



Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

Aluno: Marcos Penna Firme de Melo
Matrícula: 10/01485

Trabalho de Conclusão de Curso

Propriedades físicas e mecânicas de um compensado sarrafeado elaborado a partir de resíduos de construção civil e colado com resina Fenol – Formaldeído.

Orientador: Divino Eterno Teixeira
Co-orientador: Joaquim Carlos Gonçalves

Brasília, 26 de Junho de 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA


FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Propriedades físicas e mecânicas de um compensado sarrafeado elaborado a partir de resíduos de construção civil colado com resina Fenol – Formaldeído.

Estudante: Marcos Penna Firme de Melo.

Menção: SS



M.Sc Peter Wimmer

Analista Ambiental – LPF/SFB

Membro da Banca



Dr. Joaquim Gonzalez

Professor – Universidade de Brasília

Co-orientador



Dr. Divino Eterno Teixeira

Analista Ambiental – LPF/SFB

Orientador

Brasília – DF, Julho de 2015

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Compensado Sarrafeado	2
2.2 Reaproveitamento de Resíduos Madeireiros.....	4
2.3 Adesivos termofixos.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
3.1 Local de realização do trabalho.....	5
3.2 Coleta dos resíduos na obra.....	5
3.3 Processamento do resíduo.....	6
3.4 Produção dos compensados sarrafeados	6
3.5 Obtenção dos corpos de prova.....	9
3.6 Avaliação das propriedades físicas dos Painéis	9
3.6.1 Teor de Umidade	9
3.6.2 Massa Específica Aparente	10
3.6.3 Absorção de Água	11
3.6.4 Recuperação em Espessura e Inchamento mais Recuperação em Espessura.....	12
3.7 Avaliação das propriedades mecânicas dos Painéis.....	13
3.7.1 Flexão Estática	13
3.7.2 Cisalhamento na Linha de Cola.....	15
3.7.3 Análise do Módulo de Elasticidade Dinâmico – Stress Wave.....	15
3.8 Análise dos resultados	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4.1 Avaliação das propriedades físicas dos painéis.....	16
4.1.1 Teor de Umidade.....	16

4.1.2 Massa Específica Aparente.....	17
4.1.3 Absorção de Água.....	17
4.1.4 Recuperação em Espessura e Inchamento mais Recuperação em Espessura.....	18
4.2 Avaliação das propriedades mecânicas dos painéis.....	18
4.2.1 Flexão estática.....	19
4.2.2 Análise do Módulo de Elasticidade Dinâmico – Stress Wave.....	21
4.2.3 Cisalhamento na linha de cola.....	23
5. CONCLUSÕES.....	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Princípio de construção de um compensado sarrafeado.....	3
Figura 2. Corte transversal de uma amostra de compensado sarrafeado.....	3
Figura 3. Cortes dos sarrafos em serra circular.....	6
Figura 4. Processamento na desgrossadeira.	6
Figura 5. Procedimento de prensagem com grampos.....	7
Figura 6. Compensado Sarrafeado de dimensões 340mm x 560 x 15mm.....	8
Figura 7. Croqui representando o corte do painel para retirada dos corpos de prova.	9
Figura 8. Regressão entre o MOEd e o MOE das peças paralelas as fibras.....	22
Figura 9. Regressão entre o MOEd eo o MOE das peças perpendiculares as fibras..	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Valores das médias, Desvio Padrão, Coeficiente de variação e valor de P para os tratamentos.....	16
Tabela 4.2 – Valores estatísticos das Massas específicas aparentes dos tratamentos.....	17
Tabela 4.3 – Valores obtidos após análise estatística das amostras de absorção de água.....	18
Tabela 4.4 – Valores obtidos para os testes de RE e IR para os dois tratamentos, e as respectivas análises estatísticas.....	18
Tabela 4.5 – Valores obtidos após o teste de flexão estática e análise estatística.....	20
Tabela 4.6 - Valores de teste t comparando os corpos de prova paralelos, os perpendiculares, e todos juntos..	21
Tabela 4.7 - Requisitos de colagem (valores médios) para painéis compensados.....	23
Tabela 4.8 – Valores médios de TRC e Falha na Madeira.....	23
Tabela 4.9 – Teste t para a TRC e a falha na madeira.....	24

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIações.

AA – Absorção de Água

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

EN – The European Standard

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IR – Inchamento mais Recuperação em Espessura

LPF – Laboratório de Produtos Florestais

MEA – Massa Específica Aparente

MOEd – Módulo de Elasticidade Dinâmico

MOE – Módulo de Elasticidade

MOR – Módulo de Ruptura

PMVA – Produtos de maior valor agregado

PNQM – Programa Nacional de Qualidade da Madeira

PU – Poliuretano

PVA – Acetato de polivinila

IR – Inchamento mais recuperação em espessura

RE – Recuperação em Espessura

RCC – Resíduos da Construção Civil

RCD – Resíduos da Construção e Demolição

RLC – Resistência aos Esforços do Cisalhamento na Linha de Cola

TRC – Tensão de Ruptura de Cisalhamento

SLP – Stress no Limite Proporcional

TU – Teor de Umidade

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha família, por todo o apoio nessa fase difícil que foi a graduação. Aos amigos que me deram força e incentivo para concluir e fizeram dessa jornada uma grande alegria. Aos Orientadores, Dr. Divino e Professor Joaquim, pelo aprendizado e pela paciência. Agradeço também o Laboratório de Produtos Florestais, por disponibilizar toda sua estrutura para os alunos que se interessam na área, inclusive eu mesmo.

RESUMO

A construção civil é uma atividade geradora de grande quantidade de resíduos, sendo necessário alternativas sua reutilização. Resíduos a base de madeira podem ser processados e utilizados para produção de produtos florestais, tais como compensados sarrafeados. O presente trabalho avaliou as propriedades físicas e mecânicas de compensados sarrafeados produzidos a partir de resíduo de construção civil, sendo um tratamento produzido com amarração dos sarrafos e outro sem amarração, com o objetivo de determinar qual método de produção utilizado demonstra melhores resultados, e também observar o comportamento do adesivo Fenol-formaldeído (FF) nos produtos. A produção do compensado, assim como a realização dos ensaios, foi realizada no Laboratório de Produtos Florestais, do Serviço Florestal Brasileiro – SFB. Os resíduos utilizados foram obtidos em obras da Universidade de Brasília, e a espécie utilizada foi de *Pinus sp* para os sarrafos e Curupixá (*Micropholis venulosa*) para as lâminas. O adesivo utilizado foi o FF CASCOPHEN HL-7090 HS. Os painéis foram produzidos com dimensões 340mm x 560 x 15mm. As propriedades físicas dos painéis avaliadas foram: Teor de Umidade (TU); Densidade aparente (MEA); Absorção de Água (AA); e Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais Recuperação em Espessura (IR). As propriedades mecânicas dos painéis avaliadas foram: Flexão Estática (MOR e MOE); e Tensão de Ruptura de Cisalhamento (TRC). Tendo em vista a origem do material utilizado, os resultados obtidos foram satisfatórios, para ambos os tratamentos.

Palavras-chave: Construção Civil, Resíduo Madeireiro, Compensado Sarrafeado (*Blockboard*)

ABSTRACT

The construction is an activity that generates large amounts of waste, requiring alternative reuse. Wood-based waste can be processed and used for the production of forest products, such as plywood (blockboards). This study evaluated the physical and mechanical properties of blockboards produced from construction waste, with a treatment made from mooring of the joists and the other without tying, in order to determine which production method shows better results as well as observe the phenol-formaldehyde adhesive behavior in the products. The production of blockboard as well as the tests, was held at the Forest Products Laboratory, Brazilian Forest Service - SFB. The waste used were obtained in works at the University of Brasilia, and the species used was *Pinus sp* for the battens (core) and *Curatixá (Micropholis venulosa)* for the faces. The adhesive used was FF Cascophen HL-7090 HS. The panels were produced with dimensions 560 x 340mm x 15mm. The physical properties of the panels were assessed: Moisture Content (TU); Apparent density (MEA); Water absorption (AA); and recovery in thickness (RE) and more swelling in thickness recovery (IR). The mechanical properties of the panels were evaluated: Static bending (MOR and MOE); and Shear Strength in Glue line (RLC). In view of the origin of the material used, the results were satisfactory for both treatments.

Keywords: Construction, Waste Timber, Blockboard

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil, praticamente todas as atividades são geradoras de resíduos, chamados também de entulho ou resíduo de construção e demolição (RCD), ou, como atualmente tem sido denominado, resíduo de construção civil (RCC). De acordo com Pinto (1999), o RCD pode corresponder a mais de 50% da massa dos resíduos sólidos municipais. A geração de resíduos na construção civil pode ocorrer nas diferentes fases do ciclo de vida da estrutura – construção, manutenção e reformas e demolição sendo os principais resíduos gerados nessas fases areia, brita, argamassa, concreto, plástico, metais, vidros, papéis e pedaços de madeira. Tal modelo de construção não apresentava problemas até recentemente, devido à abundância de recursos naturais (JOHN, 1999).

Segundo John (1999), o a intensificação da atividade industrial, assim como o desenvolvimento de novas tecnologias, crescimento populacional, aumento de pessoas em centros urbanos e diversificação do consumo de bens e serviços, os resíduos se transformaram em graves problemas urbanos, além de serem de gerenciamento complexo e oneroso, considerando seu volume e massa muito grandes. Além disso os recursos tornaram-se muito mais escassos, de forma que a redução de sua demanda, ou o aproveitamento de seus resíduos passou a ser de grande importância.

A partir dessas problemáticas foi verificado que havia grande necessidade de implementação de sistemas de gestão de resíduos sólidos adequados (John apud Gunther, 1999). Visando a preservação dos recursos naturais, os resíduos podem ser reciclados, prolongando a vida útil das reservas naturais e reduzindo a destruição da paisagem, flora e fauna (JOHN, 1999).

Com relação à madeira, na construção civil brasileira, é utilizada nas construções de maneira provisória, como, por exemplo, fôrmas para concreto, andaimes, escoramentos e de maneira definitiva, como estruturas de cobertura, esquadrias, forros e pisos. A escassez de estudos sobre a reciclagem de resíduos madeireiros oriundos de construções civis aponta a grande importância de trabalhos como este (SILVA, 2013).

O material proveniente de produtos à base de madeira ou madeira sólida, quando acumulados se constituem em uma fonte de fibras que, após processadas

adequadamente podem servir de base para produção de produtos florestais tais como painéis colados e laminados, componentes de móveis, painéis de revestimento e compensados (COSTA, 1996).

Segundo Silva (2013), a produção de compensado sarrafeados a partir de resíduos madeireiros é uma boa opção para peças menores, normalmente descartadas, mas que quando reaproveitadas como parte do material, voltam a ter certo valor, e a ter funcionalidade para outros fins.

O objetivo deste trabalho é a determinação das propriedades físicas e mecânicas de um compensado sarrafeado elaborado a partir de resíduos de construção civil utilizando-se o adesivo Fenol-formaldeído.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Compensado Sarrafeado

De acordo com Mendes, *et al.* (1998), a produção de compensados sarrafeados é uma opção exequível quando há possibilidade de aproveitamento de resíduos de serraria ou construção civil, principalmente daqueles constituídos de pequenas peças de madeira normalmente descartadas, e quando aproveitadas, destinam-se apenas à geração de energia, ou até mesmo, simplesmente incineradas por falta de alternativas de uso viáveis (BERNARDI, 1998 APUD MENDES *et al.*,1999). Ao utilizar tais resíduos para a confecção de compensados sarrafeados, agrega-se valor, utilizando-os como parte central do compensado.

O termo é derivado de seu processo de fabricação, que consiste em um miolo, parte central do painel, formado pela colagem lateral de madeira serrada (sarrafo) em blocos formando um conjunto que, então, é revestido por lâminas, formando a capa e a contracapa. A lâmina correspondente à contracapa funciona como camada de transição, de modo que sua grã está no sentido perpendicular, enquanto a lâmina da capa (geralmente de melhor qualidade), tem sua grã no sentido paralelo dos sarrafos do miolo (IWAKIRI,1998)

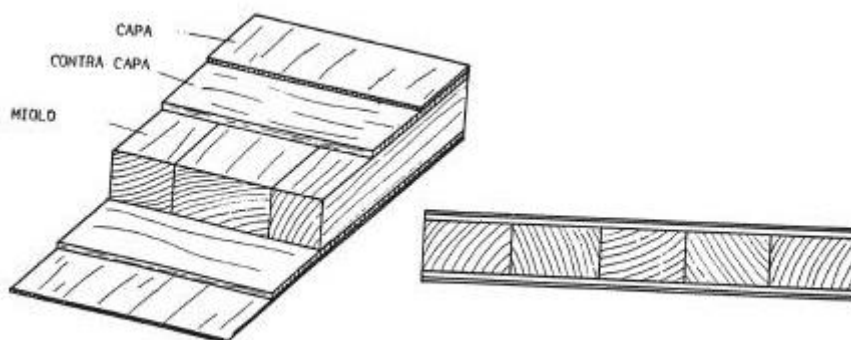


Figura 1– Princípio de construção de um compensado sarrafeado

Fonte: Keinert Jr. (1989), citado por Mendes *et al.* (1999)



Figura 2 – Corte transversal de uma amostra de compensado sarrafeado

Fonte: Mendes *et al.* (1999)

Sua produção ainda é reduzida, atingindo uma faixa de apenas 25% a 35% dos painéis compensados produzidos, sendo que seu consumo situa-se no nível de 0,25 a 0,35m³ por m³ de compensado laminado (MENDES *et al.*, 1999).

Os compensados sarrafeados podem ser utilizados para uso interno, fabricação de móveis, painéis divisórios, entre outros serviços de carpintaria (IWAKIRI,1998).

2.2 Reaproveitamento de Resíduos Madeireiros

Assim como a construção civil, a indústria madeireira é uma grande geradora de resíduos, provenientes do processo de beneficiamento da madeira. O processamento da madeira para adequação das exigências do mercado gera resíduos tais como serragens, sarrafos, aparas, pó de serra, entre outros (GONÇALVES *et al.* 2009). Atualmente, grande parte desses resíduos, assim como resíduos de construção civil, são utilizados para energia, sendo pequena a reutilização para produção de produtos de maior valor agregado. Além disso, de acordo com Gonçalves (2009), a oferta de resíduos supera, em muito, a demanda, e o material muitas vezes não tem finalidade específica.

A indústria de móveis, por utilizar como matéria prima principal em seus produtos a madeira maciça ou chapas reconstituídas, se depara, em seus processos produtivos, com volumes cumulativos de resíduos potencialmente causadores de impactos ambientais (Cassilha et al, 2003). O mesmo autor tratou, em seu trabalho, desses resíduos e das suas implicações no meio ambiente, e concluiu que a falta de planejamento para o tratamento de resíduos gera uma série de problemas para as empresas e para a sociedade. O autor ressalta a importância de metodologias voltadas para orientação de atividades de pesquisa e desenvolvimento da reciclagem de resíduos.

Gonçalves (2009) utilizou resíduos de indústria madeireira para produção de briquetes, utilizando ainda, no produto, Rejeitos de Resíduos Sólidos Urbanos (RRSU), e obteve resultado satisfatório, indicando sua produção.

2.3 Adesivos Termofixos

Adesivos termofixos são adesivos estruturais excelentes, pelo motivo de sofrerem mudança química irreversível, eles conferem ao adesivo uma grande resistência à água (FIORELLI, 2002, *apud* SANTOS 2008). São de alta rigidez e alta resistência a água, sendo capazes de aguentar grandes cargas por longos períodos de tempo (FERRAZ, 2013)

Os fatores básicos que interferem no processo de colagem da madeira variam com a madeira, adesivo e condições de colagem (SELLERS, 1985 e BALDWIN, 1993, *apud* IWAKIRI, 2002).

Uréia-formaldeído (UF): é uma das resinas mais utilizadas, devido ao menor custo. Tem coloração clara, cura rápida e não é inflamável,

Poliuretano (PU): resina de origem vegetal, tem como vantagens excelentes propriedades estruturais, não emitir vapores tóxicos, boa adesão e baixo custo. Pode ser mono ou bi-componente.

Fenol-formaldeído (FF): é uma resina bastante utilizada devido suas características estruturais, por ser bastante durável, bem estável, aderir muito bem a madeira, tem boa impermeabilidade e alta resistência (FRIHART, 2005). Por outro lado, tem um alto custo, exige madeira de baixo teor de umidade e tem coloração escura. É classificada para uso exterior, principalmente por sua alta resistência à umidade (IWAKIRI *et al*, 2002). Sua aplicação é principalmente em painéis, waferboard e OSB. Sua cura é feita em temperaturas na faixa de 130 a 150°C.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de realização do trabalho

O presente trabalho foi realizado nas áreas de Produtos, Engenharia e Carpintaria do Laboratório de Produtos Florestais-LPF do Serviço Florestal Brasileiro – SFB.

3.2 Obtenção dos resíduos

Os resíduos foram coletados em obras executadas na Universidade de Brasília – UnB, Campus Darcy Ribeiro. As peças residuais obtidas foram da espécie *Pinus sp*, sendo que estas tinham utilizadas nas obras como formas de cimento. As peças estavam no formato de prancha, sendo a presença de pregos e rachaduras comum entre elas.

3.3 Processamento dos resíduos

Os resíduos foram então processados, de acordo com o estabelecido pelas normas técnicas, na carpintaria do LPF, para ajuste de medidas e acabamento para posterior procedimento de colagem. Para corte do material e adequação das medidas dos sarrafos, foi utilizada uma serra circular e uma desgrossadeira, o que está demonstrado nas figuras 3 e 4.



Figura 3: Cortes dos sarrafos em serra circular



Figura 4: Processamento na desgrossadeira

Após realizado o processamento, o material foi armazenado na sala de climatização do LPF em condições controladas a temperatura de $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 5\%$ de umidade relativa, até atingir massa constante e umidade aproximada de 12%, considerada ideal para colagem.

3.4 Produção dos compensados sarrafeados

Foram confeccionados dois tipos de compensados sarrafeados: com amarração, ou seja, com colagem lateral dos sarrafos, e sem amarração, sem colagem lateral. Ambos foram confeccionados com sarrafos de *Pinus sp* e duplas camadas (capa e contracapa) de lâminas da espécie Curupixá (*Micropholis venulosa*), de densidade média de 0,805g/cm³, e espessura de 0,65 mm, de cada lado do compensado.

Para cada tratamento (com amarração e sem), foram produzidos 3 painéis, somando um total de 114 sarrafos para sua produção. Cada sarrafo tinha medidas de 35cm x 3cm x 1,5 cm (comprimento x largura x espessura).

No tratamento SA (sem amarras), não houve colagem lateral, de modo que os sarrafos foram apenas grampeados lateralmente e prensados para mantê-los firmes. Os grampos foram retirados após prensagem. Primeiramente foram coladas as contracapas, com sentido das fibras perpendicular ao dos sarrafos, e então a capa, com fibras no sentido paralelo ao dos sarrafos. No tratamento CA (com amarras), anteriormente à colagem das lâminas foi feita a amarração dos sarrafos, colando-se os sarrafos lateralmente com cola PVA, à gramatura 100g/m². A figura 5 ilustra o procedimento de prensagem com os grampos.



Figura 5: Procedimento de prensagem com grampos

Após feitas as colagens da capa e contracapa, de ambas as faces dos painéis, foi feita então a prensagem destes. Para ambos os tratamentos foi utilizada gramatura 200g/m² de adesivo Fenol formaldeído Cascophen HL – 7090 HS. É uma resina líquida, à base de fenol-formol, em solução aquosa, especialmente desenvolvida para as colagens de madeiras dos mais variados tipos, onde as exigências primordiais sejam alta qualidade e colagem totalmente à prova d'água. Tem teor de sólidos entre 52% e 54%, viscosidade entre 400cP e 800cP, e pH entre 11 e 13. A formulação utilizada foi de 100+20+20, resina, água e pó de fibra de babaçu, respectivamente. A prensagem foi feita a quente numa prensa da marca Indumec, à pressão constante de 8 kgf/cm² com tempo de prensagem de 3,5 minutos, à temperatura constante de 130° C. O produto final está demonstrado na figura 6.



Figura 6 – Compensado Sarrafeado de dimensões 340mm x 560 x 15mm

3.5 Obtenção dos Corpos de Prova

Após confecção dos painéis e climatização, foi feito o corte destes para obtenção dos diferentes corpos de prova, necessários para realização dos ensaios. Foram retirados três corpos de prova com direção paralela ao dos sarrafos, cada um com 34cm de comprimento e 5cm de largura, e três perpendiculares, com comprimento de 32cm e 5 de largura. O esquema descrito pode ser observado na figura 7.

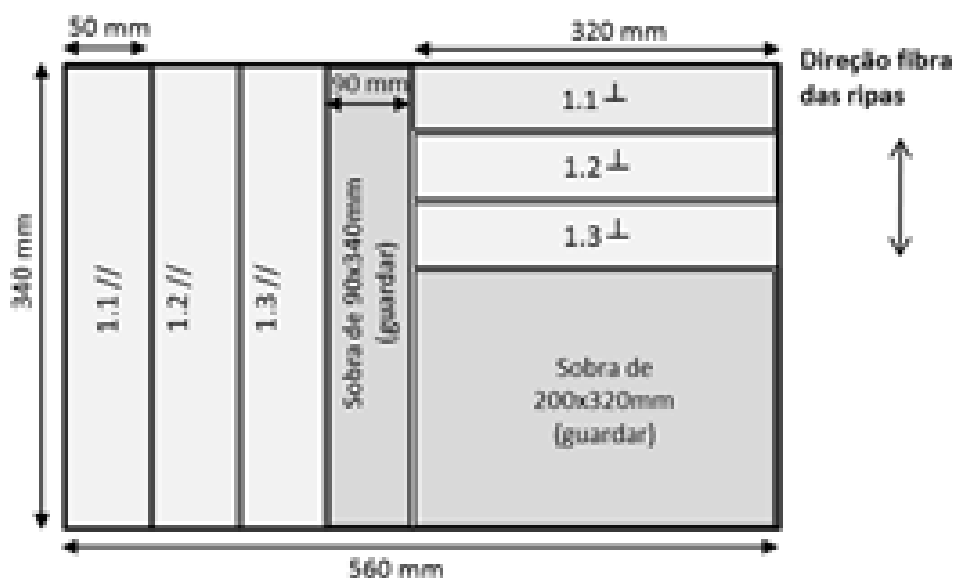


Figura 7 – Croqui representando o corte do painel para retirada dos corpos de prova

Desse modo, para o teste de flexão estática, foram confeccionados 9 corpos de prova paralelos e nove perpendiculares, sendo três repetições de três corpos de prova para cada tratamento. Para o restante dos ensaios, foi utilizada a sobra da chapa.

3.6 Avaliação das propriedades físicas dos Painéis

3.6.1 Teor de Umidade (TU)

A norma utilizada para determinação do teor de umidade foi a NBR 9484/1986 (ABNT, 1986) para compensado. Para cada tratamento foram utilizados 27 corpos de prova, obtidos dos corpos de prova após teste de flexão. Os corpos de prova foram primeiramente acondicionados e pesados em sala climatizada, para obtenção de sua massa inicial (massa úmida).

Para obtenção da massa seca, os corpos de prova foram colocados em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ e monitorados até atingirem massa constante, e então foi utilizada a Equação 1 para o cálculo de teor de umidade.

$$TU = \frac{Mu - Ms}{Ms} .100 \quad (1)$$

Onde:

TU = Teor de umidade em %;

Mu = Massa úmida do corpo de prova em g;

Ms = Massa do corpo de prova após ser seco em estufa a $(103\pm 2)^{\circ}\text{C}$ em g.

3.6.2 Massa específica aparente

Para cálculo da massa específica aparente, os ensaios foram conduzidos de acordo com a norma NBR 9485/1986 (ABNT, 1986) para compensado. Para realização deste teste, foram utilizados os mesmos corpos de prova do teste de flexão estática, sendo 9 com direção paralela às fibras e 9 perpendiculares, para cada tratamento. Os corpos de prova foram acondicionados em sala com condições controladas à temperatura de $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$, até atingirem Teor de Umidade de Equilíbrio (TUE), de aproximadamente 12%. Para esta propriedade utilizou-se a equação a seguir:

$$Mea = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Onde:

Mea = Massa específica aparente em g/cm³;

m = Massa do corpo de prova em g;

V = Volume do corpo de prova em cm³.

3.6.3 Absorção de Água

Para este teste foram utilizados 36 corpos de prova para cada tratamento, seguindo a norma NBR 9486/1986 (ABNT, 1986) para compensado, os procedimentos realizados foram os seguintes:

- I. Secagem em estufa por 24 horas a temperatura 50±2°C;
- II. Resfriamento em dessecador;
- III. Pesagem em balança de precisão de 0,01 g;
- IV. Imersão em água destilada em temperatura constante de 25±2°C por 24 horas;
- V. Secagem rápida em papel absorvente; e
- VI. Novamente pesagem.

Após obtenção dos valores das duas pesagens, o cálculo de absorção de água foi feito a partir da Equação 3.

$$A = \frac{Mf - Mi}{Mi} .100$$

(3)

Onde:

A = Quantidade de água absorvida, em %;

Mf = Massa final do corpo de prova, em g;

Mi = Massa inicial do corpo de prova, em g.

3.6.4 Recuperação em espessura (RE) e Inchamento mais Recuperação em Espessura (IR)

De acordo com a norma NBR 9535/2011 (ABNT, 2011) para compensado, inchamento é o acréscimo da espessura da chapa de compensado quando este é submetido à absorção de água. Ainda segundo a norma, recuperação da espessura é a capacidade da chapa de readquirir a espessura inicial após imersão em água e posterior secagem.

Para cada tratamento, foram utilizados 72 corpos de prova, sendo 36 para amostra controle e 36 para o teste de imersão. Os CPs foram acondicionados até atingir massa constante. Para amostra controle, foi feita uma medição da espessura na parte central do corpo de prova após a aclimação e outra após secagem em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.

Os corpos de prova teste foram medidos após aclimação, então imersos em água destilada a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Foi então feita a medição com os corpos de prova saturados, e posterior secagem em estufa na mesma temperatura citada anteriormente por 24 horas, para ser feita a medição final da amostra seca. A recuperação em espessura (R) foi calculada de acordo com a Equação 4.

$$R = \left(\frac{e1 \cdot e5}{e2 \cdot e3} - 1 \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

R= Recuperação em espessura em %;

e1 = Soma das espessuras dos corpos-de-prova utilizados como controle, climatizados (mm);

e2 = Soma das espessuras dos corpos-de-prova utilizados como controle, secos em estufa (mm);

e3 = Soma das espessuras dos corpos-de-prova antes da imersão em água (mm);

e5 = Soma das espessuras dos corpos-de-prova após a imersão em água (mm).

O Inchamento mais recuperação da espessura (IR) foi calculado de acordo com a Equação 5.

$$IR = \left(\frac{e1 . e4}{e2 . e3} - 1 \right) . 100 \quad (5)$$

Onde:

IR = Inchamento mais recuperação da espessura em %;

e4 = Soma das espessuras dos corpos-de-prova, após a imersão em água, e posterior secagem em estufa (mm).

3.7 Avaliação das Propriedades Mecânicas dos Painéis

3.7.1 Resistência à Flexão Estática

A resistência à flexão estática foi feita de acordo com a norma europeia EN 310 (1993) para compensados. A máquina utilizada foi da marca Instron, e os dados dos ensaios são os seguintes:

Vão livre = 290 mm;

Velocidade média = 9,0 mm/min;

Ø da cabeça de carga (mm) = 30±0,5;

Ø dos apoios (mm) = 15±0,5.

A equação utilizada para o cálculo de módulo de elasticidade foi a Equação 6.

$$MOE = \frac{L^3 \times Plp}{4 \times b \times e^3 \times (S_2 - S_1)} \quad (6)$$

Onde:

MOE = Módulo de elasticidade em MPa;

Plp = Carga no limite proporcional

L = Distância entre os centros dos apoios (vão livre) em mm;

b = Largura real do corpo-de-prova em mm;

e = espessura real do corpo-de-prova em mm;

$s_2 - s_1$ = Incremento de flexão, no ponto central do vão, correspondente à deformação, determinado em mm, com precisão mínima de 0,01 mm.

Para o ensaio do Módulo de Ruptura (MOR), foi utilizada também a máquina de ensaio Instron, e o cálculo foi realizado de utilizando-se a Equação 7.

$$\text{MOR} = \frac{3 \times F_{\text{máx}} \times L}{2 \times l \times e^2} \quad (7)$$

Onde:

MOR: = Módulo de ruptura em MPa;

$F_{\text{máx}}$ = Carga máxima em kgf;

L= Distância entre os centros de apoio (vão livre) em mm;

l = Largura real do corpo-de-prova em mm.

e = espessura real do corpo-de-prova em mm

Também foi calculado o Stress no Limite Proporcional (SLP) dos corpos de prova, a partir da equação 8.

$$\text{SLP} = \frac{3 \times \text{Plp} \times L}{2 \times l \times e^2} \quad (8)$$

Onde:

SLP = Stress Limite proporcional em Mpa

Plp = Carga máxima no Limite proporcional em Kgf

L= Distância entre os centros de apoio (vão livre) em mm;

l = Largura real do corpo-de-prova em mm.

e = espessura real do corpo-de-prova em mm

3.7.2 Cisalhamento na linha de cola

Como a norma brasileira não prevê ensaio de cisalhamento na linha de cola para compensados sarrafeados, os ensaios foram baseados na norma europeia EN 314-1 e EN 314-2 (1993). Foram utilizados 15 corpos de prova para cada tratamento, sendo estes com medidas de largura de 25 mm, distância entre os sulcos de 25mm, e área de colagem média de 650mm². Para o teste de cisalhamento pós-fervura, os corpos de prova foram submersos por 24 horas em água à temperatura de 20±3°C, então fervidos por 6 horas e depois submersos em água novamente por uma hora. Em seguida foram submetidos à carga com velocidade constante de 6,0 mm/ min, de acordo com a NBR 9434.

A equação 9 foi utilizada para determinar a resistência ao esforço de cisalhamento na tração, após serem feitos os ensaios.

$$TRC = \frac{F_{\text{máx}}}{a \times b} \quad (9)$$

Onde:

TRC= Tensão de ruptura de Cisalhamento em MPa;

F_{máx} = Carga de ruptura em MPa;

a = Distância entre sulcos em cm;

b = Largura do corpo-de-prova em cm.

3.7.3 Análise de Módulo de Elasticidade Dinâmico – Stress Wave

O método Stress Wave Timer é um teste não destrutivo utilizado para medir o Módulo de Elasticidade dinâmico de um corpo de prova. O método se baseia na velocidade de propagação das ondas de tensão no material, o que está diretamente relacionado à sua densidade. Para esse cálculo, utilizamos a equação 9 a seguir.

$$MOEd = v^2 \times \rho_{\text{apar}} \times 1/g \quad (10)$$

Onde:

MOEd = Módulo de Elasticidade Dinâmico;

v = Velocidade de propagação da onda de Tensão;

ρ_{apar} = Densidade aparente do material;

g = Aceleração da gravidade, em m/s²;

3.8 Análise dos resultados

Para análise dos resultados, os dados dos ensaios foram tabelados e então foi feita a interpretação e análise estatística conduzida com o auxílio do software Microsoft Excel 2010. O teste de médias t, a 5% de significância foi usado para analisar os resultados obtidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação das propriedades Físicas dos Painéis

4.1.1 Teor de Umidade

Na tabela 4.1 estão demonstrados os valores de Teor de Umidade médio dos corpos de prova, após climatização, assim como as medidas de dispersão empregadas para a análise estatística.

Tabela 4.1 – Valores médios do teor de umidade, Desvio Padrão, Coeficiente de variação e valor de P para os tratamentos estudados

Tratamento	Fator	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)	P(T<=t) bi-caudal
SA	TU%	13,60	0,35	2,59	0,11
CA	TU%	13,05	2,28	17,47	

SA – Sem amarração; CA – Com amarração (Se $P \leq 0,05$, a diferença é significativa a 5% de significância)

Observa-se que o valor de P é maior que 0,05, portanto a diferença das médias de Teor de Umidade nos tratamentos não foi significativa. A partir do

coeficiente de variação pode-se observar que os valores do tratamento CA variaram mais em relação à média. Os valores de umidade ficaram próximos ao esperado tendo em vista que foram aclimatados em câmara à umidade de 12%.

Silva (2013) obteve valores muito próximos a esses ao fazer o experimento com compensados sarrafeados também produzidos a partir de resíduos. Já Cabral (2011) obteve valores de teor de umidade próximos a 12%, em painéis compensados da espécie *Pinus taeda*.

O programa Nacional de Qualidade da Madeira (PNQM) determina que o valor máximo de teor de umidade seja 18%, logo o resultado se mostrou satisfatório.

4.1.2 Determinação da massa específica aparente (MEA)

Na tabela 4.2 estão demonstrados os resultados para o teste de Massa específica aparente dos tratamentos.

Tabela 4.2 – Valores médios das Massas específicas aparentes dos tratamentos

Tratamento	Fator	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação	P(T<=t) bi-caudal
SA	MEA	0,54	0,026	4,770	^{ns} 0,780
CA	MEA	0,53	0,029	5,531	

SA – Sem amarração; CA – Com amarração, ns – não significativo. (Se $P \leq 0,05$, a diferença é significativa a 5% de probabilidade de erro)

Observa-se que a diferença da MEA nos tratamentos foi muito pequena, quase que irrelevante, de modo que as médias, desvios-padrão, coeficientes de variação foram muito semelhantes, e o teste t com valor de p bem acima de 0,05 demonstrou que a diferença não foi significativa. Observa-se que os painéis sem amarração obtiveram média ligeiramente maior de MEA do que os painéis sem amarração.

4.1.3 Determinação da Absorção de Água (AA)

Os valores obtidos para os tratamentos, após imersão por 24 horas em água estão demonstrados na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Valores obtidos após análise estatística das amostras de absorção de água

Tratamento	Fator	Media (%)	DP	CV (%)	P(T<=t) bi-caudal
SA	AA	60,72	16,94	27,9	*0,027
CA	AA	53,01	11,71	22,1	

*(Se $P \leq 0,05$) = diferença significativa

Neste caso, podemos observar que houve maior disparidade entre os tratamentos. O tratamento SA, sem amarração dos sarrafos, demonstrou maior susceptibilidade à absorção de água. Isso pode ser explicado pela menor quantidade de cola presente no material, já que no tratamento CA existe a colagem lateral dos sarrafos com adesivo PVA, o que pode prover ao material maior impermeabilidade. O teste t obteve valor inferior a 0,05, de modo que houve diferença estatística significativa para esta propriedade entre os tratamentos

4.1.4 Recuperação em espessura (RE) e Inchamento mais Recuperação em Espessura (IR)

A tabela 4.4 demonstram os valores obtidos para RE e IR, assim como as análises estatísticas e os resultados observados

Tabela 4.4 – Valores obtidos para os testes de RE e IR para os dois tratamentos, e as respectivas análises estatísticas.

Tratamento	Fator	Média (%)	DP	CV (%)	Teste T	RE	IR
SA	RE	8,78	1,3	14,8	P(T<=t)bi-caudal	0,51	*0,05
	IR	1,82	0,81	44,6			
CA	RE	8,57	1,81	21,13			
	IR	2,41	1,7	70,55			

SA – Sem amarração; CA – Com amarração; RE – Recuperação em Espessura; IR – Inchamento mais recuperação em Espessura; DP – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de variação; *(Se $P \leq 0,05$) = diferença significativa.

A partir dessa tabela, podemos observar que as médias de Inchamento mais Recuperação em Espessura (IR) dos tratamentos obtiveram diferença significativa, sendo que o tratamento CA obteve maior valor médio neste quesito. Neste mesmo tratamento, compensado sarrafeado com amarração, a variação dos valores em relação à média foi muito grande em comparação com a do tratamento SA. Isso pode ser explicado por uma possível distribuição heterogênea do adesivo no material durante a colagem, o que influencia nas características de inchamento. Silva (2013), utilizando compensados sarrafeados provenientes de resíduos de construção civil, obteve valores de IR em torno de 2%, ou seja, comparáveis aos valores obtidos nesse trabalho. Utilizando painéis multilaminados de *Pinus taeda*, Cabral (2011) encontrou valores de IR superiores a 6%, porém o adesivo utilizado foi o Uréia-formaldeído.

Para as médias de Recuperação em Espessura (RE), os valores obtidos não diferem significativamente para os tratamentos, sendo que novamente a variação em relação à média do tratamento CA foi superior, porém sem diferir significativamente.

O inchamento em espessura de um painel compensado é resultado da absorção de água assim como da liberação das tensões de prensagens. Podem afetar o inchamento o tempo de prensagem, temperatura de prensagem e tipo, proporção e formulação do adesivo utilizado (CABRAL, 2011).

4.2 – Avaliação das propriedades mecânicas dos painéis

4.2.1 – Flexão Estática

Para definição da viabilidade de painéis para uso estrutural, é de fundamental importância que seja determinada a rigidez, através do módulo de elasticidade (MOE), e a resistência do material, a partir do módulo de ruptura (MOR). Além disso, é importante também calcular o SLP, pois este valor indica o Stress no Limite Proporcional, que é a tensão no momento em que a deformação da peça passa de elástica para plástica, ou seja, momento a partir do qual o acréscimo na deformação é permanente na. Na tabela 4.5 podemos observar esses valores médios de MOR, MOE, e SLP obtidos para os tratamentos estudados.

Tabela 4.5 – Valores médios obtidos em flexão estática e análise estatística.

Tratamento	Fator	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)
SA //	MOE	9.324	2.818	30,2
	MOR	58,21	13,32	22,8
	SLP	28,71	7,12	24,8
SA [⊥]	MOE	2.625	398	15,1
	MOR	22,6	2,07	9,2
	SLP	10,43	1,36	13,1
CA //	MOE	7.947	1.836	23,1
	MOR	54,95	16,27	30,0
	SLP	28,36	6,85	24,2
CA [⊥]	MOE	2.443	485	19,8
	MOR	19,00	3,7	19,6
	SLP	9,84	1,9	19,6

SA// - Sem amarração, paralelo às fibras; SA[⊥] - Sem amarração, perpendicular às fibras;
CA// - Com amarração, paralelo às fibras; CA[⊥] - Com amarração, perpendicular às fibras.

O módulo de elasticidade é uma propriedade intrínseca dos materiais, dependente da composição química, microestrutura e defeitos tais como poros e trincas. O Módulo de Ruptura ou Tensão de Ruptura, é a carga máxima suportada pela peça até o momento de sua quebra. Neste experimento, a comparação foi feita em relação à direção das fibras dos corpos de prova, ou seja, comparou-se os

fatores para os corpos de prova paralelos e separadamente os valores para os corpos de prova com perpendiculares às fibras.

Observa-se claramente que as peças paralelas obtiveram valores muito superiores, sendo que o tratamento SA obteve médias de MOE e MOR superiores ao tratamento CA, tanto nas peças paralelas quanto nas perpendiculares. Para concluir se as diferenças são significativas ou não, o teste t foi realizado comparando peças paralelas com paralelas e perpendiculares com perpendiculares, demonstrado na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Valores de teste t comparando os corpos de prova paralelos, os perpendiculares, e todos juntos.

P(T<=t) bi-caudal	MOE	MOR	SLP
SA// e CA//	0,23	0,95	0,89
SA [⊥] e CA [⊥]	0,39	0,02*	0,46
SA e CA	0,31	0,48	0,99

SA// - Sem amarração, paralelo às fibras; SA[⊥] - Sem amarração, perpendicular às fibras; CA// - Com amarração, paralelo às fibras; CA[⊥] - Com amarração, perpendicular às fibras.
*(Se P ≤ 0,05) = diferença significativa

As comparações entre MOE e entre SLP não resultaram em diferenças significativas, somente o MOR da comparação entre as peças perpendiculares às fibras teve valor inferior a 0,05, o que significa que o tratamento SA obteve valor de MOR significativamente maior do que o CA, resultado que denota maior resistência para estas peças. Cabral (2011) achou valores médios de 47,40 MPa para MOR e 5765,30 para MOE, paralelo as fibras e 18,56 MPa e 957,69 MPa para MOR e MOE perpendicular as fibras. Tais resultados foram obtidos para um painel multilaminado de *Pinus Taeda*. Pode-se inferir a partir desses resultados que o painel compensado sarrafeado estudado obteve melhores valores de resistência e rigidez, o que pode ser explicado pela composição maciça do miolo.

5.2.2 Análise de módulo de Elasticidade Dinâmico – Stress Wave Timer

O importante neste teste é a comparação do Módulo de elasticidade dinâmico com o Módulo de elasticidade estático, ou seja, a comparação de valores obtidos no teste não destrutivo – Stress Wave – com o destrutivo, para observar a possibilidade de estimação do MOE sem que seja necessário a destruição da peça. Pode-se

observar nas figuras 8 e 9, a relação entre o MOEd e o MOE para os corpos de prova paralelos e perpendiculares as fibras.

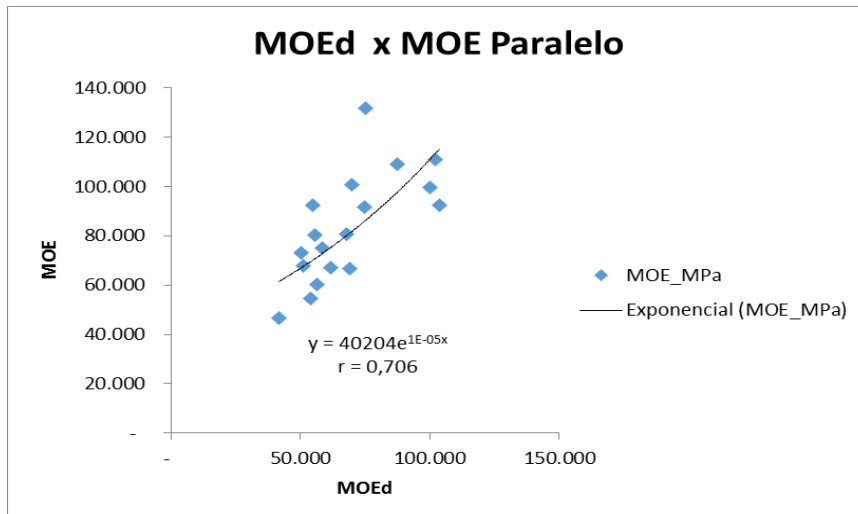


Figura 8 – Regressão entre o MOEd e o MOE das peças paralelas as fibras.

Pode-se observar nesta figura, que a relação entre as duas variáveis foi razoável, ou seja, que a equação para determinar o MOE a partir do MOEd neste caso, vai estimar valores semelhantes aos reais.

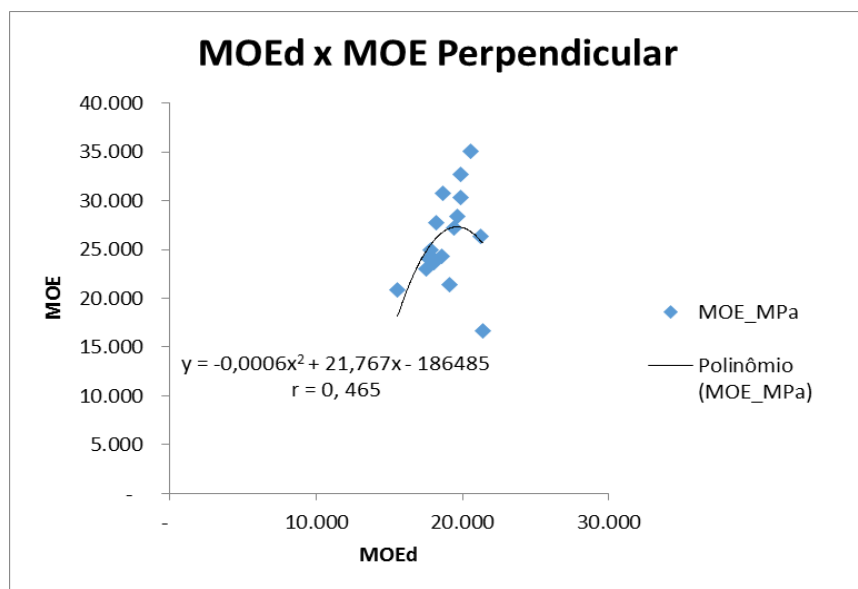


Figura 9 – Regressão entre o MOEd eo o MOE das peças perpendiculares as fibras.

No caso das peças perpendiculares, e relação entre o MOEd e o MOE foi um baixo, mas ainda assim aceitável para estimação do módulo de elasticidade de forma não destrutiva.

4.2.3 Cisalhamento na linha de cola

Este experimento tem como objetivo avaliar a qualidade da linha de cola e classificar o compensado segundo seu uso mais adequado, ou seja, se este é adequado para uso interior, que é avaliado no ensaio seco, uso intermediário, avaliado no ensaio úmido, ou exterior, avaliado no ensaio pós fervura (SILVA, 2011). Tendo em vista que o adesivo utilizado, o Fenol-formaldeído, é indicado para uso externo já que é mais resistente a intempéries, o experimento realizado neste trabalho foi o pós-fervura. A norma EN 314-2 (1993), especifica os valores mínimos exigidos de Tensão de Ruptura de Cisalhamento e Ruptura ou falha na madeira para os compensados, de acordo com o teste realizado. Estes valores podem ser observados na tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Requisitos de colagem (valores médios) para painéis compensados.

Resistência da Linha de Colagem ao Esforço do Cisalhamento	
Tensão de Ruptura de Cisalhamento (TRC) kgf/cm ² e (MPa)	Ruptura ou Falha na Madeira(%)
2,0 (0,2) ≤ TRC < 4,1 (0,4)	≥ 80
4,1 (0,4) ≤ TRC < 6,1 (0,6)	≥ 60
6,1 (0,6) ≤ TRC < 10,2 (1,0)	≥ 40
10,2 (1,0) ≤ TRC	Sem Exigência

Fonte: EN 314-2 (1993)

Os valores médios de tensão de ruptura de cisalhamento (TRC) em MPa, assim como a porcentagem média de falha da madeira estão demonstrados na tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Valores médios de TRC e Falha na Madeira

Tratamento	Fator	Média	DP	C.V (%)
SA	TRC (MPa)	3,3	0,6	17,6
	Falha (%)	47,7	36,6	76,8
CA	TRC (MPa)	3,9	0,6	16,3
	Falha (%)	34,3	36,9	107,6

A partir da comparação entre os resultados obtidos e os valores exigidos pela norma, pode-se observar que o tratamento SA, com TR média de 3,3 MPa e porcentagem média de falha na madeira de 47,7 %, obteve valores dentro do especificado. O tratamento CA, com valores médios de 3,9MPa e 34,3% para Tensão de Ruptura de Cisalhamento e Falha na Madeira, respectivamente, também está dentro da norma. Silva (2010), citado por Cabral (2011), encontrou média de 1,73 MPa de tensão de cisalhamento em painéis laminados de *Pinus sp* colados com adesivo Fenol-formaldeído. Silva (2011), utilizando painéis de compensado sarrafeado produzidos a partir de resíduos de construção civil, encontrou valores de TRC de 0,20 e 0,19 para adesivos PU e PVA respectivamente. Cabral (2011), com painéis multilaminados de *Pinus sp* colados com adesivo fenol-formaldeído, encontrou valores médios de TRC de 0,4 MPa.

Para verificação da diferença estatística, foi realizado o teste t nas amostras, o resultado está demonstrado na tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Teste t para a TRC e a falha na madeira.

Teste T	P(T<=t) bi-caudal
Tensão de Ruptura	*0,002
Falha na Madeira	0,287

*(Se $P \leq 0,05$) = diferença significativa

Pode-se observar que o valor de P foi significativo apenas para o valor de Tensão de ruptura. O tratamento M obteve valor significativamente maior do que o tratamento S nesse quesito. Isto pode ser explicado pela colagem lateral dos sarrafos com cola PVA, visto que tal procedimento pode atribuir maior resistência à peça.

5.CONCLUSÕES

O estudo com resíduos de madeira da construção civil para a confecção de compensado sarrafeado permitiu concluir que:

- Houve pouca diferença entre os tratamentos, sendo que o compensado com amarração foi relativamente superior em alguns ensaios;
- Ambos são indicados para uso externo, uma vez que obtiveram valores superiores aos mínimos exigidos;
- O teste Stress Wave Timer se mostrou uma tecnologia em potencial para estimativa do módulo de elasticidade, porém mais estudos são necessários para obtenção de estimativas mais precisas;
- Os resultados obtidos para ambos os tratamentos nos experimentos realizados foram satisfatórios, tendo em vista que os produtos foram obtidos de resíduos;
- O tratamento sem amarração obteve valores muito semelhantes ao do tratamento com amarração, sendo importante a realização de mais estudos sobre esse produto, já que é um produto de menor preço.

6.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004. 77p.

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas **NBR 15113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004. 16p.

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 9484**: Compensado: Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 1986. 2p.

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas **NBR 9485**: Compensado: Determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1986. 3p.

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas **NBR 9486**: Compensado: Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 1986. 3p.

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas **NBR 9535**: Compensado: Determinação do Inchamento. Rio de Janeiro, 2011.

AZEVEDO, G.O.D DE. KIPERSTOK, A. MORAES, L.R.S: **Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável**. Eng. Sanit. Ambient. vol.11 no.1 Rio de Janeiro Mar. 2006

CABRAL, B. M. **Qualidade de painéis compensados de *pinus taeda* produzidos por indústrias da região de Irati/PR**. 2011. 43p. Dissertação (Título de Engenheiro Florestal) - Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati, 2011.

CASSILHA, A.C., et al. **Indústria Moveleira e Resíduos Sólidos: Considerações para o equilíbrio ambiental** Periódico Técnico Científico dos Programas de Pós-Graduação em Tecnologia dos CEFETs-PR/MG/RJ, 2003.

COSTA, E.M. **A madeira do eucalipto na indústria moveleira**. In: Seminário sobre processamento e utilização de madeiras de reflorestamento, Curitiba, 1996. Anais, Curitiba: ABPM/SBS, 1996.

European Standards. **EN 310**: Wood-based panels – determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Unided Kingdom. 1993. 13p.

European Standards. **EN 314-1**: Plywood – Bonding quality. Part 1: Test methods. Unided Kingdom. 2004. 23p.

European Standards. **EN 314-2**: Plywood – Bonding quality. Part 2: Requirements. Unided Kingdom. 1993. 12p.

GONÇALVES, J. E., SARTORI M.M.P, LEÃO, A.L. **Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis***. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.13, n.5, p.657–661, 2009.

IWAKIRI, S, DEL MENEZZI, C.S. LAROCCA, C. VENSON, I. MATOSKI, S.S:
Produção de compensados de Pinus taeda e Pinus oocarpa com resina fenol-formaldeído. CERNE, V. 8, N.2, p.092-097, 2002

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira.** Curitiba: FUPEF, 1998. 128p. (FUPEF. Série Didática, 1/98).

JOHN, V.M.J. **Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil.** In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, 2., São Paulo, 1999

MENDES, L.M. ALBUQUERQUE, C.E.C de. Iwakiri, S: **Compensados Sarrafeados: Qualidade Da Madeira, Aspectos De Produção E Aproveitamento De Resíduos.** Editora.ufla.br, 1999

PINTO, T. P. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Sonstrução Urbana.** São Paulo, 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SILVA, I. S .**Produção e caracterização de compensado sarrafeado (blockboard) de resíduo madeireiro da construção civil.** Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

