_MENSAGEM(Fim de Curso; 3.000 s)
69 RETORNAR_POSIÇÃO_INICIAL(200.0 mm/min)
70 FINALIZAR_ENSAIO()
71
72 EM_LIMITE_DEFORM()
73 PARAR_ABRUPTAMENTE()
74 BIP(0.0000)
75 DISPARAR_MENSAGEM(Lim desloc; 3.000 s)
76 RETORNAR_POSIÇÃO_INICIAL(200.0 mm/min)
77 FINALIZAR_ENSAIO()
78
79 EM_RUPTURA/COLAPSO()
80 PARAR_ABRUPTAMENTE()
81 BIP(2.000)
82 DISPARAR_MENSAGEM(M2; 20.00 s)
83 RETORNAR_POSIÇÃO_INICIAL(200.0 mm/min)
84 FINALIZAR_ENSAIO()
85
86 EM_LIMITE_FORÇA()
87 PARAR_ABRUPTAMENTE()
88 BIP(-2.000)
89 DISPARAR_MENSAGEM(LimForça; 20.00 s)
90 RETORNAR_POSIÇÃO_INICIAL(200.0 mm/min)
91 FINALIZAR_ENSAIO()

A.2 – Calibração das células de força e do DT01

Após o vencimento de altura com o posicionamento dos cilindros e barras de aço, foi preciso:

- ligar a máquina de carregamento;
- ligar o computador;
- abrir o *software* Tesc 3.04;
- em Exibir, escolher Indicador Digital;
- no painel da máquina, clicar em 2ª função e retorno (fim de curso), descer a máquina até a célula encostar, sem aplicação de força, no conjunto de aço empilhado usado para vencer a altura de segurança;
- em Indicador Digital, zera a força (N) e o Deslocamento (mm);
- ligar o laptop e o Spider8;
- abrir o *catman* 4.5;
- selecionar *professional*;
- clicar em start;
- duplo clicar em *I/O definitions*;
- na tela *I/O Channe definition <NONAME.IOD>*, clicar em *Device Scan* para localizar o porte no qual foi conectado o Spider8;
- renomear os canais sobre os quais foram conectados o DT e a célula de força sem esquecer de substituir *Device_1* por *Spider_8*;
- na coluna *Scaling*, escolher o equipamento a ser calibrado e, com o botão direito do mouse, clicar e selecionar *User* para abrir a tela de calibração (*Define user scaling <nome do equipamento selecionado>*). Para a célula foi inserido “N” como unidade de medida. Com o deslocamento no valor de 0, digitou-se o valor 0 N na primeira linha da coluna esquerda e clicou-se em *Measure* para vincular esse mesmo ao valor de “mV/V” corresponde (ligação em ponte completa).

Para o ensaio dos corpos de prova do modelo M2 a célula de força com capacidade máxima de 50.000 N (5 tf), os valores de 4.400 N, 7.800 N, 12.250 N, 17.880 N, 24.500 N, 31.650 N e 39.200 N foram inseridos seguindo o mesmo procedimento da inserção do valor 0 N. A unidade da caixa *Software zero* será automaticamente alterada para corresponder a unidade de medida escolhida somente após de ter clicado em *Ok* para finalizar a calibração. Para o DT foi inserido “mm” como unidade de medida. Depois de ter estabelecido a haste do equipamento no valor 0, digitou-se o valor 0 na primeira linha da coluna esquerda e clicou-se em *Measure* para vincular esse mesmo ao valor de “mV/V” corresponde (ligação em ponte completa). Os valores de 20 mm, 40 mm, 60 mm, 80mm e 100 mm foram inseridos seguindo o mesmo procedimento do valor de 0 mm e clicou-se em *Ok* para finalizar a calibração.

Para o ensaio dos corpos de prova do modelo M1 a célula de força com capacidade máxima de 20.000 N, os valores de 200 N, 410 N, 1.050N, 2.350 N, 3.700 N, 4.200 N, 4.600 N, 6.700 N, 12.200 N, 15.500 N e 18.850 N foram inseridos.

Antes de iniciar o carregamento do CP, precisou-se ligar o laptop junto com o Spider8, configurar o *Catman* para o monitoramento e aquisição dos dados do ensaio. Para efetuar a configuração desse *Catman*, foi preciso: - abrir o *catman* 4.5; - selecionar *Professional* e clicar em *Start*; - duplo clicar em *I/O definitions*; - na janela *IO-Channels <NONAME.INS>*, clicar em *File, Open*, escolher o arquivo da calibração que foi feita e clicar em *Abrir*; - verificar se todos os dispositivos conectados no *Spider8* estão com *OK* clicando sobre o quinto ícone da barra de ferramenta *I/O channels*; - clicar em *catModules, Measuring e Data logger*; - em *Measurement settings*, inserir 10 Hz; - em *Visualization window*, escolher *y(x) Real-time graph* e clicar em *Run*; - com o botão direito do mouse, clicar sobre o gráfico e selecionar *Data sources*; - na janela *Configure 2D Scientific Graph (y(x)-Real-time)*, selecionar DT01 para *X Data Source* e para *Y Data Source*, Força 50.000 ou 20.000 N em *layer1 (left Y-Axis)*, clicar em *Add data plot*; - clicar em *Apply e OK*; - verificar se no eixo X tem-se DT01 e no eixo Y, Força 50.000 ou 20.000 N; - clicar em *Update*; - abrir o *software* Tesc 3.04; - em *Método*, escolher o script do ensaio; - em *Arquivo*, escolher *Novo* e preencher a janela *Identificação da Amostra* e clicar em *Ok*; - em *Exibir*, escolher *Indicador Digital*; - em *Método*, escolher *Gráfico* e editar os valores máximos de força e deslocamento que aparecerão na plotagem do gráfico durante o andamento do ensaio e clicar em *OK*; - em *Ensaio*, escolher *Comandar Ensaio*; - em *Inserir/Editar entradas*, editar os dados do CP como número, espessura, largura, vão e velocidade de carregamento e clicar em *OK*; - no painel da máquina, clicar em 2ª função e *Retorno (Fim de Curso)*; - no *catman*, clicar na seta verde (*Start data acquisition*) para iniciar a aquisição dos dados do ensaio; - no Tesc, em *Ensaio*, clicar em *Comandar Ensaio* para que a máquina inicie a sua descida aplicando a força de flexão no CP. A máquina, após atingir o deslocamento limite depois da ruptura do CP, o ensaio era parado automaticamente e essa mesma voltava à sua posição inicial conforme programado no script.

Depois de a máquina voltar à posição inicial, a aquisição dos dados pelo *catman* era parada clicando no ícone vermelho (*Stop data acquisition*). Em seguida, foi preciso salvar os dados do *catman* clicando em *Export data to file*, com *catman* selecionado, digitar a data completa e o modelo junto com a nomenclatura e o CP ensaiado em *File comment*; selecionar *Microsoft Excel*; em *Channels to be exported*, selecionar *Time Spider8, DT01 e Força 50.000 ou 20.000 N*; digitar o modelo, a série e o CP em *File name*; escolher a pasta de destino e clicar em *OK* para finalizar o registro e exportação dos dados. Antes de fechar o *Data logger* ou ensaiar o próximo CP, verificar sempre se os dados foram exportados abrindo o arquivo salvo na pasta de destino e checar se todos os canais selecionados foram salvos corretamente. Para efetuar

continuamente os ensaios sem necessidade de reiniciar o *catman*, na janela *Data logger*, clicar no *X* de *Samples in database* para não superpor os dados.

No Tesc, os dados eram salvados clicando em Utilitários, escolher Exportar curva, selecionar a pasta de destino e clicar em *OK* para finalizar o registro e exportação dos dados no formato “.txt”. Além disso, o relatório de ensaio era salvo em formato “.pdf” clicando em Arquivo, Imprimir, escolher a pasta de destino e clicar em *OK*.

A.3 – Calibração da bomba hidráulica e dos LVDT’s 0 e 1

Para efetuar essa calibração foi preciso: - ligar o computador e o Spider8; - abrir o *catman* 4.5; - selecionar *professional*; - clicar sobre start; - duplo clicar em *I/O definitions*; - na tela *I/O Channe definition <NONAME.IOD>*, clicar em *Device Scan* para localizar o porte no qual foram conectados os Spider8; - renomear os canais sobre os quais foram conectados os LVDT’s e os transdutores de pressão das bombas sem esquecer de substituir *Device_1* por *Spider_8*; - na coluna *Scaling*, escolher o equipamento a ser calibrado e, com o botão direito do mouse, clicar e selecionar *User* para abrir a tela de calibração (*Define user scaling <nome do equipamento selecionado>*).

Para a bomba da força cisalhante foi inserido “kgf” como unidade de medida. Depois de ter estabelecido o ponteiro principal do extensômetro no valor 0 (0 divisão), digitou-se o valor 0 na primeira linha da coluna esquerda e clicou-se em *Measure* para vincular esse mesmo ao valor de “mV/V” corresponde (ligação em ponte completa). Os valores de 445 kgf (5 divisões), 890 kgf (10 divisões) e 1.335 kgf (15 divisões) foram inseridos seguindo o mesmo procedimento de inserção do valor 0. A unidade da caixa *Software zero* será automaticamente alterada para corresponder a unidade de medida escolhida somente após de ter clicado em *Ok* para finalizar a calibração.

Para a bomba da força vertical foi inserido “kgf” como unidade de medida. Depois de ter estabelecido o ponteiro principal do extensômetro no valor 0 (0 divisão), digitou-se o valor 0 na primeira linha da coluna esquerda e clicou-se em *Measure* para vincular esse mesmo ao valor de “V” corresponde (ligação em *dc voltage*). Os valores de 356 kgf (4 divisões), 712 kgf (8 divisões) e 890 kgf (10 divisões) foram inseridos seguindo o mesmo procedimento de inserção

do valor 0. A unidade da caixa *Software zero* será automaticamente alterada para corresponder a unidade de medida escolhida somente após de ter clicado em *Ok* para finalizar a calibração.

Para os LVDT's foi inserido "mm" como unidade de medida. Depois de ter estabelecido a haste do equipamento no valor -100 mm, digitou-se o valor -100 na primeira linha da coluna esquerda e clicou-se em *Measure* para vincular esse mesmo ao valor de "V" corresponde (ligação em *dc voltage*). Os valores de 0 e 100 mm foram inseridos seguindo o mesmo procedimento de inserção do valor -100 mm e clicou-se em *Ok* para finalizar a calibração.

Com a calibração finalizada, antes de iniciar o carregamento do CP, precisou-se ligar o computador junto com o *Spider8* e configurar o *Catman* para o monitoramento do ensaio. Para efetuar a configuração desse *Catman*, foi preciso: - abrir o *Spider8*; - *Spider 32 Steup* – interface – COM2 – *Ok*; - em canal 0, 1, 2 e 4, colocar respectivamente LVDT0, LVDT1, força vertical (ligação em *Trans.-dc votage*) e força cisalhante (ligação em *Full bridge*); - fechar a janela; - abrir o *catman 4.5*; - selecionar *Professional* e clicar em *Start*; - duplo clicar em *I/O definitions*; - na janela *IO-Channels <NONAME.INS>*, clicar em *File, Open*, escolher o arquivo (Setup Cisalhamento) da calibração que foi feita e clicar em *Abrir*; - verificar se todos os dispositivos conectados no *Spider8* estão com *OK* clicando sobre o quinto ícone da barra de ferramenta *I/O channels*; - clicar em *catModules, Measuring e Data logger*; - em *Measurement settings*, inserir 10 Hz; - em *Visualization window*, escolher *y(x) Real-time graph* e clicar em *Run*; - com o botão direito do mouse, clicar sobre o gráfico e selecionar *Data sources*; - na janela *Configure 2D Scientific Graph (y(x)-Real-time)*, selecionar LVDT0 para *X Data Source* e para *Y Data Source*, selecionar a força vertical em *layer1 (left Y-Axis)*, clicar em *Add data plot*, selecionar a força cisalhante em *layer2 (left Y-Axis)* clicar em *Add data plot* e, seguida, selecionar LVDT1 em *layer3 (left Y-Axis)*, e clicar novamente em *Add data plot*; - clicar em *Apply e OK*; - verificar se no eixo X tem-se LVDT0 e no eixo Y, LVDT1, as forças cisalhante e axial; - clicar em *Update*; - e clicar na seta verde (*Start data acquisition*) para iniciar a aquisição dos dados do ensaio. Depois da aquisição dos dados, o ensaio era finalizado clicando no ícone vermelho (*Stop data acquisition*) após o decréscimo da força cisalhante (resultante) de 50 % do seu valor máximo. Em seguida, salvou-se os dados clicando em *Export data to file*, com *catman* selecionado, digitar a data completa e o modelo junto com a nomenclatura e o CP ensaiado em *File comment*; selecionar *Microsoft Excel*; em *Channels to be exported*, selecionar *Time Spider8, LVDT0, LVDT1, a força vertical e a força cisalhante*; digitar a série, o modelo e o CP em *File name*; escolher a pasta de destino e clicar em *OK* para finalizar o registro e exportação dos dados.

Antes de fechar o *Data logger* ou ensaiar o próximo CP, verificar sempre se os dados foram exportados abrindo o arquivo salvo na pasta de destino e checar se todos os canais selecionados foram exportados corretamente.

Para efetuar continuamente os ensaios sem necessidade de reiniciar o *catman*, na janela *Data logger*, clicar no X de *Samples in database* para não superpor os dados.

A.4 – Calibração da bomba hidráulica e dos DT's 01-02-05-06

Para efetuar essa calibração foi preciso: - ligar o laptop e os Spider8; - abrir o *catman* 4.5; - selecionar *professional*; - clicar sobre start; - duplo clicar em *I/O definitions*; - na tela *I/O Channe definition <NONAME.IOD>*, clicar em *Device Scan* para localizar o porte no qual foram conectados os Spider8; - renomear os canais sobre os quais foram conectados os DT's e o transdutor de pressão da bomba sem esquecer de substituir *Device_1* por *Spider_8*; - na coluna *Scaling*, escolher o equipamento a ser calibrado e, com o botão direito do mouse, clicar e selecionar *User* para abrir a tela de calibração (*Define user scaling <nome do equipamento selecionado>*).

Para a bomba foi inserido “kgf” como unidade de medida. Depois de ter estabelecido o ponteiro principal do extensômetro no valor 0 (0 divisão), digitou-se o valor 0 na primeira linha da coluna esquerda e clicou-se em *Measure* para vincular esse mesmo ao valor de “mV/V” corresponde (ligação em ponte completa). Os valores de 534 kgf (6 divisões), 890 kgf (10 divisões), 1.424 kgf (16 divisões), 1.869 kgf (21 divisões), 2.225 kgf (25 divisões) e 2.759 kgf (31 divisões) foram inseridos seguindo o mesmo procedimento de inserção do valor 0. A unidade da caixa *Software zero* será automaticamente alterada para corresponder a unidade de medida escolhida somente após de ter clicado em *Ok* para finalizar a calibração.

Para os DT's foi inserido “mm” como unidade de medida. Depois de ter estabelecido a haste do equipamento no valor 0 mm, digitou-se o valor 0 na primeira linha da coluna esquerda e clicou-se em *Measure* para vincular esse mesmo ao valor de “mV/V” corresponde (ligação em ponte completa). Os valores de 20 mm, 40 mm, 60 mm, 80mm e 100 mm foram inseridos seguindo o mesmo procedimento de inserção do valor 0 e clicou-se em *Ok* para finalizar a calibração.

Com a calibração finalizada, antes de iniciar o carregamento do CP, precisou-se ligar o laptop junto com os *Spider8*, configurar o *Catman* para o monitoramento do ensaio e verificar se o ponteiro do extensômetro está posicionado em zero. Para efetuar a configuração desse *Catman*, foi preciso: - abrir o *catman 4.5*; - selecionar *Professional* e clicar em *Start*; - duplo clicar em *I/O definitions*; - na janela *IO-Channels <NONAME.INS>*, clicar em *File, Open*, escolher o arquivo da calibração que foi feita e clicar em *Abrir*; - verificar se todos os dispositivos conectados nos *Spider8* estão com *OK* clicando sobre o quinto ícone da barra de ferramenta *I/O channels*; - clicar em *catModules, Measuring e Data logger*; - em *Measurement settings*, inserir *2 Hz*; - em *Visualization window*, escolher *y(x) Real-time graph* e clicar em *Run*; - com o botão direito do mouse, clicar sobre o gráfico e selecionar *Data sources*; - na janela *Configure 2D Scientific Graph (y(x)-Real-time)*, selecionar *DT06* para *X Data Source* e para *Y Data Source*, selecionar a bomba hidráulica (Atuador 50 tf) em *layer1 (left Y-Axis)*, clicar em *Add data plot* e, seguida, selecionar *DT01* em *layer2 (left Y-Axis)* e clicar novamente em *Add data plot*; - clicar em *Apply e OK*; - verificar se no eixo X tem-se *DT06* e no eixo Y, *DT01* e *Atuador 50 tf*; - clicar em *Update*; - e clicar na seta verde (*Start data acquisition*) para iniciar a aquisição dos dados do ensaio. Depois da aquisição dos dados, o ensaio era finalizado, sobretudo com os medelos *M1* e *M2*, clicando no ícone vermelho (*Stop data acquisition*) após da desforça completa com o ponteiro do extensômetro na posição inicial zero. Em seguida, salvou-se os dados clicando em *Export data to file*, com *catman* selecionado, digitar a data completa e o modelo junto com a nomenclatura e o CP ensaiado em *File comment*; selecionar *Microsoft Excel*; em *Channels to be exported*, selecionar *Time Spider8, DT's 06/02/01/05* ou *DT's 01/05* dependendo do modelo que foi ensaiado e *Atuador 50 tf*; digitar o modelo, a série e o CP em *File name*; escolher a pasta de destino e clicar em *OK* para finalizar o registro e exportação dos dados. Antes de fechar o *Data logger* ou ensaiar o próximo CP, verificar sempre se os dados foram exportados abrindo o arquivo salvo na pasta de destino e checar se todos os canais selecionados foram exportados corretamente.

Para efetuar continuamente os ensaios sem necessidade de reiniciar o *catman*, na janela *Data logger*, clicar no *X* de *Samples in database* para não superpor os dados.

A.5 – Análise estatística utilizada

Para analisar os dados obtidos matematicamente a partir dos dados de ensaios, utilizou-se alguns métodos de análise estatística como o coeficiente de variação (C_v) e o intervalo de confiabilidade.

O coeficiente de variação foi utilizado para determinar o nível de dispersão dos resultados obtidos a partir dos seus intervalos definidos em porcentagens. Para isso, foi preciso determinar a média dos valores [MÉDIA ($X_a:X_b$)], a sua variância [VARA ($X_a:X_b$)] e o seu desvio padrão (DP) [DESVPADA ($X_a:X_b$)] incluindo essas suas respectivas fórmulas no Excel.

O intervalo de confiabilidade foi determinado com um nível de confiança de 95 % e erro de 5 % em análise bicaudal ou bilateral. Para isso, precisou-se verificar a existência dos valores *outliers* e usar a distribuição t de *Student* para estabelecer os limites de confiabilidade.

Em uma abordagem estatística, um valor *outlier* é um valor que apresenta um grande afastamento dos demais valores. Esse valor pode causar prejuízos na interpretação dos resultados pela alteração do nível de dispersão desses mesmos. Com todas as séries ou modelos dos corpos de prova ensaiados, determinou-se os seus respectivos coeficientes de variação, verificou-se a existência dos valores *outliers* e determinou-se o intervalo de confiabilidade dos seus resultados. Os valores *outliers* foram determinados a partir do método *Box Plot* com os quartis superior (Q3) e inferior (Q1) e sua amplitude interquartil (AIQ = Q3 – Q1). No Excel, o AIQ = QUARTIL.EXC ($X_a:X_b;3$) – QUARTIL.EXC ($X_a:X_b;1$). O limite superior = Q3 + 1,5 AIQ enquanto o limite inferior = Q1 – 1,5 AIQ. Com a presença de valores *outliers*, uma nova média dos valores era calculada a fim de determinar os limites de confiabilidade.

O valor t de *Student* (distribuição t de *Student*), empregado para uma quantidade de corpos de prova inferior a 31 CP's, foi determinado via Excel pela aplicação da fórmula [=INV.T.BC(0,05;grau de liberdade)], sendo que o grau de liberdade = quantidade de corpos de prova (Q_{CP}) – 1 e 0,05 = os 5 % de erro. Assim, os limites superior e inferior do intervalo de confiabilidade eram = $x_m +(-) [DP/(RAIZ(Q_{CP}))]*t$.