

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DAIANE FRANCIELLE KALATAI
LAURA SABRINA BRUM**

**ESTUDO DE PRODUTOS À BASE DE MADEIRA
RECONSTITUÍDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE CHAPAS DE OSB
REVESTIDAS COM PLACAS CIMENTÍCIAS.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2014**

DAIANE FRANCIELLE KALATAI
LAURA SABRINA BRUM

**ESTUDO DE PRODUTOS À BASE DE MADEIRA RECONSTITUÍDA NA
CONSTRUÇÃO CIVIL: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE CHAPAS DE OSB
REVESTIDAS COM PLACAS CIMENTÍCIAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus
Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Lacerda Dias

PATO BRANCO
2014

TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DE PRODUTOS À BASE DE MADEIRA RECONSTITUÍDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE CHAPAS DE OSB REVESTIDAS COM PLACAS CIMENTÍCIAS

DAIANE FRANCIELLE KALATAI

E

LAURA SABRINA BRUM

Aos 28 dias do mês de julho do ano de 2014, às 13h00min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 23-TCC/2014.

Orientador: Prof. Dr. GUSTAVO LACERDA DIAS (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof^a. Dr^a. PAOLA REGINA DALCANAL (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof^a. Dr^a. CAROLINE ANGUSLKI DA LUZ (DACOC / UTFPR-PB)

DEDICATÓRIA

Ao alcançarmos mais uma das metas da nossa vida, devemos parar e agradecer àqueles que sempre estiveram ao nosso lado e que com suas palavras e seu alento nos ajudaram tanto a superar os diversos obstáculos que encontramos.

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus, sem Ele não somos nada. Aos nossos pais Pedro e Mariza, e Ivanor e Nedy, aos nossos irmãos Pedro Alex e João Augusto pelo imenso apoio e compreensão em todo esse período. Aos nossos amigos e colegas, os distantes, os que vemos todos os dias e os atuais e futuros colegas de profissão, por toda contribuição dada a este trabalho.

Agradecemos também a todo corpo docente da UTFPR, que nos ajudou tanto durante toda nossa graduação, e em especial à professora Heloiza Piassa Benetti, que no período de finalização deste trabalho nos deu um grande apoio.

Agradecemos ainda ao nosso orientador, professor Gustavo Lacerda Dias, que teve muita paciência para nos ajudar a concluir este trabalho a tempo. Também aos membros da banca examinadora, professora Caroline Angulski da Luz e professora Paôla Regina Dalcanal pelo tempo disponibilizado e pelas sugestões e colaborações feitas para a melhoria deste trabalho.

EPÍGRAFE

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”
(Theodore Roosevelt)

RESUMO

KALATAI, Daiane Francielle; BRUM, Laura Sabrina. **Estudo de produtos à base de madeira reconstituída na construção civil: caracterização e aplicação de chapas de OSB revestidas com placas cimentícias**. 2014, 78 pág. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2014.

Com a atual escassez da madeira nobre no mercado da construção, têm-se a necessidade de buscar alternativas, de preferência sustentáveis, para substituição da madeira. O uso estrutural das chapas reconstituídas é ainda um estudo novo no Brasil, porém, bastante difundido no mercado internacional. Com vistas a apresentar algumas opções de painéis de madeira, esse trabalho tem o intuito de realizar um levantamento bibliográfico dos painéis de madeira reconstituída existente, e, através de ensaios laboratoriais, investigar a resistência à flexão de placas OSB-cimentícias, usadas, na maioria dos casos, para execução de mezaninos. Com o resultado dos ensaios, verificou-se que existe um ganho de resistência e rigidez quando se usam as chapas de OSB, feitas de madeira de reflorestamento de Pinus, juntamente com duas placas cimentícias, uma em cada face da chapa de OSB.

Palavras chave: Placas OSB-cimentícias. Madeira reconstituída. Alternativa Sustentável na Construção Civil.

ABSTRACT

KALATAI, Daiane Francielle; BRUM, Laura Sabrina. **Study of products made of reconstituted wood in civil construction: characterization and application of OSB plates coated with cement plates.** 2014, 78 pág. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2014.

With a shortage of hardwood on the construction market, there is a need to seek sustainable alternatives for the replacement of this wood. The structural use of reconstituted sheet is still a new study in Brazil; however, it is very widespread in the international market. With a view to present some options of wood panels, this work aims to conduct a bibliographical survey of existing reconstituted wood panels, and through laboratory tests, investigate the flexural strength of OSB-cement plates, used in most cases, to executing mezzanines. With the testing results, it has been found that there is a gain of strength and rigidity when we using OSB plates made of afforestation of pinewood in conjunction with two plates of cement, one on each side of the OSB plate.

Keywords: OSB-cement boards. Reconstituted wood. Sustainable alternative in the civil construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área e distribuição de plantios florestais com Pinus nos estados do Brasil, 2011.	19
Figura 2 - Placas OSB estrutural.....	21
Figura 3 - Vigas I (alma de OSB e mesas de madeira maciça – Pinus).....	22
Figura 4 – LVL.....	23
Figura 5 - Placas em MDF.....	24
Figura 6 - Painéis em HDF.....	25
Figura 7 - Painéis em MDP.....	25
Figura 8 - Painel em Cimento-Madeira.....	26
Figura 9 - Placas OSB-cimentícias.....	28
Figura 10 - Diagrama esquemático mostrando a seção transversal do painel-sanduíche – placa OSB-cimentícia.	30
Figura 11 - Diagrama esquemático mostrando a construção de um painel-sanduíche.	31
Figura 12 - Recebimento toras de Pinus – estocagem.....	32
Figura 13 - Toras sem casca sendo encaminhadas à produção do OSB.	33
Figura 14 - Toras sendo encaminhadas para as viruteiras.	34
Figura 15 - Silos úmidos.....	34
Figura 16 - Linha de formação.	36
Figura 17 - Painel OSB pronto para ser encaminhado à produção das placas OSB-cimentícias.	37
Figura 18 - Armazenamento das placas cimentícias.....	37
Figura 19 - Chapa OSB recebendo camada de resina fenólica.	38
Figura 20 - Chapa OSB recebendo placas cimentícias em suas faces.....	39
Figura 21 - Entrada e saída prensa à quente.....	39
Figura 22 - Placa OSB-cimentícia entrando na esquadrejadeira.....	40
Figura 23 - Chapas prontas para envio ao consumidor final.	40
Figura 24 – Fluxograma.	42
Figura 25- Amostras do material a ser ensaiado.....	44
Figura 26 - Medição das amostras.....	44
Figura 27 - Execução ensaio.....	45
Figura 28 - Representação força aplicada às amostras ensaiadas.....	47
Figura 29 - Reações de apoio.	47
Figura 30- Gráfico do momento fletor.....	48
Figura 31 - Seção retangular.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medidas das chapas OSB	54
Tabela 2 - Medidas das placas cimentícias.....	54
Tabela 3 - Medidas das placas OSB-cimentícias	55
Tabela 4 - Momentos máximos calculados para as chapas de OSB	56
Tabela 5 - Momentos máximos calculados para as placas cimentícias	57
Tabela 6 - Cálculo dos momentos máximos das placas OSB-cimentícias.....	58
Tabela 7 - Características geométricas das amostras ensaiadas	60
Tabela 8 - Módulos de elasticidade - chapas OSB e placas cimentícias	61
Tabela 9 - Tensões obtidas nas chapas de OSB e nas placas cimentícias	62
Tabela 10 - Valores de tensão para as placas OSB-cimentícias.....	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 MADEIRA DE REFLORESTAMENTO.....	16
2.1.1 No Brasil	16
2.1.2 No Paraná.....	18
2.2 PRODUTOS ENGENHEIRADOS DE MADEIRA (PEM).....	19
2.2.1 OSB (<i>Oriented Strand Board</i>).....	20
2.2.2 VIGAS I (<i>I Joists</i>)	21
2.2.3 LVL (<i>Laminated Veneer Lumber</i>).....	22
2.2.4 MDF (<i>Medium Density Fiberboard</i>).....	23
2.2.5 HDF (<i>High Density Fiberboard</i>)	24
2.2.6 MDP (<i>Medium Density Particleboard</i>).....	25
2.2.7 Cimento – Madeira	26
2.2.8 Placas OSB-Cimentícias.....	26
2.3 COMPÓSITOS.....	29
2.3.1 Compósitos estruturais	29
2.3.2 Compósitos Laminados	29
2.3.2.1 Painéis-Sanduíche.....	30
3 PLACA OSB-CIMENTÍCIA	32
3.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO	32
4 METODOLOGIA	41
4.1 MATERIAIS.....	42
4.2 METODOLOGIA UTILIZADA PARA OS ENSAIOS	43
4.2.1 Amostras.....	43
4.2.1.1 Medições das amostras.....	44
4.2.1.2 Realização dos Ensaio.	45
4.2.1.3 Velocidade de aplicação da carga.....	46
4.2.2 Determinação dos Momentos Fletores	46

4.2.3	Determinação das características geométricas das amostras	48
4.2.4	Determinação do Módulo de Elasticidade das amostras das chapas de OSB e das placas cimentícias de acordo com a NBR 7190/97	50
4.2.5	Tensões Máximas nas Seções das chapas de OSB e das placas cimentícias. 51	
4.2.6	Seção Transformada em Vigas Compostas	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICES	71
	APÊNDICE A – Gráficos Força x Deformação das Chapas de OSB	72
	APÊNDICE B – Gráficos Força x Deformação das Placas Cimentícias	73
	APÊNDICE C – Gráficos Força x Deformação das Placas OSB-Cimentícias	74
	ANEXOS	75
	ANEXO A – Resultados Ensaio de Resistência à Flexão Estática das Chapas de OSB.	76
	ANEXO B – Características Placas Cimentícias – Manual Técnico Decorlit.	77

1. INTRODUÇÃO

O material madeira na construção civil é utilizado desde os primórdios da humanidade, quando as espécies existiam em abundância e o homem aprendeu a usar a madeira para fazer o fogo e, posteriormente para se proteger de intempéries, criando assim as habitações executadas em madeira.

Atualmente a madeira é utilizada para construções temporárias como em tapumes, andaimes, escoramentos e formas para concreto, e de forma definitiva em estruturas de cobertura, forros e pisos (SOBRAL ET AL., 2002).

A grande variedade de espécies de madeira existente faz com que sua aplicação seja feita após a identificação de suas características físicas e mecânicas.

A madeira de reflorestamento possui grandes vantagens, uma vez que seu custo é relativamente menor que o da madeira nativa e, quando usam-se processos mecânicos para transformação da madeira, ela pode chegar a resistências bastante altas para uso estrutural na construção civil.

O uso da madeira de reflorestamento aumentou devido à escassez de madeira maciça de boa qualidade e de grandes dimensões no atual setor florestal brasileiro.

No Estudo Setorial da Madeira, realizado pela ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente) em 2008, o Paraná aparece como líder brasileiro nas áreas de plantio de Pinus, que é uma das espécies de madeiras de reflorestamento, com 38% das florestas plantadas no país.

Após a Revolução Industrial, com o aumento das tecnologias em concreto e aço, a madeira teve uma diminuição de seu uso estrutural. O Brasil possui uma forte tradição de construção em alvenaria de tijolos de barro, trazida pelos portugueses desde a sua colonização. A construção de madeira foi muito utilizada nas regiões Sul e Sudeste como habitação, onde a matéria prima utilizada, o Pinho do Paraná, era abundante. Entretanto, em 1905, na cidade de Curitiba, o governo proibiu a construção de casas de madeira nas zonas centrais da cidade. Este fato contribuiu para gerar no meio técnico brasileiro, o preconceito contra as estruturas em madeira. (MEIRELLES, C.R.M. ET. AL., 2007)

As chapas OSB (*Oriented Strand Board*) são produtos constituídos de a partir de madeira de reflorestamento e utilizados na construção civil para aplicações

estruturais como em paredes, forros, pisos e componentes de vigas tendo em vista suas características de resistência mecânica e boa estabilidade dimensional, competindo diretamente com o mercado de compensados (MENDES, 2001).

No mercado mundial o OSB é utilizado desde a década de 70. Foi desenvolvido em 1954 pelo Dr. James Clarke, nos Estados Unidos. Já no Brasil, começou a ser utilizado em 2002 (SETUBAL, 2009).

Combinando a chapa de OSB com duas placas cimentícias, uma em cada face da chapa de madeira, tem-se a placa sanduíche que tem por característica possuir um núcleo diferente das duas lâminas que o envolvem. No presente trabalho, serão chamadas de placas OSB-cimentícias.

No mercado brasileiro atual, as placas OSB-cimentícias são produzidas nas espessuras de 23 e 40 mm pela empresa LP do Brasil que possui seu centro fabril na cidade de Ponta Grossa, Estado do Paraná, elas recebem um tratamento de borda que conferem impermeabilidade ao produto (LP DO BRASIL, 2013).

A tecnologia do painel de OSB revestido de placas cimentícias pode ser utilizada para confecção de mezaninos, passarelas, lajes secas, paredes divisórias, shafts, containers, confinamentos acústicos. E, pode receber diversos tipos de revestimento final.

As placas OSB-cimentícias também tem como vantagem o fato de serem ecologicamente corretas, uma vez que a madeira que constitui a chapa de OSB é 100% proveniente de áreas de reflorestamento e as placas cimentícias que a revestem são recicláveis.

A placa OSB-cimentícia aqui citada faz parte das chamadas “madeiras engenheiradas”, que são aquelas processadas industrialmente para otimizar seu uso na construção civil.

Dentre as madeiras engenheiradas ou os chamados produtos engenheirados de madeira (PEM), pode-se citar as chapas de OSB, sem o revestimento em placas cimentícias, as vigas I, que são mais leves e rígidas e podem ser aplicadas em grandes vãos, segundo pregam seus fabricantes. Existe também a CLT, que é a sigla em inglês para madeira laminada cruzada que é fabricada em grandes dimensões e a MLC, madeira laminada colada que é utilizada para a confecção de diversos elementos estruturais, tais como vigas e colunas.

Outro tipo de produto “engenheirado” de madeira é o painel de lâminas paralelas LVL que é composto por lâminas de madeira unidas por adesivo e é

utilizado para soluções estruturais onde grande resistência à flexão é requerida. (LARA PALMA, BALLARIN, 2011).

No Brasil, produzidos em larga escala, existem os já conhecidos MDF e MDP, que são painéis de madeira reconstituída que possuem boa estabilidade dimensional e possuem de média a altas densidades, muito utilizados também na produção de móveis.

Existem também os painéis de cimento-madeira que são compostos a partir de madeira em lascas e pequenos pedaços, adicionando-se à sua confecção o cimento Portland. Sua aceitação no mercado deve-se às suas propriedades de resistência ao fogo, ataques de fungos e cupins, além de isolamento térmico e acústico (LATORRACA, 2000).

Dentro deste contexto, optou-se por estudar as propriedades mecânicas à flexão das placas OSB-cimentícias para descobrir como este material pode otimizar o trabalho na construção civil, averiguando a sua resistência à flexão e sua viabilidade dentro das obras que necessitam também da consciência sobre o uso de materiais sustentáveis.

Com este intuito o trabalho foi desenvolvido a partir de um levantamento bibliográfico sobre o tema, incluindo o uso de material sustentável, realização de alguns ensaios para definir a resistência à flexão das placas OSB-cimentícias, apresentação dos dados obtidos e considerações finais sobre os objetivos do trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar um levantamento bibliográfico sobre as placas OSB-cimentícias e uma investigação sobre sua resistência à flexão para uso em mezaninos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Descrever as propriedades das chapas de OSB utilizadas na fabricação dos painéis.
- Descrever as propriedades das placas cimentícias usadas para acabamento dos painéis.
- Investigar a resistência à flexão das placas OSB-cimentícias realizando ensaios para sua caracterização.
- Abordar formas de utilização das placas OSB-cimentícias na construção civil.

1.2 JUSTIFICATIVA

As placas constituídas por chapas de OSB (Oriented Strand Board) revestidas por placas cimentícias fazem parte de uma tecnologia relativamente recente no Brasil, que vem sendo utilizados na construção civil para confecção de mezaninos, paredes divisórias, shafts, dentre outras aplicações.

O Brasil possui uma área de reflorestamento equivalente a 6665 hectares de madeira de Pinus e Eucalipto (ABRAF, 2013), o que torna o estudo dos painéis de chapas de OSB revestidos com placas cimentícias viável e de grande importância, uma vez que os mesmos são fabricados a partir de madeira 100% advinda de áreas de reflorestamento de Pinus e as placas cimentícias são de material reciclável e não possuem amianto.

As placas cimentícias utilizadas no revestimento das chapas de OSB são fabricadas através da mistura homogênea de materiais como o cimento Portland, fio sintético, celulose e aditivos. Este material não possui amianto e é reciclável não gerando entulhos. (LP DO BRASIL, 2013).

As madeiras oriundas das áreas de reflorestamento crescem com maior rapidez se comparadas às madeiras de lei, além deste benefício, as chapas de OSB podem ser produzidas a partir de madeiras que não possuem um padrão de

qualidade alto, pois podem ser fabricadas a partir de resíduos, desde que os mesmos possuam as dimensões exigidas. Com isso o custo para a produção e conseqüentemente o seu valor final são reduzidos o que torna as chapas de OSB econômicas (CABRAL, 2006).

A resistência mecânica da madeira aumenta devido à geometria das partículas, sua orientação e formação de camadas no processo de fabricação das chapas de OSB e seu processo de produção proporciona maior estabilidade dimensional da madeira a ser utilizada nos painéis (CLOUTIER, 1998).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MADEIRA DE REFLORESTAMENTO

A madeira é utilizada na Construção Civil desde os primórdios da humanidade, porém, a madeira considerada nobre tornou-se escassa, uma vez que foi explorada e não teve a manutenção das áreas de florestas adequada. Na execução de uma obra, a madeira pode ser utilizada desde a fundação, estrutura, pavimentos, vedações e revestimentos, até a cobertura.

Em território brasileiro, a utilização da madeira de reflorestamento na construção civil enfrenta preconceitos maiores que outros tipos de madeira. Aproveitada em grande parte apenas para formas de concreto e escoras, tem-se a noção de que esse tipo de madeira é frágil, não sendo considerada “nobre”. (AGUILAR; SANTOS, 2007)

É necessário salientar que as árvores são um recurso natural renovável de ciclo curto, e os reflorestamentos podem ser considerados verdadeiros poços de carbono que são responsáveis por produzir madeira de qualidade com características que podem vir a substituir a madeira nativa nas aplicações das mesmas em sistemas construtivos, contribuindo assim com a sustentabilidade do planeta. (GERALDO, 2014).

2.1.1 No Brasil

Os gêneros florestais que mais se destacam no quesito plantação de áreas de reflorestamento no Brasil são o Pinus e o Eucalyptus devido ao seu rápido crescimento, boa qualidade da madeira e sua capacidade de se adaptar ao clima e solo, principalmente das regiões Sul e Sudeste. (VALVERDE, 2008).

A partir de dados fornecidos pela ABRAF (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas) os estados com maior concentração de plantios

florestais foram Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, como pode se observar no Gráfico 1.

Distribuição da área de plantios florestais com Pinus e Eucalyptus no Brasil, 2012

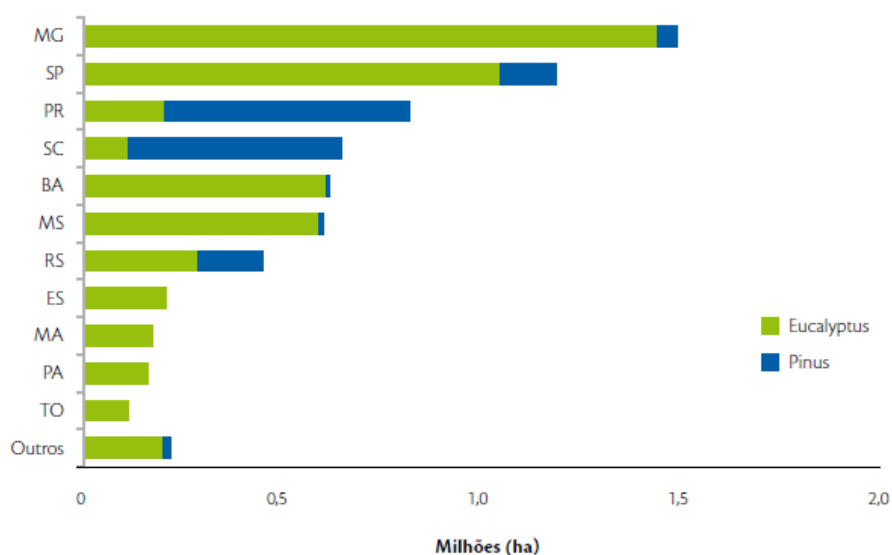


Gráfico 1 - Distribuição de áreas plantadas no Brasil.
Fonte: ABRAF (2012).

A maior concentração de madeira plantada nas regiões Sul e Sudeste se deve principalmente às indústrias de madeira processada mecanicamente, painéis de madeira industrializada e também às indústrias de celulose e papel.

Ainda de acordo com a ABRAF, no quesito plantações de Pinus, que é a madeira utilizada na fabricação das chapas de OSB, a maior concentração encontra-se na região Sul, estima-se que em torno de 84,7% da madeira plantada é de Pinus, devido às condições climáticas e sua maior utilização industrial.

Atualmente, o Brasil possui 6,5 milhões de hectares em florestas plantadas, a maioria compostas por Pinus e Eucalipto, como possuem crédito positivo devido ao controle da emissão de carbono, o Ministério da Agricultura pretende aumentar esse número para 9 milhões de hectares até 2020 (KEIM, 2014).

2.1.2 No Paraná

O Estado do Paraná lidera o ranking de área plantada de Pinus com 39,7% da área total, como é demonstrado no Gráfico 2.

Distribuição da área plantada com Pinus por estado, 2012

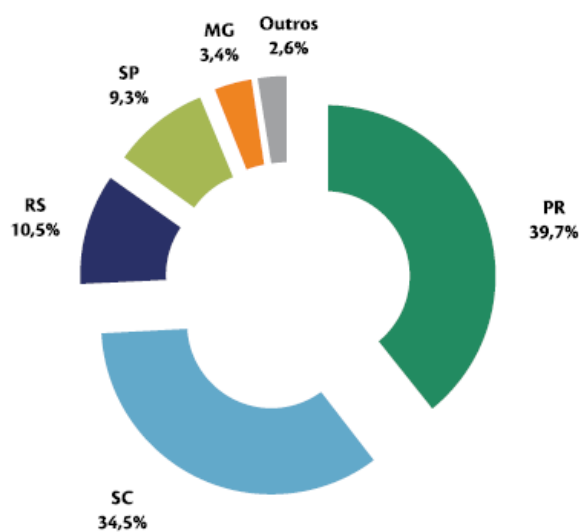


Gráfico 2 - Área plantada de Pinus no Estado do Paraná.
Fonte: ABRAF (2012)

No Estudo Setorial da Madeira, realizado pela ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente) em 2008, o Paraná aparece como líder brasileiro nas áreas de plantio de Pinus com 38% das florestas plantadas no país.

Em 2011 a área de plantio de Pinus totalizou 1.641.892 hectares, se comparado com o registro de 2010 houve uma redução de 6,5% devido à tendência de redução da área plantada de Pinus em decorrência da substituição dos plantios por Eucalyptus.

Na figura 1 abaixo pode-se observar a concentração de áreas de plantio de Pinus no Brasil e nota-se que a maior área encontra-se no sul do País, principalmente no Paraná e em Santa Catarina.

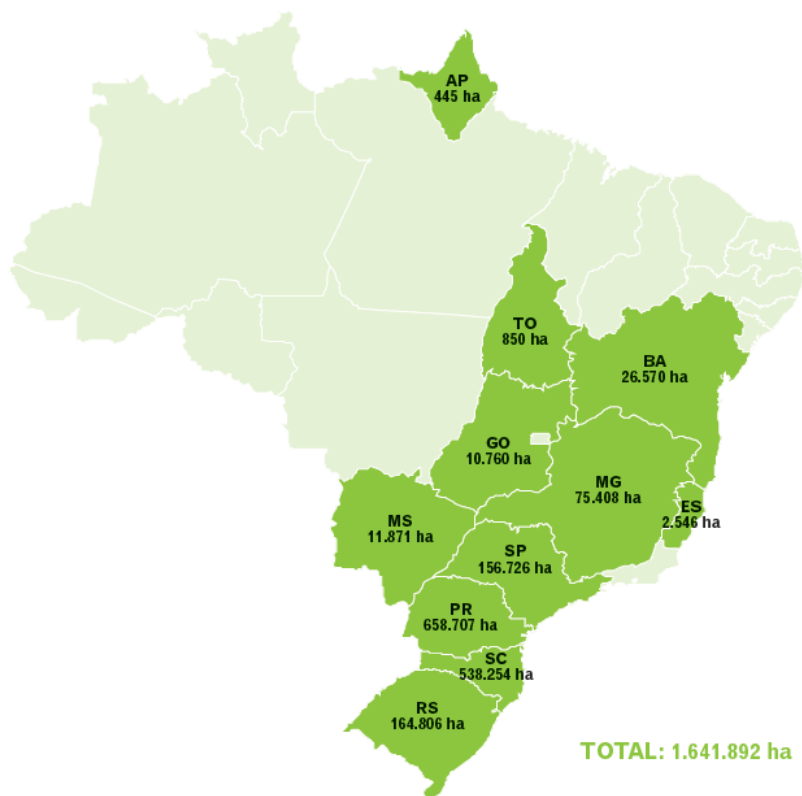


Figura 1 - Área e distribuição de plantios florestais com Pinus nos estados do Brasil, 2011.
Fonte: ABRAF(2012)

2.2 PRODUTOS ENGENHEIRADOS DE MADEIRA (PEM)

A terminologia “madeira engenheirada” define seu processo de industrialização que é uma evolução da madeira tratada na construção, tanto em elementos estruturais, como usado para vedação das obras (MONTANA QUÍMICA S.A., 2013)

Os determinados Produtos Engenheirados de Madeira são também conhecidos na literatura internacional como *Engineered Wood Products (EWPs)* que vem aumentando sua produção globalmente (LARA SANTOS, 2008).

Os PEM podem vir a substituir o uso de materiais poluentes como o aço e o concreto armado.

Tais produtos são fabricados e desenhados para finalidades específicas e utilizam-se das melhores propriedades de seus constituintes.

De acordo com a Associação de Madeira Engenheirada (APA) – *Engineered Wood Association*, os PEM são divididos em quatro categorias: a de painéis estruturais como compensados e OSB, a de madeira laminada colada, a de madeira composta estrutural, onde se encaixa o *Laminated Veneer Lumber* (LVL) e as vigas em “I” (LARA SANTOS, 2008).

2.2.1 OSB (*Oriented Strand Board*)

O *Oriented Strand Board* (OSB), é um painel fabricado a partir da consolidação de tiras de madeira orientadas através do uso de resinas e prensadas a quente (BORTOLETTO e GARCIA, 2004). As tiras dos painéis de OSB são dispostas em três camadas perpendiculares para que a rigidez e a resistência mecânica aumentem.

No início da década de 1980 os painéis de OSB entraram no mercado mundial, mas foi apenas em 2002 que a produção teve início no Brasil, pode-se observar as placas de OSB estrutural na figura 2. (LP DO BRASIL, 2013).

As empresas brasileiras que seguem o ramo do OSB produzem 350 mil m³/ano. (ABIPA, 2012).

Esses painéis são constituídos 100% de madeira de reflorestamento, além ser permitida a utilização de resíduos da madeira, não exigem alta qualidade para a sua produção (CABRAL, 2006), no entanto podem ser utilizados para fins estruturais, tais como pisos, paredes, forros e vigas estruturais por possuírem estabilidade dimensional e boa resistência mecânica (MENDES, 2001).

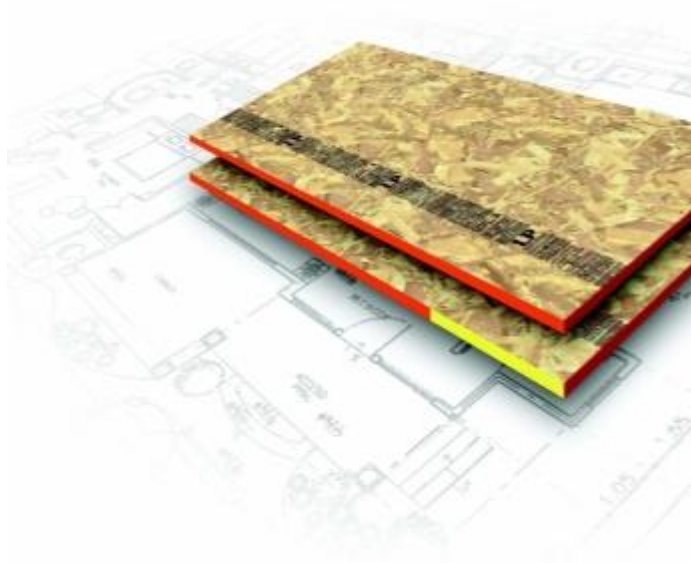


Figura 2 - Placas OSB estrutural.
Fonte: LP do Brasil (2013).

2.2.2 VIGAS I (I Joists)

Denominadas dessa forma devido ao desenho de suas seções transversais. A fabricação das vigas I a partir de madeiras reconstituídas visa um melhoramento da utilização de madeiras de reflorestamento, fazendo com que seu aproveitamento seja máximo e suas propriedades atinjam as exigências definidas pelo mercado da construção civil.

O surgimento das vigas I deu-se em 1969 e foram originalmente concebidas com vistas à sua performance e não ao preço, uma vez que os projetos da época exigiam maiores vãos a serem vencidos, para atender a esta demanda surgiram as vigas I com grandes almas de compensado e flanges de madeira serrada de menor dimensão. (PEDROSA, 2003).

Torna-se necessário que as vigas I tenham um tratamento adequado quanto à resistência ao fogo e ao ataque de organismos xilófagos.

O uso das vigas I é interessante devido ao seu maior aproveitamento graças à sua seção transversal quando comparada ao uso de madeira maciça de seção retangular, gerando também uma maior economia de material.

As vigas I são leves, rígidas e de alta resistência, projetadas para suportar grandes cargas, permitindo a aplicação em grandes vãos, podem ser utilizadas para

construção de mezaninos, estrutura de sustentação de telhados e segundos pisos de edificações, uma imagem de seu uso pode ser visualizada na figura 3. (LP DO BRASIL, 2013).



**Figura 3 - Vigas I (alma de OSB e mesas de madeira maciça – Pinus).
Fonte: LP do Brasil (2013)**

2.2.3 LVL (*Laminated Veneer Lumber*)

O LVL surgiu a partir da necessidade de uso de uma madeira que fosse de alta qualidade e que tivesse determinados comprimentos, é produzido a partir da colagem de folhas especialmente classificadas, que são unidas paralelamente umas às outras.

Estima-se que o LVL tenha sido usado pela primeira vez na confecção de hélices de avião na segunda guerra mundial. (PORTAL DA MADEIRA, 2014).

O uso do LVL na construção civil deu-se a partir da década de 60 para confecção de vigas I, estas representavam um produto que podia suportar mais carga que o seu próprio peso, possuía alta resistência e habilidade em vencer grandes vãos.

Atualmente os usos do LVL são: confecção de paredes, batentes de portas e janelas, corrimãos, degraus de escadas, pisos e estruturas de telhados.

O LVL é fabricado a partir de coníferas, predominantemente de Pinus, uma das razões é o fato de se prezar pelo meio ambiente, e pela madeira considerada nobre ser escassa, de difícil acesso e conseqüentemente, ter custo mais elevado.

O Brasil ainda não produz o LVL industrialmente, o maior produtor desse tipo de madeira processada é a América do Norte, na figura 4 pode-se visualizar o material fabricado no Canadá.

O processo de produção do LVL pode ser considerado semelhante ao da madeira compensada, fortemente fabricada no Brasil. As lâminas são obtidas através de um torno desfolhador, depois disso são secas e então aplica-se o adesivo para unir as lâminas que depois são prensadas mecanicamente, com a vantagem de se obter produto final nas dimensões desejadas para seu melhor aproveitamento. (LARA PALMA E BALLARIN, 2011).



Figura 4 – LVL
Fonte: West Fraser, Canadá (2014).

2.2.4 MDF (*Medium Density Fiberboard*)

No Brasil, as empresas tem uma capacidade nominal de 5,7 milhões de metros cúbicos de MDF fabricados por ano. (ABIPA, 2012).

O MDF consiste de um painel de madeira reconstituída, que pode ser visualizado na figura 5 onde as fibras da madeira são aglutinadas e compactadas entre si com uma resina sintética através da ação de pressão, combinada com a ação do calor em uma prensa contínua. É considerado um material homogêneo com estabilidade dimensional e de superfície uniforme. (ABIPA, 2012).

São produzidos a partir de madeiras de reflorestamento como o Pinus e o Eucalipto tornando-se um produto ecologicamente correto.

É um painel de madeira muito utilizado pela indústria moveleira e, na construção civil pode ser utilizado para fabricação de pisos, almofadas de portas, batentes e também em embalagens.



Figura 5 - Placas em MDF.
Fonte: ABIPA (2012).

2.2.5 HDF (*High Density Fiberboard*)

Possui fabricação similar ao MDF, inclusive também é produzido com madeira de reflorestamento como Pinus e Eucalipto, possui boa estabilidade dimensional, superfície uniforme e lisa de alta densidade e geralmente é confeccionado em espessuras finas. (ABIPA, 2012).

É considerado um painel versátil para ser usado em indústrias diversas como também em usinagens e trabalhos de baixo relevo e, como possui espessuras finas o painel pode ser curvado. Usado para embalagens de diversas indústrias, artesanatos em geral e brinquedos. Na construção civil pode ser utilizado em pisos laminados, divisórias e portas, um exemplo deste painel pode ser visualizado na figura 6.



Figura 6 - Painéis em HDF.
Fonte: ABIPA

2.2.6 MDP (*Medium Density Particleboard*)

O MDP é um painel de madeira reconstituída onde as partículas são posicionadas de forma diferenciada, com as maiores dispostas ao centro e as mais finas nas superfícies externas formando três camadas que são compactadas e aglutinadas entre si com resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor nas prensas adequadas. (ABIPA, 2012).

O principal uso dos painéis MDP é feito pela indústria moveleira e marcenaria, suas aplicações também podem ser em portas retas. Deve-se certificar que tanto suas faces como as bordas do painel estejam cobertas com acabamento, mesmo as faces e bordas não aparentes, como se pode observar na figura 7.



Figura 7 - Painéis em MDP.
Fonte: ABIPA(2012).

2.2.7 Cimento – Madeira

Os painéis de cimento-madeira são produzidos a partir da mistura de fibras ou partículas de madeira que servirão como agregado com cimento Portland que será o aglomerante juntamente com água e prensadas a frio.

A produção destes painéis começou em 1976 na Alemanha. Os mesmos (painéis cimento - madeira) possuem boas características como, bom isolamento térmico e acústico, resistente ao ataque de fungos, incombustível (RÊGO, 2008).

Os painéis de cimento-madeira segundo Dix (1989), podem ser aplicados as paredes de residências pré-fabricadas, pisos, paredes divisórias, paredes que exijam isolamento térmico e acústico, portas corta fogo por ser um painel incombustível, em revestimento de tuneis, na construção de estádios e pavilhões. Uma amostra do painel em cimento-madeira pode ser visto na figura 8.



**Figura 8 - Painel em Cimento-Madeira.
Fonte: Siebert e Cia. Ltda.**

2.2.8 Placas OSB-Cimentícias

São placas compostas de OSB e revestidas nas duas faces com placas cimentícias, recebem selamento de bordas para maior impermeabilidade. É

importante salientar que os painéis OSB recebem tratamento com ciflutrina que o torna imune ao ataque de cupins e outros insetos xilófagos. Já as placas cimentícias usadas para o revestimento são desenvolvidas a partir de uma tecnologia sem amianto e são compostas por uma mistura homogênea de cimento Portland, celulose, fio sintético e aditivos (LP DO BRASIL, 2013).

As placas OSB (*Oriented Strand Board*) são confeccionadas a partir de madeiras de reflorestamento de Pinus, o que faz com que a matéria-prima utilizada seja ecologicamente correta.

O uso das placas de OSB confere à madeira de Pinus, muitas vezes considerada “fraca” para uso estrutural, uma resistência mecânica maior e aceitável para o uso da mesma em vedações, mezaninos, lajes secas, suportando as cargas que lhe são solicitadas e vencendo os vãos propostos.

Em virtude da madeira nativa atualmente ser escassa para extração, são até consideradas raras, as áreas de reflorestamento crescem, pois permitem que a matéria-prima seja obtida de maneira mais rápida e respeitando as leis ambientais.

O OSB foi concebido originalmente para atender ao segmento de construção seca, desenvolvido no final dos anos 70 nos Estados Unidos, funcionando muito bem no contraventamento das estruturas de aço ou de madeira (MASISA, 2014).

No Brasil a produção de OSB começou a aumentar a partir de 2002, e a empresa detentora da maior produção no Brasil localiza-se na região dos Campos Gerais do Paraná, em Ponta Grossa.

As placas de OSB são formadas a partir de tiras de madeira orientadas em camadas perpendiculares que faz com que haja um aumento da resistência mecânica e da rigidez, a prensagem das tiras é feita sob alta temperatura que confere ao material maior estabilidade, sendo assim utilizada na construção civil com função estrutural.

Cada painel de OSB consiste de três a cinco camadas de tiras de madeira orientadas em ângulo de 90 graus uma com as outras, a camada interna pode estar disposta aleatoriamente.

As placas cimentícias que envolvem o painel de OSB são compostas por uma mistura homogênea de cimento Portland, celulose, fio sintético e aditivos. Pode ser utilizada também para fechamento do sistema *Steel Frame*. Seu material permite qualquer tipo de acabamento como tintas, cerâmica, textura. É um produto reciclável que não gera entulhos e também são fabricadas sem amianto.

Outras características das placas cimentícias são: resistência aos impactos que é garantida pelos fios sintéticos de reforço, resistência à umidade, não sofrendo degradação com a presença de água.

São caracterizadas também por ser um material que respira, pois as placas cimentícias são permeáveis ao vapor e impermeáveis à água, mantendo o equilíbrio natural do ambiente.

A consistência e a microestrutura porosa das placas cimentícias atenuam a transmissão e reverberação sonora proporcionando isolamento acústico, já o isolamento térmico é garantido uma vez que o fibrocimento sem amianto apresenta baixa condutibilidade térmica frente a outros materiais. As placas cimentícias também são consideradas incombustíveis. (DECORLIT, 2014).

As placas OSB-cimentícias são usualmente aplicadas em mezaninos, passarelas, lajes secas, paredes e divisórias técnicas, shafts, containers, confinamentos acústicos e sanitários. O produto final pode ser visto na figura 9.

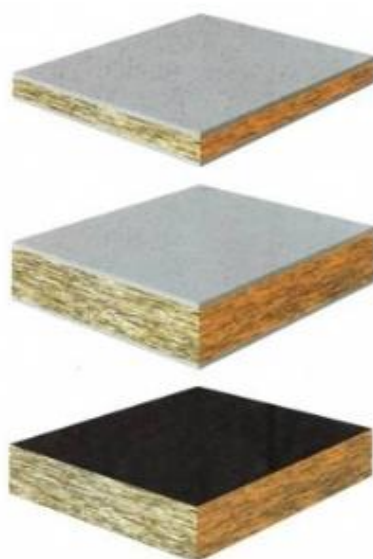


Figura 9 - Placas OSB-cimentícias.
Fonte: LP do Brasil (2013)

2.3 COMPÓSITOS

O material compósito pode ser definido como uma combinação de dois ou mais materiais, transformando-o em um material multifásico que possui uma significativa proporção das propriedades das fases que o constituem, melhorando suas combinações de características mecânicas como a rigidez, a tenacidade e as resistências às condições do ambiente e temperaturas elevadas (CALLISTER JR., 2008).

São produzidos para resultar em uma combinação de propriedades que não podem ser obtidas de outra maneira, apresentam um melhor desempenho das propriedades se comparadas à dos seus componentes pois atuam com sinergia.

A maioria dos materiais compósitos são dispostos em duas fases: uma chamada de matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada de fase dispersa.

2.3.1 Compósitos estruturais

Geralmente é formado tanto por materiais homogêneos como por compósitos e suas propriedades dependem não somente de seus constituintes, mas também do projeto geométrico dos elementos estruturais (CALLISTER JR., 2008).

Os compósitos estruturais mais comuns são os laminados e os painéis-sanduíche, onde se encaixam as placas OSB-cimentícias aqui estudadas.

2.3.2 Compósitos Laminados

É formado por lâminas ou painéis bidimensionais que possuem uma direção preferencial de alta resistência, tal como encontrado nas madeiras. As camadas são empilhadas e unidas umas às outras aumentando a resistência devido à alternância de direção das camadas.

2.3.2.1 Painéis-Sanduiche

São compósitos estruturais projetados para serem vigas ou painéis de baixo peso e com resistência e rigidez relativamente altas. Consiste de duas lâminas externas, ou faces, que são separadas e unidas por uma resina (adesivo) a um núcleo mais espesso.

As lâminas externas são feitas de materiais relativamente rígidos e resistentes, neste caso, as faces externas são formadas pelas placas cimentícias e, devem ser espessas o suficiente para resistir aos esforços de tração e compressão resultantes da aplicação de uma carga.

Já o material do núcleo comumente é mais leve e possui um módulo de elasticidade menor que o da face, neste caso, o núcleo é formado a partir do OSB. O núcleo deve proporcionar um suporte contínuo para as faces e possuir uma resistência ao cisalhamento que suporte as tensões de cisalhamento transversais e também precisa ser espesso o suficiente para conferir alta rigidez ao cisalhamento. Na figura 10 observa-se um diagrama esquemático da seção transversal do painel sanduíche.

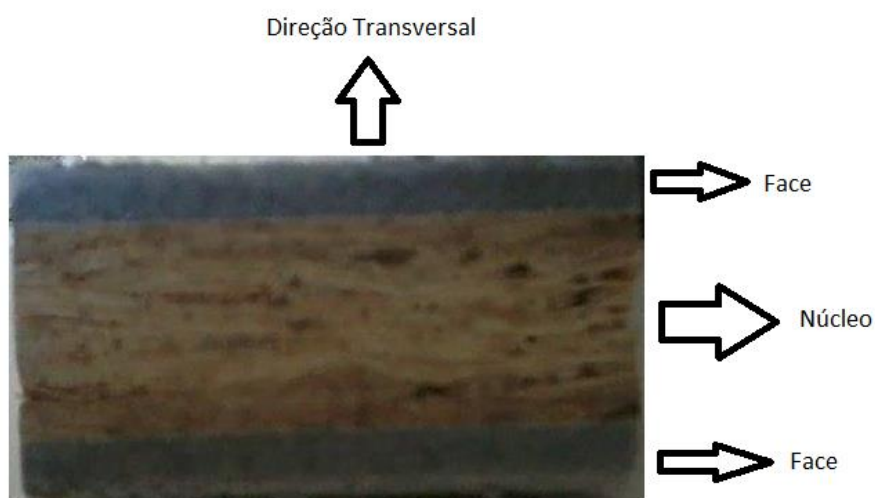


Figura 10 - Diagrama esquemático mostrando a seção transversal do painel-sanduiche – placa OSB-cimentícia.

Fonte: Acervo do autor.

Os painéis sanduíche são usados em várias aplicações, incluindo pisos, paredes de prédios. A partir da figura 11, pode-se observar como é construído um painel sanduíche.

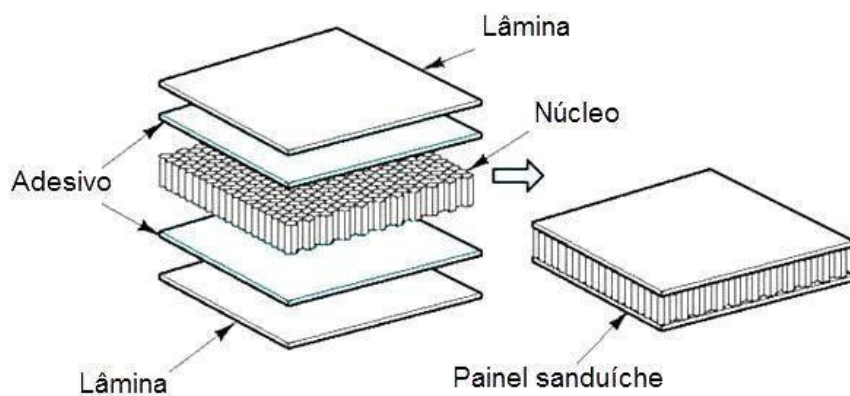


Figura 11 - Diagrama esquemático mostrando a construção de um painel-sanduíche.
Fonte: MENDONÇA (2005).

3 PLACA OSB-CIMENTÍCIA

3.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O processo de fabricação descrito a seguir é feito na empresa LP do Brasil S.A., localizada no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná.

Primeiramente ocorre o recebimento das toras de madeiras, que pode ser visualizado na figura 12, no caso deste estudo, as madeiras utilizadas na fabricação do mezanino são advindas de florestas de Pinus.

As toras são transportadas ao pátio através dos equipamentos móveis, devem ser mantida a rotatividade dos materiais, o primeiro que entra no pátio é o primeiro que sai, para que as madeiras existentes não fiquem velhas antes de serem utilizadas contribuindo com o sistema de qualidade dos produtos.



Figura 12 - Recebimento toras de Pinus – estocagem.
Fonte: Acervo do autor (2014)

Após o recebimento e devida estocagem da madeira, as toras seguem para o processo de descascamento através de um descascador de tambor onde ocorre

retirada das cascas da madeira, as toras sem casca podem ser visualizadas na figura 13.

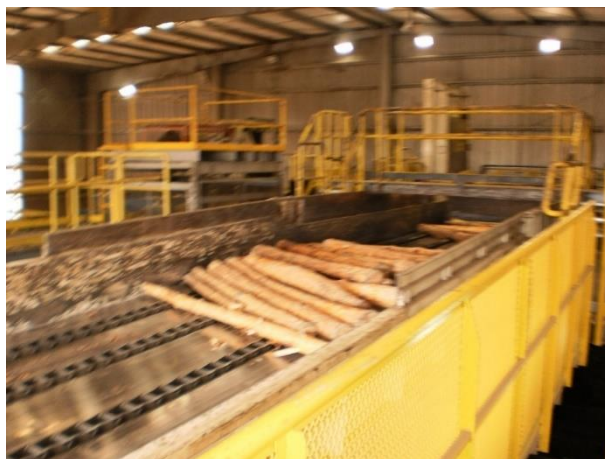
As cascas e os tocos de madeira são separados das toras, e depois de picados são utilizados como combustível das chamadas plantas térmicas.

As plantas térmicas são equipamentos que utilizam os resíduos descartados na fabricação para geração de calor utilizado nas demais máquinas, fazendo com que todo produto que chega à fábrica seja utilizado contribuindo para preservação do meio ambiente.



**Figura 13 - Toras sem casca sendo encaminhadas à produção do OSB.
Fonte: Acervo do autor (2014).**

As toras descascadas são transportadas para as viruteiras, como pode ser visto na figura 14, que são responsáveis por transformar a madeira em lascas com tamanhos pré-determinados e controlados.



**Figura 14 - Toras sendo encaminhadas para as viruteiras.
Fonte: Acervo do autor (2014)**

As lascas são transportadas das viruteiras para os silos úmidos, vistos na figura 15. Estes silos de lascas úmidas reduzem as variações do fluxo de processo contínuo. O silo úmido também serve como dispositivo de alimentação controlada para a secagem.



**Figura 15 - Silos úmidos.
Fonte: Acervo do autor (2014).**

O silo úmido alimenta o secador. O sistema de secagem utiliza como combustível lascas descascadas das toras e biomassa externa. As lascas são

transportadas através do secador sendo puxadas por ventilador com tempo de residência de aproximadamente 30 minutos. Dentro dos secadores existem chincanas que são dispositivos responsáveis por garantir a permanência das lascas para que a umidade de saída seja atingida.

O secador é responsável por manter as lascas na umidade ideal para o processo posterior de colagem das lascas.

As lascas secas passam através de peneiras onde os finos (pequenas partículas de madeira) são separados do material grosso (lascas). As lascas são enviadas para os silos secos. Os finos são utilizados na camada interna apenas durante a produção do OSB com 18.3mm de espessura. Os finos somente podem ser utilizados na camada interna se estiver sendo enviado mais que 20% de lascas secas para esta camada. Nas demais espessuras os finos não são utilizados.

As lascas são transportadas para os silos secos antes de serem encoladas. Estes silos de lascas secas ajudam a reduzir as variações de fluxo de processo. Os silos também atuam como um dispositivo de medição que alimenta o sistema de encolado de forma controlada.

Resinas, parafinas e cupinícidas se aplicam às lascas nas encoladeiras. As matérias primas se agregam à madeira em proporção especificada onde se usam bombas de velocidade variadas e dispositivos de medição de fluxo. Cada matéria prima se agrega a uma proporção embasada no peso seco das lascas medidas por um dispositivo de balança em linha, ou uma quantidade de fluxo de lascas predeterminadas.

As lascas são transportadas para formadora dos painéis, como pode ser visto na figura 16, a linha de formação que na superfície (orienta em direção da máquina), no centro (orientação transversal) e na superfície (orienta novamente na direção da máquina). O contínuo movimento das mantas que passam abaixo das formadoras formam os colchões de três camadas compostas 40 a 80% de capa superior e 20 a 60% de capa de centro. Qualquer material que é retirado dos colchões devido a desvios de peso, umidade e densidade é enviado à formadora de centro. O processo de formação leva o colchão até o sistema de prensagem.



Figura 16 - Linha de formação.
Fonte: Acervo do autor (2014).

O colchão de lascas recebe uma carga de pressão e temperatura na prensa. O circuito fechado de óleo térmico é aquecido a aproximadamente 270 a 285 graus Celsius e aplica-se uma pressão hidráulica sobre o colchão. Depois de prensado, o material passa pela serra diagonal, que corta os painéis no comprimento final, passando posteriormente por um sistema que mede espessura e em conjunto com a balança, calcula a densidade final do painel.

As serras dimensionam o painel em distintos formatos segundo identificação do produto que está sendo produzido. Todos os refilos cortados das bordas dos painéis são destinados a peneira que seleciona os finos com granulometria maior para encolar na camada interna, os finos médios para o silo de finos para encolar na encoladeira de finos e os finos menores (pó) são destinados como combustível.



Figura 17 - Paineis OSB prontos para serem encaminhados à produção das placas OSB-cimentícias.

Fonte: Acervo do autor (2014).

Após a fabricação das chapas de OSB, como podem ser vistas na figura 17, são encaminhadas para outra empresa do setor madeireiro, na cidade de Imbituva, Estado do Paraná, que faz a junção das placas cimentícias com OSB para a formação das placas OSB-cimentícias.

As placas cimentícias, observadas na figura 18, são armazenadas de modo a não ter contato com a umidade para que não haja deterioração das mesmas.



Figura 18 - Armazenamento das placas cimentícias.

Fonte: Acervo do autor (2014).

As chapas de OSB também necessitam de cuidado com o contato com a umidade que pode trazer problemas posteriores, ela deve ficar armazenada de forma a manter as propriedades de fabricação.

Para formação das placas OSB-cimentícias, as chapas OSB recebem uma camada de resina fenólica em suas duas faces, para isso, passam por uma máquina chamada encoladeira, que pode ser visualizada na figura 19, responsável pela uniformidade na distribuição da resina em ambas as faces.



**Figura 19 - Chapa OSB recebendo camada de resina fenólica.
Fonte: Acervo do autor (2014)**

Dessa forma, após aplicação da resina a placa cimentícia é colocada nas duas faces da chapa OSB como pode ser visto na figura 20 para posterior prensagem a quente.



**Figura 20 - Chapa OSB recebendo placas cimentícias em suas faces.
Fonte: Acervo do autor (2014).**

Logo, a chapa pronta é encaminhada à uma prensa à temperatura de 115 graus Celsius, que usa o vapor quente, por dois minutos, para agilizar o processo de junção das placas cimentícias com a chapa OSB e proceder a efetiva colagem das mesmas, o processo pode ser visualizado na figura 21.



**Figura 21 - Entrada e saída prensa à quente.
Fonte: Acervo do autor (2014).**

Terminado o processo de prensagem do material, o mesmo segue para a esquadrejadeira, podendo ser observada na figura 22, que é responsável pelo

requadramento das chapas nas medidas adequadas, retira-se as bordas em excesso, e a placa OSB-cimentícia está pronta e medindo 120 cm de largura por 250 cm de comprimento.



Figura 22 - Placa OSB-cimentícia entrando na esquadrejadeira.
Fonte: Acervo do autor (2014)

Após esse processo, as placas seguem para pintura e embalagem, em pallets com 20 placas empilhadas para posterior envio ao consumidor final, pode-se visualizar a chapa pintada e pronta na figura 23.



Figura 23 - Chapas prontas para envio ao consumidor final.
Fonte: Acervo do autor (2014)

4 METODOLOGIA

O presente trabalho se baseia em um referencial bibliográfico que tem por objetivo demonstrar a tecnologia da construção sustentável, baseada na utilização das placas OSB-cimentícias aplicadas principalmente em mezaninos na construção civil, o estudo visa avaliar se os conceitos da seção homogeneizada podem representar satisfatoriamente o que acontece com o material compósito quando comparado com os materiais que o compõe, no caso, as chapas de OSB e as placas cimentícias.

Os ensaios laboratoriais tiveram o propósito de determinar as forças necessárias para a ruptura das amostras, para posterior análise da tensão gerada pelas mesmas para que se pudesse fazer uma comparação com os dados obtidos teoricamente.

Para realização do delineamento desta pesquisa pode-se fazer algumas classificações, em primeiro lugar, quanto à abordagem, este trabalho se classifica como pesquisa qualitativa que tem como maior enfoque descrever o objeto de estudo, interpretando seus valores e características. (LIMA, 2001).

Quanto aos procedimentos técnicos adotados, a pesquisa pode ser classificada como de caráter exploratório e descritivo, uma vez que a pesquisa exploratória, segundo Gil (2002) tem por base uma pesquisa bibliográfica que traz maior familiaridade com o objeto de estudo e, de caráter descritivo já que busca descrever as características do material estudado afim de se obter maiores informações em busca dos resultados obtidos nas análises e testes laboratoriais realizados, uma vez que a pesquisa visa obter a resistência à flexão do material.

A metodologia de trabalho proposta será feita a partir de uma sequência de eventos que pode ser visualizada no fluxograma a seguir.

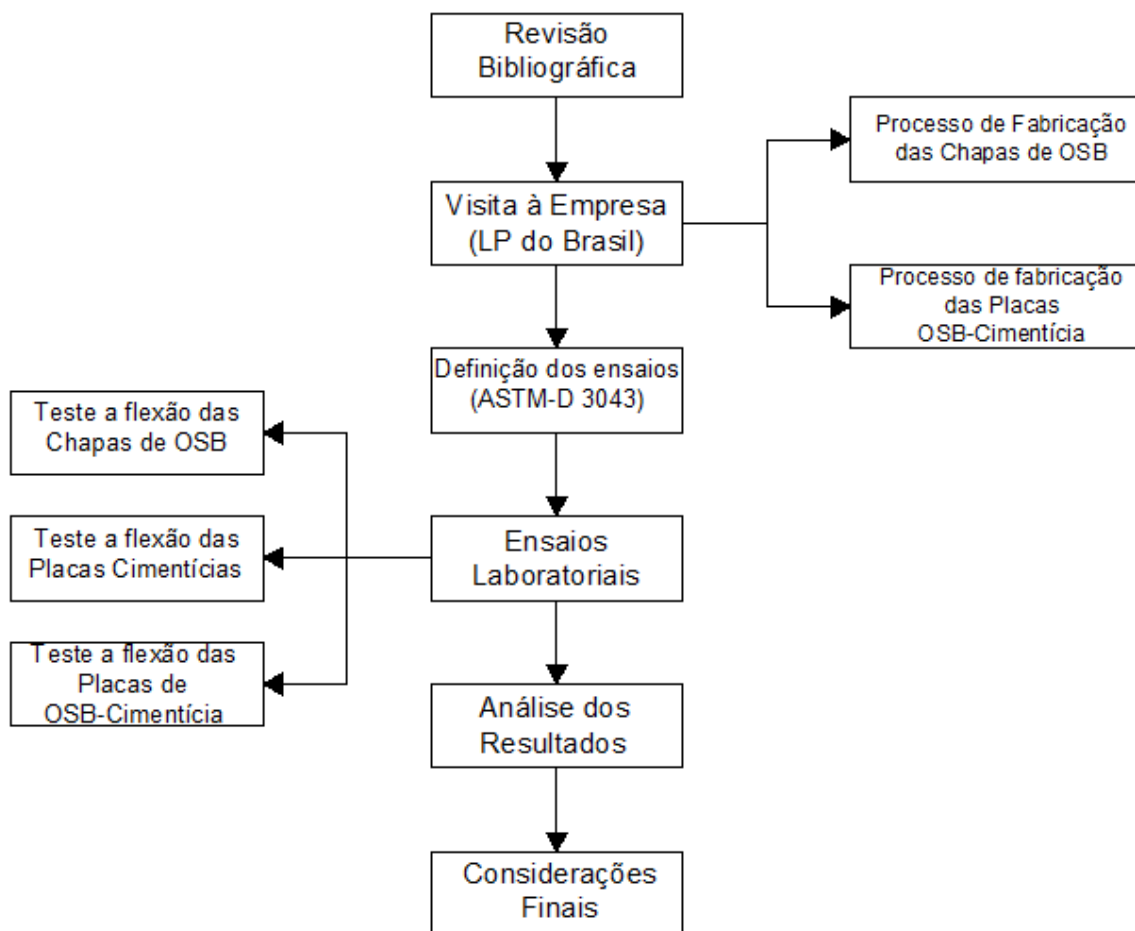


Figura 24 – Fluxograma.
Autoria própria (2014).

4.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento dos ensaios laboratoriais, a empresa cedeu alguns de seus produtos, portanto, os seguintes materiais foram utilizados:

- Oito chapas de OSB medindo 1200 mm de largura, 2500 mm de comprimento e 15 mm de espessura.
- Oito placas cimentícias medindo 1200 mm de largura, 2500 mm de comprimento e 5mm de espessura.
- Oito placas OSB-cimentícias medindo 1200 mm de largura, 2500 mm de comprimento e 23 mm de espessura.

Os ensaios foram realizados no laboratório de madeira do câmpus da Universidade Tecnológica do Paraná, localizado na cidade de Dois Vizinhos, Estado do Paraná.

Os equipamentos que foram utilizados para o ensaio:

- Máquina Universal de Ensaios, modelo: DL 30.000, eletromecânica, microprocessada, marca EMIC, capacidade de 30.000 kgf, faixas de velocidade 0,01 a 500 mm/min.
- Dispositivo pra ensaio de flexão em madeira, largura máxima do corpo de prova 50 mm, distância entre apoios ajustável de 30 a 1050 mm, capacidade 2.000 kgf.
- Paquímetro Universal.

4.2 METODOLOGIA UTILIZADA PARA OS ENSAIOS

4.2.1 Amostras

Primeiramente foram retiradas das chapas OSB as amostras a serem utilizadas no ensaio, de cada chapa retirou-se uma amostra medindo 1100 mm de comprimento por 50 mm de largura, o mesmo procedimento foi realizado para as placas OSB-cimentícias. Ressaltando que o sentido da largura das amostras foi paralela à largura das chapas OSB e placas OSB-cimentícias.

Nas placas cimentícias, as amostras foram retiradas medindo 1100 mm de comprimento por 50 mm de largura.

Pode-se visualizar todas as amostras utilizadas na figura 25.



Figura 25- Amostras do material a ser ensaiado.
Fonte: Acervo do autor (2014).

4.2.1.1 Medições das amostras

Para realização dos ensaios foi necessário utilizar-se de um paquímetro universal para retirada das medidas de largura e espessura de cada amostra a ser ensaiada, como pode ser visto na figura 26.



Figura 26 - Medição das amostras.
Fonte: Acervo do autor (2014).

4.2.1.2 Realização dos Ensaios.

Os ensaios foram realizados com base na norma americana ASTM D-3043 - Structural Panels in Flexure, que define quatro métodos diferentes para o procedimento a ser seguido nos ensaios, o método utilizado foi o Método B- Two-Point Flexure Test.

A figura 27 demonstra a máquina de ensaios utilizada com um dos corpos de prova pronto para ser ensaiado.

As medidas dos corpos de prova, segundo a norma, devem ser retangulares na seção transversal e sua largura mínimo é de 50 mm, a espessura será a do material ensaiado e, o comprimento mínimo é de 300 mm.

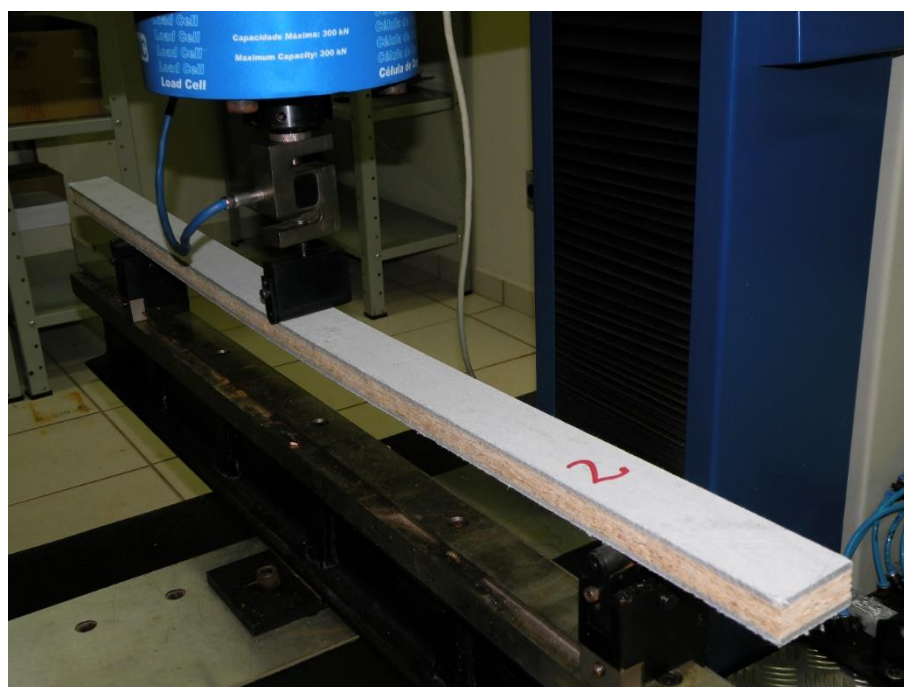


Figura 27 - Execução ensaio.
Fonte: Acervo do autor (2014).

4.2.1.3 Velocidade de aplicação da carga

A carga foi aplicada às amostras através de uma célula de carga de 5000 N, a velocidade da aplicação de carga foi determinada seguindo as instruções da Norma ASTM D-3043.

4.2.2 Determinação dos Momentos Fletores

A estrutura analisada é um sistema físico capaz de receber e transmitir esforços, para tanto precisa ter rigidez para resistir às ações externas e ter também rigidez para não apresentar deformação que prejudique seu uso (Soriano, 2010).

Neste caso, a análise se faz em uma estrutura em barra onde uma dimensão é preponderantemente maior que as demais.

Cada seção transversal da barra pode ter três deslocamentos e três rotações em torno de seus eixos, deslocamentos estes que podem ser restringidos através de vínculos de acordo com a necessidade da estrutura.

Para o cálculo dos resultados obtidos pelos ensaios, considerou-se uma viga bi-apoiada, com um de seus extremos com um apoio fixo rotulado que não permite os deslocamentos lineares e em outro extremo com um apoio móvel que permite os deslocamentos lineares, tornando a estrutura isostática com relação ao equilíbrio estático, o que impõe que os vínculos são estritamente os necessários para manter seu equilíbrio estático.

Para cada apoio tem-se suas reações quando uma carga é aplicada, nos ensaios a carga foi aplicada no meio do vão.

A partir da carga aplicada, são calculadas as reações de apoio e com elas, o momento fletor resultante, o cálculo segue como demonstrado a seguir:

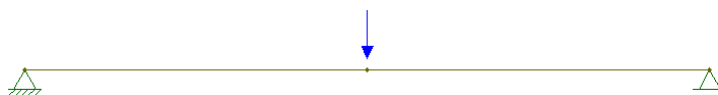


Figura 28 - Representação força aplicada às amostras ensaiadas.
Fonte: FTOOL (2014)

Após aplicação da força, calcula-se as reações de apoio utilizando as equações da estática, são elas:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M_z = 0$$

Onde:

F_x = Forças na direção x (horizontal)

F_y = Forças na direção y (vertical)

M_z = Momento gerado na seção considerada.

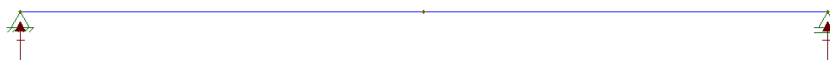


Figura 29 - Reações de apoio.
Fonte: FTOOL (2014)

Em seguida, obtém-se, com a soma dos esforços na seção, o gráfico dos momentos fletores, que pode ser visto na figura 30 que serão utilizados para o cálculo das tensões nos materiais ensaiados.

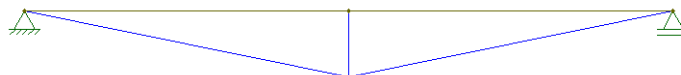


Figura 30- Gráfico do momento fletor.
Fonte: FTOOL (2014)

4.2.3 Determinação das características geométricas das amostras

Para a determinação das propriedades geométricas das seções transversais das amostras, torna-se necessário calcular o centroide das figuras que representam o eixo neutro da seção, de acordo com o que pode ser visto na figura 31. Para o caso das placas cimentícias e chapas de OSB, a seção é retangular, portanto tem-se que:

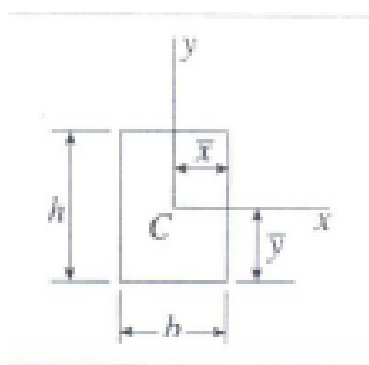


Figura 31 - Seção retangular.
Fonte: Beer Johnston (1994)

E, suas propriedades geométricas são definidas por:

$$A = bh$$

$$\bar{x} = \frac{b}{2}$$

$$\bar{y} = \frac{h}{2}$$

Onde:

A = área da seção transversal

b = base da seção transversal

h = altura da seção transversal

\bar{x} = coordenada x do centroide da figura.

\bar{y} = coordenada y do centroide da figura.

Já o momento de inércia de uma figura plana em relação a um eixo contido no plano pode ser definida por:

$$I_x = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_y = \frac{hb^3}{12}$$

Para as considerações das placas OSB-cimentícias, a seção transformada será em forma de seção “I”, para o qual são calculadas suas características geométricas:

Determinação da distância entre o centroide da seção transformada até o centroide da placa cimentícia.

$$d_{ya} = \left(\frac{h}{2}\right) - \left(\frac{h_{pc}}{2}\right)$$

Onde:

d_{ya} = distância do centroide da seção transformada até o centroide da placa cimentícia.

h = altura da seção transversal placa OSB-cimentícia

h_{pc} = altura da seção transversal da placa cimentícia

A distância entre o centroide da seção transformada até o centroide da chapa de OSB é nula, uma vez que suas coordenadas coincidem, portanto $d_{yb}=0$.

Determinação do Momento de Inércia da Seção "I" transformada:

$$I = \{2[Ia + (Aa \times d_{ya}^2)] + [Ib + (Ab \times d_{yb}^2)]\}$$

Onde:

I = momento de inércia da seção transformada

Ia = momento de inércia da placa cimentícia

Aa = área da seção transversal da placa cimentícia

d_{ya} = coordenada y do centroide da seção transformada de placa cimentícia

Ib = momento de inércia da chapa OSB.

Ab = área da seção transversal da placa OSB transformada

d_{yb} = coordenada y do centroide da seção transformada de OSB

4.2.4 Determinação do Módulo de Elasticidade das amostras das chapas de OSB e das placas cimentícias de acordo com a NBR 7190/97

Para encontrar o módulo de elasticidade das chapas de OSB e das placas cimentícias utilizou-se da NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira de agosto de 1997, que prega que o módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva carga x deslocamento no meio do vão que foi obtida nos ensaios, definida pelos pontos (F10%; $v_{10\%}$) e (F50%; $v_{50\%}$) correspondentes, respectivamente, a 10% e 50% da carga máxima de ensaio estimada por meio dos corpos de prova, sendo dado por:

$$E_{MO} = \frac{(F_{M,50\%} - F_{M,10\%})L^3}{(v_{50\%} - v_{10\%})4bh^3}$$

Onde:

FM,10% e FM,50% são as cargas correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada, aplicada ao corpo de prova, em newtons. Já v10% e v50% são os deslocamentos no meio do vão correspondentes a 10% e 50% da carga máxima estimada FM, est, em metros.

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

4.2.5 Tensões Máximas nas Seções das chapas de OSB e das placas cimentícias.

Para determinar a distribuição de tensões nas amostras de chapas de OSB e nas placas cimentícias ensaiadas utilizou-se a fórmula da flexão, uma vez que todos os seus componentes foram calculados anteriormente.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M\bar{y}}{I}$$

Onde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ = Tensão máxima

M = momento

\bar{y} = coordenada y do centroide

4.2.6 Seção Transformada em Vigas Compostas

Vigas compostas são aquelas construídas de dois ou mais materiais, que são projetadas com o intuito de desenvolver um meio mais eficiente de suportar cargas aplicadas (HIBBELER, 2010).

Para cálculo das propriedades mecânicas dos materiais, a fórmula da flexão foi desenvolvida para vigas de material homogêneo, no caso das vigas compostas torna-se necessário transformar a seção dos dois materiais para um único material.

Na aplicação do método da seção transformada, quando aplicado o momento na viga composta por dois materiais de seções transversais com tamanhos diferentes, ela permanecerá plana após a flexão da mesma maneira que ocorre com os materiais homogêneos, a variação das deformações normais ocorrerá linearmente iniciando do zero no eixo neutro a máxima no material mais afastado desse eixo (HIBBELER, 2010).

A lei de Hooke se aplica a ambos os materiais, ou seja, a tensão normal é determinada através de:

$$\sigma = \varepsilon x \epsilon$$

Onde:

σ = tensão

ε = deformação

ϵ = módulo de elasticidade

Tanto no material 1 como no material no 2, neste caso, o material 1 é a placa cimentícia e o 2 a chapa de OSB. Caso o material 1 seja mais rígido que o material 2, a maior carga será suportada pelo material 1 visto que $E1 > E2$.

Caso seja este o caso, o valor do módulo de elasticidade e rigidez são diferentes para os dois materiais, a tensão não vai ter o mesmo valor. Com isso, precisa-se que a distribuição de tensão produza uma força resultante nula na seção transversal e o momento da distribuição de tensão em torno do eixo neutro deve ser igual a M. Para que isso aconteça é necessário transformar a viga em outra, feita de um único material.

Quando a viga torna-se de um material só, a seção, dita transformada, terá outra dimensão e precisará de um fator de transformação para ser calculada, o fator de transformação é uma razão entre os módulos dos diferentes materiais que compõe a viga.

$$n = E_2 / E_1$$

Onde:

n = fator de transformação

E2 = módulo de elasticidade do material 2 (chapa OSB)

E1 = módulo de elasticidade do material 1 (placa cimentícia)

O fator de transformação é adimensional e indica que a seção transversal com largura b na viga original deve ser diminuída para $b_2 = nb$ na região onde o material 2, está sendo transformado no material 1.

Após encontrado o fator de transformação, prossegue-se o cálculo da tensão máxima, conforme item 6.2.5, e ao valor encontrado do material que está sendo transformado, multiplica-se o fator n:

$$\sigma = n \times \sigma_{m\acute{a}x}$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realização dos ensaios à flexão, todas as medidas das características geométricas das amostras foram retiradas, são elas: comprimento, largura e espessura tanto das chapas OSB e placas cimentícias, quanto do conjunto aqui denominado placas OSB-cimentícias. A partir da aferição das medidas, utilizou-se as médias das mesmas para os cálculos pertinentes.

Para o cálculo das médias das medidas aferidas, foram realizadas medições de dois pontos na largura e quatro pontos na espessura das amostras, as medidas retiradas das amostras podem ser visualizadas nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 - Medidas das chapas OSB

Medidas das Chapas de OSB (mm)									
CP	Largura 1	Largura 2	Média	Espessura 1	Espessura 2	Espessura 3	Espessura 4	Média	Vão entre Apoios
1	48,70	48,75	48,73	14,75	14,75	14,80	14,85	14,79	800
2	48,80	48,75	48,78	14,50	14,45	14,50	14,50	14,49	800
3	48,60	48,55	48,58	14,80	14,75	15,00	14,85	14,85	800
4	49,25	49,20	49,23	15,00	14,85	15,00	15,00	14,96	800
5	49,85	49,80	49,83	14,60	14,65	14,65	14,60	14,63	800
6	48,00	48,00	48,00	15,00	15,05	15,00	15,00	15,01	800
7	48,50	48,60	48,55	14,55	14,60	14,55	14,50	14,55	800
8	49,00	49,00	49,00	14,40	14,45	14,50	14,40	14,44	800

FONTE: Autoria própria (2014)

Tabela 2 - Medidas das placas cimentícias

Medidas das Placas Cimentícias (mm)									
CP	Largura 1	Largura 2	Média	Espessura 1	Espessura 2	Espessura 3	Espessura 4	Média	Vão entre Apoios
1	50,00	49,95	49,97	4,35	4,65	4,40	4,55	4,49	300
2	48,95	48,90	48,93	4,40	4,45	4,40	4,50	4,44	300
3	48,30	48,25	48,28	4,45	4,50	4,40	4,40	4,44	300
4	47,30	47,35	47,33	4,40	4,40	4,25	4,25	4,33	300
5	48,30	48,25	48,28	4,50	4,40	4,50	4,50	4,48	300
6	47,75	47,75	47,75	4,50	4,40	4,55	4,55	4,50	300
7	48,00	48,05	48,03	4,40	4,40	4,25	4,25	4,33	300
8	48,55	48,55	48,55	4,25	4,30	4,50	4,50	4,39	300

FONTE: Autoria própria (2014)

Tabela 3 - Medidas das placas OSB-cimentícias

Medidas das Placas OSB-Cimentícia (mm)									
CP	Largura 1	Largura 2	Média	Espessura 1	Espessura 2	Espessura 3	Espessura 4	Média	Vão entre Apoios
1	46,45	46,40	46,42	23,05	23,25	23,25	23,00	23,14	800
2	48,55	47,90	48,23	24,00	23,60	23,85	24,00	23,86	800
3	48,40	48,30	48,35	23,65	24,05	24,05	24,12	23,97	800
4	49,55	48,75	49,15	23,65	23,60	23,60	23,75	23,65	800
5	46,55	47,15	46,85	23,00	23,15	23,20	23,15	23,13	800
6	47,00	47,05	47,03	23,75	23,60	23,65	23,60	23,65	800
7	47,00	47,05	47,03	23,60	23,75	23,65	23,65	23,66	800
8	48,90	48,80	48,85	23,65	23,60	23,65	23,65	23,64	800

FONTE: Autoria própria (2014)

Após aferição de todas as medidas necessárias, iniciou-se o ensaio experimental onde foi utilizada uma célula de carga de 5000 N.

Para o ensaio das chapas OSB e das placas OSB-cimentícias, a velocidade foi de 13 mm/min e para as placas cimentícias, a velocidade de ensaio foi de 7 mm/min, calculada de acordo com a norma americana ASTM D-3043.

Os vãos utilizados para o ensaio foram de 800 mm para as chapas de OSB e para as placas OSB-cimentícias, como o material da placa cimentícia possuía uma seção transversal muito menor que os demais corpos de prova ensaiados, optou-se por diminuir o vão a ser ensaiado para 300 mm, pois com um vão de 800 mm as placas se deformariam até o máximo da capacidade de carga da máquina de ensaios sem se romper, atrapalhando assim a análise os resultados posteriormente.

Os resultados gerados pelo software da máquina de ensaio geraram curvas de força em Newtons por deformação em milímetros. Para o cálculo dos momentos máximos, que podem ser observados na tabela 4, foram utilizados os valores de força máxima aplicados às amostras, valores estes que causaram a ruptura das mesmas.

Tabela 4 - Momentos máximos calculados para as chapas de OSB

CHAPAS DE OSB			
CP	Força (N)	Vão entre Apoios (mm)	Momento Máximo (N.mm)
1	231,65	800	46330
2	234,17	800	46834
3	197,96	800	39592
4	145,33	800	29066
5	185,73	800	37146
6	162,26	800	32452
7	185,89	800	37178
8	172,65	800	34530

FONTE: Autoria Própria (2014)

O gráfico 3 foi gerado a partir dos dados e demonstra o comportamento característico das chapas.

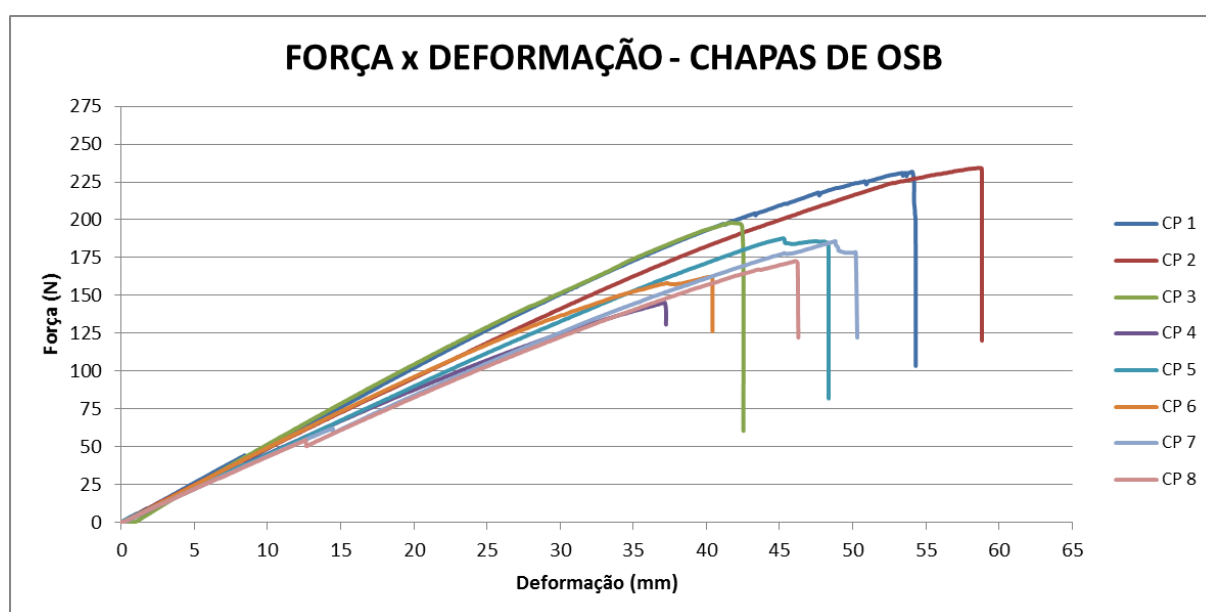


Gráfico 3 - Gráfico força-deformação das chapas de OSB.
 FONTE: Autoria própria (2014)

Os resultados dos cálculos dos momentos fletores máximos nas placas cimentícias podem ser observados na tabela 5.

Tabela 5 - Momentos máximos calculados para as placas cimentícias

PLACAS CIMENTÍCIAS			
CP	Força (N)	Vão entre apoios (mm)	Momento Máximo (N.mm)
1	21,96	300	1647
2	20,95	300	1571
3	21,79	300	1634
4	21,46	300	1609
5	25,98	300	1948
6	24,64	300	1848
7	24,47	300	1835
8	23,32	300	1749

FONTE: Autoria própria (2014)

Com os dados calculados pode-se observar o gráfico 4 que corresponde às amostras analisadas.

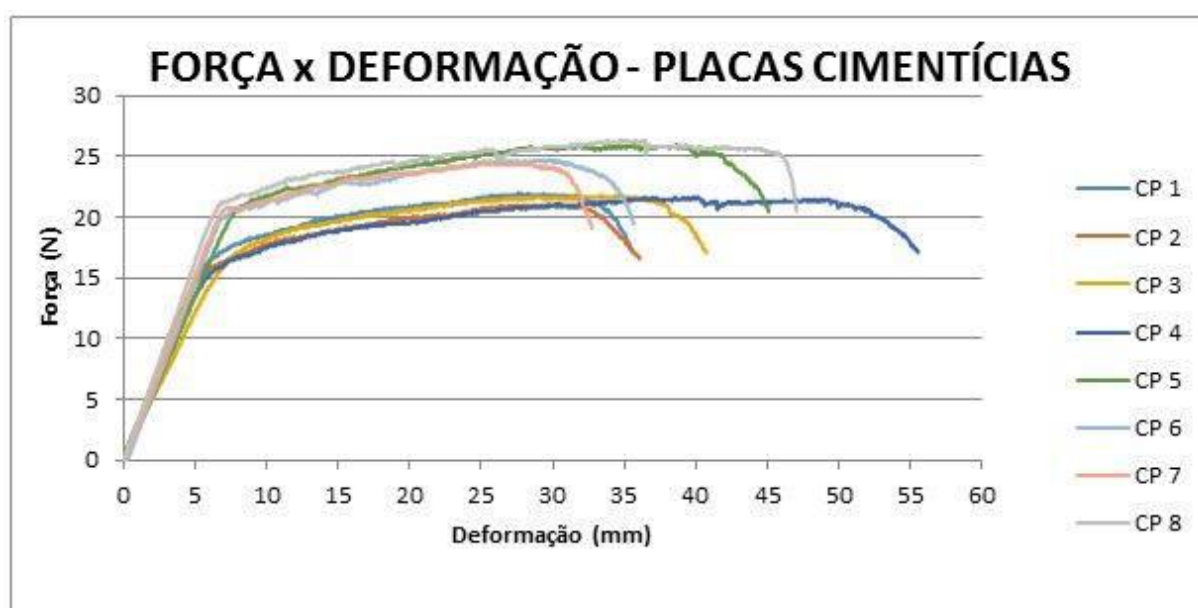


Gráfico 4 - Gráfico força-deformação das placas cimentícias.

FONTE: Autoria própria (2014)

E, por fim, efetuou-se o cálculo dos momentos máximos das placas OSB-cimentícias que pode ser visto na tabela 6.

Tabela 6 - Cálculo dos momentos máximos das placas OSB-cimentícias

PLACAS OSB-CIMENTÍCIA			
CP	Força (N)	Vão entre Apoios (mm)	Momento Máximo (N.mm)
1	377,65	800	75530
2	476,55	800	95310
3	451,57	800	90314
4	472,19	800	94438
5	365,42	800	73084
6	447,22	800	89444
7	416,04	800	83208
8	428,94	800	85788

FONTE: Autoria própria (2014)

O gráfico 5 de força deformação gerado nos ensaios pode ser observado a seguir.

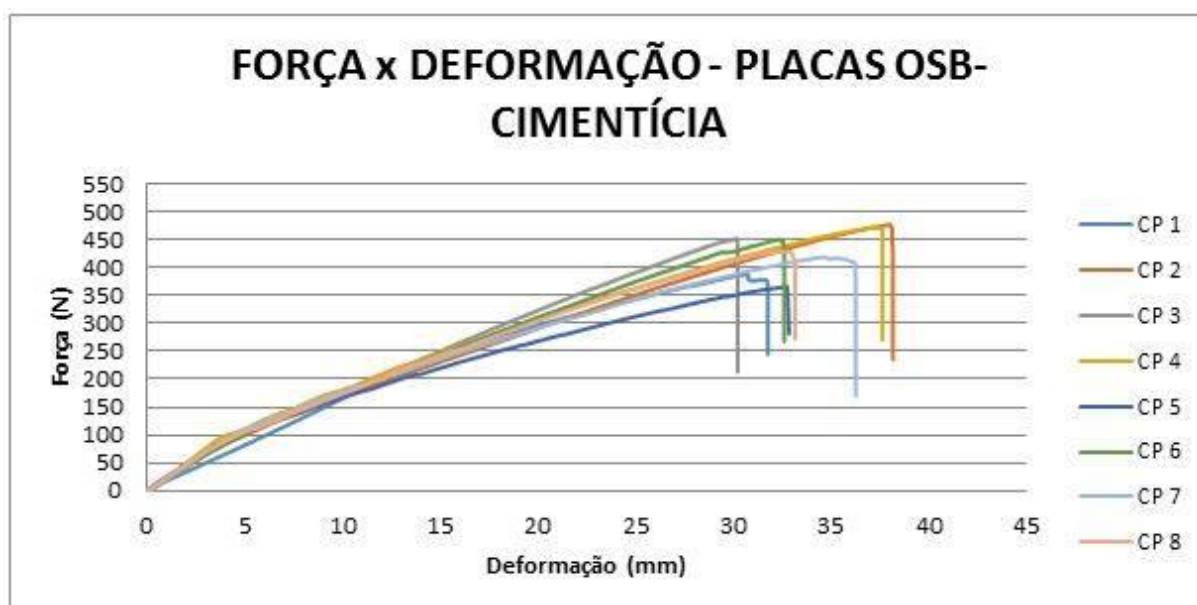


Gráfico 5 - Gráfico força-deformação das placas OSB-cimentícias.
 FONTE: Autoria própria (2014)

A junção dos resultados obtidos no dia do ensaio pode ser verificado no gráfico 6 a seguir:

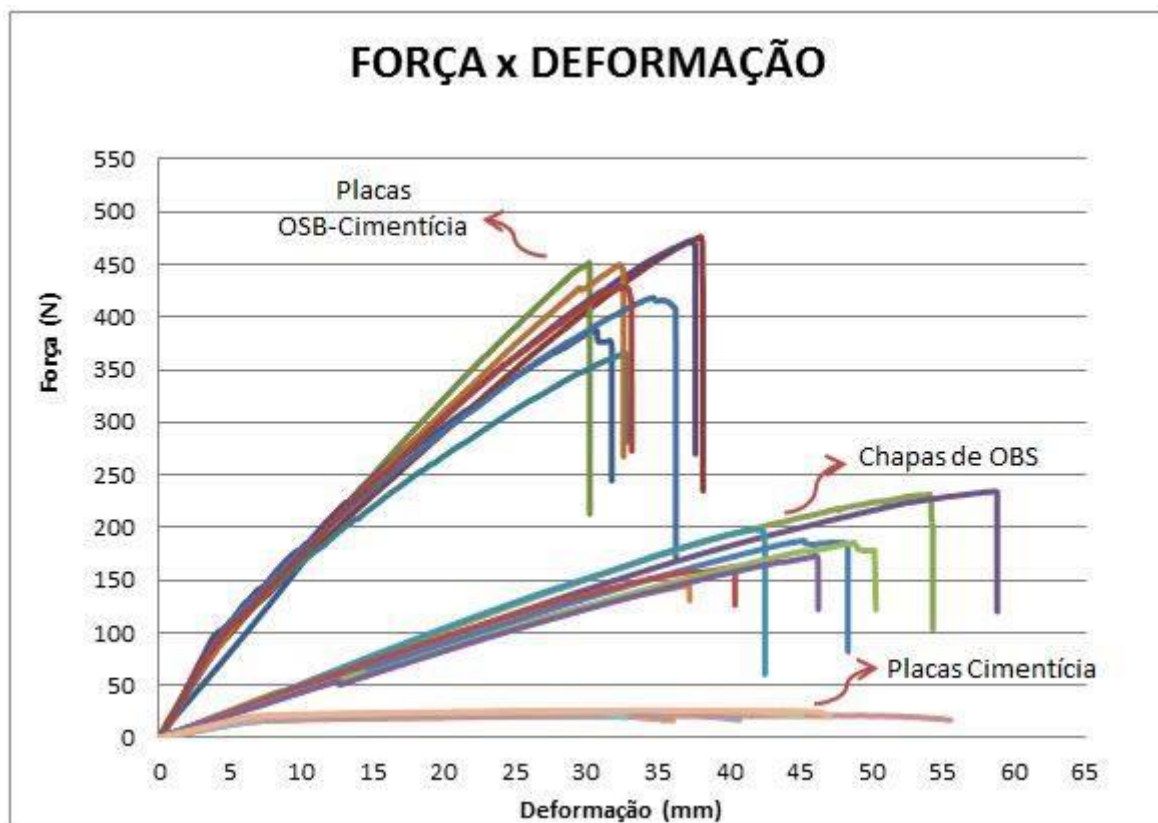


Gráfico 6 - Gráfico força-deformação amostragem total.
 FONTE: Autoria própria (2014)

Observando o gráfico de todas as amostras ensaiadas, pode-se notar que a carga de ruptura das placas cimentícias foi menor que a dos demais materiais, resultado este já esperado, uma vez que as placas cimentícias são mais utilizadas como elemento de vedação, e não com função estrutural. Nas chapas de OSB, a carga de ruptura já aumentou, devido ao fato de ser um tipo de madeira reconstituída com funções estruturais, e pode-se perceber que no material composto placas OSB-cimentícias, houve um ganho de resistência e rigidez, uma vez que as placas cimentícias quando utilizadas combinadas com as chapas de OSB podem funcionar como um reforço estrutural para o conjunto.

Depois disso, com todos os dados obtidos até então, procedeu-se os cálculos das tensões e, para isso foi necessário o cálculo dos momentos de inércia

das seções transversais das amostras e o centroide das mesmas, tais características geométricas podem ser observadas na tabela 7.

Tabela 7 - Características geométricas das amostras ensaiadas

CP	CHAPAS DE OSB		PLACAS CIMENTÍCIAS		PLACAS OSB-CIMENTÍCIA		
	$y_{OSB}(mm)$	$I_{OSB}(mm^4)$	$y_{PC}(mm)$	$I_{PC}(mm^4)$	$y_{PC}(mm)$	$y_{OSB}(mm)$	$I_{OSB-CIMENTÍCIA}(mm^4)$
1	7,39	13129,70	2,24	376,34	11,57	7,15	45460,97
2	7,24	12359,37	2,22	356,26	11,93	7,51	51642,19
3	7,43	13255,95	2,22	351,52	11,98	7,56	52439,16
4	7,48	13740,96	2,16	319,06	11,83	7,40	51285,56
5	7,31	12988,34	2,24	360,51	11,56	7,14	45805,32
6	7,51	13533,78	2,26	365,63	11,83	7,40	49068,23
7	7,28	12462,26	2,16	323,78	11,83	7,41	49143,44
8	7,21	12224,55	2,19	341,71	11,82	7,40	50893,22

FONTE: Autoria própria (2014)

Com todas as características geométricas das amostras encontradas, procedeu-se o cálculo dos módulos de elasticidade das placas cimentícias e das chapas de OSB. Cálculos estes feitos a partir da NBR 7190, que preconiza a utilização de dados para força e deformação de, respectivamente, 50 e 10% da força máxima obtida nos ensaios. Com as placas cimentícias, efetuou-se o cálculo dessa maneira. Já nas chapas de OSB, após realizada uma análise nos gráficos gerados, optou-se por utilizar 70 e 40%, pois o gráfico gerou uma descontinuidade que atrapalharia os cálculos como recomendado em norma. Na tabela 8 pode-se observar os valores calculados.

Tabela 8 - Módulos de elasticidade - chapas OSB e placas cimentícias

CP	$E_{OSB}(MPa)$	$E_{PC}(MPa)$
1	3902,55	4322,32
2	3856,36	4868,18
3	4024,57	3864,81
4	3225,44	4888,02
5	3562,41	4216,02
6	3546,14	4639,07
7	3569,54	5212,35
8	3541,32	5356,92
Média	3653,54	4670,96

FONTE: Autoria própria (2014)

Com os módulos de elasticidade encontrados, pode-se fazer uma análise comparando os mesmos aos dados fornecidos por seus fabricantes. O módulo de elasticidade das chapas de OSB resultaram, através da análise feita a partir dos ensaios laboratoriais, em uma média de 3653,54 MPa, e, como pode ser visualizado nos anexos, o fabricante realizou ensaios de resistência à flexão, através do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) onde o módulo de elasticidade médio encontrado foi de 2490 MPa.

Ainda analisando os dados fornecidos pelos fabricantes, a empresa Decorlit, em seu Manual Técnico, demonstra as características das placas cimentícias, e o módulo de elasticidade encontra-se na faixa de 7000 MPa, o valor médio encontrado nas análises feitas a partir dos ensaios laboratoriais estão na faixa de 4670,96 MPa, o que demonstra que o valor encontrado está 33,27% abaixo do valor especificado pelo fabricante.

Finalmente, deu-se o cálculo das tensões características dos materiais ensaiados. Salientando que para as amostras de placas cimentícias e chapas de OSB, a tensão foi calculada a partir da seção transversal retangular das chapas, já para as placas OSB-cimentícias, a tensão foi calculada a partir da teoria da seção transformada, onde, o formato final da seção transversal tornou-se uma seção "I". Todos os cálculos seguiram os passos dos itens 6.2.5 e 6.2.6 mencionados anteriormente.

Primeiramente temos os resultados obtidos para as placas cimentícias e chapas de OSB na tabela 9.

Tabela 9 - Tensões obtidas nas chapas de OSB e nas placas cimentícias

CP	CHAPAS DE OSB	PLACAS CIMENTÍCIAS
	TENSÃO _{OSB} (MPa)	TENSÃO _{PC} (MPa)
1	26,09	9,82
2	27,45	9,79
3	22,18	10,32
4	15,83	10,91
5	20,91	12,09
6	18,00	11,40
7	21,70	12,26
8	20,36	11,23
Média	21,56	10,98

FONTE: Autoria própria (2014)

Para as chapas de OSB, o ensaio realizado pelo fabricante, através do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), sob Relatório Técnico de número 126 416 -205 que pode ser visualizado nos anexos, resultou em uma média de 22,4 MPa de resistência à flexão. Os dados obtidos nos ensaios do presente trabalho tiveram uma média de 21,56 MPa, o que pode ser considerado um valor condizente com os dados fornecidos pela empresa.

Já para as placas cimentícias, segundo as características que constam no Manual Técnico do fabricante, que pode ser visto nos anexos, a resistência à flexão na condição ambiente, ou seja, sem a saturação da placa, é de 8 MPa, e o resultado dos ensaios laboratoriais tiveram uma média de 10,98 MPa.

Quando o Método da Seção Homogeneizada é utilizado nos cálculos da tensão para as placas OSB-cimentícias, chega-se ao resultado de duas tensões e não de uma tensão única para o conjunto, estas tensões encontradas correspondem a resistência que o material atingirá quando estiver agindo em conjunto.

Após análise das mudanças geradas quando trata-se a peça como seção transformada em “1”, obteve-se os valores de tensão observados na tabela 10.

Tabela 10 - Valores de tensão para as placas OSB-cimentícias

CP	PLACAS OSB-CIMENTÍCIA	
	TENSÃO _{OSB} (MPa)	TENSÃO _{PC} (MPa)
1	9,29	19,22
2	10,84	22,02
3	10,18	20,64
4	10,66	21,77
5	8,91	18,45
6	10,55	21,56
7	9,81	20,03
8	9,75	19,92
Média	10,00	20,45

FONTE: Autoria própria (2014)

Os resultados obtidos para tensão nas placas OSB-cimentícias foram obtidos através da teoria da “Seção Transformada”, que sugere que para cálculo das tensões, a seção do conjunto poderá ser transformada em qualquer um dos materiais que a compõe, como o módulo de elasticidade das placas cimentícias demonstrou-se maior que das chapas de OSB, optou-se pelos cálculos da seção do conjunto transformada em placas cimentícias, o que fez com que o tamanho das chapas de OSB no conjunto ficasse com suas dimensões diminuídas, transformando assim, a seção na forma de “I”.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a realização dos estudos efetuados em torno dos produtos reconstituídos de madeira na construção civil, verificou-se a gama de materiais que podem ser utilizados em substituição da madeira nobre, que está se tornando escassa no mercado atual.

O uso das madeiras de reflorestamento vem trazendo benefícios quando se considera a relação do seu uso com a preservação do meio ambiente, uma vez que as madeiras comumente reflorestadas, como o Pinus e o Eucalipto, possuem um crescimento considerado mais rápido que as madeiras de lei e possuem um custo relativamente mais baixo.

Tendo a madeira de reflorestamento em abundância na região do Paraná, pôde-se observar sua relativa importância dentro do setor da construção civil com o uso das chapas de madeira reconstituída, que utiliza o material madeira juntamente com aglomerantes para transformar o mesmo, aumentando sua resistência mecânica e ampliando assim seu uso na construção civil.

Apesar de um certo receio do uso da madeira reconstituída como elemento estrutural na construção, pode-se observar que os materiais recentemente utilizados respondem satisfatoriamente as exigências para um produto final de qualidade dentro das obras, porém, ainda falta a mudança na tradição imposta pelo uso de alvenaria e concreto nas construções.

O material aqui denominado de placas OSB-cimentícias pode ser considerado relativamente novo no Brasil, e pode ser usado como material de vedação e, principalmente, em mezaninos, que é onde as placas são comumente utilizadas.

Para tanto, procurou-se definir as propriedades das chapas de OSB, que estão sendo cada vez mais difundidas e correspondem a altos índices de resistência mecânica, além do fato de ser ecologicamente correta, pois seu processo de fabricação aceita apenas madeira de reflorestamento de Pinus, e todo o material gerado e utilizado na fabricação tem uma destinação final, seja no produto em si ou na geração de energia para sua fabricação.

O envoltório das chapas de OSB é feito a partir das placas cimentícias, que segundo os dados do fabricante, utiliza como forma de produção um processo totalmente sustentável.

Combinando a madeira de reflorestamento utilizada na fabricação das chapas de OSB e o uso de um envoltório com as placas cimentícias, tem-se o conjunto denominado placas OSB-cimentícias.

Para a finalização do objeto de estudo do presente trabalho, foram coletadas amostras dos materiais constituintes das chapas, e do conjunto OSB-cimentício em si com o propósito de investigar a resistência à flexão das placas OSB-cimentícias, optou-se também por analisar a resistência à flexão dos materiais que o compõe, para tanto oito chapas de cada material foram analisadas.

Após o cálculo das tensões nos três materiais, pode-se analisar quais os ganhos de resistência à flexão foram obtidos quando usadas as placas OSB-cimentícias.

Para realização das comparações de resistência, utilizou-se a teoria da seção transformada que utiliza os dados dos materiais constituintes para definir em qual deles é melhor transformar toda a seção para uma análise mais criteriosa.

Com os resultados obtidos nos ensaios pôde-se verificar que quanto maior a altura do material envolvido nas placas OSB-cimentícias, maior a sua resistência. Analisando apenas as placas cimentícias obteve-se um valor médio de resistência à flexão de 10,98 MPa, quando da análise das chapas de OSB, pode-se perceber uma resistência de 21,56 MPa, ao observar os dados das placas OSB-cimentícias que são formadas por duas placas cimentícias e uma chapa de OSB, houve um ganho de resistência e de rigidez, como a altura da placa cimentícia dobrou, sua tensão média foi para 20,45 MPa.

Se considerando as chapas OSB, na análise das tensões no conjunto OSB-cimentícias, pode-se notar uma diminuição da resistência em aproximadamente metade do valor da tensão, tensão média calculada de 10,00 MPa, isto pode se verificar pela seção transformada que é responsável por influenciar no módulo de rigidez dos materiais.

A alteração da seção transversal das placas, de retangular para uma seção em "I" pode também ser responsável por alterar a resistência à flexão.

Por fim, observou-se que seu uso mais abundante na construção civil é na execução de mezaninos, sabendo-se que as placas cimentícias podem receber vários tipos de revestimentos e a produção do material é ecologicamente correta.

REFERÊNCIAS

ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente). **Estudo setorial 2009 ano base 2008**. 2009.

ABRAF (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas). **Anuário estatístico da ABRAF 2013** - ano base 2012. Brasília: 2013.

ABIPA (Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira). **Produtos fabricados pelos associados**. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3043-02 - Standart Test Methods for Structural Panels in Flexure**. Denvers, 2002.

AGUILAR, Maria T. P; SANTOS Maxiliano P. dos. **Painéis de Madeira como Vedação Vertical em Construções**. 2007. Monografia (Especialização em Construção Civil.) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON, E. Russel Jr. **Mecânica Vetorial para Engenheiros**. 5 ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

BORTOLETTO Jr., G.; GARCIA, J.N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 563-570, 2004.

CABRAL, C. P.T. ET. AL. **Propriedades de chapas tipo osb, fabricadas com partículas acetiladas de madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloezina* E *Pinus elliotii***. 2006. Monografia (Pós Graduação em em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2006.

CALLISTER Jr.; WILLIAM D., **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CLOUTIER, A. **Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties and use.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1998. Belo Horizonte. Anais... Viçosa-MG: SIF/UFV/DEF, p. 173-185, 1998.

DECORLIT. **Soluções Construtivas.** Disponível em <<http://www.decorlit.com.br/>>. Acesso em 18 jan. 2014.

DIX, R. J. H. **The principles of cement-bonded particleboard manufacturing.** In: Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials. Sessio III: Industrial manufacturing Process. USA. Vol. I, p. 61-62, 1989.

GERALDO, Flavio C. **Madeira de Reflorestamento na Construção.** Disponível em <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/2510-madeira-de-reflorestamento-na-construcao-a-hora-da-virada/>>. Acesso em 11 jul. 2014.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HIBBELER, Russel C. **Resistência dos Materiais.** 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). **Relatório Técnico nº 126 412 – 205 – 4/5.** São Paulo, 2013.

KEIM, Daniel. **Os destinos da madeira plantada no Brasil.** Disponível em <<http://www.painelflorestal.com.br/noticias/artigos/os-destinos-da-madeira-plantada-no-brasil>> Acesso em 11 jul. 2014

LARA PALMA, Hernando A; BALLARIN, Adriano W. **Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis LVL de *Eucalyptus Grandis*.** Revista Ciência Florestal. v. 21, n. 3, p. 559-566, jul-set. 2011. Santa Maria, 2011.

LARA SANTOS, Aírton M. de. **Avaliação Teórica e Experimental de Vigas em “I” Pré-Fabricadas de Madeira com Flange de Painéis de Lâminas Paralelas (LVL) e Alma de Painéis de Partículas Orientadas (OSB) e Compensado.** 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

LATORRACA, J.V. F. ***Eucalyptus spp.* Na Produção de Painéis Cimento-Madeira.** 2000. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.

LIMA, Paulo G. **Tendências Paradigmáticas na Pesquisa Educacional.** 301 f. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação. Campinas, 2001. Disponível em: <<http://www.do.ufgd.edu.br/PauloLima/arquivo/mestrado.pdf>>. Acesso em: 04 fev. 2014.

LP DO BRASIL. **OSB Indústria e Comércio S.A.** Disponível em <<http://www.lpbrasil.com.br/>>. Acesso em 17 out. 2013.

MASISA DO BRASIL. **Produção de Painéis.** Disponível em <<http://www.masisa.com/bra/empresa/desenvolvimentosustentavel/>> Acesso em 12 mai. 2014.

MEIRELLES, Célia R. M. et. al. Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais. **III Fórum de Pesquisas Mackenzie.** São Paulo, 2007. Disponível em <http://www.mackenzie.br/fileadmin/Graduacao/FAU/Publicacoes/PDF_IIIForum_a/MA CK_III_FORUM_CELIA_REGINA.pdf>. Acesso em 13 mar. 2014.

MENDES, Lourival Marin. ***Pinus spp.* Na Produção de Painéis de Partículas Orientadas (OSB).** 2001. 181 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

MENDONÇA, Paulo de T. R. **Materiais compostos e estruturas-sanduíche: Projeto e Análise.** 1 ed. São Paulo: Manole, 2005.

MONTANA QUÍMICA S.A. **Madeira “engenheirada” na construção do futuro.** Disponível em <<http://www.montana.com.br/Comunicacao/Noticias/Mais-noticias/Madeira-engenheirada-na-construcao-do-futuro>>. Acesso em 04 jun. 2014.

PEDROSA, Alexandre de Luna. **Desempenho Estrutural de Vigas “I” constituídas por PLP e Compensado de *Pinus Taeda* L. E. *Eucalyptus Dunnii* Maiden E OSB de *Pinus spp.*** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

PORTAL DA MADEIRA. **LVL. Laminated Venner Lumber.** Disponível em < <http://portaldamadeira.blogspot.com.br/2009/11/lvl-laminated-venner-lumber.html>>. Acesso em 01 jul. 2014.

RÊGO, Rafael M. **Utilização de Materiais Alternativos à Base de Madeira na Construção Civil.** Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2008.

SETUBAL, Vítor G. **Avaliação e Reciclagem de Chapas OSB utilizadas na Construção Civil.** Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2009.

SIEBERT E CIA. LTDA. Disponível em < <http://www.siebert.com.br/>>. Acesso em 01 jul. 2014.

SOBRAL, L. et. al. **Acertando o alvo 2: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo.** Belém: Imazon, 2002. 72p. (ISBN: 85-86212-05-9).

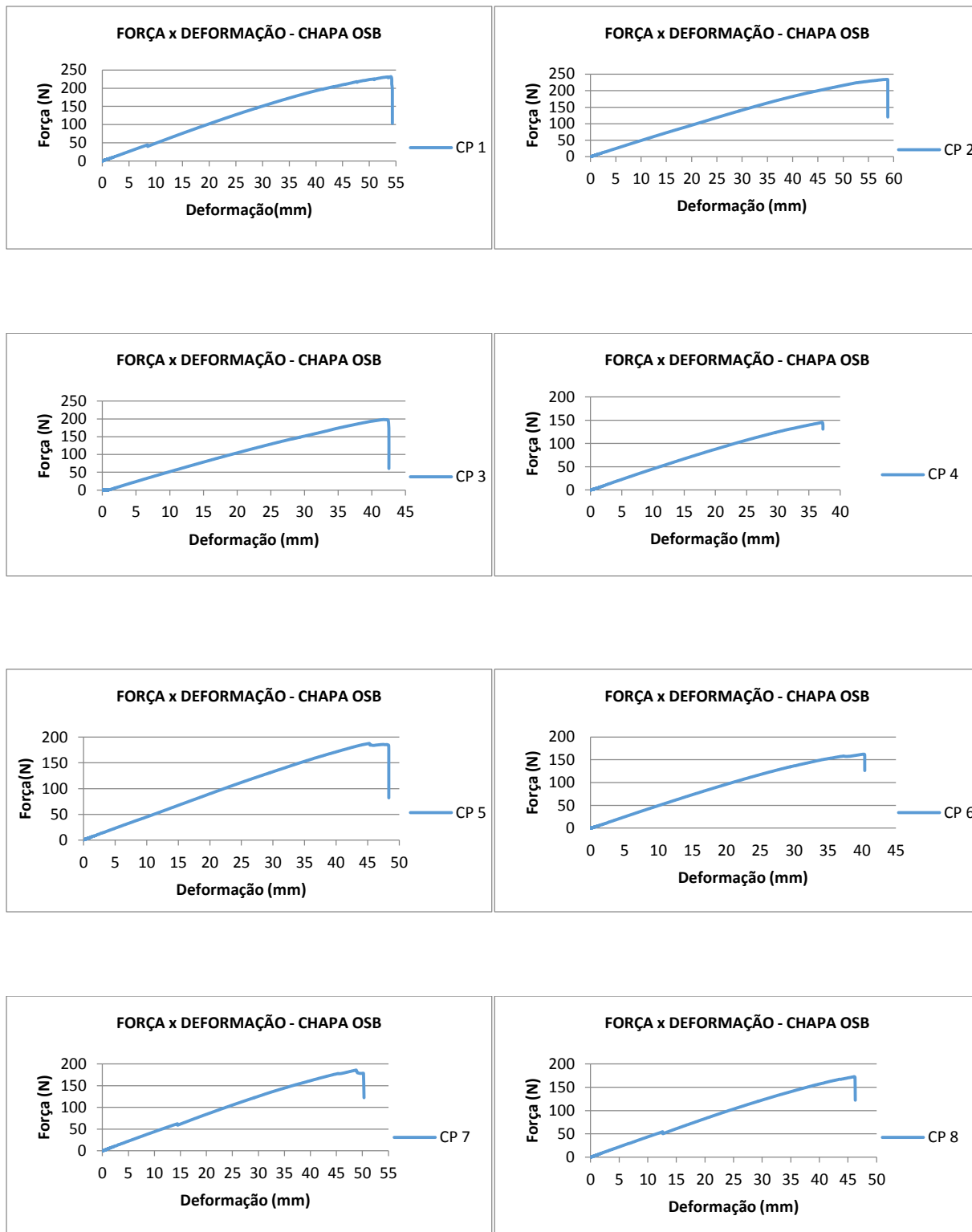
SORIANO, Humberto L. **Estática das Estruturas.** 2. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010.

VALVERDE, Sebastião R. **Características do Mercado da Madeira de Reflorestamento no Brasil.** 2008. Texto técnico. Centro de Inteligência em Florestas. Disponível em < http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_caracteristicas_brasil_4558.pdf>. Acesso em 17 abr. 2014.

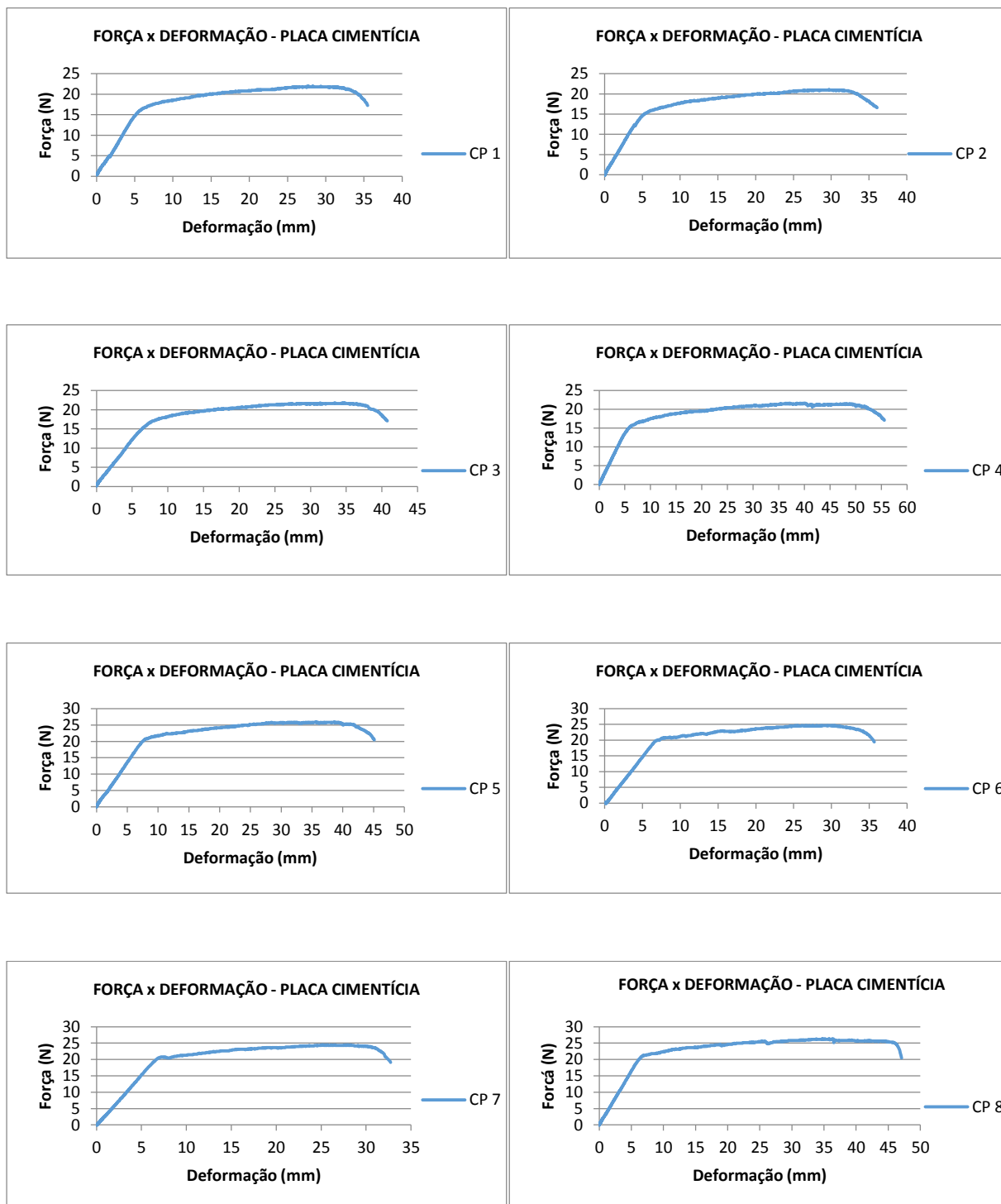
WEST FRASER. **LVL - Laminated Veneer Lumber.** Disponível em < <http://www.westfraser.com/products/lvl-laminated-veneer-lumber>>. Acesso em 09 jul. 2014.

APÊNDICES

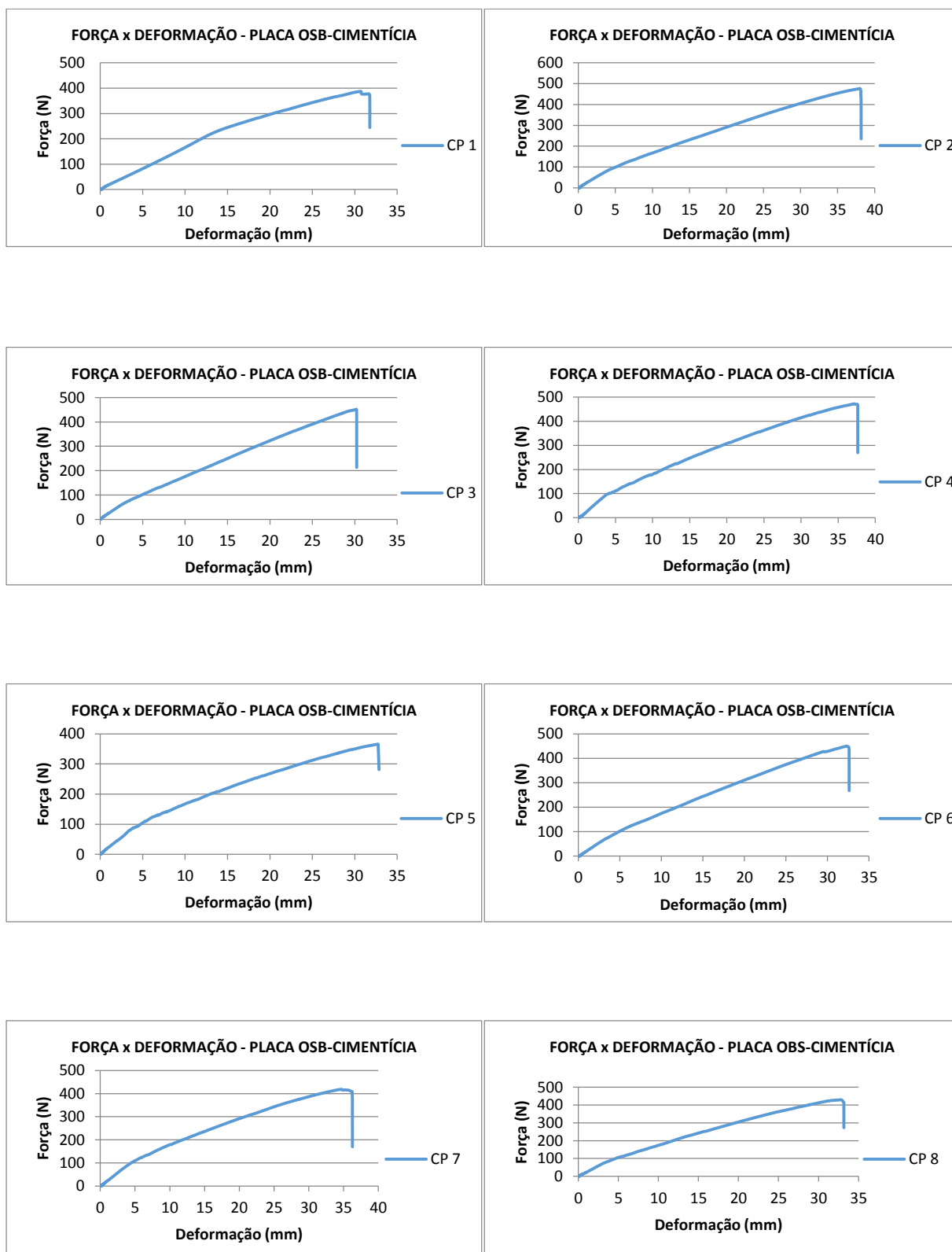
APÊNDICE A – Gráficos Força x Deformação das Chapas de OSB



APÊNDICE B – Gráficos Força x Deformação das Placas Cimentícias



APÊNDICE C – Gráficos Força x Deformação das Placas OSB-Cimentícias



ANEXOS

ANEXO A – Resultados Ensaio de Resistência à Flexão Estática das Chapas de OSB.



Relatório Técnico n° 128 416 - 205 - 4/5

Tabela 4 - Ensaio de resistência à flexão estática.

Corpo de prova	Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
Paralela ⁽¹⁾		
1	48,9 (498)	5455 (55626)
2	36,9 (376)	5067 (51669)
3	36,4 (371)	4757 (48508)
4	50,7 (517)	5641 (57522)
5	24,6 (251)	4478 (45663)
6	33,4 (341)	5158 (52597)
Média	38,5 (392)	5090 (51904)
Desvio padrão	9,8 (100)	431 (4392)
Perpendicular ⁽²⁾		
1	22,5 (229)	2607 (26584)
2	17,5 (179)	2311 (23566)
3	22,6 (230)	2597 (26482)
4	22,5 (230)	2483 (25320)
5	19,0 (194)	2078 (21190)
6	30,2 (308)	2847 (29031)
Média	22,4 (228)	2490 (25391)
Desvio padrão	4,4 (45)	266 (2715)

Obs.: (1) – flexão estática onde a direção das fibras das lâminas externas é paralela ao comprimento dos corpos de prova.

(2) – flexão estática onde a direção das fibras das lâminas externas é perpendicular ao comprimento dos corpos de prova.

Obs.: entre parênteses são apresentados os valores obtidos em kgf/cm².

**Resultados Ensaio de Resistência à Flexão das Chapas OSB.
FONTE: LP do Brasil (2013).**

ANEXO B – Características Placas Cimentícias – Manual Técnico Decorlit.

Características	Valores típicos
Densidade ambiente	1,70 g/cm ²
Densidade seca	1,45 g/cm ²
Absorção máxima de água	30%
Umidade em condições ambientes	10-15%
Variação dimensional máxima (saturado - seco em estufa)	2 - 2,5 +/- 0,2 mm/m
Condutibilidade térmica	0,35 W/mK
Coefficiente de dilatação térmica	7,5 x 10 ⁻⁶ m/m°C
Comportamento ao fogo	Incombustível
Resistência gelo-degelo	Ótima
Resistência à flexão na condição ambiente	
Resistência ambiente transversal (rf1)	16 MPa
Resistência ambiente longitudinal (rf2)	8 MPa
Resistência ambiente média (classe ISO A3)	12 MPa
Resistência à flexão na condição saturada	
Resistência saturada transversal (rf1)	11 MPa
Resistência saturada longitudinal (rf2)	5 MPa
Resistência saturada média (classe ISO A3)	8 MPa
Módulo de elasticidade médio (ambiente)	7 GPa
Módulo de elasticidade médio (saturado)	6 GPa

Características Placas Cimentícias.
 FONTE: Decorlit (2014)