



Centro Universitário de Brasília-UniCEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais
Aplicadas-FATECS

JÉSSICA KAROLINI MACEDO DE SANTANA

Matrícula: 21466544

**Análise das Propriedades Físicas e Mecânicas das Placas de OSB Home Plus
com Efeito Diafragma Rígido no Sistema Construtivo em *Light Steel Framing***

JÉSSICA KAROLINI MACEDO DE SANTANA

Análise das Propriedades Físicas e Mecânicas das Placas de OSB Home Plus com Efeito Diafragma Rígido no Sistema Construtivo em *Light Steel Framing*

Monografia apresentada como requisito para a conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília- UniCEUB.

Orientadora: Eng^a Civil Raquel Ferreira Kischlat, MSc.

JÉSSICA KAROLINI MACEDO DE SANTANA

**Análise das Propriedades Físicas e Mecânicas das Placas de OSB Home Plus
com Efeito Diafragma Rígido no Sistema Construtivo em *Light Steel Framing***

Monografia apresentada como requisito
para a conclusão do curso de Bacharelado
em Engenharia Civil pela Faculdade de
Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas
do Centro Universitário de Brasília-
UniCEUB.

Orientadora: Eng.^a Civil Raquel Ferreira
Kischlat, M.Sc.

Brasília-DF, 2018

Banca Examinadora

Eng.^a Civil Raquel Ferreira Kischlat, M.Sc.
Orientadora

Eng.^o Civil Henrique de Paula Faria, M.Sc.
Examinador

Arq.^a Nathalia Coelho Pereira, M.Sc.
Examinadora

Dedico este trabalho as pessoas mais importantes da minha vida, meu pai Domingos F. de Santana, minha mãe Simone Macedo, minha avó Maria do Socorro Macedo da Silva e minha irmã Milena M. de Santana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, ao meu Santo Expedito, ao meu São Judas Tadeu e a minha Santa Rita de Cássia por toda a proteção e resiliência.

À minha família por todo o auxílio, cuidado e amor. Sem vocês ao meu lado, jamais teria chegado aonde cheguei.

Aos amigos e colegas que conquistei por intermédio da faculdade. Em especial, Beatriz Araújo, Emilcy de Paula, Gabriel Haun, Isabela Magalhães, Juliayla Veras e Keila Cardoso. Vocês são pessoas admiráveis e desejo de todo o coração que alcancem cada meta estipulada em suas vidas.

Ao motorista da minha van escolar Alexandre Rodrigues Caetano pelo seu profissionalismo, amizade e dedicação ao longo desses cinco anos.

À minha orientadora Raquel Ferreira Kischlat por todo o empenho e envolvimento durante a construção de cada etapa desse trabalho.

À empresa Zária Arquitetura e Engenharia pelo fornecimento dos perfis metálicos empregados para a realização dos ensaios.

Ao Laboratório de Produtos Florestais – LPF por permitir a utilização de suas dependências. Em especial, agradeço ao professor Dr. Divino Eterno Teixeira, ao técnico João Evangelista Anacleto, a Ediane Andreia Buligon, ao Hugulino de Almeida Dias, ao Luciano Roitman e a equipe de profissionais da carpintaria.

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo o enriquecimento teórico brasileiro acerca da possibilidade de utilização das placas estruturais de OSB (da expressão inglesa *Oriented Strand Board*, em português *Painel de Tiras de Madeira Orientadas*), com efeito diafragma rígido em painéis de parede do sistema construtivo em *Light Steel Framing*. Haja vista, a sua utilização possibilitar uma maior simplicidade na execução dos painéis de paredes e pisos, devido a eliminação das diagonais em aço galvanizado no mesmo lado das placas, conforme citado por Bevilaqua (2005) e a sua eventual contribuição no acréscimo da resistência dos painéis, quando utilizadas como fechamento de paredes externas, uma vez que possuem a capacidade de absorver e transferir para as fundações, os esforços laterais atuantes na estrutura, como exposto no Manual de Arquitetura do CBCA (2012). Com base nesse pressuposto, foram realizados ensaios laboratoriais em placas de OSB Home Plus de 11,1 mm de espessura para determinação de algumas das propriedades físicas e mecânicas, tais como a capacidade de absorção, teor de inchamento, teor de umidade, massa específica aparente, resistência ao arranque de parafusos, resistência à flexão estática e análise quanto ao comportamento das placas de OSB quando associadas por meio de parafusos aos reticulados metálicos de perfis formados a frio de aço galvanizado e submetidos ao ensaio de resistência ao cisalhamento do tipo “*Push-Test*”. Por meio da realização dos ensaios, foram obtidos para a capacidade de absorção e inchamento, teor de umidade, massa específica aparente e resistência à flexão estática, valores coerentes com os apresentados na literatura, ocorrendo apenas para a resistência ao arranque de parafusos, média inferior a estipulada em outros trabalhos. Quando comparados com os valores apresentados pelo fabricante das placas de OSB, o teor de inchamento foi o único que expôs uma discrepância considerável entre os valores alcançados e o apontado no relatório técnico do fabricante. Para a adaptação do ensaio do tipo “*Push-Test*”, os valores encontrados foram incompatíveis com as exigências estipuladas pela norma europeia EN 1994-1-1:2004, sendo necessário a realização de mais ensaios.

Palavras-chaves: Placas de OSB. Efeito Diagrama Rígido. *Light Steel Framing*. Propriedades físicas e mecânicas.

ABSTRACT

The present work had as purpose the brazilian theoretical enrichment about the possibility of applying OSB structural plates (english *expression Oriented Strand Board*, in portuguese *Painel de Tiras de Madeira Orientadas*) as rigid diagram effect in walls panels of constructive system in Steel Framing. Considering that, its use enables a larger simplicity in execution of walls and floors panels, due to elimination of galvanized steel diagonals on the same side of plates, as quoted by Bevilagua (2005), and its eventual contribution on the increase of panels resistance, when used as external walls, since it have the capacity to absorb and transfer to the foundations, the structure lateral efforts, as exposed on CBCA Architecture Manual (2012). Based on this assumption, laboratory tests were realized on 11,1 mm thickness OSB Home Plus plates in order to define some physical and mechanic properties, like the absorption capacity, swelling content, water content, apparent specific mass, resistance to the screw withdrawal, resistance to static bending and analyze about the behavior of OSB plates when associated by means screws to the cold formed steel profile reticulated of galvanized steel and submitted to the shear resistance tests to the "Push-Test" type. By means of the tests, the moisture content, apparent specific mass and static flexural strength were obtained for the absorption and swelling capacity, values consistent with those presented in the literature, occurring only for the resistance to the screw start, lower average as stipulated in other works. When compared to the values presented by the OSB plates manufacturer, the swelling content was the only one that exposed a considerable discrepancy between the values achieved and the one pointed out in the manufacturer's technical report. For the adaptation of the "Push-Test" type test, the values found were incompatible with the requirements of the European standard EN 1994-1-1: 2004, and additional tests are necessary for the classification of its results.

Keywords: OSB plates. Effect Rigid diagram. Light Steel Framing. Physical and mechanic properties.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	METODOLOGIA	17
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1	ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DAS PLACAS DE OSB.....	19
4.2	INCORPORAÇÃO DAS PLACAS DE OSB NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUAS NORMATIZAÇÕES	21
4.3	LIGAÇÕES	22
4.3.1	Modos de Ruptura <i>Pull-Out</i> e <i>Pull-Over</i>	23
4.3.2	Ductilidade.....	24
4.4	ENSAIO DE CISALHAMENTO DO TIPO “ <i>PUSH-TEST</i> ”	26
4.4.1	Estudos realizados por Villela (2015)	27
5	APRESENTAÇÃO DOS ENSAIOS	34
5.1	ENSAIOS FÍSICOS	35
5.1.1	Determinação da Capacidade de Absorção e Teor Inchamento ..	35
5.1.2	Determinação do Teor de Umidade	37
5.1.3	Determinação da Massa Específica Aparente.....	38
5.2	ENSAIOS MECÂNICOS	38
5.2.1	Resistência à Flexão Estática	38
5.2.2	Resistência ao Arranque de Parafusos	42
5.2.3	Ensaio de Cisalhamento do tipo “ <i>Push-Test</i> ”	44
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	50
6.1	ENSAIOS FÍSICOS	51

6.1.1	Determinação da Capacidade de Absorção e Teor de inchamento	51
6.1.2	Determinação do Teor de Umidade	52
6.1.3	Determinação da Massa Específica Aparente.....	53
6.2	ENSAIOS MECÂNICOS	54
6.2.1	Resistência à Flexão Estática	54
6.2.2	Resistência ao Arranque de Parafusos	55
6.2.3	Ensaio de Cisalhamento do tipo “ <i>Push-Test</i> ”	55
7	CONCLUSÃO	66
8	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	68
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
	ANEXOS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-Contraventamento em “X”, com fita de aço galvanizado.....	14
Figura 2-Detalhe da instalação dos parafusos auto-atarraxantes	22
Figura 3-Tipos de pontas dos parafusos auto-atarraxantes	23
Figura 4-Tipos de cabeças dos parafusos auto-atarraxantes	23
Figura 5-Modos de falha tipo pull-out e pull-over	24
Figura 6-Gráfico Carga x Deslizamento – Comportamento de conectores dúcteis ou frágeis	25
Figura 7-Gráfico Carga x Deslocamento- Comportamento de conectores flexíveis e rígidos	25
Figura 8-Esquema do ensaio de três pontos para os CPs cortados na direção longitudinal da placa de OSB	28
Figura 9-Esquema do ensaio de três pontos para os CPs cortados na direção transversal da placa de OSB.....	28
Figura 10-Indicação da posição dos DTs e posição relativa das chapas	30
Figura 11-Sistema de aplicação e controle de força – Anel dinamométrico.....	31
Figura 12-Demonstração da montagem do ensaio	31
Figura 13-Sala de climatização do Laboratório de Produtos Florestais – LPF/SFB..	34
Figura 14-Equipamentos utilizados para determinação da massa e espessura dos CPs	35
Figura 15-Processo de imersão e secagem superficial das amostras	36
Figura 16-Processo de pesagem das amostras	37
Figura 17-Arranjo esquemático da máquina de ensaio	39
Figura 18-Equipamentos utilizados para a realização dos ensaios.....	41
Figura 19-Ensaio de flexão estática no sentido paralelo	42
Figura 20-Ensaio de flexão estática no sentido perpendicular	42
Figura 21-Dimensões e fixação dos parafusos	43
Figura 22-Equipamento de arranque de parafusos na máquina	44
Figura 23-Ilustração do gráfico gerado pelo software da máquina.....	44
Figura 24-Modelo do exemplar utilizados.....	45
Figura 25-Espaçamento entre parafusos	46
Figura 26-Verificação da qualidade dos parafusos fixados no corpo de prova CP1 ..	47

Figura 27-Verificação dos parafusos fixados ao corpo de prova CP2.....	48
Figura 28-Posicionamento de instalação dos LVDTs.....	49
Figura 29-Instalação do conjunto (perfil-placas) na máquina.....	49
Figura 30-Corpo de prova CP2 posicionado na máquina de ensaios.....	56
Figura 31-LVDTs instalados no corpo de prova CP2.....	56
Figura 32-Ruptura do tipo "pull-over" no corpo de prova CP2.....	57
Figura 33-Parafuso nº 10 após a realização do ensaio.....	58
Figura 34-Corpo de prova CP5 posicionado na máquina de ensaios.....	58
Figura 35-LVDTs instalados no corpo de prova CP5.....	59
Figura 36-Ruptura do tipo "pull-over" no corpo de prova CP5.....	59
Figura 37-Parafuso de nº 1 da placa de OSB B1.....	60
Figura 38-Corpo de prova CP1 posicionado na máquina de ensaios.....	61
Figura 39-Rompimento do tipo "pull-over" na placa de OSB A1.....	62
Figura 40-Uma das extremidades preservados do corpo de prova CP1.....	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Capacidade de Absorção (AA).....	51
Tabela 2: Teor de Inchamento (EI).....	52
Tabela 3-Teor de Umidade.....	53
Tabela 4: Massa Específica Aparente	53
Tabela 5-Resistência à Flexão Estática	54
Tabela 6-Resistência ao Arranque de Parafusos	55
Tabela 7- Carga x Deslizamento (Média dos LVDTs 1 e 2)	64
Tabela 8-Maior Capacidade de Deslizamento Obtida por Modelo	64

ÍNDICE DE ABREVIações

AA – Absorção de Água

ASMT – American Society for Testing and Materials

CBCA- Centro Brasileiro da Construção em Aço

CP – Corpo de Prova

CSA - Canadian Standards Association

CV - Coeficiente de Variação de Pearson

DPR – Desvio Padrão Relativo

IE - Inchamento

EN - Comunidade Europeia

LPF – Laboratório de Produtos Florestais

LSF- Light Steel Framing

LVDT - Linear Variable Differential Transformer

Kgf – Quilograma Força

Mea – Massa Específica Aparente

MOE – Módulo de Elasticidade

MOR – Módulo de Ruptura

Mpa – Mega Pascal

N – Newton

OSB – Oriented Strand Board

TP – Transdutor de Pressão

UNICEUB – Centro Universitário de Brasília

USM - Máquina Universal Mecânica

1 INTRODUÇÃO

O *Light Steel Framing* (LSF), conforme definido pelo Manual de Arquitetura do CBCA (Santiago; Freitas; Crastro, 2012), trata-se de um método construtivo de concepção racional, que tem como principal característica sua estrutura formulada a partir de perfis formados a frio de aço galvanizado atuando em conjunto com elementos de fechamento, tais como o gesso acartonado (para ambientes internos), as placas cimentícias e as placas de OSB (da expressão inglesa *Oriented Strand Board*, em português Painel de Tiras de Madeira Orientadas).

De acordo com Rodrigues e Caldas (2016), o sistema construtivo total de uma edificação, pode ser dividido em dois grupos de subsistemas, os horizontais e os verticais. Os subsistemas horizontais carecem de serem sustentados pelos subsistemas verticais, fornecendo ao mesmo tempo para os subsistemas verticais, a estabilidade que os mesmos não possuem de maneira isolada. Os subsistemas horizontais operam recebendo e transmitindo para os subsistemas verticais, as cargas de piso e teto (por meio da flexão) e os esforços horizontais (por meio da ação diafragma rígido dos painéis de cisalhamento).

Os subsistemas verticais no LSF, refere-se aos painéis que constituem as paredes com função estrutural, com capacidade de transmitir tantos esforços verticais quanto horizontais para as fundações. Sendo os guias de entrepisos em perfis U, as vigas de piso em perfis Ue, os perfis enrijecedores de alma nos apoios das vigas e os elementos de ligação com os painéis de parede (parafusos auto-atarraxantes e alguns rebites), como sendo os elementos constituintes dos subsistemas horizontais.

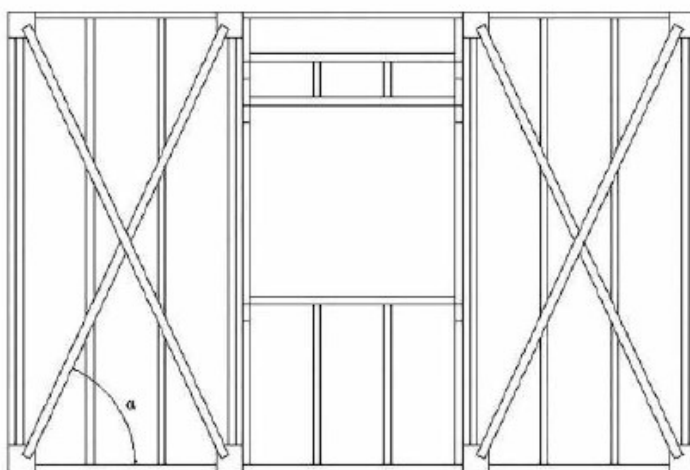
Nos projetos construtivos em *Light Steel Framing*, normalmente fica a carga das paredes contraventadas por meio de fitas de aço galvanizada ordenadas em diagonais na forma de \wedge , \vee , \times ou k nos painéis estruturais, a função de resistir e transmitir para as fundações os esforços provenientes das forças axiais de tração. Nos contraventamentos em diagonais em perfis Ue montados por meio de encaixes, gerando perfis treliçados, possuem a capacidade de resistir tanto aos esforços oriundos da tração quanto da compressão.

Conforme descrito por Santiago, Freitas e Crasto (2012), o método de estabilização mais usual em sistemas construtivos em *Light Steel Framing*, refere-se

ao contraventamento em “X”, que por sua vez, tem suas dimensões e posicionamento estabelecidos por meio dos projetos estruturais.

De acordo com os autores, a definição do ângulo α (Figura 1) em que as fitas de aço e a guia inferior dos painéis são instaladas, influenciará diretamente na capacidade de atuação das mesmas, devendo seu valor estar compreendido entre 30° e 60° . Quando este ângulo é menor que 30° , a diagonal perde a sua eficiência em impedir as deformações (SCHARFF, 1995 apud SANTIAGO; FREITAS; CRASTO, 2012).

Figura 1-Contraventamento em “X”, com fita de aço galvanizado



Fonte: Manual “Light Steel Framing: Arquitetura” (2012)

Segundo Villela (2015), o sistema de contraventamento em fitas (ou tiras) de aço, ainda necessita em seu processo de instalação da utilização de placas de ligação, denominadas de Placas de Gusset para possibilitar a união das mesmas às guias e aos montantes que formam os cantos desses painéis. Contudo, por ser necessário a superposição da fita sobre a Placa Gusset, incluindo os parafusos de fixação do tipo HEX com cabeça sextavada, gera-se uma saliência que impede a perfeita uniformidade das placas de revestimento instaladas posteriormente. Esta interferência em si, pode ser solucionada com a execução do rebaixamento das placas, porém, este ato não seria coerente com o sistema, que tem por princípio uma construção racional e rápida, com o mínimo de interferências de fabricação e montagem.

A utilização dos contraventamentos em barras diagonais de perfis Ue ou U simples, do tipo “Zig-Zag”, evitaria a necessidade da realização dessa adaptação, entretanto, o consumo de perfis e parafusos de aço, ocasionaria uma elevação no custo final do empreendimento.

Uma alternativa viável e relativamente econômica em comparação ao sistema convencional de contraventamento em fitas, trata-se das placas de OSB, que geralmente são empregadas no LSF como um elemento de fechamento externo de paredes, lajes e coberturas. Segundo o Manual de Arquitetura do CBCA (Santiago; Freitas; Crasto, 2012), as placas de OSB possuem a capacidade de funcionar tanto como um diafragma rígido vertical quanto horizontal. Quando utilizadas como fechamento de paredes externas, as placas possibilitam um acréscimo na resistência dos painéis, uma vez que absorvem e transferem para as fundações, os esforços laterais atuantes na estrutura.

De acordo com Bevilaqua (2005), a utilização das placas de OSB com efeito diafragma rígido nas estruturas em *Light Steel Framing*, possibilita uma maior simplicidade na execução dos painéis de paredes e pisos, devido a eliminação das diagonais em aço galvanizados no mesmo lado das placas. De acordo com a autora, com o emprego das placas estruturais, será possível a utilização do modelo construtivo em LSF em prédios com até sete pavimentos, já que a mesma possibilita a estabilidade estrutural não fornecida com o uso exclusivo do contraventamento em fitas de espessuras usuais.

No entanto, como citado por Rodrigues e Caldas (2016), para o emprego das placas de revestimento como um elemento de contraventamento das estruturas em aço do sistema construtivo em LSF, uma série de procedimentos devem ser seguidos, já que não existe até o presente momento uma normatização específica para a sua utilização. Sendo necessário para a comprovação do seu desempenho estrutural, a realização de ensaios laboratoriais, análises estruturais obtidas por meio de programas computacionais e informações apuradas com seus respectivos fabricantes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente estudo é verificar a possibilidade de utilização das placas de OSB (da expressão inglesa *Oriented Strand Board*, em português *Painel de Tiras de Madeira Orientadas*) com efeito diafragma em painéis de parede do sistema construtivo em *Light Steel Framing* por intermédio da realização de ensaios laboratoriais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar por meio de ensaios, algumas propriedades físicas e mecânicas das placas de OSB Home Plus de 11,1 mm de espessura, tais como:
 - Determinação da Capacidade de Absorção e Teor de Inchamento;
 - Teor de Umidade;
 - Massa Específica Aparente;
 - Resistência à Flexão Estática;
 - Resistência ao Arranque de Parafusos.
- Averiguar o comportamento das mesmas quando associadas por meios de parafusos aos reticulados metálicos de perfis formados a frio de aço galvanizado, quando submetidos aos esforços de compressão.

3 METODOLOGIA

Com o intuito de alcançar os objetivos impostos no presente estudo, foram analisadas as produções acadêmicas realizadas sobre o tema em questão para determinação de suas peculiaridades, bem como seus procedimentos de ensaios e resultados obtidos.

Considerando o fato de não haver normas técnicas brasileiras específicas para a determinação das propriedades físicas e mecânicas das placas de OSB fabricadas no país, foi empregada para essa finalidade, as prescrições impostas na norma americana ASTM D1037-99 – *Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials*, usualmente aplicada para as chapas de tiras de madeira orientadas.

Para avaliação do desempenho das placas de OSB quando associadas por meio de parafusos ao reticulado metálico de perfil formado a frio, foi empregada a adaptação dos ensaios de cisalhamento do tipo “*push test*”, estabelecidos pelo Eurocode 4 (EN, 2004) e utilizado por Villela (2015) para determinação do comportamento e resistência desenvolvida pelos parafusos auto-atarraxantes quando utilizados no subsistema de painéis de cisalhamento do sistema construtivo em *Light Steel Framing*.

Para a verificação da veracidade dos resultados obtidos ao longo da execução dos ensaios, foi efetuado o comparativo dos valores encontrados com os expostos na literatura, assim como a constatação da precisão dos resultados alcançados quando confrontados com os valores apresentados pelo seu fabricante.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo traz consigo o embasamento teórico acerca das características físicas e mecânicas apresentadas pelas placas de OSB, segundo os estudos realizados ao longo dos anos sobre as mesmas, sendo destacado ainda, a sua incorporação dentro do setor da construção civil como um elemento estrutural, a sua normatização e os tipos de parâmetros e ensaios que necessitam de serem avaliados quando ocorre a associação dos elementos (perfil-placa-parafuso) dentro do sistema em *Light Steel Framing*.

Para efeitos organizacionais, o capítulo foi dividido nas seguintes etapas:

- Análise das propriedades das placas de OSB;
- Incorporação das placas de OSB na construção civil e suas normatizações;
- Ligações;
- Ensaio do tipo “*Push-Test*”.

4.1 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DAS PLACAS DE OSB

O Oriented Strand Board (OSB), trata-se de um painel estrutural reconstituído a partir de lascas de madeiras, parcialmente orientadas, com a incorporação de adesivos à prova d'água e consolidação efetivada por meio da utilização de prensagem a quente. Suas dimensões podem variar de 25 mm de largura por 80 a 150 mm de comprimento, podendo possuir suas camadas internas, dispostas perpendicularmente às camadas externas, ou ainda, de forma aleatória (CLOUTIER,1998 apud CABRAL et al., 2006).

Empregadas em aplicações estruturais, tais como paredes, forros, pisos, componentes de vigas estruturais, embalagens, etc., as placas de OSB vem ganhando mercado nos últimos anos, não só pelas suas características de resistência mecânica e boa estabilidade dimensional, mas também por não necessitar em seu processo de fabricação da utilização de toras de madeira de boa qualidade, sendo possível o uso de espécies de qualidade inferior e com baixo valor comercial. Os painéis de tiras de madeira orientadas, também possuem vantagens quando comparados aos compensados de madeira, já que além de serem mais econômicos, as chapas não possuem limitações quanto as suas larguras, já que as suas dimensões são determinadas por meio do processo de produção e não pelo comprimento das toras, como ocorrem com os compensados (IWAKIRI,1999 apud MENDES et al., 2000).

Entre os parâmetros mais relevantes no processo de fabricação das chapas de OSB, destacam-se: a densidade da madeira e da chapa; a geometria das partículas e suas orientações; a proporção da orientação de partículas em camadas face-centro da chapa; o conteúdo de umidade nos colchões; a quantidade de resina e parafina; o tempo de fechamento da prensa; o tempo e temperatura de prensagem (CLOUTIER,1998 apud MENDES et al., 2000).

A correlação entre a densidade da chapa de OSB e a densidade da madeira, intitulada de razão de compactação, exerce um impacto significativo nas propriedades dos painéis de tiras de madeira orientadas, tendo em vista o processo de densificação a quais são submetidas para consolidação de suas espessuras. A utilização de madeiras de baixa densidade, resultam em chapas de alta razão de compactação com maior superfície de contato entre as partículas, proporcionado deste modo, melhores propriedades de flexão estática e ligações internas (MOSLEMI, 1974; MALONEY,

1993; KELLY, 1977 apud MENDES et al., 2000). Sendo a densidade igual a 0,55 g/cm³, a mais indicada para a produção das chapas de OSB, segundo Moslemi (1974) e Maloney (1977) apud Basto (2009).

De acordo com Mendes (2001) apud Bastos (2009), um dos critérios que controlam o grau de orientação dos painéis de OSB, durante o seu processo de confecção, trata-se da geometria das tiras de madeira (*strands*), sendo a formulação composta de três camadas cruzadas (face-centro-face), a que maior proporciona elevação na resistência mecânica (flexão estática) e estabilidade dimensional nas placas de OSB.

Geimer (1976) apud Basto (2009), afirma que as partículas do tipo "*strands*", proporcionam uma melhor orientação em comparação às partículas menores como as do tipo "*sliver*", "*flake*" e "*wafer*".

Em conformidade com Tsoumis (1991) apud Basto (2009), as chapas de OSB, são geralmente compostas de três camadas, sendo que nas extremidades, as partículas de madeira são orientadas paralelamente à direção de formulação das chapas e na camada interna, a orientação ocorre de maneira perpendicular. Sendo que, segundo o autor, os painéis de tiras de madeira orientadas são similares aos compensados de madeira, no que se refere ao processo de fabricação, o que lhes proporcionam, resistência e rigidez à flexão estática e estabilidade dimensional semelhantes.

A porcentagem do teor de umidade e a sua distribuição dentro do colchão, também influi significativamente nas propriedades finais dos painéis de tiras de madeira orientadas. Visto que, se houver variações na densidade em relação às camadas que constituem os painéis, as que possuírem maior teor de umidade serão mais densificadas e conseqüentemente, apresentaram maior resistência e solidez à flexão do que as que possuírem uma distribuição uniforme (MALONEY, 1977 apud BASTOS, 2009).

Segundo Cloutier (1998) apud Mendes et al. (2000), a quantidade de resina fenol-formaldeído utilizada no processo de fabricação das chapas de OSB podem variar de 3% a 6%, sendo a quantidade de parafina, como referido por Marra (1992) apud Bastos (2009), não podendo ultrapassar os valores de 0,5% a 1,5% para não resultar em reduções na resistência mecânica dos painéis.

Quanto a temperatura e ao tempo de prensagem, Cloutier (1998) apud Mendes et al. (2000), menciona que nas indústrias do Canadá, a temperatura empregada,

varia de 200°C a 220°C, com uma duração de 3 a 6 minutos, dependendo da espessura da chapa a ser produzida.

4.2 INCORPORAÇÃO DAS PLACAS DE OSB NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUAS NORMATIZAÇÕES

Introduzidas em países como Estados Unidos e Canadá, as chapas de OSB vem ganhando espaço principalmente no mercado da construção civil, haja vista às suas características físicas e mecânicas, possibilitar a sua utilização para fins estruturais. Nesses países, a partir da década de 90, estes elementos passaram a competir de forma intensiva com as chapas de compensado de madeira, tendo em vista, suas vantagens quanto à redução dos custos de produção, ao aumento da resistência mecânica e ao aumento da estabilidade dimensional (EINSFELD, et al., 1998 apud Dias, et al., 2004).

Segundo os Códigos de Construção do Canadá, Estados Unidos e Comunidade Europeia, as placas de OSB podem ser classificadas como sendo equivalentes aos painéis de compensados de madeiras, em aplicações estruturais. No Canadá, a CSA (*Canadian Standards Association*), formulou três normas aplicáveis para o OSB, sendo elas: a CSA 0437.0 – “*OBS and Waferboard*”; a CSA 0325 – “*Construction Sheathing*”; a CSA 0452 – “*Design Rated OSB*”. Nos Estados Unidos é utilizada a norma US PS2-92 – “*Performance Standard for Structural – Use Wood-base Panels*” e a EN-300 OSB, na comunidade Europeia (COUTIER, 1998; JANSSENS, 1998 apud BASTOS, 2009).

No Brasil, as placas de OSB começaram a ser produzidas a partir de 2002, tendo a sua introdução realizada por meio da importação da Europa. Segundo Bastos (2009), bem antes da sua incorporação no mercado brasileiro, as pesquisas desenvolvidas sobre o assunto já ocorriam, como citado nas publicações de Gouveia et al (2000) e Mendes et al (2000).

Apesar de atuarem a quase 16 anos no país, as chapas de OSB, como citado por Bastos (2009), ainda possuem limitações quanto ao seu uso, principalmente quando empregadas como elementos estruturais. Isso porque no Brasil, ainda não existem normas técnicas específicas para OSB que verifiquem suas propriedades físicas e mecânicas. Sendo deste modo, de suma importância, a expansão de estudos científicos que analisem e comprovem estas propriedades.

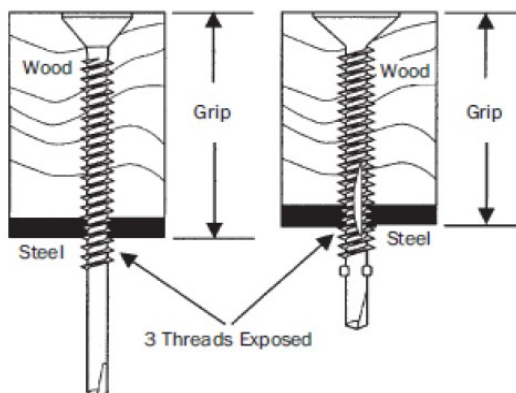
4.3 LIGAÇÕES

Como exemplificado no manual “Light Steel Framing: Arquitetura” (Santiago; Freitas; Crasto, 2012), os parafusos auto-atarraxantes e auto-perfurantes são os tipos de conexões mais usuais nos sistemas construtivos em Light Steel Framing, podendo atuar em ligações (metal/metal) e/ou (chapa/metal).

De acordo com os autores, os parafusos empregados no LSF são formados a partir do aço carbono com tratamento cementado e temperado, sendo recoberto com proteção zinco-eletrolítico, com o objetivo de evitar a ocorrência de corrosão e preservar as características similares à estrutura galvanizada.

Disponíveis no mercado em uma série de tamanhos que variam do nº 6 ao nº 14, os parafusos mais usuais nos sistemas construtivos em LSF, pertencem ao intervalo que vai do nº 6 ao nº 10, podendo seu comprimento variar $\frac{1}{2}$ polegada a 3 polegadas (12,7 mm a 76,2 mm). Segundo Santiago, Freitas e Crasto (2012), quanto maior for o diâmetro do parafuso, maior será a sua resistência ao cisalhamento. Sendo necessário destacar também que, os parafusos ao serem fixados aos componentes de aço entre si ou entre elementos como placas de fechamentos e perfis de aço, os mesmos devem ultrapassar o último elemento no mínimo em três passos de rosca ou fixar todas as camadas e ultrapassar o perfil de aço em pelo menos 10 mm, respectivamente (Figura 2).

Figura 2-Detalhe da instalação dos parafusos auto-atarraxantes

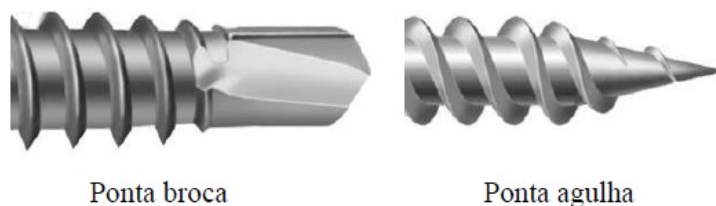


Fonte: Villela (2015)

Como exposto no manual, os parafusos auto-atarraxantes apresentam dois tipos de ponta, sendo a ponta broca, utilizada para perfurações em chapas de aço

com espessura mínima de 0,84 mm e a ponta agulha, para chapas com espessura máxima de 0,84 mm (Figura 3).

Figura 3-Tipos de pontas dos parafusos auto-atarraxantes



Fonte: Villela (2015)

Assim como a ponta, a cabeça dos parafusos também é classificada conforme o tipo de material a ser fixado. Sendo os parafusos com cabeça tipo lentilha, sextavada e panela, empregados para fixação de perfis de aço entre si (ligação metal/metal) e a cabeça tipo trombeta para a fixação de placas de fechamento nos perfis de aço (ligação chapa/metal) (Figura 4).

Figura 4-Tipos de cabeças dos parafusos auto-atarraxantes

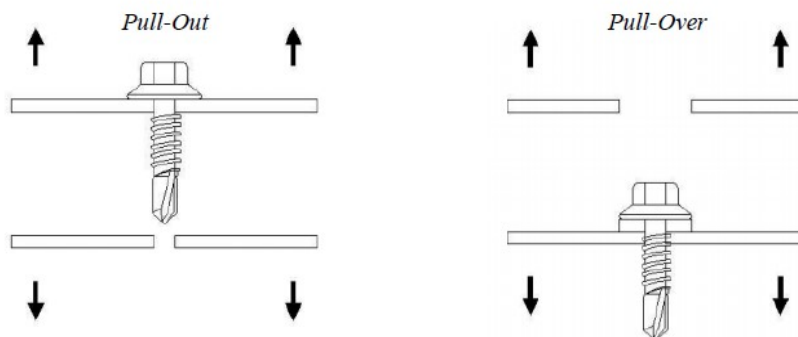


Fonte: Santiago, Freitas e Crasto (2012)

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

Segundo Villela (2015), existem dois tipos de falha que podem ser observadas quando os parafusos auto-atarraxantes são submetidos à força de tração: o *pull-out* e *pull-over*. O tipo *pull-out* está associado ao arrancamento do parafuso da base onde se encontra vinculo; já o *pull-over* se caracteriza pelo puncionamento da placa, isto é, o parafuso prevalece preso à base, quanto o outro elemento antes fixado ao conjunto, se desvincula da fixação soltando-se. Ambos representados pela Figura 5.

Figura 5-Modos de falha tipo pull-out e pull-over



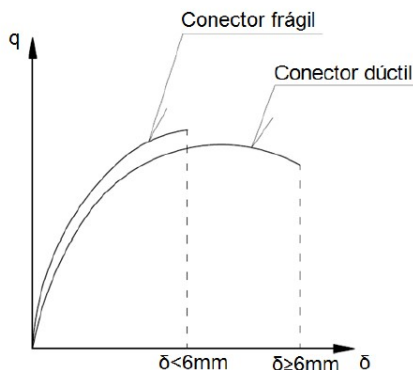
Villela (2015)

4.3.2 Ductilidade

Como exemplificado por Villela (2015), os conectores podem ser classificados como dúcteis ou frágeis. Estando a ductilidade dos conectores associada ao seu comportamento quando sujeitos às ações do fluxo de cisalhamento longitudinal. Segundo a autora, apesar da ductilidade quase não influenciar no comportamento da conexão no regime elástico, no regime último ou “pós-elástico”, ela pode ocasionar alterações em suas respostas, sendo essas modificações justificadas, por meio da redistribuição do fluxo de cisalhamento longitudinal estabelecida entre os conectores. De modo geral, quando os conectores dúcteis são submetidos a um carregamento crescente – chegando próximo da sua resistência limite –; ao invés de romperem, os mesmos continuam a se deformar, permitindo que conectores vizinhos também possam desenvolver sua capacidade máxima para absorver os esforços de cisalhamento, numa espécie de uniformização da resistência de conexão. Justificado assim, a hipótese do comportamento plástico ideal da conexão ao cisalhamento nas estruturas, permitindo assim, a padronização do espaçamento entre os conectores, sem reduzir a resistência máxima da conexão.

De acordo com a norma europeia EN 1994-1-1:2004, um condutor de cisalhamento é denominado dúctil, quando o mesmo apresenta deslizamento característico δ_{uk} superior a 6,0 mm. A Figura 6, apresenta o gráfico do desempenho de um conector dúctil e frágil, quando submetidos ao ensaio do tipo “Push-Test”.

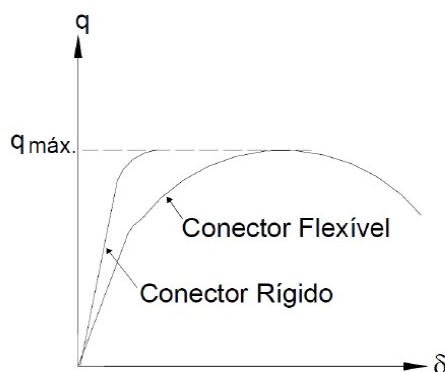
Figura 6-Gráfico Carga x Deslizamento – Comportamento de conectores dúcteis ou frágeis



Fonte: Villela (2015)

Além da definição da ductilidade dos conectores, salientado na norma EN 1994-1-1:2004, também é importante ressaltar a sua classificação quanto a rigidez ou flexibilidade (Figura 7). Sendo que, um conector do tipo rígido, caracteriza-se por não apresentar deformações quando submetido a ação de carregamento, proporcionando assim, uma conexão praticamente sem deslizamento relativo entre a chapa de OSB e o perfil metálico. Porém, o mesmo não ocorre em conectores flexíveis, pois, além de propiciar o desenvolvimento de deformações, esse tipo de conexão permite um deslizamento relativo entre a chapa e o perfil de aço.

Figura 7-Gráfico Carga x Deslocamento- Comportamento de conectores flexíveis e rígidos



Fonte: David (2007) apud Villela (2015)

Dessa forma, os conectores podem ser classificados como sendo: rígido frágil ou dúctil; flexível frágil ou dúctil.

4.4 ENSAIO DE CISALHAMENTO DO TIPO “*PUSH-TEST*”

Segundo Villela (2015), para a verificação do sistema construtivo em *Light Steel Framing* é necessário que seja levado em consideração, a relação conjunta dos elementos: perfil metálico; chapa de revestimento e parafusos de fixação. De acordo com a mesma, a análise da interface (perfil-placa) é indispensável, pois é nesta região que está presente os esforços de cisalhamento que serão transmitidos, por meio dos parafusos de fixação para os outros componentes do reticulado metálico. Os parafusos de fixação são os responsáveis por garantir a interação entre as matérias (perfil metálico e chapa de revestimento), permitindo que os mesmos possam trabalhar em conjunto. Uma forma de analisar estes conectores é através da realização de ensaios, como do tipo “*Push-Test*”, que segundo a literatura internacional, faz referência aos ensaios de cisalhamento direto, também denominados de ensaios de deslizamento.

Como salientado por Villela (2015), para que haja a caracterização de um conector de cisalhamento, é imprescindível que se conheça o comportamento da força-deslizamento da conexão. No caso da conexão do parafuso auto-atarraxante fixado a chapa de OSB no montante do reticulado metálico, é necessário que seja avaliado a relação: capacidade resistente e ductilidade do conjunto. Podendo ambas, serem determinadas por meio da correlação da força de cisalhamento transmitida e do deslizamento relativo gerado entre as superfícies de contato e os elementos associados ao sistema misto.

O ensaio “*Push-Test*” (EN 1994-1-1:2004), usualmente empregado para avaliações de perfis metálicos conectados a lajes de concreto, por meios de conectores de cisalhamento, é um dos métodos aplicáveis para obtenção dos resultados de força-deslizamento para perfil de aço-placa de revestimento. Segundo as determinações da norma, a relação força-deslizamento, devem ser medidas até que a força aplicada ao conjunto decresça 20% em relação à força máxima aplicável ao ensaio. Sendo necessário para isso, a utilização de um equipamento que permita o monitoramento do deslizamento durante a realização do ensaio.

Villela (2015) cita em seu trabalho, alguma das recomendações estabelecidas na norma europeia EN 1994-1-1:2004 para a execução dos ensaios, sendo elas indicadas a seguir:

Inicialmente, aplicam-se incrementos de carga até atingir 40% da carga máxima esperada, e então são realizados 25 ciclos de carga/descarga entre as cargas correspondentes a 5% e 40% da carga de ruptura;

Os incrementos de carga após a fase cíclica devem ser aplicados de modo a não provocar ruptura antes de um período de 15 minutos;

O deslizamento relativo entre a laje de concreto e a viga de aço deve ser monitorado em todo ensaio, sendo este medido pelo menos até que a carga aplicada decresça em 20% do valor máximo;

Deve-se medir também, próximo aos conectores, a separação transversal entre a mesa e a laje.

De acordo com Veríssimo (2007) apud Villela (2015), o deslizamento máximo no qual o conector suporta, corresponderá a 90% da resistência característica da força de cisalhamento. Na qual, a capacidade de deslizamento característico (δ_{uk}) é entendido como o mínimo valor de δ_u avaliado nos testes, reduzido de 10%. Sendo, os conectores de cisalhamento classificados como dúctil se apresentarem deslizamento característico (δ_{uk}) superiores a 6 mm.

4.4.1 Estudos realizados por Villela (2015)

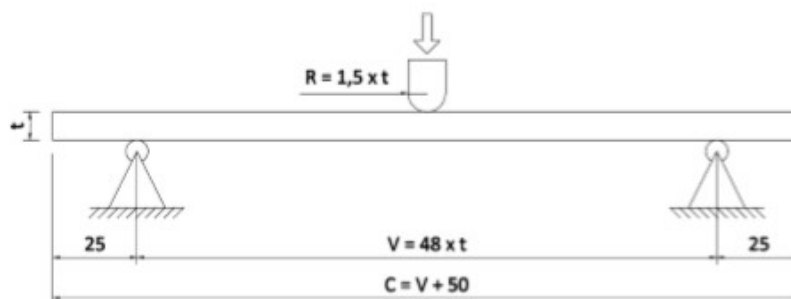
Os estudos realizados por Villela (2015), tiveram por objetivo, a determinação das propriedades mecânicas das placas de OSB e a verificação do seu comportamento quando associadas aos reticulados de aço do sistema construtivo *Light Steel Framing* (LSF). Em sua pesquisa, foram efetuados 360 ensaios de flexão de 3 pontos para determinação do Módulo de Elasticidade e Tensão de Ruptura, além de 12 ensaios de cisalhamento (tipo “*Push-Test*”) em modelos constituídos por chapas de OSB fixadas por meio de parafusos auto-atarraxantes ao reticulado metálico de perfil formado a frio.

Para a realização dos ensaios de flexão, Villela (2015) fez uso das prescrições firmadas no Método A da norma americana ASMT D3043-00 (Reapproved 2011) – *Standard Test Methods for Structural Panels in Flexure*, para ensaios de três pontos (dois de apoio e um de carregamento). Foram confeccionados 40 corpos de prova no sentido longitudinal e 40 no sentido transversal das chapas de OSB.

A largura e o comprimento dos corpos de prova, foram definidos de acordo com os valores correspondentes a suas espessuras, sendo empregado para os testes, chapas de 9,5 a 18,3 mm de espessura.

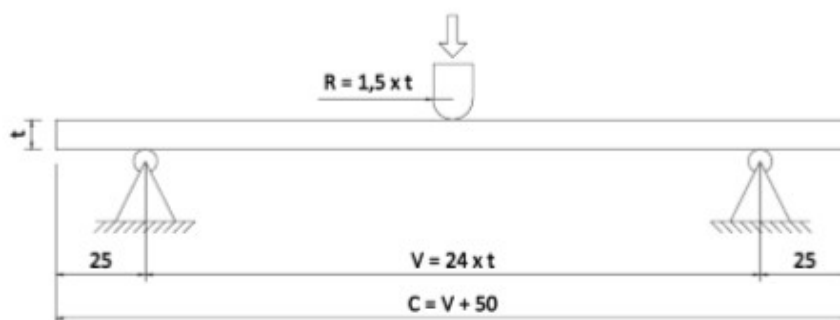
A variação na distância entre os apoios, foram definidas por Villela (2015) em múltiplos de 8. Sendo aplicado nos CPs cortados na direção longitudinal (Figura 8) e com vãos entre $8xt$ a $40xt$, apenas 30% da força última e no vão de $48xt$, carregamento até a ruptura. O mesmo procedeu para os CPs cortados na direção transversal (Figura 9), sendo aplicado para os vão de $8xt$ e $16xt$, apenas 30% da força última e no de $24xt$, carregamento até a ruptura.

Figura 8-Esquema do ensaio de três pontos para os CPs cortados na direção longitudinal da placa de OSB



Fonte: Villela (2015)

Figura 9-Esquema do ensaio de três pontos para os CPs cortados na direção transversal da placa de OSB



Fonte: Villela (2015)

A aplicação da carga, foi definida de acordo com a norma já mencionada anteriormente, sendo a taxa de movimento apurada por meio da seguinte equação:

$$N = \frac{z \cdot V^2}{6 \cdot t} \quad (4.01)$$

Onde:

N – É a taxa de movimento, em mm/min;

V – É o vão entre apoios, em mm;

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

z – 0,0015 in/in.min = 0,0381 mm/mm.min, de acordo com a norma ASTM D3043.

Antes da realização dos testes, Villela (2015) calculou a taxa de deslocamento do cilindro do atuador hidráulico e a força estimada máxima (para os ensaios com a utilização de apenas 30% da força última), sendo utilizado para a determinação dessa força, a equação exposta abaixo:

$$F_{est} = \frac{l_{CP} \cdot t^2}{24,2 \cdot V} \quad (4.02)$$

Onde:

F_{est} – É a força estimada, em N;

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

t – É a espessura do corpo de prova, em mm;

V – É o vão do ensaio, em mm.

Para a determinação do módulo de elasticidade longitudinal, foram registradas as forças impostas e as correspondentes ao deslocamento vertical da seção central do corpo de prova (flechas), depois de aplicado o incremento de força, de tal forma que as várias leituras de força e flecha fossem registradas. Sendo o módulo de elasticidade longitudinal (E), calculado de acordo com a equação da flecha (CARRASCO, 1989 apud VILLELA, 2015):

$$f_1 = \frac{P \cdot V^3}{48EI} \quad (4.03)$$

Onde:

f_1 – É a flecha devido a deformação por flexão, em mm;

P – É a força, em N;

V – É o vão, em mm;

I – É a inércia da seção, mm⁴;

E – É o módulo de elasticidade, em MPa.

Colocando o módulo de elasticidade em evidência:

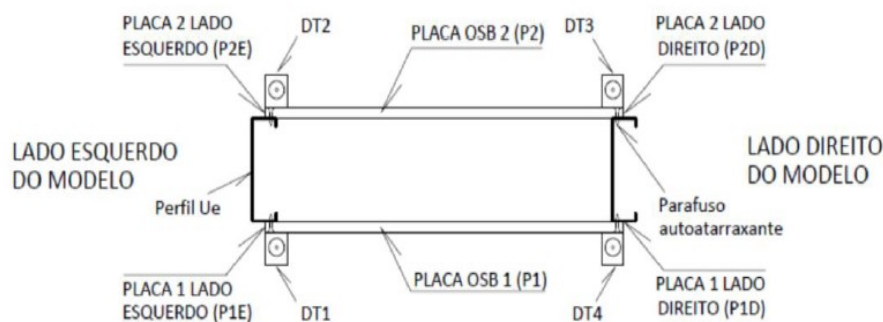
$$E = \frac{P \cdot V^3}{48If_1} \quad (4.04)$$

Para elaboração dos testes de cisalhamento do tipo “*Push-Test*”, Villela (2015) fez uso de 12 corpos de prova, sendo os reticulados metálicos usados, compostos por dois perfis U_e com variações nas espessuras das chapas de OSB –chapas de 9,5 e 11,1 mm de espessura–; nas dimensões dos perfis U_e , na distância e quantidade de parafusos de fixação dos dois elementos.

Como exemplificado por Villela (2015), foi feita uma adaptação dos procedimentos descritos na norma EN 1994-1-1:2004, geralmente empregada para perfis metálicos conectados a duas lajes de concreto por meio de conectores de cisalhamento para a realização dos testes. Devido ao fato do comportamento do conjunto e da força máxima suportada pelos mesmos, ainda ser desconhecida, foi realizado no primeiro ensaio da série, a aplicação do carregamento sem os 25 ciclos de carga, com o objetivo de definir a força máxima suportada pelo primeiro exemplar de cada série de 3 modelos.

Em prol da execução dos ensaios, foi necessário a utilização de transdutores de deslocamentos (DTs) nos quatro extremos do modelo (Figura 10) para medição dos deslizamentos relativos entre os perfis metálicos e as chapas de OSB, como ilustrado na figura abaixo.

Figura 10-Indicação da posição dos DTs e posição relativa das chapas



Fonte: Villela (2015)

Para a aplicação do carregamento, foi utilizado por Villela (2015) um atuador hidráulico com capacidade de 500kN, juntamente com um transdutor de pressão (TP), com capacidade de medição de 700 bar, um anel dinamométrico para averiguação da carga aplicada, um perfil tubular posicionado na parte superior dos modelos para uniformização da carga a ser aplicada (Figura 11 e 12) e um sistema de aquisição de

dados via sistema eletrônico para leituras referentes aos carregamentos e deslocamentos lineares desenvolvidos durante a realização dos ensaios.

Figura 11-Sistema de aplicação e controle de força – Anel dinamométrico



Fonte: Villela (2015)

Figura 12-Demonstração da montagem do ensaio



Fonte: Villela (2015)

Para a execução dos ensaios, Villela (2015) seguiu os seguintes passos:

- a) Aplicação de carregamento crescente até atingir a carga última no primeiro exemplar de cada série de três modelos. Os demais exemplares de uma mesma série foram submetidos inicialmente a uma carga P crescente a partir de zero, até atingir o valor de 40% da carga última prevista;
- b) Aplicação de 25 ciclos de carga, entre 5% e 40% da carga última prevista, o que corresponde à simulação da atuação de carga cíclica;

c) Após a fase cíclica, os incrementos de carga foram aplicados com o intuito de determinar a carga última (incapacidade do modelo em receber acréscimos de carga), de modo a não provocar a ruptura antes de um período de 15 minutos (EN 1994-11:2004);

d) Os deslizamentos relativos entre perfil de aço e a placa de OSB foram monitorados em todo ensaio pelo menos até que a carga aplicada decrescesse em 20% do valor máximo.

Devido as adversidades encontradas durante a realização dos ensaios, Villela (2015) propôs uma metodologia diferente da imposta na norma EN 1994-11:2004, sendo utilizado para determinação da Carga Última e Capacidade de Deslocamento Máxima, a média das forças última aplicadas em cada lado do modelo (Esquerdo: média dos DTs 1 e 2; Direito: média dos DTs 3 e 4).

Por meio dos resultados obtidos em seu trabalho, foi possível concluir que quanto maiores os valores das espessuras nominais (t) das chapas de OSB utilizadas, maiores eram seus Módulos de Elasticidade (E), com exceção das séries CL e CT das chapas com 15,1 mm de espessura nominal. O Módulo de Elasticidade (E) das placas cortadas no sentido longitudinal, também obtiveram valores superiores aos cortados no sentido transversal. Podendo ainda ser destacado que, à medida que o comprimento dos vãos aumentava, o coeficiente de variação (c_v), dos mesmos reduzia, sendo possível utilizar para os CPs retirados no sentido longitudinal, vãos finais de 40xt. Para a Tensão de Ruptura (σ), os valores no sentido longitudinal das séries AL, BL e DL, tiveram valores próximos aos das séries AT, BT e DT, sendo os das séries AL, BL e DT, ligeiramente maiores.

Nos ensaios do tipo “*Push-Test*”, foi constatado que na maior parte dos testes, o conjunto (perfil-placa-parafuso), quando submetido aos esforços de cisalhamento, apresentaram um comportamento do tipo dúctil, dado que o deslizamento característico em um dos lados do modelo, mostrou-se superior ao valor limitado pela norma utilizada.

Villela (2015), também observou uma grande influência nos valores de carga última, de resistência característica e de deslizamento, devido ao aumento da espessura das chapas de OSB, sendo analisado que após a rotação dos parafusos, os mesmos começaram a ser tracionados provocando o esmagamento das chapas, que por sua vez, tentaram prolongar o efeito de fixação entre os elementos constituintes do conjunto (perfil-placa).

Ao final de seus experimentos, a autora destacou o espaçamento utilizado entre os parafusos de fixação e a variação das espessuras das placas de OSB como os dois parâmetros mais relevantes em seus testes, sendo que, quanto maior a resistência das placas ao esmagamento e ao rasgamento, maior será a resistência fornecida para ligação entre a mesma e o reticulado metálico.

5 APRESENTAÇÃO DOS ENSAIOS

Foram conduzidos para o Laboratório de Engenharia e Física da Madeira, no Laboratório de Produtos Florestais – LPF/SFB, três placas de OSB de 1,20 m de largura por 2,40 m de comprimento (intituladas de placas A, B e C), juntamente com cinco reticulados metálicos formados a partir de um perfil simples de Ue 89x40x12x0,8.

Devido aos critérios salientados em norma, os corpos de prova das placas de OSB, após serem cortados e devidamente identificados, foram conduzidos para uma sala de climatização (Figura 13) com temperatura média de $21 \pm 1^\circ \text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$, com o objetivo de que suas massas fossem monitoradas constantemente por meio da utilização de uma balança de precisão de 0,01 gramas (g) até que atingissem a estabilização completa do seu teor de umidade ($\leq 0,3\%$), para só então, serem utilizados para a realização dos ensaios descritos no capítulo a seguir.

Figura 13-Sala de climatização do Laboratório de Produtos Florestais – LPF/SFB



Fonte: Acervo pessoal

5.1 ENSAIOS FÍSICOS

5.1.1 Determinação da Capacidade de Absorção e Teor Inchamento

Com o intuito de obter a capacidade de absorção e inchamento das placas de OSB, foi utilizado o Método A (2 mais 22 h) da norma americana ASTM D1037-99 – *Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials*, na qual fornece informações sobre a absorção de água e inchamento das amostras quando submetidas a imersão a curto e a longo prazo. Para a realização dos ensaios, foram retirados cinco corpos de prova de cada placa analisada, nas dimensões de 152 mm de largura por 152 mm de comprimento.

De acordo com os critérios estabelecidos em norma, após os procedimentos de corte e estabilização do teor de umidade, os corpos de prova foram submetidos ao processo de pesagem e determinação de suas espessuras, por meio da utilização de uma balança de precisão de 0,01 gramas (g) e de um relógio comparador com precisão de 0,01 milímetros (mm) (Figura 14), posicionado em cinco pontos distintos de cada amostras ensaiada, sendo quatro deles, localizados a 25 mm de distância das bordas e um posicionado no centro.

Figura 14-Equipamentos utilizados para determinação da massa e espessura dos CPs



Balança de precisão



Relógio comparador

Fonte: Acervo Pessoal.

Após a conclusão desse registro, os CPs foram submetidos horizontalmente a imersão em água destilada por um espaço de tempo de 2 horas, sendo realizado ao final desse período, a retirada e secagem superficial de suas faces (Figura 15), para que

novamente suas massas e espessuras fossem analisadas, como descrito anteriormente.

Figura 15-Processo de imersão e secagem superficial das amostras



Fonte: Acervo pessoal

Ao final dessa apuração, as amostras foram novamente introduzidas na água, por um período adicional de 22 horas, para mais uma vez, ser efetuado o procedimento de pesagem e medição de suas espessuras, antes de serem conduzidas para a estufa, onde permaneceram sob uma temperatura de $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ para estabilização do seu teor de umidade ($\leq 0,3\%$) para subsequentemente terem suas espessuras registradas para conclusão do ensaio de inchamento.

Com os dados adquiridos por intermedia da pesagem e verificação das espessuras ao longo dos ensaios, foi possível determinação da capacidade de absorção e inchamento, por meio das equações 5.01 e 5.02, apresentadas abaixo.

$$A = \left(\frac{M_f - M_i}{M_i} \right) \times 100 \quad (5.01)$$

Onde:

A – É a quantidade de água absorvida, expressa em porcentagem (%);

M_f – É a massa final do corpo de prova, expressa em gramas (g);

M_i – É a massa inicial do corpo de prova, expressa em gramas (g).

$$I = \left(\frac{e_f - e_i}{e_i} \right) \times 100 \quad (5.02)$$

Onde:

I – É o inchamento, expresso em porcentagem (%);

e_f – É a espessura final do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

e_i – É a espessura inicial do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

5.1.2 Determinação do Teor de Umidade

A determinação do teor de umidade das placas de OSB, foi definido por meio da aplicação das prescrições estabelecidas na norma americana ASTM D1037-99 – *Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials*, onde estabelece para a realização dos ensaios, corpos de provas com dimensões iguais a 76 mm de largura por 100 mm de comprimento, sendo extraído cinco amostras de cada placa analisada.

Conforme descrito em norma, após as amostras serem retiradas da sala de climatização, as mesmas tiveram suas massas apuradas por meio da utilização de uma balança de precisão de 0,01 gramas (g), sendo encaminhadas em seguida para uma estufa com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, onde permaneceram até que obtivessem uma massa constante (Figura 16).

Figura 16-Processo de pesagem das amostras



Fonte: Acervo pessoal

Por meio dos dados registrados durante as pesagens, foi determinado o teor de umidade por meio da equação exposta abaixo:

$$TU = \frac{M_U - M_S}{M_S} \times 100 \quad (5.03)$$

Onde:

TU – é o teor de umidade, expresso em porcentagem (%);

M_U – é a massa úmida (inicial) do corpo de prova, expressa em gramas (g);

M_S – é a massa seca (final) do corpo de prova, expressa em gramas (g).

5.1.3 Determinação da Massa Específica Aparente

Em concordância com a norma americana ASTM D1037-99 – *Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials*, foi utilizado para determinação da massa específica aparente, cinco corpos de prova de cada placa ensaiada com dimensões iguais a 76 mm de largura por 316 mm de comprimento.

Como salientado em norma, as amostras foram inicialmente pesadas em uma balança de precisão de 0,01 gramas (g), sendo realizado em seguida, a medição de suas larguras, comprimentos e espessuras, por meio da utilização de um paquímetro eletrônico, uma trena e um relógio comparador com precisão de 0,01 milímetros (mm), respectivamente. Destacando-se que, para a determinação das espessuras dos corpos de prova, as amostras foram medidas em cinco pontos distintos, sendo quatro deles, localizados a 25 mm de distância das bordas e um posicionado no centro.

Por meio dos dados apurados através dessas medições, foi determinado a massa específica aparente, por meio da aplicação da equação descrita a seguir:

$$M_{ea} = \frac{m}{c.l.d} \quad (5.04)$$

Onde:

M_{ea} – é massa específica aparente, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m – é a massa do corpo de prova, expressa em gramas (g);

c – é o comprimento do corpo de prova, expressa em centímetros (cm);

l – é a largura do corpo de prova, expressa em centímetros (cm);

d – é a espessura do corpo de prova, expressa em centímetros (cm).

5.2 ENSAIOS MECÂNICOS

5.2.1 Resistência à Flexão Estática

O ensaio de flexão estática foi realizado conforme definido pela norma americana ASTM D1037-99 – *Standard Test Methods for Evaluating Properties of*

Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, onde foram apurados a resistência de 30 corpos de provas, sendo 15 cortados no sentido paralelo e 15 no sentido perpendicular às fibras das placas de OSB. As dimensões dos mesmos, foram definidos por meio da equação 5.05, onde estabelece para as placas 11,1 mm de espessura, a largura de 76 mm por 316 mm de comprimento.

$$C = 50 + 24d \quad (5.05)$$

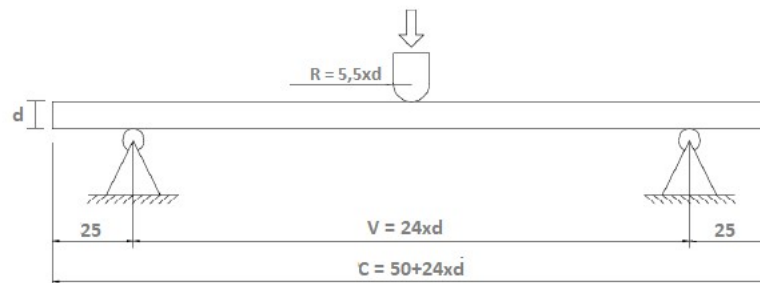
Onde:

C – é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);

d – é a espessura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

Para realização dos ensaios, as amostras foram marcadas para orientação do posicionamento dos corpos de prova entre os cutelos da máquina, conforme determinado em norma e ilustrado abaixo (Figura 17).

Figura 17-Arranjo esquemático da máquina de ensaio



Fonte: Adaptado da norma da ASTM D1037-99

A aplicação de carga nos corpos de prova foi estabelecida conforme exposto na norma ASTM D1037-99, sendo a taxa de movimentação calculada por meio da equação 5.06.

$$N = \frac{z \cdot L^2}{6 \cdot d} \quad (5.06)$$

Onde:

N – É a taxa de movimento, expressa em milímetros por minuto (mm/min);

z – É a taxa de deformação das fibras, a qual é igual a 0,005;

L – É a distância entre os apoios, expressa em milímetros (mm);

d – É a espessura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

Por meio das equações 6.07 e 6.08 e dos resultados de deformação, carga no limite proporcional e carga de ruptura, obtidos nos ensaios de flexão estática (Figura

19 e 20), foi possível a determinação do módulo de elasticidade aparente (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) das amostras ensaiadas.

$$E = \frac{P_1 \cdot L^3}{4bd^3y_1} \quad (6.07)$$

Onde:

E – É o módulo de elasticidade aparente, expresso em Quilopascal (Mpa);

P_1 – É a carga máxima, expressa em Newtons (N);

L – É o comprimento de extensão (vão), expresso em milímetros (mm);

b – É a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

d – É a espessura do corpo de prova, em milímetros (mm);

y_1 – É a deflexão do centro na carga limite proporcional, expressa em milímetros (mm).

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (6.08)$$

Onde:

R – É o módulo de ruptura, expresso em Quilopascal (Mpa);

P – É a carga máxima, expressa em Newton (N);

L - É o comprimento de extensão (vão), expresso em milímetros (mm);

b – É a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

d – É a espessura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

5.2.1.1 Equipamentos Utilizados

Para a realização, monitoramento e obtenção dos resultados dos ensaios, foi utilizado os seguintes equipamentos:

- Máquina Universal Mecânica – USM, modelo USM-600 (600kN – 60tf), com controle da taxa de carregamento, deslocamento e deformação (Figura 18a);
- Célula de carga com capacidade de 5kN;
- Suporte ajustável com dois apoios para os corpos de prova (Figura 18b);
- Computador para leitura das taxas de carregamento, deslocamentos e deformações (Figura 18c);
- Software de planilha da Microsoft Excel para o cálculo do Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR).

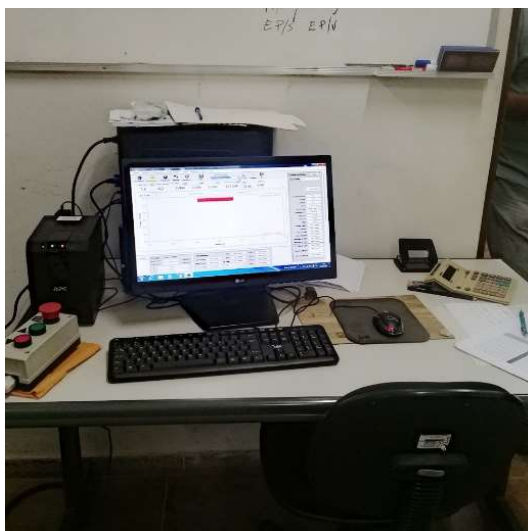
Figura 18-Equipamentos utilizados para a realização dos ensaios



a) Máquina Universal Mecânica



b) Suporte para os apoios



c) Computador para leitura dos dados

Fonte: Acervo pessoal

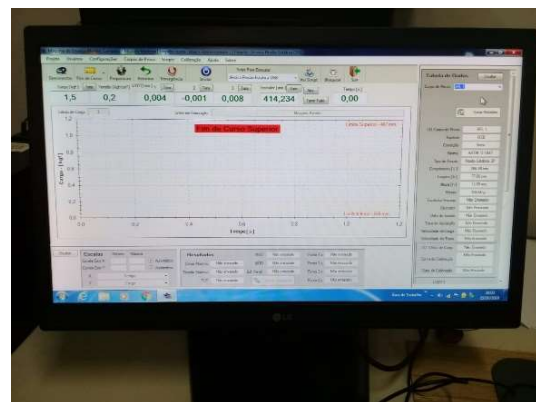


Figura 19-Ensaio de flexão estática no sentido paralelo



Fonte: Acervo pessoal

Figura 20-Ensaio de flexão estática no sentido perpendicular



Fonte: Acervo pessoal.

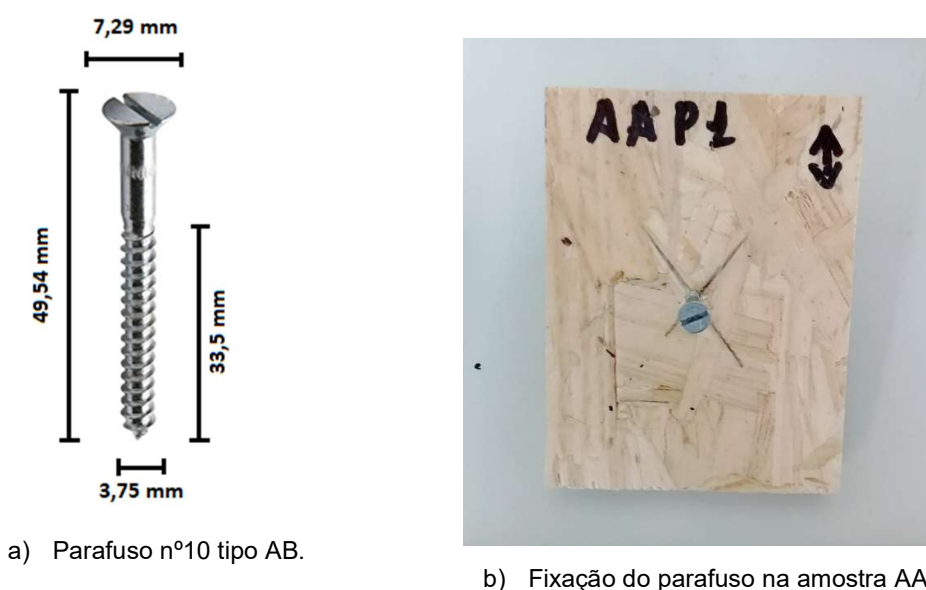
5.2.2 Resistência ao Arranque de Parafusos

Em conformidade com a norma americana ASTM D1037-99 – *Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials*, foi definido para a realização dos ensaios de resistência ao arranque de parafusos, corpos de prova com dimensões iguais a 76 mm de largura por 102 mm de

comprimento, sendo as cinco amostras de cada placa ensaiada, retiradas no sentido perpendicular a direção das fibras.

Para atendimento das prescrições estabelecidas em norma, os parafusos de nº10 tipo AB com dimensões iguais a 49,54 mm de comprimento por 33,5 mm de comprimento de broca com 7,29 mm de diâmetro de cabeça por 3,75 mm de diâmetro interno de broca (Figura 21a), tiveram que ser rosqueados no centro de cada amostras ensaiada (Figura 21b), penetrando cerca de 17 mm de espessura nas mesmas. A ASTM D1037-99, estabelece a efetivação de um pré-furo com broca de 3,2 mm de diâmetro interno, antes da realização de fixação dos parafusos aos corpos de prova.

Figura 21-Dimensões e fixação dos parafusos



Acervo pessoal

Após a instalação do equipamento de testes na Máquina Universal Mecânica (Figura 22a) com célula de carga com capacidade de 100kN, os CPs foram engastados no aparelho por meio da cabeça dos parafusos (Figura 22b), sendo a aplicação de carga realizada a uma velocidade constante de 15 mm/min e monitorada por intermédio de gráficos gerados através do software da máquina instalado no computador (Figura 23).

Figura 22-Equipamento de arranque de parafusos na máquina



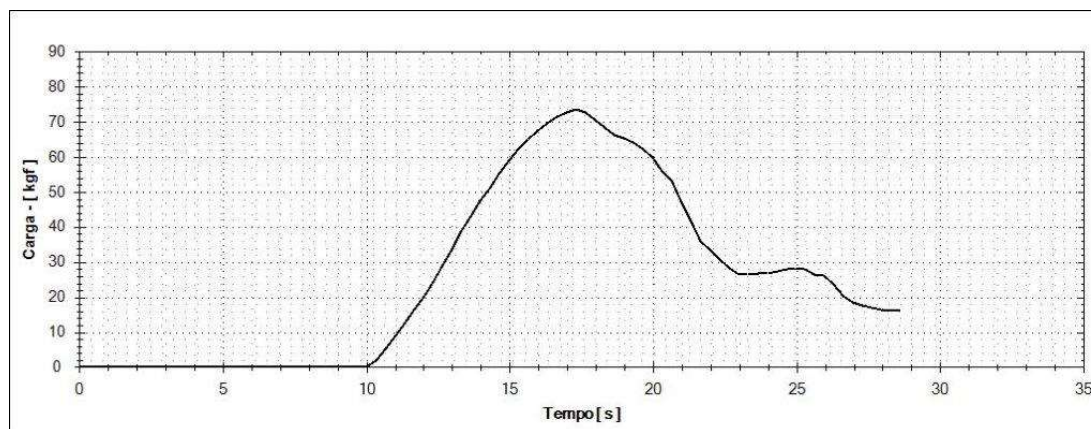
a) Equipamento instalado na máquina.



b) Amostra AAP1 engastada pela cabeça.

Fonte: Acervo pessoal

Figura 23-Illustração do gráfico gerado pelo software da máquina



Fonte: Acervo pessoal

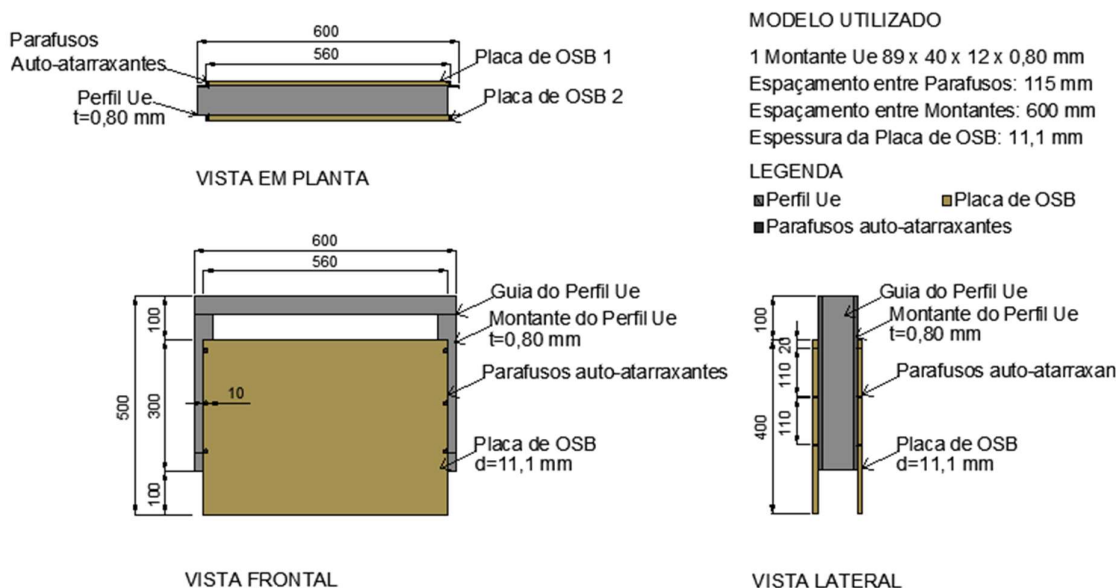
5.2.3 Ensaio de Cisalhamento do tipo “Push-Test”

Para o ensaio do tipo “Push-Test”, como mencionado no item 3.6 do presente estudo, foi tomado como base as prescrições estabelecidas por Villela (2015) em sua adaptação da norma europeia EN 1994-1-1:2004, usualmente empregada para perfis

metálicos conectados a duas lajes de concreto por meio de conectores de cisalhamento.

Em virtude do número limitado de exemplares e tendo como objetivo a padronização dos resultados, foi utilizado para a realização dos ensaios, um perfil para cada placa ensaiada, sendo os dois restantes, utilizados para testes. Deste modo, cada exemplar foi constituído por duas placas de OSB de 560 mm de largura por 400 mm de comprimento, associadas ao reticulado metálico de perfil Ue 89x40x12x0,80 de 600 mm de largura por 400 mm de comprimento, por meio de parafusos do tipo cabeça estriada e ponta broca de 32 mm de comprimento por 4,2 mm de diâmetro interno, conforme ilustrado na figura 24 a seguir:

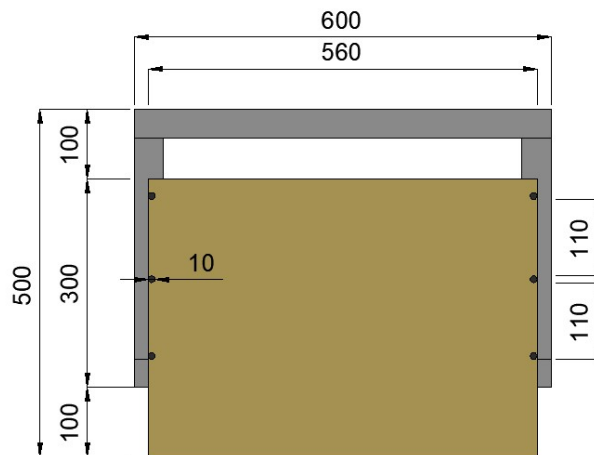
Figura 24 - Modelo do exemplar utilizado



Fonte: Adaptação do trabalho de Villela (2015)

Devido ao fato das dimensões dos painéis adotados para realização dos ensaios serem menores do que os empregados por Villela (2015) em seu trabalho e assumindo como critério para fixação das placas aos perfis metálicos, a utilização de três parafusos de cada lado do modelo, foi estabelecido para o cumprimento dessa exigência, o espaçamento de entre parafusos de 110 mm, como exposto na Figura 25.

Figura 25 - Espaçamento entre parafusos



Fonte: Adaptação do trabalho de Villela (2015)

5.2.3.1 Procedimentos de Ensaio

A norma europeia EN 1994-1-1:2004, estabelece como critério para a realização de ensaios em perfis metálicos conectados a lajes de concreto, a ruptura do primeiro exemplar de cada conjunto para determinação da carga última que servirá de embasamento para a efetivação dos 25 ciclos de carregamento que deverão ser executados nos demais exemplares. De acordo com a norma, ao final da fase cíclica, os corpos de prova deverão ser submetidos a aplicação de incrementos de carga (não provocando a ruptura antes do período de 15 minutos) para definição da carga última exata de cada modelo ensaiado.

Tais exigências são elencadas na norma EN 1994-1-1:2004, devido a existência do efeito Rusch em estruturas de concreto, que tende a fornecer valores de resistência distintos, conforme a velocidade de carregamento de cada peça analisada. Com base nesse pressuposto e na ausência de tal influência nas estruturas de aço e placas de OSB, os ensaios sucederam-se com a aplicação de carregamento até a ruptura.

5.2.3.2 Verificações realizadas nos modelos ensaiados

Após o processo de confecção dos exemplares, os mesmos foram identificados de acordo com o perfil e placa a qual foram fixados, sendo em seguida verificado e registrado a qualidade com que os parafusos do tipo cabeça estriada e ponta broca, penetraram nas placas. Por meio dessa análise, foi possível destacar que nos corpos

de prova CP1 e CP2 alguns de seus parafusos penetraram mais do que o necessário nas placas de OSB, com exemplificado pelas figuras 26 e 27.

Figura 26 - Verificação da qualidade dos parafusos fixados no corpo de prova CP1



a) Placa de OSB A1.



b) Parafuso nº1 da placa de OSB A1.

Fonte: Acervo pessoal.

Figura 27-Verificação dos parafusos fixados ao corpo de prova CP2



a) Placa de OSB C1

b) Placa de OSB C2



c) Parafuso nº4 da placa de OSB C1

d) Parafuso nº10 da placa de OSB C2.

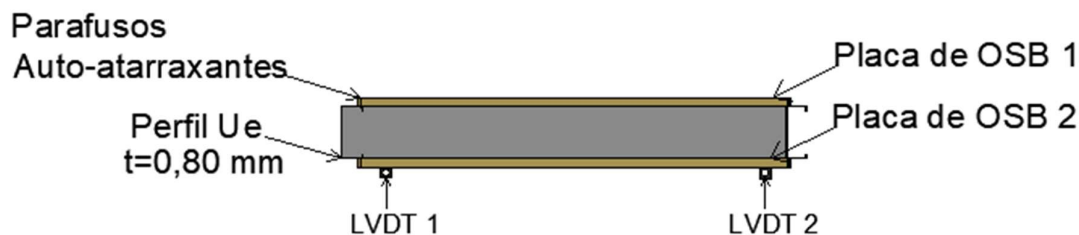
Fonte: Acervo pessoal.

5.2.3.3 Componentes utilizados nos ensaios

Visto que o ensaio do tipo “*Push-Test*” tem por objetivo a análise do comportamento (perfil-placa) quando submetidos aos esforços de carregamento, torna-se necessário para a apuração de seus resultados, a utilização de medidores de deslocamento instalados nas extremidades de cada exemplar ensaiado.

Com base nesse pressuposto e na ausência da quantidade exata de medidores de deslizamento utilizados por Villela (2015), foram instalados apenas dois medidores de deslocamento do tipo LVDT (do inglês *Linear Variable Differential Transformer* ou em português Transformador Diferencial Variável Linear) nos corpos de prova ensaiados, sendo ambos fixados no mesmo lado para que fosse possível a determinação do deslocamento máximo de pelo menos um lado do perfil, conforme exemplificado pela figura 28.

Figura 28-Posicionamento de instalação dos LVDTs



Fonte: Adaptação do trabalho de Villela (2015)

Assim como nos demais outros ensaios de resistência mecânica, foi utilizado para o presente ensaio, a Máquina Universal Mecânica com célula de carga com capacidade para 100kN, atuando a uma velocidade constante de 5 mm/min. Para que houvesse a distribuição uniforme de carregamento por todo o conjunto (perfil-placas), foram utilizadas duas vigas de madeiras, sendo uma posicionada na parte superior do painel (onde será aplicado o carregamento) e outra na base, servindo de apoio para o sistema (Figura 29).

Os dados fornecidos pela máquina de ensaio e pelos transdutores de deslocamentos LVDT1 e LVDT2, foram convertidos em gráficos e planilhas e rearranjos por meio do emprego do software de planilha da Microsoft Excel para determinação da carga máxima e deslocamento médio, obtido pelos exemplares.

Figura 29-Instalação do conjunto (perfil-placas) na máquina



Fonte: Acervo pessoal

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos por meio dos ensaios laboratoriais realizados para determinação das propriedades físicas e mecânicas das placas de OSB, estando os mesmos baseados nas prescrições apresentadas na norma americana ASTM D1037-99 – *Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials* e na adaptação dos ensaios de cisalhamento do tipo “*push test*”, prescrito no Eurocode 4 (EN, 2004) e utilizado por Villela (2015) em seu trabalho.

Para definição do grau de variabilidade entre as amostras ensaiadas, foi empregado o coeficiente de variação de Pearson (CV), também conhecido como desvio padrão relativo (DPR), no qual se baseia na medida da dispersão relativa em relação à média, expressa em porcentagem.

De modo geral, tem-se:

$CV \leq 15\%$: Baixa dispersão (Resultados homogêneos);

$15\% < CV < 30\%$: Média dispersão;

$CV \geq 30\%$: Alta dispersão (Resultados heterogêneos).

A título de comprovação da veracidade dos valores aqui expostos, foram realizados comparativos com os resultados obtidos por Gouveia (2001), Cabral et. al. (2006), Lima et. al. (2014), Villela (2015) e Silva (2017), em suas respectivas pesquisas sobre as propriedades físicas e mecânicas das placas de OSB, sendo desempenhado ao final dessa apuração, a constatação da precisão dos resultados apresentados a seguir, quando confrontados com os fornecidos pelo seu fabricante.

6.1 ENSAIOS FÍSICOS

6.1.1 Determinação da Capacidade de Absorção e Teor de inchamento

A tabela 1 e 2 apresentam os resultados obtidos por meio da realização do Método A (2 mais 22 h) da norma ASTM D1037-99 para determinação da capacidade de absorção de água (AA) e inchamento (IE) das placas de OSB. Sendo exposto por meio delas, a média e o coeficiente de variação parcial (placas analisadas de forma isolada) e total das placas ensaiadas.

Tabela 1- Capacidade de Absorção (AA)

<i>Placa Ensiada</i>	AA 2H		AA 24H	
	<i>Nível de Absorção (%)</i>	<i>C.V (%)</i>	<i>Nível de Absorção (%)</i>	<i>C.V (%)</i>
A	14,01	17,46	59,86	16,66
B	12,10	6,83	54,87	20,61
C	12,95	21,70	46,00	7,67
Média	13,02	7,35	53,58	13,10
<i>AA 2H - Absorção após 2 horas</i>			<i>C.V - Coeficiente de Variação</i>	
<i>AA 24H - Absorção após 24 horas</i>				

Fonte: Acervo pessoal

Por meio dos resultados gerados na Tabela 1, foi possível observar que nas primeiras 2 horas, as amostras (AA 2h) apresentam um índice de absorção geral de 13,02% com coeficiente de variação homogêneo de 7,35%, estando as placas A e C – quando analisadas de maneira isolada –; com taxas médias de dispersão entre os intervalos de 15 a 30%.

Após as decorridas 24 horas, as amostras (AA 24h) obtiveram um percentual de absorção igual a 53,58% com coeficiente de variação homogêneo de 13,10%, estando as placas A e B com coeficiente de variação mediano e a placa C com coeficiente de variação uniforme.

Tais inconstâncias entre as amostras das placas ensaiadas, podem ser justificadas devido a presença de vazios entre as fibras das placas de OSB durante o seu processo de fabricação, podendo o coeficiente de variação ser reduzido com a realização de ensaios com uma gama maior de amostras.

Já na Tabela 2 onde estão expostos os resultados do ensaio para determinação do teor de inchamento (IE), as amostras nas primeiras 2 horas apresentaram um nível

de inchamento igual a 7,37% com coeficiente de variação geral (e parcial) homogêneo.

Passado as 24 horas, o teor de inchamento médio das placas ensaiadas subiu para 17,85% com coeficiente de variação total (e parcial) uniforme.

Ao final do ensaio com as amostras sendo retiradas da estufa, as mesmas apresentaram um percentual de recuperação médio de 5,38% com coeficiente de variação com média dispersão.

Tabela 2: Teor de Inchamento (EI)

Placa Ensaada	IE 2H		IE 24H		Estufa	
	Teor de Inchamento (%)	C.V (%)	Teor de Inchamento (%)	C.V (%)	Recuperação (%)	C.V (%)
A	7,98	9,48	19,09	5,49	6,06	15,34
B	6,87	3,79	16,99	5,33	4,62	20,65
C	7,25	15,08	17,50	4,85	5,46	15,91
Média	7,37	7,69	17,86	6,11	5,38	13,44

IE 2H - Inchamento após 2 horas *C.V - Coeficiente de Variação*
IE 24H - Inchamento após 24 horas

Fonte: Acervo pessoal

Comparando os valores encontrados nos dois ensaios (AA e EI) com os obtidos por Gouveia (2001) em sua avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis de OSB produzidos com 100% de *Pinus elliottii*, foi constatado que para a absorção de 2 e 24 horas, os valores médios de 13,02% e 53,58%, respectivamente, apresentaram-se abaixo dos 21,56% e 60,25% encontrados pelo autor. Da mesma forma, sucedeu para os valores obtidos para o teor de inchamento, estando os valores de 7,37% e 17,86%, abaixo dos 16,59% e 28,22% alcançados pelo mesmo.

Entretanto, quando comparado com o teor de inchamento encontrado pelo fabricante após 24 horas, o valor de 17,86% mostrou-se acima dos 8,5% esperado.

Nesse sentido, os resultados médios conquistados no presente estudo, estão de acordo com os encontrados na literatura, porém 110,12% acima do estipulado pelo fabricante das placas de OSB.

6.1.2 Determinação do Teor de Umidade

Com base nas especificações expressas na norma americana ASTM D1037-99 para determinação do teor de umidade, foi obtido o valor médio de 9,31% com coeficiente de variação homogêneo de 1,10%, conforme exposta na Tabela 3.

Tabela 3-Teor de Umidade

<i>Placa Ensaçada</i>	TU (%)	Mínimo	Média	Máximo	C.V (%)
A	9,429				
B	9,262	9,24	9,31	9,43	1,10
C	9,244				

C.V - Coeficiente de Variação

Fonte: Acervo pessoal

Quando comparado com a média apresentada por Silva (2017) em sua avaliação das propriedades das placas de OSB Home Plus, o valor médio de 9,31% apresentou-se condizente com os 9,36% alcançados pelo autor. Tornando tal propriedade analisada, plausível de ser considerada válida.

6.1.3 Determinação da Massa Específica Aparente

A Tabela 4 expõe os resultados alcançado por meio da realização do ensaio para determinação da massa específica aparente das placas de OSB. Sendo definido como a média e o coeficiente de variação homogêneo, os valores de 0,61 g/cm³ e 1,83%, respectivamente.

Tabela 4: Massa Específica Aparente

<i>Placa Ensaçada</i>	Mea (g/cm ³)	Mínimo	Média	Máximo	C.V (%)
A	0,615				
B	0,595	0,59	0,61	0,62	1,83
C	0,613				

C.V - Coeficiente de Variação

Fonte: Acervo pessoal

De acordo com Shuler e Kelly (1976) e Haygreen e Bowyer (1982) apud Gouveia (2001), a densidade aparente ou massa específica aparente, apresenta-se como sendo a mais importante das propriedades físicas analisadas em uma chapa, estando a mesma correlacionada diretamente com as demais propriedades (físicas e mecânicas), com exceção da expansão linear.

Confrontando tais resultados como os obtidos pelo fabricante, foi possível verificar que a média de 0,61 g/cm³ se apresentou próxima ao valor de 0,62 g/cm³ estabelecido pelo fabricante.

6.2 ENSAIOS MECÂNICOS

6.2.1 Resistência à Flexão Estática

Por intermédio da norma ASTM D1037-99, foi determinado a média e o coeficiente de variação do módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) das placas de OSB ensaiadas no sentido paralelo e perpendicular a direção das fibras.

Tabela 5-Resistência à Flexão Estática

<i>Placa Ensiada</i>		<i>MOE (Kgf/cm²)</i>	<i>MOE (Mpa)</i>	<i>Média</i>	<i>C.V (%)</i>	<i>MOR (Kgf/cm²)</i>	<i>MOR (Mpa)</i>	<i>Média</i>	<i>C.V(%)</i>
Paralela	A	48.623,61	4.768,37	4.770,55	4,87	335,10	32,86	32,82	1,55
	B	46.287,73	4.539,30			339,57	33,30		
	C	51.026,22	5.003,99			329,26	32,29		
Perpendicular	A	22.758,33	2.231,84	2.213,66	3,47	175,15	17,18	17,20	5,99
	B	21.713,82	2.129,41			165,00	16,18		
	C	23.246,78	2.279,74			186,01	18,24		

MOE - Módulo de Elasticidade *C.V - Coeficiente de Variação*
MOR - Módulo de Ruptura

Fonte: Acervo pessoal

Conforme apresentado na Tabela 5, a média do módulo de elasticidade (MOE), no sentido paralelo e perpendicular a direção das fibras das placas de OSB, foram respectivamente 4.770,20 MPa e 2.213,66 MPa, estando seus coeficientes de variação abaixo do máximo permitido para resultados homogêneos.

Para o módulo de ruptura (MOR), as amostras ensaiadas apresentaram valores médios iguais a 32,82 MPa no sentido paralelo e 17,20 MPa no sentido perpendicular a orientação das fibras, ocorrendo assim como para o cálculo do MOE, coeficientes de variação abaixo do máximo estipulado para resultados homogêneos.

Segundo a norma canadense CSA 0437.0-93 apud Lima et. al. (2014), os valores mínimos para o módulo de elasticidade (MOE) das placas comercializadas, devem ser de 5.393,69 MPa (55.000 kgf/cm²) para o sentido paralelo e 1.471,01 MPa (15.000 kgf/cm²) para o sentido perpendicular. Sendo estipulado para o módulo de ruptura (MOR), os valores médios de 28,44 MPa (290 kgf/cm²) para o sentido paralelo e 12,16 MPa (124 kgf/cm²) para o sentido perpendicular a direção das fibras. Estando os valores médios e apontados na Tabela 5, condizentes com os estipulados na norma canadense, ocorrendo apenas para o módulo de elasticidade (MOE) no sentido paralelo a direção das fibras, uma diferença de 11,55% com o mínimo necessário.

6.2.2 Resistência ao Arranque de Parafusos

A Tabela 6 apresenta os valores médios encontrados para cada placa ensaiada, conforme descrito na norma ASTM D1037-99 para resistência ao arranque de parafusos. Para que fosse analisado a qualidade com que foi executado o ensaio, foi gerado a média e o coeficiente de variação entre as três placas de OSB avaliadas.

Tabela 6-Resistência ao Arranque de Parafusos

<i>Placa Ensaçada</i>	<i>Resistência (Kgf)</i>	<i>Resistência (N)</i>	Mínimo	Média	Máximo	C.V (%)
A	93,68	918,69				
B	100,58	986,35	918,69	979,36	1.033,03	5,87
C	105,34	1.033,03				

C.V - Coeficiente de Variação

Fonte: Acervo pessoal

Com base nesse pressuposto, foi determinado como sendo a média da resistência ao arranque de parafusos, o valor igual a 979,36 N, estando seu coeficiente de variação, enquadrado da faixa de baixa dispersão.

Quando a média é confrontada com outras produções acadêmicas, como a de Cabral et. al. (2006) em sua análise comparativa entre as espécies de *Eucalyptus grandis*, *urophylla*, *Cloeziana* e *Pinus elliottii*, o valor de 979,36 N, apresenta-se inferior aos 1.536,80 N (156,71 Kgf) encontrado pelos autores.

6.2.3 Ensaio de Cisalhamento do tipo “*Push-Test*”

6.2.3.1 Análise da Execução dos Ensaios

O primeiro exemplar a ser instalado na máquina de ensaios foi o corpo de prova intitulado de CP2 com placas de OSB do tipo C, conforme apresenta na figura 30. Os transdutores de deslocamento (LVDTs) foram fixados nos elementos (perfil-placa), onde ocorreu a perfuração mais excessiva do parafuso na placa de OSB (Figura 31), tendo por objetivo a verificação de uma possível influência de tal adversidade em seu resultado.

Figura 30-Corpo de prova CP2 posicionado na máquina de ensaios



Fonte: Acervo pessoal

Figura 31-LVDTs instalados no corpo de prova CP2



Fonte: Acervo pessoal

O presente modelo ensaiado, atingiu a sua carga máxima no tempo médio de 133,85 segundos (2,23 min), estando a máquina atuando a uma velocidade constante, conforme mencionado no item 5.2.3.3 de 5 mm/min.

Por meio do ensaio, foi possível observar que ambas as placas tiveram ruptura do tipo “*pull-over*”, onde o flange do perfil estava posicionado para fora do montante (Figura 32), sendo constatado ainda que seus respectivos parafusos sofreram

possivelmente uma solicitação maior de esforços – quando comparado ao outro lado do perfil –; já que os mesmos obtiveram uma rotação mais acentuada de seus parafusos.

Figura 32-Ruptura do tipo "pull-over" no corpo de prova CP2



Fonte: Acervo pessoal

No parafuso de nº10 da placa de OSB C2, a qual foi destacado no item 5.2.3.2, por ter apresentado uma penetração excessiva na placa, não foi registrado interferências significativas no que diz respeito a qualidade da fixação entre o perfil metálico de a placa de OSB, permanecendo ambos os elementos associados durante toda a realização do ensaio (Figura 33).

Figura 33-Parafuso nº 10 após a realização do ensaio



Fonte: Acervo pessoal

O segundo exemplar a ser ensaiado foi o corpo de prova CP5, composto por placas de OSB do tipo B fixadas ao perfil metálico formado a frio (Figura 34). Devido ao fato do conjunto não ter apresentado nenhuma adversidade no momento da sua constituição, os transdutores de deslocamento (LVDTs) foram instalados na placa de OSB B1 de maneira eventual (Figura 35), havendo como única variação do primeiro para o segundo ensaio, o posicionamento do conjunto (perfil-placas) na máquina.

Figura 34-Corpo de prova CP5 posicionado na máquina de ensaios



Fonte: Acervo pessoal

Figura 35-LVDTs instalados no corpo de prova CP5



Fonte: Acervo pessoal

Por meio do gráfico gerado pelo software da máquina, foi observado que o corpo de prova CP5 atingiu a carga máxima com o tempo médio de 152,176 segundos (2,54 min), estando a máquina atuando, assim como no primeiro ensaio, a uma velocidade constante de 15 mm/min.

Por intermédio da análise visual, foi constatado uma certa similaridade entre os modelos CP5 e o CP2, no que diz respeito ao tipo e local onde ocorreram as rupturas denominadas de “pull-over” nas placas de OSB, como pode ser analisado a seguir:

Figura 36-Ruptura do tipo "pull-over" no corpo de prova CP5



Fonte: Acervo pessoal

No flange do perfil U_e , onde não ocorreu a ruptura do tipo “*pull-over*”, as placas de OSB permaneceram fixadas ao perfil, havendo apenas uma pequena rotação do parafuso de nº 1, conforme mostrado na figura 37.

Figura 37-Parafuso de nº 1 da placa de OSB B1



Fonte: Acervo pessoal

No último corpo de prova a ser ensaiado, o CP1 com placas de OSB do tipo A (na qual recebeu a identificação indevida em suas laterais), tiveram os transdutores de deslocamento (LVDTs) instalados no mesmo lado onde havia sido fixado os LVDTs do modelo CP5 – devido ao posicionamento já existente do equipamento na máquina –; não sendo seguido o critério de instalação empregado no modelo CP2 para placas com parafusos com uma maior penetração na placa de OSB.

A velocidade de atuação da máquina, como já mencionada na descrição dos demais ensaios, foi de 15 mm/min, com carga máxima efetuado no tempo médio de 144,187 segundos (2,40 min).

Figura 38-Corpo de prova CP1 posicionado na máquina de ensaios



Fonte: Acervo pessoal

Por eventualidade, o parafuso de nº1 mencionado no item 5.2.3.2, por ter apresentado uma penetração excessiva na placa de OSB, coincidiu com o flange do perfil posicionado para o lado externo do montante, a qual sofreu a ruptura do tipo “*pull-over*” em dois dos parafusos da placa A1 (sendo um deles, o parafuso de nº1), enquanto que os demais do mesmo lado do flange, finalizaram o processo de ensaio com o esmagamento parcial da área onde se encontravam fixados os parafusos do tipo cabeça estriada e ponta broca, como exposto pela figura 39.

Em contra partida, assim como nos modelos CP2 e CP5, as extremidades das placas A1 e A2 parafusadas no flange do perfil posicionado para o interior do montante ensaiado, não sofreram danos exorbitantes na sua integridade física, como destacado pela figura 40.

Figura 39-Rompimento do tipo "pull-over" na placa de OSB A1



Fonte: Acervo pessoal

Figura 40-Uma das extremidades preservados do corpo de prova CP1



Fonte: Acervo pessoal

6.2.3.2 Análise dos Resultados

A norma europeia EN 1994-1-1: 2004 prevê, conforme exemplificado por Villela (2015), que se três corpos de prova nominalmente idênticos forem ensaiados e seus desvios de resultados individuais não excederem 10% da média de todos os outros ensaios, a resistência característica (P_{Rk}) deverá ser tomada como a menor carga de colapso (dividida pelo número de conectores) reduzida de 10%.

Sendo que “a capacidade de deslizamento de um corpo de prova (δ_u) corresponde ao deslizamento medido para o nível de carga característico. Ou seja, corresponde ao deslizamento máximo no qual o conector ainda suporta 90% de sua resistência característica ao cisalhamento” (VERÍSSIMO, 2007, p.18). Desse modo, a capacidade de deslizamento característico de um corpo de prova (δ_{uk}) deverá ser tomada como o mínimo valor de δ_u medido durante os ensaios, reduzido de 10%. E os conectores de cisalhamento classificados como dúcteis se apresentarem deslizamentos característicos (δ_{uk}) superiores a 6 mm.

Com base nessas considerações, no número limitado de transdutores de deslocamentos (LVDTs) e no padrão de deslizamento ocorrido no momento da realização dos ensaios – conforme destacado do item 6.2.3.2 e observado por Villela (2015) em grande parte de seus exemplares ensaiados –; a análise conjunta dos resultados, torna-se incoerente com as especificações impostas na norma EN 1994-1-1: 2004, visto que seus valores não mantêm o critério de semelhança exigido pela mesma. Dessa forma, ao ser considerado a média dos LVDTs 1 e 2 fixados em apenas um dos lados do perfil, o seu resultado não seria congruente com a avaliação do ensaio de cisalhamento do tipo “*Push-Test*”.

Partindo desse pressuposto, foi assumido para avaliação dos resultados, os valores de LVDT 1 e LVDT 2 como sendo a média de cada extremidade analisada. Desde modo, foi definido para a capacidade de deslocamento (δ_u) de cada modelo, os valores de LVDT 1 e LVDT 2 equivalentes a 90% da carga última resistida, conforme disposto na Tabela 7.

Tabela 7- Carga x Deslizamento (Média dos LVDTs 1 e 2)

Placa Ensaçada	Carga Última (Kgf)	Média do deslizamento Máximo (mm)		Capacidade de Deslizamento δ_u (mm)	
		LVDT 1 (mm)	LVDT 2 (mm)	LVDT 1 (mm)	LVDT2 (mm)
A (CP1)	1866	1,79	8,02	1,34	6,47
B (CP5)	1677	2,44	7,55	1,70	5,85
C (CP2)	1769	1,52	8,45	0,83	7,36

LVDT-Transformador Diferencial Variável Linear

Fonte: Acervo pessoal

Ao ser analisado o deslizamento gerado por ambos os lados dos corpos de provas ao decorrer da realização dos ensaios, é possível observar a discrepância entre o lado que sofreu ruptura do tipo “pull-over” (identificado pelo transdutor LVDT 2) e o lado que permaneceu conectado ao perfil (identificado pelo transdutor LVDT 1).

Com base nessas informações e nas considerações adotados por Villela (2015) em seu trabalho, foi selecionado para determinação da resistência e deslizamento característico, os valores correspondentes a maior capacidade de deslizamento (δ_u), registrados pelos LVDTs expostas na Tabela 7.

Tabela 8-Maior Capacidade de Deslizamento Obtida por Modelo

Placa Ensaçada	Carga Última (Kgf)	Média do deslizamento Máximo (mm)	Capacidade de Deslizamento δ_u (mm)	Validação			
		LVDT 2 (mm)	LVDT 2 (mm)	Desvio Padrão	10% da Média	PRK (Kgf)	δ_{uk} (mm)
A (CP1)	1866	8,02	6,47	0,76	0,66	125,78	5,26
B (CP5)	1677	7,55	5,85				
C (CP2)	1769	8,45	7,36				

LVDT-Transformador Diferencial Variável Linear

 δ_{uk} -Capacidade de Deslocamento Característico

PRK-Resistência Característica

Fonte: Acervo pessoal

De acordo com a Tabela 8, os resultados obtidos por meio da ruptura dos três exemplares, não são válidos, dado que o desvio padrão obtido, excedeu os 10% da média da capacidade de deslizamento (δ_u), estabelecida na norma EN 1994-1-1: 2004.

Desse modo, para que ocorra a classificação precisa dos modelos ensaiados, novos testes deverão ser realizados, onde se obtenha três corpos de prova nominalmente idênticos com desvio padrão de qualquer resultado individual não excedendo os 10% da média de todos os outros ensaios.

Quando comparado por mera formalidade a série 3 do trabalho de Villela (2015), composta por três exemplares de reticulados metálicos compostos por dois perfis Ue 90x40x12x0,95, placas de OSB de 11,1 mm de espessura, com

espaçamento entre montantes de 600 mm e espaçamento entre parafusos de 150 mm, os resultados de resistência característica (P_{Rk}) e deslizamentos característicos (δ_{uk}), apresentaram-se relativamente próximos dos 137,99 Kgf e 7,48 mm encontrados pela autora, havendo uma diferença entre os resultados de resistência característica (P_{Rk}) e deslizamentos característicos (δ_{uk}) de 8,85% e 29,68%, respectivamente.

7 CONCLUSÃO

É possível concluir, com base nos ensaios laboratoriais e no comparativo realizado com os dados apresentados pelo fabricante das placas de OSB e outras produções acadêmicas que, para as propriedades físicas analisadas, as mesmas se apresentaram condizentes com as obtidas pelas fontes citadas anteriormente, havendo apenas uma considerável discrepância entre os resultados fornecidos pelo fabricante e os encontrados durante a realização do ensaio para determinação do teor de inchamento, sendo tal diferença cerca de 110,12% acima da estipulada.

Para as propriedades mecânicas analisadas, a resistência à flexão estática, obteve para o módulo de elasticidade (MOE) no sentido perpendicular e para o módulo de ruptura no sentido paralelo e perpendicular a direção das fibras, valores superiores aos exigido pela norma CSA 0437.0-93 apud Lima et. al. (2014) para comercialização de placas de OSB, ocorrendo apenas para o módulo de elasticidade (MOE) no sentido paralelo a orientação das fibras, uma diferença de 11,55% com o mínimo especificado.

No ensaio de resistência ao arranque de parafusos, os valores alcançados apresentaram-se cerca de 36,27% abaixo da média encontrada por Cabral et. al. (2006) em sua análise comparativa entre as espécies de *Eucalyptus grandis*, *urophylla*, *Cloeziana* e *Pinus elliottii*, sendo recomendável para confirmação de tais valores, a realização de ensaios com uma gama maior de amostras.

Para a adaptação do ensaio do tipo “*Push-Test*” efetuado por Villela (2015) e empregado no presente estudo para a avaliação do comportamento das placas de OSB quando associadas por meio de parafusos auto-atarraxantes aos reticulados metálicos de perfis formados a frio, foi constatado a necessidade da realização de ensaios complementares para a correta classificação dos mesmos, visto que os resultados obtidos não cumpriram com as exigências estipuladas na norma europeia EN 1994-1-1: 2004 para determinação da resistência característica (P_{Rk}) e deslizamentos característicos (δ_{uk}) dos modelos analisados.

Quanto à possibilidade de atuação das placas de OSB como um sistema de contraventamento nas estruturas em Light Steel Framing, o ensaio do tipo “*Push-Test*”, apesar de analisar a interação entre os elementos (perfil-placa-parafuso), o mesmo não fornece parâmetros suficiente para a classificação precisa de tal propriedade, sendo necessário para isso, uma possível avaliação do painel com e sem

a placa para constatação da real resistência fornecida pelas placas de OSB para os painéis de parede do sistema construtivo em LSF.

8 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Realização de ensaios do tipo “*Push-Test*” com placas fixadas aos reticulados metálicos com quantidades distintas de parafusos;
- Avaliação numérica do sistema (perfil-placas);
- Realização de ensaios com transdutores de deslocamentos (LVDTs) instalados nas quatro extremidades dos modelos para apuração mais precisa dos resultados;
- Realização de ensaios nos painéis do sistema em *Light Steel Framing* sem as placas de OSB;
- Realização de ensaios com esforços aplicados nas laterais dos painéis.
- Análise dos painéis com placas de OSB com diferentes teores de umidade para simulação dos efeitos de intempéries climáticas.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual book of ASTM Standards. Philadelphia, 1999. v.04.09 (**Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials**: ASTM D 1037– 99).

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

CABRAL, C.P.T.; VITAL, B.R.; LUCIA, R.M.D.; PIMENTA, A.S.; SOARES, C.P.B.; CARVALHO, A.M.M.L. **Propriedades de chapas tipo OSB, fabricadas com partículas de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus Cloeziana* e *Pinus elliottii***. *Revista Árvore*. Viçosa, n.4, vol.30, julho-agosto, 2006.

DIAS, G.L; SANTOS, A.C; LIMA, A.L; SZUCS, C. A. **Determinação de Propriedades Mecânicas do OSB. IX Encontro Brasileiro em Madeira e em Estruturas de Madeira**. Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, julho, 2004.

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

GOUVEIA, F.N. **Produção de Partículas Orientadas (OSB) a Partir das Espécies *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e *Pinus elliottii* Engelm.** Dissertação de Mestrado. 2001. 69p. Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

LIMA, J.T.C; LIMA, J.V; JÚNIOR, J.B.G; GUIMARÃES, J.C.O; PROTÁSIO, T.P. **Avaliação da Qualidade de Painéis OSB Produzidos com Madeira de *Cecropia Pachystachya***. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.10, n. 19, dezembro, 2014.

LP Building Products. Catálogo Técnico: OSB – Placas Estruturais para Construção CES. Julho de 2012. Acesso em 25 de novembro de 2018, disponível em LP Building Products: <https://www.lpbrasil.com.br>

MENDES, L.M; IWAKIRI, S; MATOS, J.L.M; KEINERT JR, S; SALDANHA, L.K. **Avaliação do Sistema de Orientação de Partículas na Produção de Painéis OSB (Oriented Strand Board)**. *Ciência Florestal*. Santa Maria, Brasil, n.2, vol.12, setembro, 2002.

RODRIGUES, F.C.; CALDAS, R.B. *Steel Framing: Engenharia*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia - Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2006.

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.

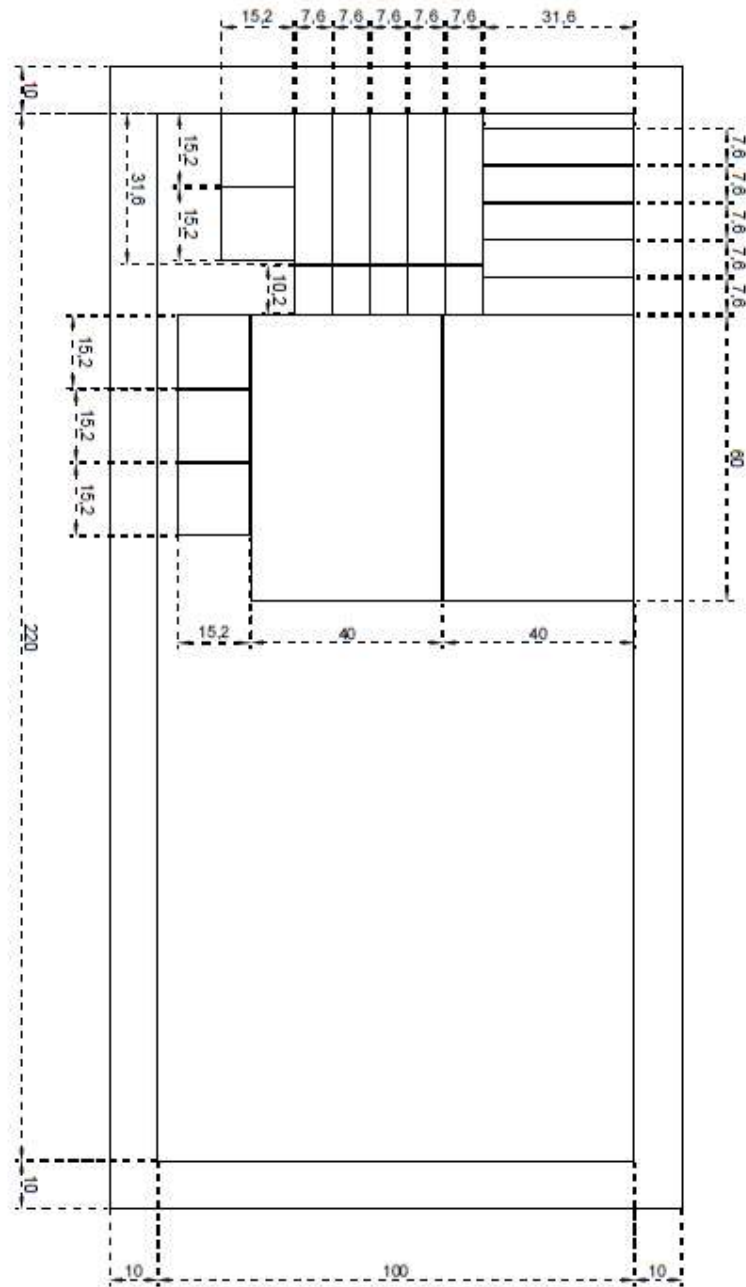
SILVA, R.L. **Comparativo da Placa de OSB Home Plus com a Placa de Compensado Naval como Contraventamento e Fechamento Vertical Externo do Sistema *Light Steel Framing***. Trabalho de Conclusão de Curso. 2017. 96p. Engenharia Civil, Centro Universitário Planalto do Distrito Federal – UNIPLAN, Brasília, Distrito Federam, Brasil.

VERÍSSIMO, G.S. **Desenvolvimento de um Conector de Cisalhamento em Chapa Dentada para Estruturas Mistas de Aço e Concreto e Estudo do seu Comportamento**. Tese de Doutorado. 2007. 290p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

VILLELA, S.M. **Determinação das Propriedades Mecânicas das Placas de OSB e do Comportamento da Ligação entre as Placas de OSB e o Reticulado de Aço do Sistema *Light Steel Framing***. Dissertação de Mestrado. 2015. 170p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas - Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

ANEXOS

- Planta de Corte dos Corpos de Prova:



- Planilhas de Cálculo:

Capacidade de Absorção de Água					
Amostra	Massa Inicial (g)	Depois de 2 h		Depois de 24 h	
		Massa (g)	Nível de Absorção	Massa (g)	Nível de Absorção
AA, I1	155,85	175,97	12,91	243,41	56,18
AA, I2	164,19	183,57	11,80	261,96	59,55
AA, I3	158,19	179,23	13,30	230,09	45,45
AA, I4	150,22	171,03	13,85	256,81	70,96
AA, I5	153,44	181,32	18,17	256,52	67,18
Média	-	-	14,01	-	59,86
D.P	-	-	2,45	-	9,97
C.V	-	-	17,46	-	16,66
BA, I1	160,75	179,56	11,70	248,66	54,69
BA, I2	167,51	189,57	13,17	230,75	37,75
BA, I3	167,77	187,20	11,58	257,90	53,72
BA, I4	171,88	191,23	11,26	273,69	59,23
BA, I5	162,19	182,90	12,77	274,00	68,94
Média	-	-	12,10	-	54,87
D.P	-	-	0,83	-	11,31
C.V	-	-	6,83	-	20,61
CA, I1	166,20	192,17	15,63	251,20	51,14
CA, I2	172,85	191,21	10,62	244,80	41,63
CA, I3	172,14	189,73	10,22	248,26	44,22
CA, I4	162,93	182,60	12,07	237,88	46,00
CA, I5	169,64	197,18	16,23	249,43	47,03
Média	-	-	12,95	-	46,00
D.P	-	-	2,81	-	3,53
C.V	-	-	21,70	-	7,67
D.P - Desvio Padrão					

Massa Específica Aparente (Mea)					
Amostra	Massa (g)	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura (cm)	Mea (g/cm)
AFL1	178,61	31,60	7,674	1,180	0,624
AFL2	173,49	31,60	7,678	1,176	0,608
AFL3	173,24	31,60	7,679	1,175	0,608
AFL4	174,08	31,60	7,684	1,174	0,611
AFL5	171,94	31,60	7,684	1,173	0,604
AFT1	177,59	31,60	7,668	1,165	0,629
AFT2	171,74	31,60	7,666	1,173	0,604
AFT3	172,73	31,60	7,667	1,160	0,615
AFT4	173,47	31,60	7,663	1,165	0,615
AFT5	181,39	31,60	7,667	1,178	0,635
Média	174,83	31,60	7,67	1,17	0,615
Máximo	181,39	31,60	7,68	1,18	0,635
Mínimo	171,74	31,60	7,66	1,16	0,604
D.P	3,23	0,00	0,01	0,01	0,011
C.V (%)	1,85	0,00	0,10	0,55	1,775
BFL1	171,11	31,60	7,687	1,192	0,591
BFL2	167,44	31,60	7,749	1,189	0,575
BFL3	175,81	31,60	7,673	1,188	0,610
BFL4	175,51	31,60	7,672	1,179	0,614
BFL5	175,11	31,60	7,667	1,179	0,613
BFT1	167,57	31,60	7,675	1,189	0,581
BFT2	170,97	31,60	7,676	1,194	0,590
BFT3	174,77	31,60	7,662	1,195	0,604
BFT4	164,96	31,60	7,667	1,181	0,576
BFT5	170,81	31,60	7,66	1,187	0,594
Média	171,41	31,60	7,68	1,19	0,595
Máximo	175,81	31,60	7,75	1,20	0,614
Mínimo	164,96	31,60	7,66	1,18	0,575
D.P	3,86	0,00	0,03	0,01	0,015
C.V (%)	2,25	0,00	0,33	0,50	2,495
CFL1	177,34	31,60	7,680	1,186	0,616
CFL2	179,46	31,60	7,671	1,190	0,622
CFL3	176,71	31,60	7,674	1,190	0,612
CFL4	178,70	31,60	7,678	1,198	0,615
CFL5	172,84	31,60	7,673	1,192	0,598
CFT1	179,64	31,60	7,605	1,177	0,635
CFT2	178,61	31,60	7,672	1,187	0,621
CFT3	174,89	31,60	7,669	1,184	0,610
CFT4	169,35	31,60	7,668	1,180	0,592
CFT5	173,75	31,60	7,663	1,178	0,609
Média	176,13	31,60	7,67	1,19	0,613

Máximo	179,64	31,60	7,68	1,20	0,635
Mínimo	169,35	31,60	7,60	1,18	0,592
D.P	3,37	0,00	0,02	0,01	0,012
C.V (%)	1,91	0,00	0,28	0,58	1,985

Inchamento							
Amostra	Espessura Inicial (mm)	Depois de 2 h		Depois de 24 h		Estufa	
		Espessura (mm)	Nível de Inchamento (%)	Espessura (mm)	Nível de Inchamento (%)	Espessura (mm)	Recuperação (%)
AA, I1	11,71	12,78	9,17	14,00	19,61	12,42	6,10
AA, I2	11,70	12,65	8,14	14,05	20,05	12,59	7,57
AA, I3	11,76	12,61	7,19	13,99	18,93	12,37	5,20
AA, I4	11,68	12,55	7,52	13,95	19,49	12,38	6,00
AA, I5	11,53	12,44	7,89	13,54	17,36	12,16	5,41
Média	-	-	7,98	-	19,09	12,38	6,06
D.P	-	-	0,76	-	1,05	-	0,93
C.V (%)	-	-	9,48	-	5,49	-	15,34
BA, I1	11,75	12,54	6,72	13,72	16,77	12,22	4,02
BA, I2	11,82	12,59	6,57	13,74	16,25	12,21	3,37
BA, I3	11,80	12,65	7,21	13,70	16,12	12,35	4,68
BA, I4	11,86	12,70	7,07	13,94	17,57	12,54	5,75
BA, I5	11,88	12,68	6,79	14,05	18,25	12,50	5,27
Média	-	-	6,87	-	16,99	12,37	4,62
D.P	-	-	0,26	-	0,91	-	0,95
C.V (%)	-	-	3,79	-	5,33	-	20,65
CA, I1	11,93	12,93	8,36	14,08	18,00	12,46	4,39
CA, I2	11,95	12,66	5,91	13,96	16,79	12,59	5,36
CA, I3	11,92	12,67	6,31	13,98	17,23	12,73	6,79
CA, I4	11,95	12,85	7,52	13,95	16,77	12,57	5,19
CA, I5	11,98	12,95	8,13	14,22	18,73	12,65	5,58
Média	-	-	7,25	-	17,50	12,60	5,46
D.P	-	-	1,093	-	0,85	-	0,87
C.V (%)	-	-	15,08	-	4,85	-	15,91

D.P - Desvio Padrão

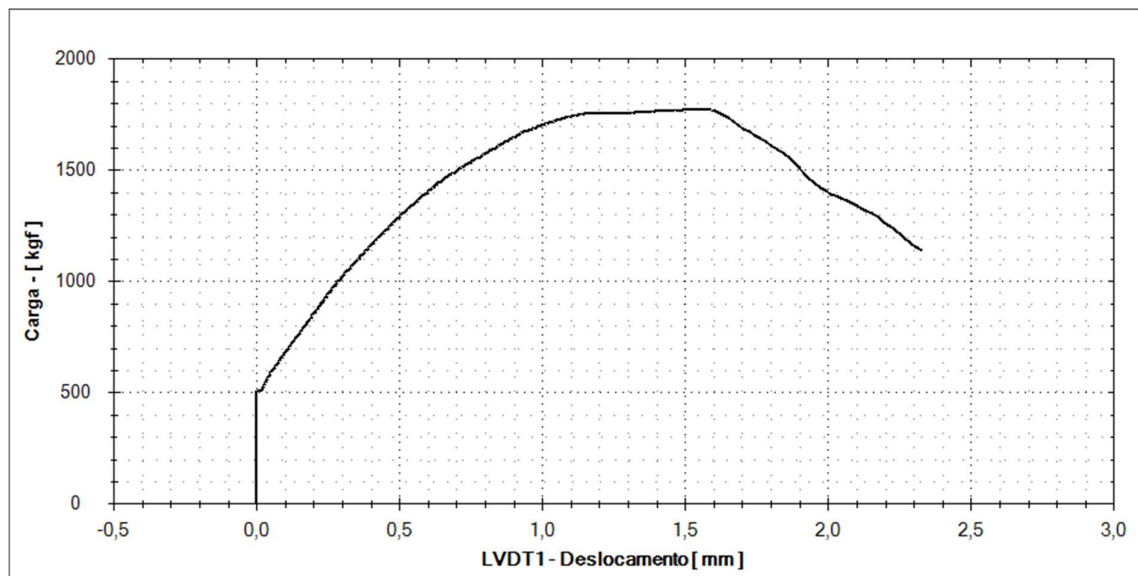
Teor de Umidade			
<i>Amostra</i>	<i>Massa Inicial (g)</i>	<i>Massa Final (g)</i>	<i>%</i>
AFL1	56,67	51,82	9,36
AFL2	54,24	49,56	9,44
AFL3	55,02	50,26	9,47
AFL4	54,84	50,12	9,42
AFL5	54,53	49,82	9,45
			9,43
BFL1	55,05	50,31	9,42
BFL2	52,79	48,33	9,23
BFL3	56,5	51,71	9,26
BFL4	56,7	51,89	9,27
BFL5	54,28	49,74	9,13
			9,262
CFL1	57,98	53,25	8,88
CFL2	56,19	51,43	9,26
CFL3	58,15	53,21	9,28
CFL4	56,05	51,32	9,22
CFL5	55,13	50,31	9,58
Média	55,61	50,87	9,24
D.P	1,46	1,37	0,16
<i>D.P - Desvio Padrão</i>			

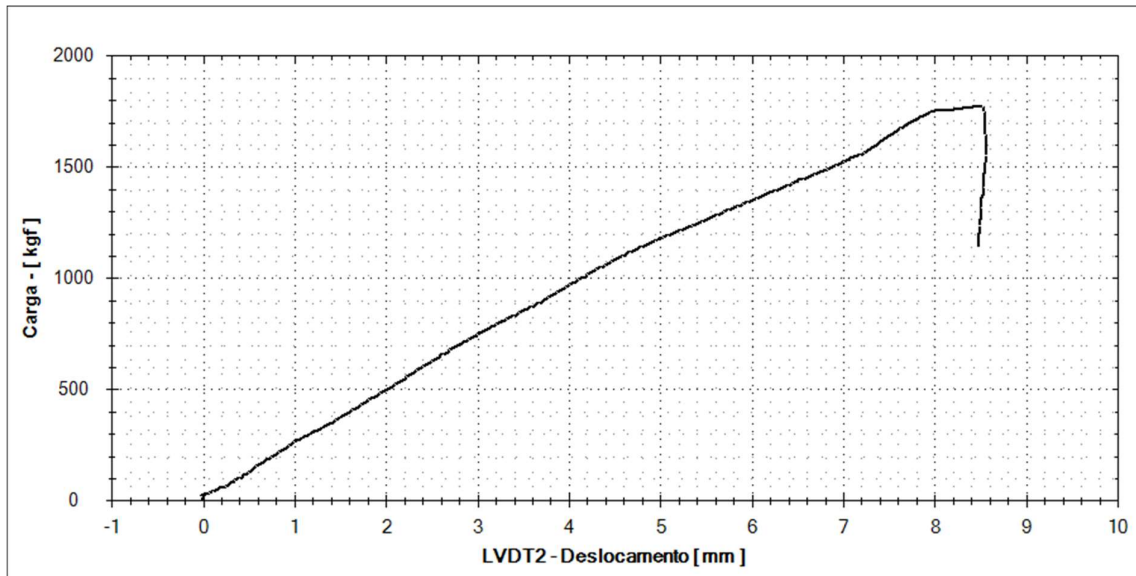
Flexão Estática							
<i>Amostra</i>	<i>Deformação (cm)</i>	<i>Carga no LP (kgf)</i>	<i>Carga na Ruptura (kgf)</i>	<i>MOE (Kgf/cm²)</i>	<i>MOE (MPa)</i>	<i>MOR (Kgf/cm²)</i>	<i>MOR (Mpa)</i>
AFL1	0,40	49,71	87,30	46.981,29	4.607,31	326,71	32,04
AFL2	0,48	57,82	85,90	46.052,05	4.516,19	323,26	31,70
AFL3	0,40	50,12	88,10	47.503,26	4.658,50	332,05	32,56
AFL4	0,36	51,06	88,80	53.909,62	5.286,75	335,17	32,87
AFL5	0,43	54,58	94,80	48.671,84	4.773,10	358,32	35,14
Média	0,41	52,66	88,98	48.623,61	4.768,37	335,10	32,86
D.P	0,04	3,46	3,43	3.102,80	304,28	13,77	1,35
C.V (%)	10,35	6,58	3,85	6,38	6,38	4,11	4,11
BFL1	0,40	48,13	101,40	43.163,54	4.232,92	370,86	36,37
BFL2	0,41	49,17	87,70	43.667,63	4.282,35	319,81	31,36
BFL3	0,37	51,06	89,90	50.502,83	4.952,66	331,51	32,51
BFL4	0,37	48,09	91,80	49.414,36	4.845,92	344,10	33,74
BFL5	0,37	43,77	88,40	44.690,29	4.382,64	331,58	32,52
Média	0,38	48,05	91,84	46.287,73	4.539,30	339,57	33,30
D.P	0,02	2,68	5,57	3.417,61	335,15	19,49	1,91

C.V (%)	5,44	5,57	6,07	7,38	7,38	5,74	5,74
CFL1	0,36	46,20	76,60	46.784,61	4.588,03	283,17	27,77
CFL2	0,45	68,39	115,60	55.100,49	5.403,54	424,98	41,68
CFL3	0,44	65,86	112,50	55.120,10	5.405,46	413,68	40,57
CFL4	0,34	48,63	88,00	51.923,37	5.091,97	318,90	31,27
CFL5	0,31	39,24	56,10	46.202,53	4.530,94	205,55	20,16
Média	0,38	53,66	89,76	51.026,22	5.003,99	329,26	32,29
D.P	0,06	12,79	24,97	4.342,34	425,84	91,95	9,02
C.V (%)	16,64	23,84	27,82	8,51	8,51	27,93	27,93
AFT1	0,33	17,93	36,90	21.199,14	2.078,94	141,71	13,90
AFT2	0,42	25,30	44,50	22.940,48	2.249,70	168,53	16,53
AFT3	0,44	28,03	53,50	24.870,96	2.439,02	207,15	20,31
AFT4	0,39	19,99	36,00	20.083,60	1.969,54	138,36	13,57
AFT5	0,53	34,79	58,60	24.697,47	2.422,01	220,01	21,58
Média	0,42	25,21	45,90	22.758,33	2.231,84	175,15	17,18
D.P	0,07	6,70	10,00	2.111,99	207,12	37,26	3,65
C.V (%)	17,52	26,60	21,79	9,28	9,28	21,27	21,27
BFT1	0,35	21,07	41,00	21.781,24	2.136,02	151,00	14,81
BFT2	0,39	24,32	48,90	22.599,27	2.216,24	178,50	17,51
BFT3	0,40	23,40	48,20	21.383,43	2.097,01	176,03	17,26
BFT4	0,26	12,77	33,30	18.213,79	1.786,17	124,40	12,20
BFT5	0,34	22,49	52,70	24.591,39	2.411,60	195,10	19,13
Média	0,35	20,81	44,82	21.713,82	2.129,41	165,00	16,18
D.P	0,05	4,65	7,70	2.314,54	226,98	27,63	2,71
C.V (%)	15,40	22,36	17,19	10,66	10,66	16,75	16,75
CFT1	0,44	29,18	52,10	25.372,39	2.488,19	197,75	19,39
CFT2	0,51	29,48	57,50	21.458,96	2.104,42	212,56	20,85
CFT3	0,47	27,66	48,20	22.059,29	2.163,29	179,21	17,57
CFT4	0,35	21,99	49,60	23.761,06	2.330,18	185,63	18,20
CFT5	0,40	24,74	41,20	23.582,18	2.312,63	154,88	15,19
Média	0,43	26,61	49,72	23.246,78	2.279,74	186,01	18,24
D.P	0,06	3,19	5,94	1.541,24	151,14	21,55	2,11
C.V (%)	14,29	12,00	11,95	6,63	6,63	11,59	11,59

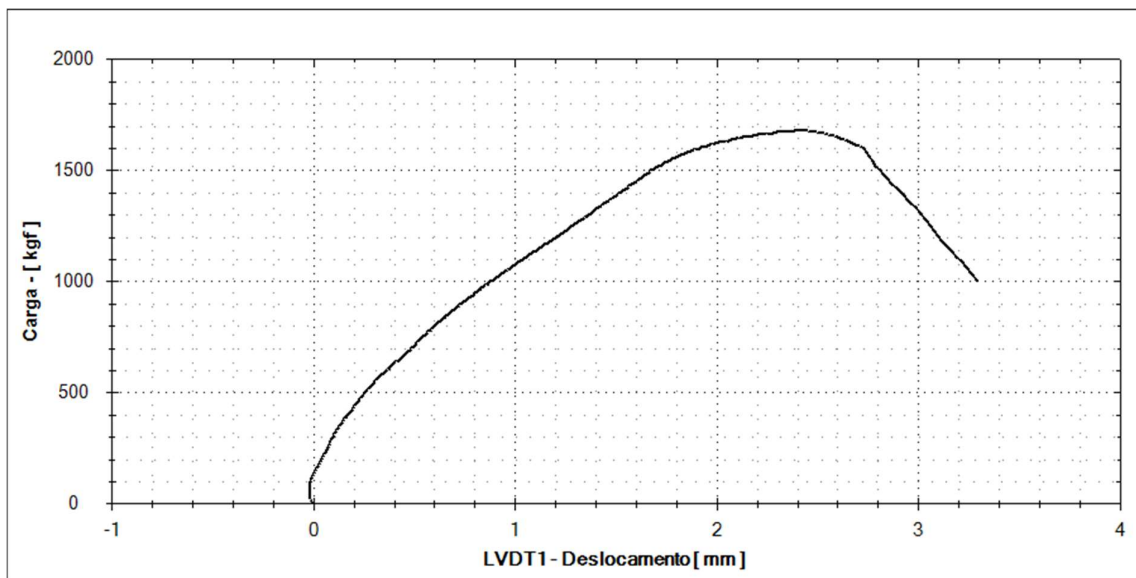
Arranque de Parafusos				
Amostra	Resistência (Kgf)	Média	Resistência (N)	Média
AFL1	156,71	110,322	1.536,80	1081,8892
AFL2	66,8		655,08	
AFL3	116,4		1.141,49	
AFL4	84,6		829,64	
AFL5	127,1		1.246,43	
BFL1	90,2	100,58	884,56	986,35286
BFL2	61,1		599,19	
BFL3	69,3		679,60	
BFL4	125,4		1.229,75	
BFL5	156,9		1.538,66	
CFL1	120,6	105,34	1.182,68	1033,0325
CFL2	100,8		988,51	
CFL3	114,9		1.126,78	
CFL4	85,5		838,47	
CFL5	104,9		1.028,72	

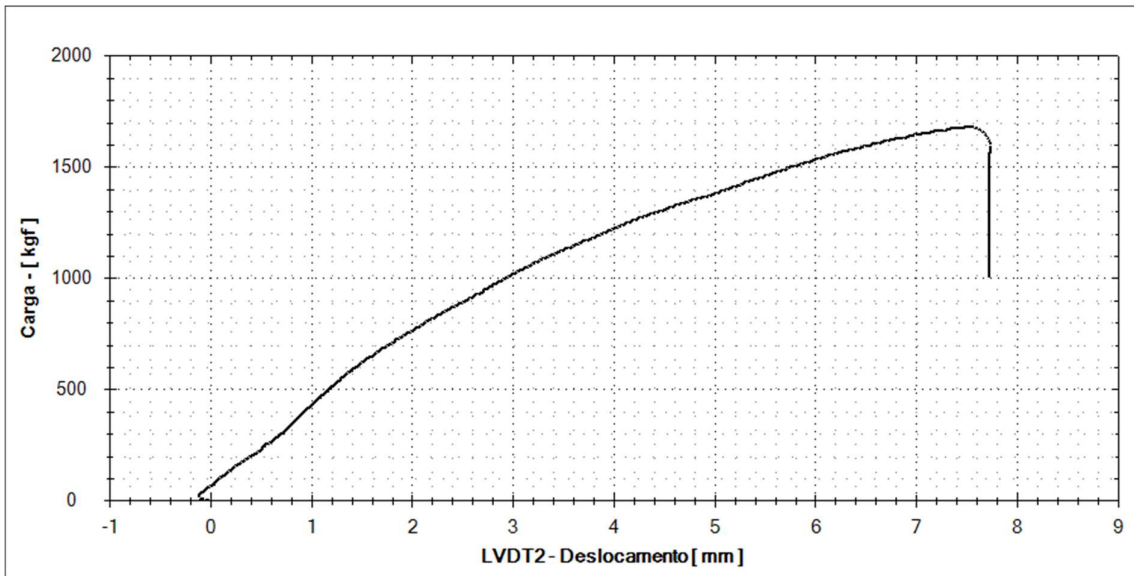
- Gráfico dos Ensaio “Push-Test”:
- Corpo de Prova CP2





- Corpo de Prova CP5





- Corpo de Prova CP1

