

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

THAISA SCHMOLLER

**ESTUDO DO EFEITO DO TRATAMENTO PRESERVATIVO DA
MADEIRA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* NA RESISTÊNCIA DE
LIGAÇÃO COM PARAFUSOS AUTOATARRAXANTES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2017

THAISA SCHMOLLER

**ESTUDO DO EFEITO DO TRATAMENTO PRESERVATIVO DA
MADEIRA DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* NA RESISTÊNCIA DE
LIGAÇÃO COM PARAFUSOS AUTOATARRAXANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Savaris

TOLEDO

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de N° 108

Estudo do efeito do tratamento preservativo da madeira de *Eucalyptus urograndis* na resistência de ligação com parafusos autoatarraxantes

por

Thaísa Schmoller

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 8:20 h do dia **09 de novembro de 2017** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Eng. Ftal. MSc. Renan Zunta Raia

Eng. Ftal. MSc. André Ricardo Angonese

Prof Dr. Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr Fúlvio Natercio Feiber
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, minha avó paterna, meu irmão, minha cunhada e ao meu namorado, que sempre me incentivaram a buscar conhecimento.

A todos meus amigos que estavam presentes ao decorrer do curso, por sempre me darem apoio.

AGRADECIMENTOS

Indubitavelmente, esses parágrafos não irão expressar meu reconhecimento a todos que, de alguma forma, fizeram parte do meu percurso dentro da universidade, mas sempre serei grata a todas essas pessoas.

Agradeço, primeiramente, a Deus por sempre me dar proteção e por ter concluído mais uma etapa da minha vida.

Aos meus pais, Sergio Schmoller e Salete Cavanos Schmoller, por todo o esforço, sem medidas, para que eu ter uma graduação. Além disso, agradeço a eles por todo o amor, carinho e dedicação na minha educação.

À minha avó paterna, Vitalina Wronski Schmoller, ao meu irmão, Diego Schmoller e minha cunhada Vanessa Schmoller, por todo o carinho e suporte nas minhas decisões. Aos meus avós maternos, Maria Cavanos e Colombo Cavanos, pelo exemplo de vida, pelas orações e por sempre acreditarem em mim.

À todos meus tios e primos, em especial ao Laércio Schmoller, Marcia Quenca Schmoller, Bruna Girardi e Lucas Bonatto, por todo carinho, companheirismo e suporte nas dificuldades.

Ao meu namorado, Lucas Henrique Luna, por todo apoio, compreensão, dedicação, carinho e amor. Além disso, agradeço pela enorme força que me deu nas horas de desespero na realização desse trabalho e, também, por compartilhar comigo todas as minhas conquistas.

Aos meus amigos, Alisson Campos, Ana Julia Carniel, Bruno Utizg, Gabriel Andrade, Gian Schenatto, Guilherme Scholer, Igor Felipe Alves, Paula Maria Farias Martins, Rafael Filipak e Rayana Maziero, por estarem ao meu lado em todos os momentos, tanto nas festas, quanto nas difíceis partes dessa trajetória.

Ao meu querido orientador Prof. Dr. Gustavo Savaris, pela imensa paciência e dedicação para que esse trabalho fosse realizado da melhor forma possível e por ter me dado a oportunidade de aprender e compartilhar de seus conhecimentos.

E por fim, agradeço a todos os professores que fizeram parte de toda minha educação, por se dedicarem, muitas vezes sem motivação, e compartilharem seus conhecimentos com o próximo.

RESUMO

SCHMOLLER, Thaisa. **Estudo do efeito do tratamento preservativo da madeira de *Eucalyptus urograndis* na resistência de ligação com parafusos autoatarraxantes**. 2017. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso – (Curso Superior em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Toledo, 2017.

A madeira é utilizada de várias maneiras na construção civil, porém é um material altamente suscetível a ataques de agentes biológicos que, conseqüentemente, faz com que diminua sua durabilidade. Por esse motivo, faz-se necessário realizar o tratamento preservativo da madeira, aumentando sua vida útil. Com o intuito de analisar o efeito do tratamento preservativo do tipo CCA da madeira de *Eucalyptus urograndis* realizou-se um programa experimental determinando as propriedades físicas e mecânicas de resistência da madeira tratada e não tratada e resistência da ligação com parafusos autoatarraxantes, em corte simples, para as duas condições da madeira. Os resultados experimentais foram comparados com as estimativas das normas NBR 7190 (ABNT, 1997), EUROCODE (CEN, 2004) e NDS (AWC, 2015). A madeira após o tratamento apresentou resistência à compressão paralela as fibras da madeira superiores à condição não tratada, apesar de ter apresentado densidade aparente inferior quando tratada. O tratamento da madeira aumentou a resistência das ligações para o estado limite de serviço, porém para a ruptura a madeira não tratada apresentou valores superiores. As estimativas das normas resultaram em valores inferiores aos obtidos experimentalmente.

Palavras-chave: Tratamento preservativo. Parafuso autoatarraxante. Ligações parafusadas. Resistência da ligação.

ABSTRACT

SCHMOLLER, Thaisa. **Study of the effect of preservative treatment of *Eucalyptus urograndis* wood on lag screw connection capacity.** 2017. 71f. Undergraduate Thesis – Civil Engineering – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Toledo, 2017.

Wood is used in a variety of ways in construction, but it is highly susceptible to attack by biologic agents, which consequently diminishes its durability. For this reason, it is necessary to carry out the preservative treatment of the wood, increasing its life time. In order to analyze the effect of the CCA-type preservative treatment of *Eucalyptus urograndis* wood an experimental program was developed to determine the physical and mechanical properties of the treated and untreated lumber and single shear lag screw connection capacity. The results were compared with the estimative of NBR 7190 (ABNT, 1997), EUROCODE (CEN, 2004) and NDS (AWC, 2015) standards. Treated lumber presented compressive strength parallel to grains higher than untreated, despite apparent density was lower. The treatment of the wood increases connection capacity at service limit state, but for the rupture the untreated wood presents higher values. The estimate of standard codes were lower than values obtained experimentally.

Key words: Condom treatment. Self-tapping screw. Bolted connections. Resistance of the connection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de tratamento em autoclave.....	20
Figura 2 – Tipos de cabeças de parafusos <i>Wood Screw</i>	24
Figura 3 – Demonstração das espessuras do corpo-de-prova.....	26
Figura 4 – Modos de ruptura da ligação para uma seção de corte.	28
Figura 5 – Espaçamentos mínimos entre parafusos.	30
Figura 6 – Espaçamentos mínimos dos parafusos com a superfície da peça..	30
Figura 7 – Modos de ruptura da ligação.....	31
Figura 8 – Parafuso autoatarraxante.....	35
Figura 9 – Dimensões do corpo-de-prova para determinação do teor de umidade (cm).	36
Figura 10 – Dimensões do corpo-de-prova para determinação da resistência à compressão paralela as fibras (cm).	37
Figura 11 – Dimensões dos corpos-de-prova e espaçamentos dos parafusos (mm).....	39
Figura 12 – Demonstração da instrumentação dos corpos-de-prova.....	40
Figura 13 - Deslocamentos corpos-de-prova de madeira tratada (a) e madeira não tratada (b).....	54
Figura 14 – Comparação entre as estimativas das normas com os valores experimentais de resistências das ligações.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Percentual de contribuição para o efeito corda.	29
Tabela 2 – Espaçamentos mínimos para os parafusos autoatarraxantes.....	29
Tabela 3 – Fator de redução.	33
Tabela 4 – Resultados do ensaio de teor de umidade da madeira tratada e não tratada.	42
Tabela 5 – Resultados do ensaio de densidade aparente para madeira tratada e não tratada.	43
Tabela 6 - Teste f e teste t para densidade aparente.	44
Tabela 7 - Resultados do ensaio de resistência à compressão paralela as fibras da madeira tratada e não tratada.	45
Tabela 8 - Teste f e teste t para resistência à compressão paralela as fibras..	45
Tabela 9 – Resultados do ensaio de estabilidade dimensional da madeira não tratada.	47
Tabela 10 – Resultados do ensaio de estabilidade dimensional da madeira tratada.	49
Tabela 11 – Testes f e t para deformação de retração.....	50
Tabela 12 – Testes f e t para deformação de inchamento.	51
Tabela 13 – Testes f e t para retração volumétrica.	51
Tabela 14 – Testes f e t para coeficiente anisotrópico	51
Tabela 15 – Resultados do ensaio de resistência da ligação, ao atingir o deslocamento máximo, de madeira tratada e não tratada.	52
Tabela 16 – Testes f e t para resistência da ligação ao atingir deslocamento de 10 mm.	53
Tabela 17 - Resultados do ensaio de resistência máxima da ligação de madeira tratada e não tratada.	53
Tabela 18 – Testes f e t para resistência máxima da ligação.....	53

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AS – *Allowable Sress*

AWC – *American Wood Council*

CCA – Arseniato de Cobre Cromatado

CEN – *European Committee For Standardization*

LRFD – *Load Resistance Factor Design*

NBR – Norma Brasileira

NDS – *National Design Specification*

LISTA DE SIMBOLOS

- β – relação entre espessura e diâmetro do pino
- t – espessura da peça de madeira
- d – diâmetro do pino
- β_{lim} – parâmetro comparativo da NBR 7190 (ABNT, 1997)
- f_{yd} – tensão de escoamento do parafuso
- f_{ed} – resistência à compressão da madeira
- $R_{vd,1}$ – resistência teórica da ligação para um parafuso
- $f_{h,0,k}$ – resistência ao embutimento na direção paralela às fibras
- ρ_k – densidade aparente característica
- ω – relação entre as resistências de embutimento das peças
- $M_{y,Rk}$ – momento de escoamento do pino
- $F_{ax,Rk}$ – resistência ao arrancamento do pino
- $f_{u,k}$ – resistência última à tração do aço
- R_d – fator de redução
- R_t – relação entre as espessuras das peças
- F_e – resistência ao embutimento da peça
- G – relação entre a massa específica da madeira e a da água
- m_i – massa úmida
- m_s – massa seca
- U – teor de umidade
- k – coeficiente volumétrico para mudança de 1% de umidade
- ρ_{12} – densidade aparente com teor de umidade de 12 %
- $\varepsilon_{i,i}$ – deformação específica de inchamento
- $L_{i,sat}$ – dimensão de uma direção do corpo-de-prova saturado
- $L_{i,seca}$ – dimensão de uma direção do corpo-de-prova seco
- ΔV – variação volumétrica
- V_{sat} – volume do corpo-de-prova saturado
- V_{seca} – volume do corpo-de-prova seco
- R_{12} – resistência corrigida para teor de umidade de 12 %
- $R_{u\%}$ – resistência encontrada no ensaio

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVO GERAL	15
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4 DELIMITAÇÕES	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO.....	17
2.2 MADEIRA DE REFLORESTAMENTO.....	17
2.3 A MADEIRA DE EUCALIPTO	18
2.4 TRATAMENTO DA MADEIRA.....	19
2.4.1 Trabalhos técnicos-científicos realizados sobre a influência do tratamento da madeira em suas propriedades físicas.....	21
2.5 LIGAÇÃO POR PINOS METÁLICOS.....	22
2.5.1 Parafusos autoatarraxantes	23
2.5.2 Trabalhos técnico-científicos realizados sobre ligações com pinos metálicos.....	24
2.6 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO.....	25
2.6.1 NBR 7190 (ABNT, 1997) – “Projeto de estruturas de madeira”	26
2.6.2 EUROCODE 5 (CEN, 2004) – “ <i>Design of Timber Structures</i> ”.....	27
2.6.3 NDS (AWC, 2015) – “ <i>National Design Specification for Wood Construction</i> ”.....	31
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 MADEIRA UTILIZADA	34
3.2 PROCESSO DE TRATAMENTO	34
3.3 PARAFUSOS.....	35
3.4 CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA.....	35
3.4.1 Teor de umidade	35
3.4.2 Densidade aparente.....	36
3.4.3 Resistência à compressão paralela as fibras	37

3.4.4	Estabilidade dimensional da madeira.....	38
3.5	ENSAIO DE RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO.....	39
3.5.1	Corpos-de-prova para ensaio de ligação.....	39
3.5.2	Carregamento e instrumentação.....	40
3.6	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....	41
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA.....	42
4.1.1	Teor de umidade.....	42
4.1.2	Densidade aparente.....	43
4.1.3	Resistência à compressão paralela as fibras.....	44
4.1.4	Estabilidade dimensional da madeira.....	46
4.2	ENSAIO DE RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO.....	52
4.2.1	Resistência da ligação para deslocamento de 10 mm.....	52
4.2.2	Capacidade última da ligação.....	53
4.3	ESTIMATIVAS DE RESISTÊNCIA DAS LIGAÇÕES.....	54
5.	CONCLUSÕES.....	57
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
	REFERÊNCIAS.....	59
	ANEXO A – Dados do ensaio de densidade aparente para madeira tratada.....	61
	ANEXO B – Dados do ensaio de densidade aparente para madeira não tratada.....	62
	ANEXO C – Dados do ensaio de resistência à compressão paralela as fibras.....	63
	ANEXO D – Dados para estabilidade dimensional da madeira não tratada.....	64
	ANEXO E – Dados para estabilidade dimensional da madeira tratada.....	65
	ANEXO F – Dados do ensaio de resistência da ligação ao atingir deslocamento de 10 mm.....	66
	ANEXO G – Dados do ensaio de resistência da ligação na ruptura.....	67
	ANEXO H – Estimativa de resistência da ligação pela NBR 7190 (ABNT, 1997) para madeira tratada e não tratada.....	68

ANEXO I – Estimativa de resistência da ligação pela EUROCODE 5 (CEN, 2004) para madeira tratada e não tratada	69
ANEXO J – Estimativa de resistência da ligação pela NDS (AWC, 2015) para madeira tratada e não tratada	70

1. INTRODUÇÃO

A madeira é utilizada na construção civil em grande escala, desde a estrutura até em fôrmas de vigas, pilares e lajes, porém é um material suscetível a ataques de agentes de vários gêneros e por isso tornou-se pouco utilizada em elementos permanentes. Para aumentar a sua durabilidade e diminuir esse problema podem ser utilizados tratamentos químicos preservativos que tem a função de atenuar os ataques de agentes físicos, químicos e biológicos na peça de madeira, tornando seu uso viável em estruturas.

Para a confecção de elementos estruturais são necessárias ligações entre peças de madeira sendo por pinos metálicos, coladas, com cavilhas de madeira, com anéis metálicos, com barras rosqueadas ou a combinação de algumas delas.

Os conectores mais utilizados na construção civil são os pinos metálicos, pregos ou parafusos, devido ao seu baixo custo. Dentre esses, existem os parafusos autoatarraxantes, que possuem uma boa resistência aos esforços solicitantes e certa facilidade de aplicação. Além disso, esse tipo de parafuso tem sua vantagem em ligações onde um dos lados é de acesso restrito e, também, em casos que o comprimento do parafuso passante é muito grande, pois sua ponta sempre fica embutida na madeira.

Para a utilização de ligações em uma estrutura deve-se dimensioná-las seguindo as recomendações normativas. No Brasil a norma que regulamenta o dimensionamento de estruturas de madeira é a NBR 7190 – “Projeto de Estruturas de Madeira” (ABNT, 1997), porém esta não engloba parafusos autoatarraxantes. A norma europeia EUROCODE 5 – “*Design of Timber Structures*” (CEN, 2004) e a norma americana NDS – “*National Design Specification for Wood Construction*” (AWC, 2015) preveem a utilização de parafuso autoatarraxante, apresentando equações para o dimensionamento de ligações utilizando este tipo de parafusos, pois esses são muito utilizados em países da Europa e nos Estados Unidos.

Visando obter dados para o dimensionamento das ligações com parafusos autoatarraxantes, neste trabalho foram realizados ensaios experimentais de ligações com peças de madeira natural e submetida ao tratamento preservativo, analisando a influência do tratamento da madeira na resistência de ligações com parafusos autoatarraxantes, comparando os resultados obtidos experimentalmente com as

estimativas de resistência de ligações dadas pelas normas EUROCODE 5 (CEN, 2004) e NDS (AWC, 2015), além das estimativas da norma NBR 7190 (ABNT, 1997) para parafusos comuns.

1.1 JUSTIFICATIVA

Como o tratamento da madeira vem sendo cada vez mais utilizado em peças na construção civil e há uma escassez de estudos relacionados à resistência de ligação com parafusos autoatarraxantes em madeira submetida ao tratamento químico preservativo é de relevante importância este estudo.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal desse trabalho é avaliar a influência do tratamento preservativo da madeira na resistência da ligação com parafusos autoatarraxantes.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Determinar, experimentalmente, a resistência à compressão paralela as fibras da madeira e as propriedades físicas da madeira de densidade aparente e estabilidade dimensional, em seu estado natural e após tratamento preservativo;
- Determinar, experimentalmente, a resistência de ligações com parafusos autoatarraxantes em peças de madeira em seu estado natural e após tratamento preservativo;
- Comparar os resultados obtidos experimentalmente com as estimativas de resistência da ligação das normas NBR 7190 (ABNT, 1997), EUROCODE 5 (CEN,2004) e NDS (AWC, 2015);

1.4 DELIMITAÇÕES

Nesse trabalho, foi utilizada a madeira de *Eucalyptus urograndis*, em sua forma natural e tratada em autoclave com composição CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) em ligações de corte simples utilizando quatro parafusos autoatarraxantes do tipo *Wood Screw*.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO

A madeira é um material utilizado na construção civil de diversas formas, como por exemplo, estruturas treliçadas para coberturas de residências, depósitos, edificações rurais, barracões industriais e comerciais e instalações sócio esportivas (PINHEIRO, 2001). Entretanto, ainda existem muitos problemas nesta utilização, principalmente quando se refere ao uso da madeira como elemento estrutural, pois a madeira é um material muito vulnerável aos ataques de agentes físicos, químicos e biológicos, diminuindo sua durabilidade.

Na questão de durabilidade da madeira, existem tratamentos preservativos os quais garantem uma vida útil para a madeira de 50 anos ou mais, reduzindo consideravelmente a sua manutenção e a necessidade de pintura. Além disso, a madeira possui grandes vantagens como ser uma fonte renovável, uma boa resistência, baixo peso próprio, baixo consumo energético e a capacidade de suportar sobrecargas de curta duração sem efeitos prejudiciais (CALIL NETO, 2014).

Uma propriedade pouco elucidada da madeira, quando bem dimensionada, é a sua resistência ao fogo, que pode ser superior à de outros materiais, pois uma peça de madeira quando entra em contato com o fogo, no primeiro momento, propaga as chamas, porém, em segundo momento, esta se carboniza, transformando a madeira em um material isolante térmico e, principalmente, mantendo a sua forma. Além disso, a madeira não sofre distorção, como o aço, quando submetida ao fogo, dificultando a ruína da estrutura (CALIL JUNIOR, 1998).

2.2 MADEIRA DE REFLORESTAMENTO

A redução das matas nativas mais próximas aos grandes centros consumidores e a maior rigorosidade na fiscalização de sua exploração, o incentivo fiscal ao reflorestamento no Brasil e o maior interesse de alguns setores pelo uso de madeira de reflorestamento, foram os fenômenos mais importantes na transição do uso da madeira nativa para madeira de reflorestamento (BACHA, 2008).

O uso da madeira de reflorestamento na construção civil sofre um preconceito maior que o da madeira nativa, sendo considerada como um material menos “nobre”. Dentre os gêneros de reflorestamento, destacam-se o *Eucalyptus* e o *Pinus*, por se tratarem de espécies com crescimento rápido. Essas duas espécies de madeira tem seus plantios concentrados, principalmente, nas regiões sul e sudeste do Brasil (DEMARZO; PORTO, 2007).

A madeira de reflorestamento possui aspectos que indubitavelmente contribuem para o equilíbrio do meio ambiente, como a proteção ao uso das florestas nativas, proteção aos solos, as nascentes e cursos d’água. Quando corretamente manejadas, contribuem ainda, para a redução do efeito estufa com a imobilização de CO₂ na madeira, além de representar um produto competitivo na economia globalizada (BRANDÃO, 1997).

2.3 A MADEIRA DE EUCALIPTO

O gênero *Eucalyptus* é plantado em diversas regiões do mundo, por se adaptar às condições ambientais como altitude, tipo de solo, regime pluviométrico, entre outras. Portanto essa atividade pode gerar ou não impactos ambientais como as atividades agropecuárias ou industriais. Se esse plantio for realizado em um local degradado ou pouco fértil, esse impacto será positivo, pois com a queda das folhas haverá uma elevação na fertilidade dos solos e um aumento da biodiversidade (CALIL NETO, 2014).

O *Eucalyptus* trata-se de uma planta do tipo dicotiledônea, as quais possuem nervuras reticuladas e pecíolo nas folhas, sendo a estrutura interna do caule composta por feixes vasculares, distribuídos ao redor de um cilindro central. Atualmente, uma das espécies mais utilizadas no Brasil na produção de formas de concreto, carpintaria, estruturas de telhados, *pallets* e alguns móveis é o *Eucalyptus grandis* (VITAL, 2007).

Uma das características das espécies do gênero *Eucalyptus* é apresentar rápido crescimento e por serem árvores de grande porte. Atualmente, existem mais de 700 espécies de *Eucalyptus* catalogadas, sendo *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* as mais cultivadas no Brasil. As primeiras espécies foram inseridas no país no Estado de São Paulo, trazidas da Oceania, no século XX.

A partir de então, algumas dessas vêm sendo estudadas, chegando a ser utilizadas em plantios de florestas de produção (CALIL NETO, 2014).

2.4 TRATAMENTO DA MADEIRA

Para ser utilizada na construção civil, como estrutura, espera-se que a madeira tenha uma qualidade na durabilidade natural e manutenção das propriedades físico-mecânicas ao decorrer de seu uso. Com isso, o tratamento da madeira tem como objetivo proteger a peça contra quaisquer tipos de ações deterioradoras, sendo essa preservação natural, indireta, biológica ou química. Essa preservação é realizada em uma espécie muito utilizada na construção civil, o *Eucalyptus grandis*, pois essa espécie é altamente suscetível a ataques de organismos xilófagos, necessitando de um cuidado especial desde seu corte até suas disposições construtivas, sendo a preservação química o método mais eficiente contra a deterioração dessa espécie (PINHEIRO, 2001).

Uma das formas de tratamento é a utilização de Arseniato de Cobre Cromatado tipo C (CCA-C) dissolvido em água, que é um preservativo hidrossolúvel, fungicida e inseticida, com boa mobilidade na madeira. Para a realização do tratamento químico é necessário deixar as peças de madeira secar em temperatura ambiente, até que tenham um teor de umidade entre 12% e 15%. Após a secagem, essas peças de madeira são colocadas no cilindro de tratamento, aplicando, primeiramente, o vácuo e, posteriormente, é inserido o produto com pressão entre 100 kPa e 120 kPa (VIVIAN et al., 2012).

Na Figura 1 são apresentadas as etapas de tratamento da madeira em autoclave. Na primeira etapa do processo carrega-se no autoclave a madeira e na segunda etapa o vácuo inicial é aplicado, sendo que esse retira, praticamente, todo o ar das células da madeira. Já na terceira etapa, é onde o líquido para o tratamento (CCA) é transferido para a autoclave até completá-la. Sob pressão, esse líquido é penetrado na célula da madeira (etapa 4) e, após isso, o que não penetrou, é transferido para o tanque. Por fim, ocorre a retirada do excesso de produto da superfície da madeira através do vácuo.

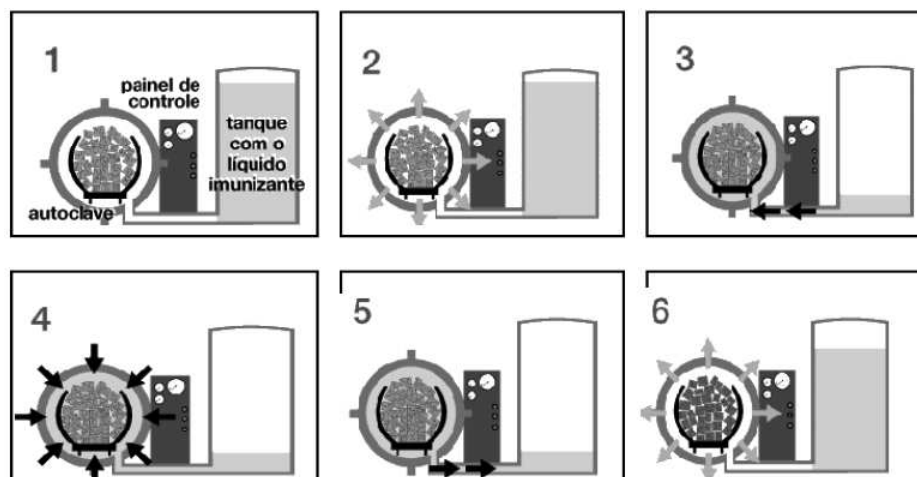


Figura 1 – Processo de tratamento em autoclave.
Fonte: Silva (2008).

Segundo Silva (2008), os processos de impregnação por pressão mais comuns são os processos de “célula vazia” ou “Rueping” e o de “célula cheia” ou “Bethell”. No primeiro processo, a madeira é submetida a uma sobrepressão de ar inicial antes de se introduzir o preservante, ao contrário do que ocorre no segundo processo, no qual a madeira é submetida a um vácuo inicial e ao término desse período é introduzido o composto químico na autoclave.

De acordo com Vivian et al. (2012), como a qualidade de um tratamento preservativo é determinada pela profundidade de penetração e quantidade de produto retido pela madeira, tem-se a necessidade de conhecer informações importantes do gênero *Eucalyptus*, pois é uma madeira com baixa permeabilidade, o que resulta em uma falha penetração do produto preservativo além da região periférica da madeira de alburno.

Pinheiro (2001) cita que o gasto realizado para proceder ao tratamento preservativo em peças de madeiras não é um custo adicional e sim essencial, trazendo benefícios que possam levar a madeira a competir com outros materiais na construção civil, com elevada durabilidade incentivando a utilização do material.

Além disso, o tratamento preservativo não causa alterações elevadas às propriedades mecânicas da madeira, sendo que isso depende das propriedades de cada espécie, por exemplo, quanto maior a densidade da madeira, melhor a sua resistência (LAHTELA et al., 2014).

2.4.1 Trabalhos técnicos-científicos realizados sobre a influência do tratamento da madeira em suas propriedades físicas

Pinheiro (2001), realizou um estudo com objetivo de analisar a influência do tratamento químico preservativo sob vácuo-pressão, através de preservativos hidrossolúveis (tipo CCA), nas propriedades de resistência e de elasticidade das espécies de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*. Para isso, realizaram-se ensaios de compressão paralela às fibras, cisalhamento e tração com a madeira sem tratamento preservativo e com tratamento do tipo CCA. Com esse trabalho o autor concluiu que para a espécie *Eucalyptus grandis* as resistências características ao cisalhamento paralelo e à compressão paralela às fibras tem pouca variação tanto para a madeira tratada com CCA como para a sem tratamento preservativo.

Outro estudo importante foi realizado por Vivian et al. (2012), que, além de analisar vários parâmetros que são irrelevantes para esse trabalho, fizeram a análise da massa específica aparente da madeira tratada e não tratada das espécies de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*. A conclusão obtida pelos autores foi que, ao comparar a madeira tratada e a não tratada, a massa específica aparente não sofre influência do tratamento preservativo CCA nas duas espécies estudadas, devido aos baixos níveis de retenção observados no trabalho.

Broco et al. (2012), avaliaram o efeito do tempo e pressão de tratamento nas propriedades de compressão paralela as fibras e flexão estática da madeira da espécie *Eucalyptus cloeziana*. Para a realização dos ensaios, utilizou-se tratamento CCB (borato de cobre cromatado) pelo método da célula cheia (Bethell), sendo que para o tratamento com variação do tempo as análises foram feitas em três tempos de tratamento (60, 90 e 120 minutos totais, sendo 40, 70 e 100 min de pressão, respectivamente) e para a variação de pressão foram realizados três tratamentos de 120 min com diferentes pressões (3, 5 e 6,5 kg.cm⁻²). Com os resultados obtidos, os autores concluíram que, para a espécie de *Eucalyptus cloeziana*, as propriedades de compressão paralela às fibras e flexão estática não sofreram influência da variação do tempo e pressão de tratamento. Isso pode ter ocorrido por a madeira da espécie estudada ser densa e suportar as variações de pressões a que foi submetida, sem alteração em suas propriedades de resistência.

Faria et al. (2015), avaliaram as principais propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* com e sem tratamento preservativo. Para isso, utilizaram quatro troncos submetidos ao tratamento com CCA, e quatro sem tratamento. Foram realizados ensaios de densidade básica, retratibilidade e resistência à compressão paralela as fibras da madeira. Com esse trabalho os autores observaram que tanto a madeira tratada quanto a não tratada apresentaram média densidade básica e que, em questão do coeficiente de retratibilidade volumétrica, a madeira tratada apresenta valores superiores ao da madeira sem tratamento, sendo esta uma desvantagem. Em relação à resistência e rigidez da madeira no ensaio de compressão paralela as fibras o tratamento preservativo aumentou essa propriedade.

2.5 LIGAÇÃO POR PINOS METÁLICOS

Em estruturas de madeira são necessárias ligações entre elementos para que se possa alcançar vãos maiores e resistir a grandes esforços, pois as peças de madeira possuem comprimentos limitados. Essas ligações são feitas, normalmente, com pinos metálicos (pregos e parafusos em seus diversos modelos). Nessas estruturas, o ponto mais frágil são as ligações, pois estão sujeitas a esforços e tensões localizadas que merecem atenção para não serem responsáveis pela instabilidade da estrutura (CALIL NETO, 2014).

O comportamento de uma ligação é definido por alguns itens, como, a espessura da peça de madeira, a resistência da madeira ao embutimento, o diâmetro do pino e a tensão limite de escoamento do pino, pois a força máxima resistida pela ligação será dada pela flexão do pino ou pelo seu embutimento na madeira, que ocorre pela plastificação local por compressão da madeira na parede dos furos. O comportamento elástico da ligação mantém-se até que a carga de início de plastificação não seja atingida, isto é, após ser descarregada a ligação não terá deformações residuais (BAENA, 2015).

As ligações por pinos metálicos suportam cargas do segundo limite, onde as deformações plásticas aumentam excessivamente, somente quando atingem grandes deformações, porém isso não é permitido em estruturas por ocasionarem grandes deslocamentos entre as peças de madeira (ALMEIDA, 1987).

2.5.1 Parafusos autoatarraxantes

Os parafusos autoatarraxantes são muito utilizados nos Estados Unidos, na Europa e no Japão, já no Brasil esse tipo de parafuso tem uso limitado devido à norma brasileira de estruturas de madeira não incorporar estes elementos.

Uma utilização vantajosa desse tipo de parafuso é quando se tem um comprimento passante elevado ou quando não se tem acesso ao outro lado da ligação. Além disso, como os outros pinos metálicos, ele é resistente a carregamentos axiais e a forças laterais, sendo menos agressivo às peças de madeira, por serem inseridos em apenas um lado da ligação e sua ponta ficar embutida na peça (CALIL NETO, 2014).

Os primeiros pesquisadores a estudar ligações com parafusos autoatarraxantes foram Newlin e Gahagan, em 1938, e muitas de suas conclusões ainda são válidas. Segundo Ramskill (2002), esses pesquisadores citam duas diferenças básicas entre os parafusos autoatarraxantes e os parafusos comuns, sendo a primeira que a força axial, nos parafusos autoatarraxantes, é resistida pela rosca e nos parafusos comuns quem resiste são as porcas, portanto o comprimento do parafuso autoatarraxante não interfere na resistência à força axial. Além disso, os parafusos autoatarraxantes não possuem diâmetro constante ao longo de seu comprimento como os parafusos comuns.

Existem três tipos de parafusos autoatarraxantes: os parafusos autoatarraxantes para madeira (*Wood Screw*), os de cabeça sextavada e rosca soberba (*Lag Screw*) e os do tipo "*Tapping screws*", também chamados de parafusos autoatarraxantes do tipo *torx*.

O parafuso autoatarraxante para madeira (*Wood Screw*) é fabricado com diâmetros pequenos, variando de 2,84 mm a 9,45 mm, e podem ser encontrados com cabeça chata (Figura 2 - a), oval (Figura 2 - b) e redonda (Figura 2 - c).

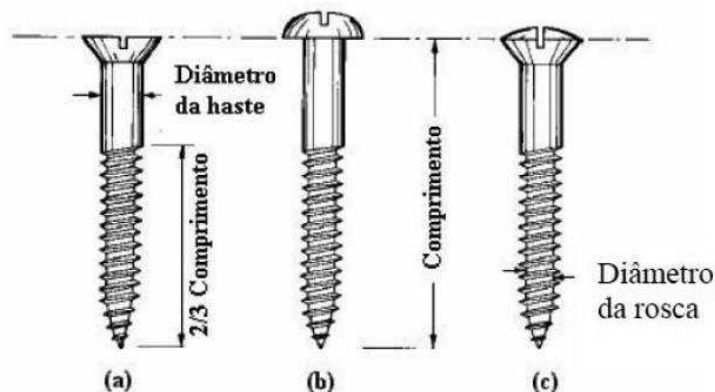


Figura 2 – Tipos de cabeças de parafusos *Wood Screw*.
Fonte: Calil Neto (2014).

2.5.2 Trabalhos técnico-científicos realizados sobre ligações com pinos metálicos

Correia et al. (2006) avaliaram a resistência de ligação com parafusos autoatarraxantes do tipo *torx* em relação ao número de parafusos, ao espaçamento entre os parafusos e em relação à variação da densidade e umidade da madeira. Para a realização desse estudo, utilizou-se madeira de *Eucalyptus Grandis*. Com isso, os autores concluíram que, para a espécie em estudo, com o aumento da densidade da madeira ocorre um aumento na resistência da ligação e que para madeira com 12% de umidade obtém-se um aumento na resistência quando comparado com a madeira saturada. Além disso, observou-se que a resistência unitária de um parafuso diminui com o aumento da quantidade de parafusos e, ainda, concluiu-se que os espaçamentos entre os parafusos não interfere, de maneira significativa, na resistência da ligação.

Silva et al. (2011), avaliaram o comportamento de ligações por pinos metálicos submetidas a diferentes temperatura, sendo utilizado prego e corte simples. Foram avaliados corpos-de-prova de peças de madeira da espécie *Pinus taeda*, com ligações pregadas com 2, 4 e 6 pregos com diâmetro de 2,8 mm e 54 mm de comprimento. Além disso, esses corpos-de-prova foram submetidos a temperaturas de 20, 50, 80, 100, 120, 150, 200 e 230 °C. As conclusões obtidas foram que a capacidade de carga diminui com o aumento da temperatura e que, à temperatura ambiente, a capacidade de carga da ligação aumenta proporcionalmente com o número de pregos.

Calil Neto (2014) investigou através de métodos experimental, numérico e teórico a resistência de ligações com parafusos autoatarraxantes com diâmetros iguais a 9 mm e 11 mm em peças de madeira de reflorestamento das espécies *Pinus oocarpa* e *Lyptus* na direção paralela e na direção perpendicular das fibras, com objetivo de propor critérios de dimensionamento para esse tipo de ligação. O autor verificou que a pré-furação só deve ser realizada quando não se consegue garantir a inclinação do parafuso durante sua colocação ou quando se tem incerteza de perfuração, sendo assim, a pré-furação somente é indicada para facilitar a execução das ligações. Além disso, utilizando análise estatística, verificou que fatores como a espécie da madeira e a direção das fibras influenciam, consideravelmente, nas resistências das ligações.

Baena (2015), realizou um estudo comparando os critérios de dimensionamento de ligações parafusadas entre as normas NBR 7190 (ABNT, 1982 e 1997), EUROCODE 5 (CEN, 2004), LRFD (1996), AS (1994) e resultados experimentais. Esses experimentos foram realizados com peças de madeira de duas espécies, *Pinus sp.* e *Cupiúba (Goupia glabra)*, e parafusos com diâmetro de 12,5 mm e comprimento de 100 mm e 120 mm. Para a confecção dos corpos-de-prova, utilizaram-se quatro parafusos em corte duplo. Os resultados demonstraram que se a relação entre a espessura da peça de madeira e o diâmetro do pino for pequena, as estimativas teórica da norma NBR 7190 (ABNT, 1997) são inferiores aos calculados pelas outras normas, porém se essa relação possuir valores elevados e se aplicar uma madeira de maior resistência, os valores obtidos pela norma brasileira podem ser superiores. Além disso, o autor concluiu que os valores de resistência da ligação obtidos experimentalmente foram superiores aos estimados pela NBR 7190 (ABNT, 1997), aproximando-se mais dos valores obtidos pela EUROCODE 5 (CEN, 2004), mostrando que a norma brasileira considera uma deformação muito pequena.

2.6 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Nesse item são apresentados os critérios de dimensionamento de ligação por pinos metálicos conforme a norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997), norma europeia EUROCODE 5 (CEN, 2004) e a norma americana NDS (AWC, 2015).

2.6.1 NBR 7190 (ABNT, 1997) – “Projeto de estruturas de madeira”

Para o dimensionamento da ligação, segundo a norma brasileira, faz-se necessário, primeiramente, classificá-la com a relação entre a espessura da peça e o diâmetro do pino, sendo essa relação denominada parâmetro β , como mostra a Equação 1.

$$\beta = \frac{t}{d} \quad (1)$$

Onde:

$$t \leq \begin{cases} t_1 \\ t_2 \end{cases} \quad (\text{Figura 3})$$

d – diâmetro do parafuso com espaçamento (+0,5mm).

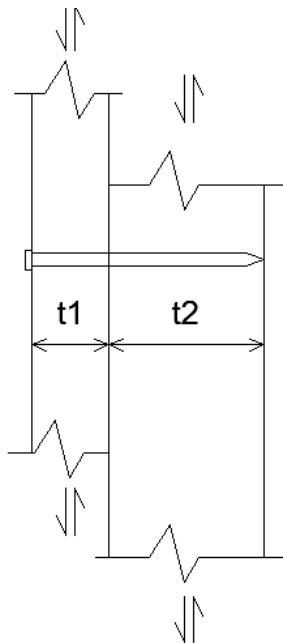


Figura 3 – Demonstração das espessuras do corpo-de-prova.
Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997) – “Projeto de estruturas de madeira”.

O parâmetro β deve ser comparado ao parâmetro β_{lim} (Equação 2), para determinação do modo de ruptura da ligação.

$$\beta_{lim} = 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \quad (2)$$

Onde:

f_{yd} : valor de cálculo da tensão de escoamento do parafuso;

f_{ed} : valor de cálculo da resistência à compressão da madeira;

Se $\beta \leq \beta_{lim}$, ocorre o embutimento da madeira, sendo assim o cálculo da resistência da ligação para um parafuso e um plano de corte se dá pela Equação 3.

$$R_{vd,1} = 0,40 \frac{t^2}{\beta} f_{ed} \quad (3)$$

Já se $\beta > \beta_{lim}$, ocorre a flexão do pino e a resistência da ligação para um parafuso e um plano de corte é calculada pela Equação 4.

$$R_{vd,1} = 0,625 \frac{d^2}{\beta_{lim}} f_{yd} \quad (4)$$

Após determinar a resistência da ligação, utilizando as equações acima citadas, deve-se multiplicar o número de parafusos pelo número de planos de corte encontrando a resistência total da ligação em questão.

2.6.2 EUROCODE 5 (CEN, 2004) – “*Design of Timber Structures*”

A norma europeia apresenta a mesma formulação para pregos e parafusos autoatarraxantes. A Equação 5 determina a resistência ao embutimento na direção paralela às fibras ($f_{h,0,k}$), sendo válida para pregos e parafusos autoatarraxantes com diâmetros menores ou iguais a 8 mm com pré-furação.

$$f_{h,0,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k \quad (5)$$

Onde:

$f_{h,0,k}$: resistência ao embutimento na direção paralela às fibras;

d : diâmetro do pino metálico (mm);

ρ_k : densidade aparente característica (kg/m^3);

A norma europeia EUROCODE 5 (CEN, 2004) apresenta seis modos de ruptura de ligações com pregos ou parafusos (Figura 4). Nos modos (a) e (b) o modo de ruptura é caracterizado por embutimento do pino metálico em uma das peças da madeira, enquanto no modo de ruptura (c), esse embutimento do pino metálico se dá nas duas peças de madeira simultaneamente. Nos modos de ruptura (d) e (e), a

falha da ligação ocorre por flexão do pino metálico em uma das peças de madeira e o modo de ruptura (f) representa a falha da ligação quando ocorre flexão simultânea do pino metálico, causada pelas duas peças de madeira.

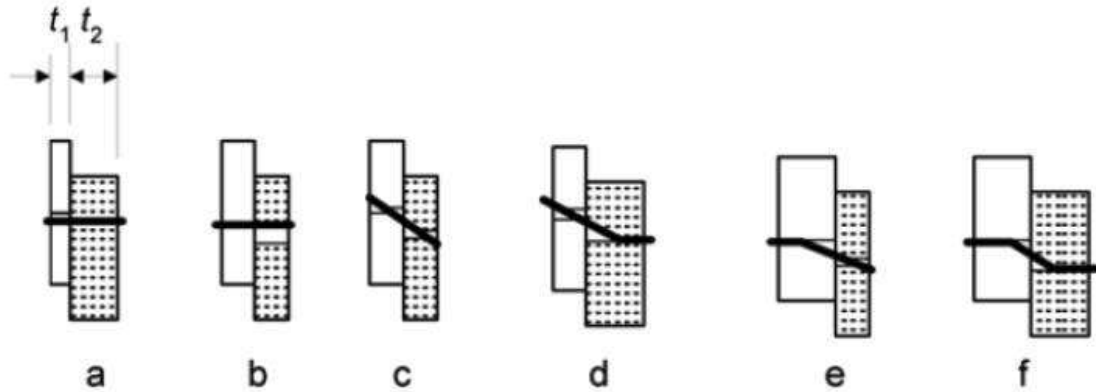


Figura 4 – Modos de ruptura da ligação para uma seção de corte.
Fonte: EUROCODE 5 (CEN, 2004).

O modo de ruptura será definido pelo menor valor característico de resistência de um pino metálico por plano de corte calculado utilizando a Equação 6.

$$R_{vd,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \omega} \cdot \left[\sqrt{\omega + 2\omega^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \omega^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \omega \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (c) \\ \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \omega} \cdot \left[\sqrt{2\omega(1 + \omega) + \frac{4\omega(2 + \omega)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \omega \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (d) \\ \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + 2\omega} \cdot \left[\sqrt{2\omega^2(1 + \omega) + \frac{4\omega(1 + 2\omega)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \omega \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\omega}{1 + \omega}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \quad (f) \end{array} \right. \quad (6)$$

Onde:

$R_{vd,1}$: é o valor característico de resistência de um parafuso, em MPa;

t_1 e t_2 : espessura da madeira ou a penetração do pino nesta, em mm;

$f_{h,1,k}$ e $f_{h,2,k}$: são os valores característicos da resistência ao embutimento para espessura t_1 e t_2 , em MPa;

ω : é a razão entre $f_{h,2,k}$ e $f_{h,1,k}$, adimensional;

$M_{y,Rk}$: é o valor característico do momento de escoamento do pino.

$F_{ax,Rk}$: é o valor característico de resistência ao arrancamento do pino.

O valor característico do momento de escoamento do pino metálico é calculado pela Equação 7.

$$M_{y,Rk} = 0,45 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad (7)$$

Onde:

$f_{u,k}$: é a resistência última a tração do aço.

Nas relações da Equação 6, o primeiro termo significa o transporte de capacidade de carga. Ademais, o segundo termo – $F_{ax,Rk}/4$ – é a contribuição do efeito corda. Essa contribuição deve ser limitada aos percentuais da Tabela 1.

Tabela 1 – Percentual de contribuição para o efeito corda.

Tipo de conector	Percentual (%)
Pregos redondos	15
Pregos quadrados e sulcados	25
Outros pregos	50
Parafusos autoatarraxantes	100
Outros parafusos	25
Buchas	0

Fonte: EUROCODE 5 (CEN, 2004).

Se a resistência ao arrancamento for desconhecida, a contribuição do efeito corda deve ser considerada 0, conforme EUROCODE 5 (CEN, 2004).

Os espaçamentos mínimos para os parafusos autoatarraxantes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Espaçamentos mínimos para os parafusos autoatarraxantes.

Espaçamento	Ângulo A	Mínimo espaçamento (com pré-furação)
a₁	$0 \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) * d$
a₂	$0 \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3 + \sin \alpha) * d$
a_{3,t}	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(7 + 5 \cos \alpha) * d$
a_{3,c}	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$7d$
a_{4,c}	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$

Fonte: EUROCODE 5 (CEN, 2004).

Na Tabela 2, o espaçamento a₁ é a distância entre os parafusos, paralelo à direção da força, já o espaçamento a₂ é a distância entre os parafusos, perpendicular à ação força (Figura 5).

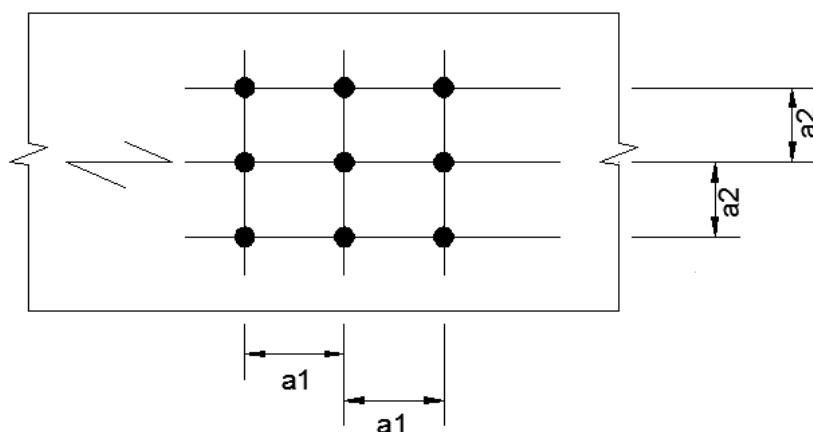


Figura 5 – Espaços mínimos entre parafusos.
Fonte: EUROCODE 5 (CEN, 2004).

Os espaçamentos em relação às bordas e extremidades da peça de madeira são calculados conforme demonstrado na Figura 6, onde o espaçamento $a_{3,t}$ é a distância do parafuso até a superfície carregada da peça (Figura 6 – a), ao contrário do espaçamento $a_{3,c}$, o qual é a distância do parafuso até a superfície descarregada da peça (Figura 6 – b). Além desses espaçamentos, tem-se o espaçamento $a_{4,c}$, sendo ele a distância do parafuso à borda descarregada da peça (Figura 6 – c).

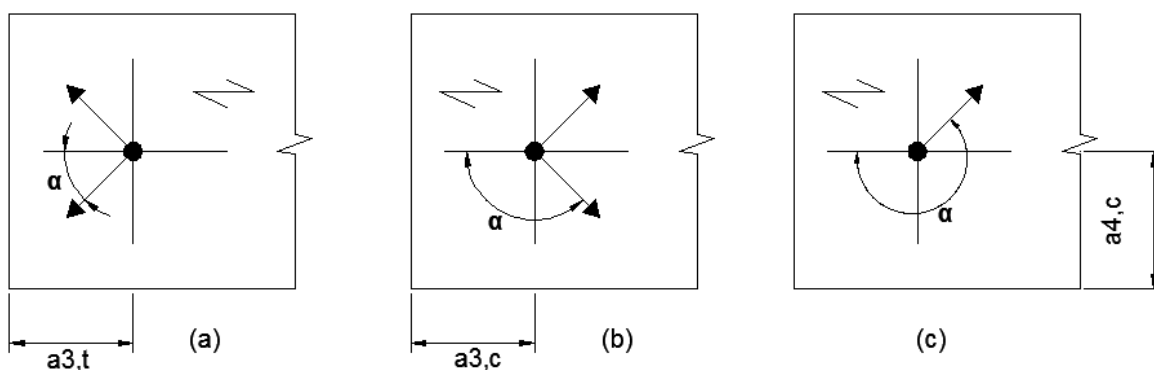


Figura 6 – Espaços mínimos dos parafusos com a superfície da peça.
Fonte: EUROCODE 5 (CEN, 2004).

2.6.3 NDS (AWC, 2015) – “National Design Specification for Wood Construction”

Semelhante a norma europeia EUROCODE 5 (CEN, 2004), a norma americana NDS (AWC, 2015) apresenta seis diferentes tipos de ruptura na ligação para corte simples, os quais são apresentados na Figura 7.

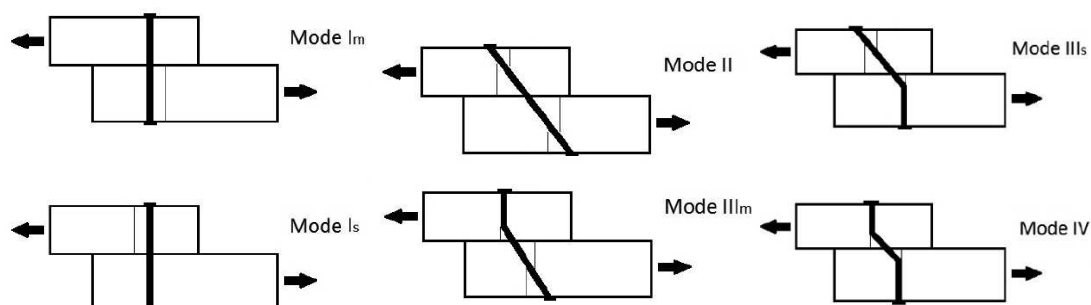


Figura 7 – Modos de ruptura da ligação.
Fonte: NDS (AWC, 2015).

No modo de ruptura I_s ocorre esmagamento local da peça principal e no modo I_m a peça esmagada é a peça secundária. Além disso, o modo de ruptura II ocorre por esmagamento local das peças com rotação do pino. No modo III_m tem-se o esmagamento da peça principal e formação de rótula plástica no pino, sendo que no modo III_s o esmagamento ocorre na peça secundária e, ainda, há formação de uma rótula plástica no pino por plano de corte. Por fim, o modo de ruptura IV ocorre por formação de duas rótulas plásticas por plano de corte com esmagamento das peças.

Para cada modo de ruptura citado acima, a norma NDS (AWC, 2015) determina uma resistência de ligação. Analisando esses valores, a resistência para um pino metálico será o menor valor entre elas, sendo que são calculadas conforme a Equação 8.

$$R_{vd,1} \leq \begin{cases} \frac{Dt_m F_{em}}{R_d} & (I_m) \\ \frac{Dt_s F_{es}}{R_d} & (I_s) \\ \frac{k_1 Dt_s F_{es}}{R_d} & (II) \\ \frac{k_2 Dt_m F_{em}}{(1+2\omega)R_d} & (III_m) \\ \frac{k_3 Dt_s F_{em}}{(2+\omega)R_d} & (III_s) \\ \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2F_{em}F_{yd}}{3(1+\omega)}} & (IV) \end{cases} \quad (8)$$

Onde:

D – diâmetro do pino (in);

F_{yd} – resistência ao escoamento do aço do pino (psi);

R_d – fator de redução (Tabela 3);

$\omega = F_{em}/F_{es}$;

$R_t = t_m/t_s$;

t_m – espessura da peça principal (in);

t_s – espessura da peça secundária (in);

F_{em} – resistência ao embutimento da peça principal (psi);

F_{es} – resistência ao embutimento da peça secundária (psi);

$$k_1 = \frac{\sqrt{\omega + 2\omega^2(1+R_t+R_t^2) + R_t^2\omega^3 - \omega(1+R_t)}}{(1+\omega)}$$

$$k_2 = -1 + \sqrt{2(1+\omega) + \frac{2F_{yd}(1+2\omega)D^2}{3F_{em}t_s^2}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1+\omega)}{\omega} + \frac{2F_{yd}(2+\omega)D^2}{3F_{em}t_s^2}}$$

Na Tabela 3, têm-se os fatores de redução (R_d) devido à inclinação da força aplicada, para cada modo de ruptura da ligação.

Tabela 3 – Fator de redução.

Modos de Ruptura	Fator de redução	K_{θ}
I _m , I _s	$4K_{\theta}$	$1 + 0,25(\theta/90)$
II	$3,6K_{\theta}$	θ – ângulo máximo entre a direção da carga e a direção do pino
III _m , III _s , IV	$3,2K_{\theta}$	$(0^{\circ} \leq \theta \leq 90^{\circ})$.

Fonte: NDS (AWC, 2015).

Para o cálculo da resistência ao embutimento (F_e) da madeira deve analisar a direção das fibras com a direção da força aplicada, se forem paralelas entre si utiliza-se a Equação 9.

$$F_e = 11200 * G \quad (9)$$

Onde:

G – relação entre a massa específica da madeira e a da água, adimensional.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A avaliação experimental é uma fase importante em uma pesquisa, pois a partir dela é possível avaliar os modelos teóricos utilizados para representar um comportamento, principalmente em estruturas de madeira, devido ao seu comportamento anisotrópico.

Nessa seção, apresentam-se os materiais empregados, a descrição dos ensaios de caracterização da madeira e de resistência da ligação com parafusos autoatarraxantes, que foram realizados nos laboratórios de materiais e estruturas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Toledo e no laboratório de estruturas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Câmpus Cascavel.

3.1 MADEIRA UTILIZADA

A madeira utilizada foi da espécie *Eucalyptus urograndis*, sendo as peças escolhidas de um lote homogêneo de um clone comercial, cedidas pela empresa Florestal Ouro Verde, localizada na cidade de Ouro Verde do Oeste - PR.

A madeira foi escolhida por se tratar de uma espécie muito utilizada em construções de pequeno porte e por sua disponibilidade em reflorestamentos na região oeste do Paraná e no Mato Grosso do Sul.

3.2 PROCESSO DE TRATAMENTO

O tratamento foi realizado na empresa Florestal Ouro Verde, sendo utilizado o produto CCA no processo de “célula cheia”. A madeira, já serrada com seção de 5 cm x 5 cm, foi colocada no autoclave com um teor de umidade de, aproximadamente, 30%, obtido com a secagem natural da madeira. Após ser aplicado o vácuo inicial, o qual caracteriza o processo de “célula cheia”, o líquido preservativo, do tipo CCA, foi introduzido na madeira com aplicação de pressão.

3.3 PARAFUSOS

Ao escolher o parafuso a ser utilizado, levou-se em consideração o comprimento necessário para a penetração do pino na seção intermediária do corpo-de-prova. As ligações foram realizadas com parafusos autoatarraxantes da marca CISER com diâmetro de 6,3 mm, que pode ser visto na Figura 8. Segundo informações do fabricante utiliza-se aço com baixo teor de carbono (SAE 1015) com tensão de escoamento igual a 210 MPa.

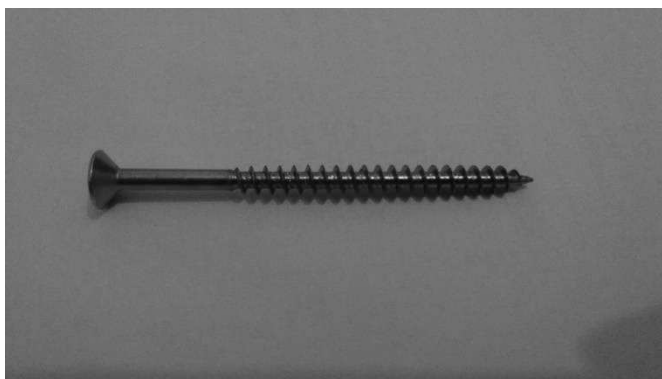


Figura 8 – Parafuso autoatarraxante.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA

3.4.1 Teor de umidade

Para determinação do teor de umidade, foram utilizados 12 corpos-de-prova, para cada condição da madeira, natural ou tratada, de tamanho igual a 2 cm x 3 cm x 5 cm (Figura 9), sendo calculado o teor de umidade da madeira utilizando a Equação 10, conforme NBR 7190 (ABNT, 1997).

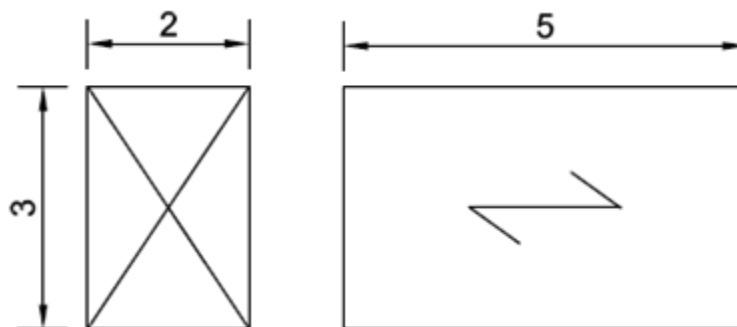


Figura 9 – Dimensões do corpo-de-prova para determinação do teor de umidade (cm).
Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

$$U (\%) = \frac{M_i - M_s}{M_s} \times 100 \quad (10)$$

Onde:

m_i – massa úmida do corpo-de-prova (g);

m_s – massa seca do corpo-de-prova (g);

3.4.2 Densidade aparente

Para a determinação da densidade aparente foram utilizados 12 corpos-de-prova, para cada condição da madeira, com dimensões de 2 cm x 3 cm x 5 cm (Figura 9). Essa propriedade da madeira foi calculada conforme a norma NBR 7190 (ABNT, 1997), utilizando a Equação 11.

$$\rho_k = \frac{m_{12\%}}{v_{12\%}} \quad (11)$$

Onde:

$m_{12\%}$ - massa do corpo-de-prova com teor de umidade igual a 12% (kg);

$v_{12\%}$ - volume do corpo-de-prova com teor de umidade igual a 12% (m³);

Utilizando os resultados do ensaio de umidade da madeira do lote, os corpos-de-prova para ensaio de densidade aparente foram colocados em estufa, com temperatura média de 105 °C, sendo pesados em intervalos até atingirem o teor

de umidade de 12 %, após isso, foram medidas suas dimensões e calculada a densidade aparente com a Equação 11.

Após calculada a densidade aparente de cada corpo-de-prova, fez-se, como Alves et al. (2017), as correções de umidade com a Equação 12.

$$\rho_{12} = \rho_k \left[1 - \frac{(1 - k) \times (U - 12)}{100} \right] \quad (12)$$

Onde:

k – coeficiente volumétrico para mudança de 1% de umidade, e que seu valor é igual a $0,85 \times 10^{-3} \times \rho_k$;

ρ_k – densidade aparente a $U\%$ de teor de umidade, kg/m^3 ;

U – teor de umidade em que se encontra o corpo de prova, %.

3.4.3 Resistência à compressão paralela as fibras

Para a determinação da resistência à compressão paralela às fibras da madeira, foram ensaiados 12 corpos-de-prova, para cada condição da madeira, com dimensões de 5 cm x 5 cm x 15 cm (Figura 10), conforme a norma NBR 7190 (ABNT, 1997), utilizando uma prensa da marca EMIC com capacidade de carga de 100 kN. Esses corpos-de-prova foram ensaiados com umidade entre 10% e 20%, determinada por secagem em estufa após realizado o ensaio de compressão.

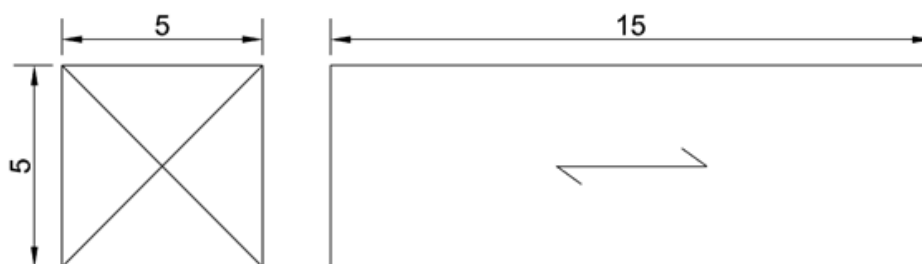


Figura 10 – Dimensões do corpo-de-prova para determinação da resistência à compressão paralela as fibras (cm).

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

3.4.4 Estabilidade dimensional da madeira

Para esse ensaio foram utilizados 12 corpos-de-prova, de cada condição da madeira, com dimensões de 2 cm x 3 cm x 5 cm (Figura 9). Esse ensaio foi realizado conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997). Para calcular a deformação específica de retração (ε_r) e de inchamento (ε_i) de cada lado do corpo-de-prova utilizaram-se a Equação 13.

$$\begin{aligned}\varepsilon_{r,i} &= \frac{L_{i,sat} - L_{i,seca}}{L_{i,sat}} \times 100 \\ \varepsilon_{i,i} &= \frac{L_{i,sat} - L_{i,seca}}{L_{i,seca}} \times 100\end{aligned}\quad (13)$$

Onde:

$\varepsilon_{r,i}$ – deformação específica de retração de uma direção do corpo-de-prova, em porcentagem;

$\varepsilon_{i,i}$ – deformação específica de inchamento de uma direção do corpo-de-prova, em porcentagem;

$L_{i,sat}$ – dimensão de uma direção do corpo-de-prova saturado, em cm;

$L_{i,seca}$ – dimensão de uma direção do corpo-de-prova seco, em cm;

Além das deformações específicas, foi calculada a variação volumétrica de cada corpo-de-prova, com a Equação 14.

$$\Delta V = \frac{V_{sat} - V_{seca}}{V_{seca}} \times 100 \quad (14)$$

Onde:

ΔV – variação volumétrica do corpo-de-prova, em porcentagem;

V_{sat} – volume do corpo-de-prova saturado, em cm³;

V_{seca} – volume do corpo-de-prova seco, em cm³;

A partir da relação entre a contração tangencial pela contração radial determinou-se o coeficiente de anisotropia, conforme apresentado por Faria et al. (2015).

3.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO

3.5.1 Corpos-de-prova para ensaio de ligação

O ensaio de resistência à compressão de ligações parafusadas foi realizado em 16 corpos-de-prova, sendo 8 de madeira sem tratamento e 8 de madeira tratada, sendo montados com umidade entre 10 % e 20%, obtida através de secagem em estufa.

Os corpos-de-prova foram montados conforme a Figura 11, sendo inseridos 4 parafusos em cada lado. Os espaçamentos entre os parafusos foram determinados considerando os espaçamentos de pregos com pré-furação estipulados na norma EUROCODE 5 (CEN, 2004), pois nessa norma os parafusos autoatarraxantes são tratados como pregos.

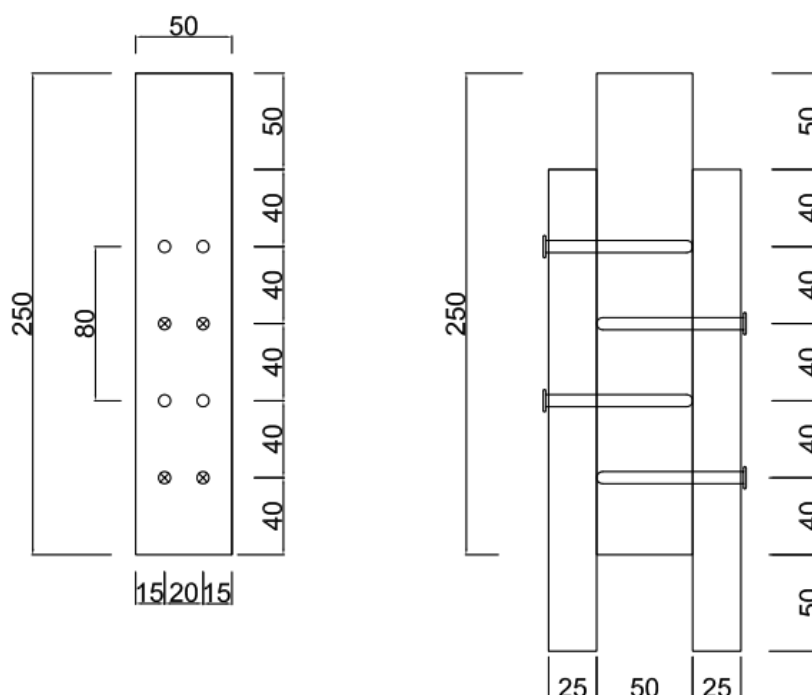


Figura 11 – Dimensões dos corpos-de-prova e espaçamentos dos parafusos (mm).

Por se tratar de uma madeira de árvore folhosa, para a inserção dos parafusos foi realizada em furadeira de bancada a pré-furação com broca de diâmetro igual a 0,98 vezes o diâmetro do parafuso, conforme NBR 7190 (ABNT, 1997) e para inserção dos parafusos utilizou-se parafusadeira elétrica.

3.5.2 Carregamento e instrumentação

Os ensaios de resistência da ligação foram realizados utilizando, uma prensa marca EMIC, com capacidade de carga de 100 kN, aplicando carga de compressão na face superior do corpo-de-prova, com taxa igual a 10 MPa/min.

Os corpos-de-prova foram instrumentados para medir o deslocamento vertical da ligação com um extensômetro externo, referenciado em uma cantoneira de alumínio posicionada no centroide da ligação, conforme apresentado na Figura 12.

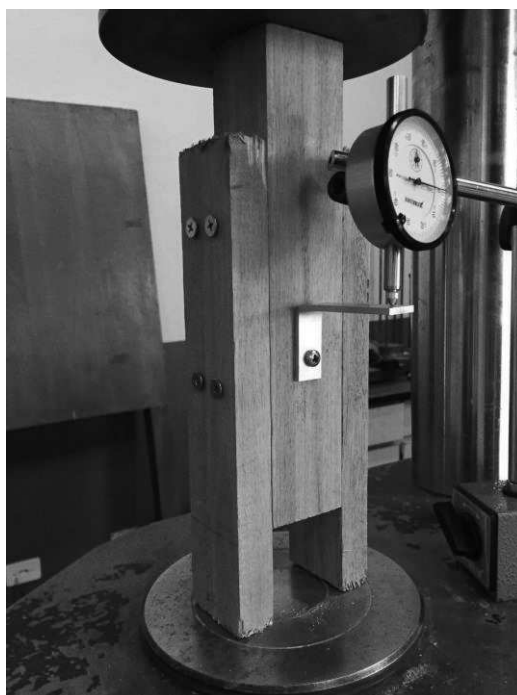


Figura 12 – Demonstração da instrumentação dos corpos-de-prova.

O deslocamento da ligação foi medido até 10 mm, após isso, o extensômetro foi retirado e o carregamento prosseguiu até a ruptura do corpo-de-prova.

Após o ensaio, os corpos-de-prova foram submetidos à secagem em estufa para determinação do teor de umidade do corpo-de-prova e correção da resistência da ligação para teor de umidade de 12 %. Essa correção foi realizada conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997), com a Equação 15.

$$R_{12} = R_{u\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (15)$$

Onde:

R_{12} – resistência corrigida para 12 %, em MPa;

$R_{u\%}$ - resistência encontrada no ensaio, em MPa;

$U\%$ - umidade do corpo-de-prova no ensaio, em %.

3.6 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados experimentais foram comparados entre os tratamentos utilizando o teste f, para comparar as variâncias, e o teste t para comparar as médias, com o auxílio do programa *Action Stat*[®]. Além disso, foram comparados com as estimativas de resistência das normas NBR 7190 (ABNT, 1997), EUROCODE 5 (CEN, 2004) e NDS (AWC, 2015), não utilizando os fatores de redução das normas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA

4.1.1 Teor de umidade

Os valores encontrados para massa inicial, massa seca e teor de umidade de cada corpo-de-prova, tanto para madeira tratada quanto para não tratada, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de teor de umidade da madeira tratada e não tratada.

CP	Tratada			Não tratada		
	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Teor de Umidade (%)	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Teor de Umidade (%)
1	20,18	15,92	26,76	19,19	15,93	20,46
2	21,11	16,00	31,94	18,74	15,02	24,77
3	22,63	14,96	51,27	19,4	15,18	27,80
4	23,38	16,87	38,59	21,90	18,27	19,87
5	22,22	16,86	31,79	19,80	16,32	21,32
6	26,29	15,61	68,42	19,01	15,63	21,63
7	23,8	15,42	54,35	18,21	14,52	25,41
8	26,82	15,76	70,18	19,61	16,09	21,88
9	26,36	15,78	67,05	20,71	16,44	25,97
10	26,44	15,68	68,62	18,58	15,14	22,72
11	26,57	15,98	66,27	19,50	16,01	21,80
12	22,82	17,04	33,92	18,33	15,05	21,79
	Média		50,76	Média		22,95
	Desvio Padrão		17,19	Desvio Padrão		2,45
	Coeficiente de Variação		33,85	Coeficiente de Variação		10,67

Analisando os resultados dos ensaios de teor de umidade da madeira tratada, observa-se que essa propriedade variou entre 26,76 % e 70,18 %. Além disso, a média de teor de umidade da amostra de madeira tratada é 121,18 % maior que a da madeira não tratada.

Ao realizar o teste f com os valores de teor de umidade dos corpos-de-prova de madeira tratada e não tratada, têm-se um p -valor de 1,97E-05 %, que é menor que 5 % (nível de significância), concluindo assim que as variâncias são diferentes. Além disso, após submeter os mesmos valores ao teste t, obteve-se um p -valor de 0,015 %, constando-se assim, que a madeira tratada possui um teor de umidade

superior ao da não tratada (médias diferentes), pois ao ser submetida ao tratamento, ela é saturada, com o líquido preservativo, e como a amostra possuía uma grande quantidade de alburno absorveu mais esse líquido, aumentando o seu teor de umidade.

4.1.2 Densidade aparente

Na Tabela 5 são apresentados os valores de densidade aparente e densidade aparente corrigida para umidade de 12% dos corpos-de-prova de madeira tratada e não tratada. No Anexo A, encontram-se as massa, dimensões, volume, umidade, densidade corrigida dos corpos-de-prova da madeira tratada e no Anexo B os dados da madeira não tratada.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de densidade aparente para madeira tratada e não tratada.

CP	Tratada		Não tratada	
	Densidade aparente (Kg/m ³)	Densidade aparente corrigida (Kg/m ³)	Densidade aparente (Kg/m ³)	Densidade aparente corrigida (Kg/m ³)
1	499,39	533,88	523,38	538,92
2	507,75	539,86	514,24	542,61
3	498,62	501,77	659,70	676,79
4	498,10	532,57	618,57	636,21
5	488,43	522,70	545,77	563,97
6	574,03	574,25	550,07	566,43
7	542,62	548,68	545,72	561,16
8	538,75	549,02	539,58	561,64
9	515,50	549,89	540,60	555,29
10	524,52	555,33	533,66	548,71
11	491,48	525,82	548,24	568,53
12	575,77	599,72	545,55	564,63
	Média	544,46	Média	573,74
	Desvio Padrão	25,31	Desvio Padrão	40,71
	Coefficiente de variação (%)	4,65	Coefficiente de variação (%)	7,10

A madeira não tratada apresentou valor médio de densidade aparente corrigida igual a 573,74 kg/m³, valor este superior ao encontrado para madeira tratada, igual a 544,46 kg/m³.

Estes resultados foram analisados estatisticamente com teste f, para comparar as variâncias, e teste t, para comparar as médias, para um intervalo de confiança de 95%, sendo os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Teste f e teste t para densidade aparente.

Teste	P-valor (%)	Conclusão
F	12,99	Variâncias iguais
T	4,59	Médias diferentes

A partir da análise estatística, constatou-se que a madeira submetida ao tratamento preservativo possui um valor menor de densidade aparente que a madeira sem tratamento, sendo as variâncias das amostras iguais. O resultado encontrado difere de Faria et al (2015), o qual, ao analisar o efeito do tratamento CCA em *Eucalyptus camaldulensis*, concluiu que a densidade básica da madeira submetida ao tratamento é superior ao da madeira não tratada. Segundo Pinheiro (2001), essas propriedades dependem da espécie, o volume de poros, da espessura da parede celular, entre outros fatores e, além disso, podem existir variações dessas propriedades dentro de uma mesma árvore.

4.1.3 Resistência à compressão paralela as fibras

Na Tabela 7 mostram-se os valores encontrados experimentalmente para resistência à compressão paralela as fibras de cada corpo-de-prova de madeira tratada e não tratada. Os valores das dimensões dos corpos-de-prova e carga máxima atingida estão no Anexo C.

Tabela 7 - Resultados do ensaio de resistência à compressão paralela as fibras da madeira tratada e não tratada.

CP	Tratada	Não Tratada
	Resistência à compressão paralela as fibras (MPa)	Resistência à compressão paralela as fibras (MPa)
1	61,28	52,83
2	68,01	62,22
3	63,34	54,13
4	63,89	45,35
5	58,38	39,00
6	57,29	53,40
7	55,28	40,50
8	51,81	55,17
9	67,22	52,30
10	66,21	46,34
11	65,96	42,64
12	54,53	53,64
Média	61,10	49,79
Desvio Padrão	5,50	6,95
Coefficiente de Variação (%)	9,01	13,96

A resistência à compressão paralela às fibras da madeira tratada foi 22,72 % superior ao da madeira não tratada, sendo que a resistência da madeira não tratada foi de 49,79 MPa e da madeira tratada 61,10 MPa.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados de p-valor e a conclusão obtida após submeter os valores de resistência à compressão paralela as fibras de madeira tratada e não tratada aos testes f e t.

Tabela 8 - Teste f e teste t para resistência à compressão paralela as fibras.

Teste	P-valor (%)	Conclusão
F	45,10	Variâncias iguais
T	0,022	Médias diferentes

Com os resultados calculados nos testes f e t, para a resistência à compressão paralela as fibras, conclui-se que a madeira com tratamento preservativo possui uma resistência superior a da madeira não tratada. Segundo Pinheiro (2001) e Faria et al. (2015) o tratamento preservativo do tipo CCA aumenta a resistência à compressão paralela as fibras tanto de madeiras nativas como de reflorestamento. Isso ocorre, por a madeira tratada apresentar módulo de elasticidade maior ao da madeira não tratada.

4.1.4 Estabilidade dimensional da madeira

Na Tabela 9, são apresentados os valores de deformação por retração, por inchamento, retração volumétrica e o coeficiente anisotrópico para os corpos-de-prova de madeira sem tratamento preservativo, e respectivos valores calculados de média, desvio padrão e coeficiente de variação. Os valores da massa e das dimensões dos corpos-de-prova estão no Anexo D.

Tabela 9 – Resultados do ensaio de estabilidade dimensional da madeira não tratada.

CP	Deformação de retração (%)			Deformação de inchamento (%)			Retração volumétrica (%)	Coeficiente Anisotrópico
	Tangencial	Radial	Axial	Tangencial	Radial	Axial		
1	7,73	3,54	1,15	8,37	3,67	1,17	13,66	2,18
2	7,34	3,96	1,51	7,92	4,12	1,53	14,09	1,85
3	7,27	4,58	1,51	7,84	4,79	1,53	14,75	1,59
4	6,54	6,75	0,97	7,00	7,24	0,98	15,87	0,97
5	5,43	5,16	0,77	5,74	5,44	0,77	12,36	1,05
6	5,99	10,13	0,97	6,37	11,27	0,98	19,53	0,59
7	3,38	5,48	0,75	3,50	5,80	0,75	10,33	0,62
8	3,85	6,56	1,11	4,00	7,02	1,12	12,55	0,59
9	3,41	8,17	0,76	3,54	8,90	0,77	13,61	0,42
10	2,91	7,59	0,57	3,00	8,22	0,58	12,11	0,38
11	3,37	6,13	0,56	3,48	6,53	0,57	10,86	0,55
12	4,27	6,09	0,74	4,46	6,48	0,75	12,06	0,70
Média	5,12	6,18	0,95	5,44	6,62	0,96	13,48	0,96
Desvio Padrão	1,80	1,86	0,32	2,00	2,14	0,33	2,47	0,60
Coef. de Variação (%)	35,04	30,11	33,89	36,86	32,28	34,25	18,32	62,63

A retração volumétrica nos corpos-de-prova de madeira não tratada apresentou valores variando entre 10,33 % e 19,53 %, com média de 13,48 %. Em relação às deformações, tanto de retração quanto de inchamento, nenhuma das direções apresentaram deformação nula, porém na direção axial obtiveram-se menores valores de deformações. Além disso, o coeficiente anisotrópico apresentou média igual a 0,96, sendo que o ideal, segundo Faria et al. (2015) é que seja o mais próximo de 1 para que tenha contrações iguais nos dois eixos, evitando assim defeitos ao secar ou saturar as fibras.

Na Tabela 10, estão dispostos os valores de deformação de retração, de inchamento, de retração volumétrica e coeficiente anisotrópico para cada corpo-de-prova de madeira tratada. Os valores da massa e das dimensões dos corpos-de-prova estão no Anexo E.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de estabilidade dimensional da madeira tratada.

CP	Deformação de retração (%)			Deformação de inchamento (%)			Retração volumétrica (%)	Coeficiente Anisotrópico
	Tangencial	Radial	Axial	Tangencial	Radial	Axial		
1	5,83	6,67	0,77	6,19	7,14	0,78	14,66	0,87
2	4,72	6,86	1,16	4,95	7,37	1,18	14,01	0,69
3	6,25	6,29	2,66	6,67	6,71	2,73	16,94	0,99
4	4,27	6,25	0,59	4,46	6,67	0,59	12,09	0,68
5	5,80	6,67	0,96	6,16	7,14	0,97	14,84	0,87
6	6,93	6,00	0,59	7,44	6,38	0,59	14,97	1,15
7	7,56	4,97	0,98	8,18	5,23	0,99	14,96	1,52
8	9,57	6,12	0,99	10,58	6,52	1,00	18,96	1,56
9	6,31	5,44	0,60	6,73	5,76	0,60	13,55	1,16
10	5,06	7,21	0,00	5,33	7,77	0,00	13,52	0,70
11	7,05	5,72	0,20	7,58	6,07	0,20	14,34	1,23
12	5,83	6,91	0,78	6,19	7,42	0,78	14,97	0,84
Média	6,27	6,26	0,86	6,71	6,68	0,87	14,82	1,02
Desvio Padrão	1,41	0,66	0,66	1,63	0,74	0,68	1,74	0,31
Coef. de Variação	22,58	10,49	77,18	24,33	11,14	78,31	11,76	29,87

Ao observar os valores de retração volumétrica dos corpos-de-prova de madeira tratada, tem-se uma média de 14,82 %. Os valores máximos e mínimos de retração volumétrica foram iguais a 18,96 %, e 12,09%, respectivamente. No que se refere aos deslocamentos de retração e de inchamento, o corpo-de-prova número 10 apresentou valores nulos no sentido longitudinal, sendo que esse lado, como na madeira não tratada, foi o que demonstrou menores deslocamentos nos demais corpos-de-prova. Em relação ao coeficiente anisotrópico, a madeira tratada apresentou valor superior ao da madeira não tratada, sendo esse valor de 1,02.

Na Tabela 11 são mostradas as análises estatísticas realizadas para a comparação entre as variâncias e as médias de deformação de retração de cada direção dos corpos-de-prova.

Tabela 11 – Testes f e t para deformação de retração.

Deformação de retração – Direção Tangencial		
Teste	P-valor (%)	Conclusão
F	44,16	Variâncias iguais
T	9,78	Médias iguais
Deformação de retração – Direção Radial		
Teste	P-valor (%)	Conclusão
F	0,17	Variâncias diferentes
T	88,89	Médias iguais
Deformação de retração – Direção Axial		
Teste	P-valor (%)	Conclusão
F	2,49	Variâncias diferentes
T	66,40	Médias iguais

Com os resultados dos testes f e t para a deformação de retração, constata-se que, para um nível de significância de 5 %, as médias, de todas as direções, não se diferem, mostrando que o tratamento preservativo na madeira não altera essa propriedade do material, isso pode ocorrer pelo motivo do tratamento ser superficial e não atingir camadas mais profundas.

Para a deformação de inchamento a Tabela 12 apresenta os p-valores e as conclusões dos testes f e t, para cada direção dos corpos-de-prova.

Tabela 12 – Testes f e t para deformação de inchamento.

Deformação de inchamento – Direção Tangencial		
Teste	P-valor (%)	Conclusão
F	50,69	Variâncias iguais
T	10,25	Médias iguais
Deformação de inchamento – Direção Radial		
Teste	P-valor (%)	Conclusão
F	0,15	Variâncias diferentes
T	93,06	Médias iguais
Deformação de inchamento – Direção axial		
Teste	P-valor (%)	Conclusão
F	2,37	Variâncias diferentes
T	67,70	Médias iguais

Como para a deformação de retração a de inchamento, também, não apresentou diferenças entre as médias em todos os lados, novamente evidenciando que, nessa propriedade da madeira, o tratamento não teve influência.

Ao realizar a análise estatística de retração volumétrica, com os testes f e t, obtiveram-se os dados de p-valor e a conclusão, os quais estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Testes f e t para retração volumétrica.

Teste	P-valor (%)	Conclusão
F	26,24	Variâncias iguais
T	14,00	Médias iguais

Ao observar a análise estatística de retração volumétrica, constata-se que essa propriedade não se altera após a madeira ser tratada com líquido preservativo, novamente diferindo dos resultados encontrados por Faria et al (2015), onde o autor concluiu que a retração volumétrica na madeira com tratamento é superior a da madeira sem tratamento, porém os valores encontrados foram próximos.

Ao que se diz respeito do coeficiente anisotrópico, realizou-se a análise estatística entre as amostras de madeira tratada e não tratada, sendo que na Tabela 14 estão os resultados dos testes f e t.

Tabela 14 – Testes f e t para coeficiente anisotrópico

Teste	P-valor (%)	Conclusão
F	3,47	Variâncias diferentes
T	73,86	Médias iguais

Ao analisar os resultados dos testes f e t, constata-se que as variâncias das amostras são diferentes, porém as médias são iguais, novamente, o tratamento não interferiu na propriedade da madeira.

4.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO

4.2.1 Resistência da ligação para deslocamento de 10 mm

Na Tabela 15 são apresentados os valores de carga aplicada quando o deslocamento do centro da ligação atingiu o deslocamento de 10 mm, considerado como um estado limite de serviço para a ligação, tanto para madeira tratada quanto para não tratada. No Anexo F, estão os valores das dimensões dos corpos-de-prova, a carga ao atingir deslocamento de 10 mm e a correção da carga através da umidade nos corpos-de-prova que se fizeram necessárias correções.

Tabela 15 – Resultados do ensaio de resistência da ligação, ao atingir o deslocamento máximo, de madeira tratada e não tratada.

CP	Tratada Resistência (N)	Não Tratada Resistência (N)
1	36800	26796
2	31800	28728
3	35400	28552
4	-	27117
5	36100	26820
6	-	26812
7	38000	27383
8	34300	27656
Média	35400	27483
Desvio Padrão	2162,41	777,22
Coefficiente de Variação	6,11	2,83

Para madeira tratada, dois corpos-de-prova romperam antes de atingir o deslocamento de 10 mm, sendo desconsiderados seus resultados. As ligações em peças de madeira não tratada apresentaram resistência média de 77,64 % da resistência da madeira tratada. A partir da análise estatística com testes f e t (Tabela 16) comprova-se que a resistência das ligações de madeira tratada, para um deslocamento de 10 mm, é superior à não tratada. Segundo Pinheiro (2001) e Faria et al (2015), isto se deve ao maior módulo de elasticidade da madeira tratada.

Tabela 16 – Testes f e t para resistência da ligação ao atingir deslocamento de 10 mm.

Teste	P-valor (%)	Conclusão
F	1,80	Variâncias diferentes
T	0,0014	Médias diferentes

4.2.2 Capacidade última da ligação

Na Tabela 17 são apresentados os valores de capacidade última de cada corpo-de-prova para madeira tratada e não tratada. No Anexo G, estão os valores das dimensões dos corpos-de-prova, a carga de ruptura e a correção da carga através da umidade nos corpos-de-prova que necessitaram de correções.

Tabela 17 - Resultados do ensaio de resistência máxima da ligação de madeira tratada e não tratada.

CP	Tratada Resistência máxima da ligação (N)	Não Tratada Resistência máxima da ligação (N)
1	37790	41647
2	34320	42913
3	38360	44216
4	36250	43240
5	36930	42980
6	34110	41877
7	38360	41198
8	34540	37955
Média	36333	42003
Desvio Padrão	1809,20	1904,39
Coefficiente de Variação (%)	4,98	4,53

Para capacidade última da ligação, as ligações de madeira não tratada apresentaram valor médio superior à madeira tratada, com variação de 15,61 %. Os valores variaram entre 34110 N e 38360 N, com média de 36333 N para madeira tratada.

Na Tabela 18 são mostrados os resultados encontrados na análise estatística para a resistência máxima através dos testes f e t.

Tabela 18 – Testes f e t para resistência máxima da ligação.

Teste	P-valor (%)	Conclusão
F	89,59	Variâncias iguais
T	0,0027	Médias diferentes

Ao observar a análise estatística constatou-se que a capacidade última da ligação possui valores diferentes para as duas condições da madeira, sendo que na não tratada foi realmente superior à tratada.

Ao analisar os deslocamentos finais dos corpos-de-prova (Figura 13) observa-se que nos corpos de prova de madeira não tratada (exemplar b) os deslocamentos verticais foram superiores à tratada (exemplar a), indicando que o módulo de elasticidade da madeira tratada deve ser superior em relação à madeira não tratada.

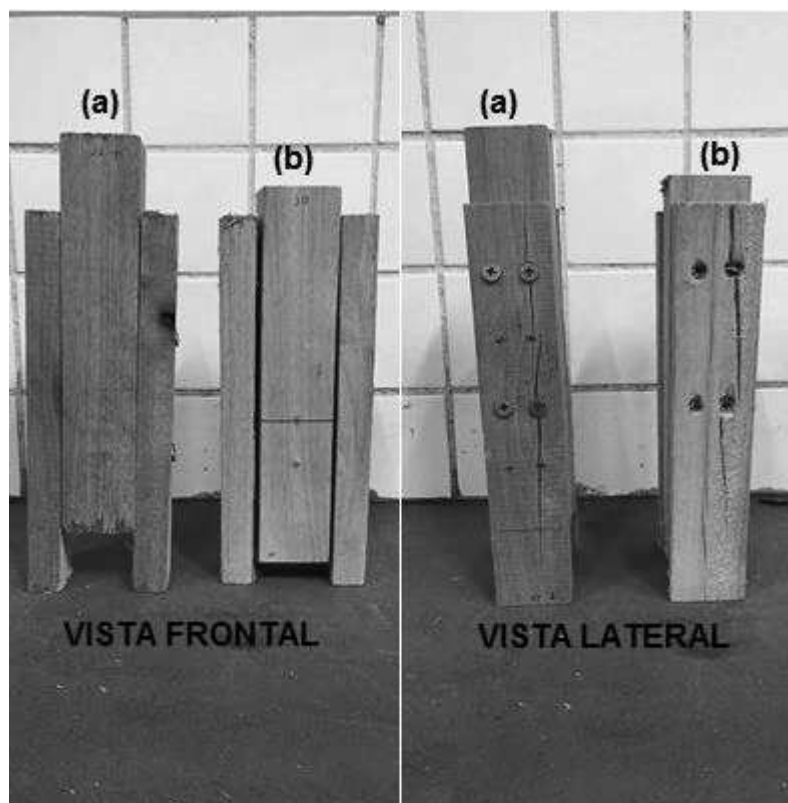


Figura 13 - Deslocamentos corpos-de-prova de madeira tratada (a) e madeira não tratada (b).

4.3 ESTIMATIVAS DE RESISTÊNCIA DAS LIGAÇÕES

Ao realizar os cálculos da estimativa de resistência da ligação pela NBR 7190 (ABNT, 1997) conforme a seção 2.6.1 desse trabalho obtiveram-se os valores do parâmetro beta, beta limite, resistência da ligação para um parafuso e um plano de corte e resistência final da ligação, para madeira tratada e para madeira não tratada, os quais são mostrados no Anexo H.

No Anexo I, são apresentados os valores dos parâmetros necessários para o cálculo e as resistências dos diversos modos de ruptura da ligação sugeridos pela

EUROCODE 5 (CEN, 2004). Além disso, encontram-se no mesmo anexo, o valor da resistência final da ligação para madeira tratada e não tratada.

Para a NDS (AWC, 2015), no Anexo J são mostrados os valores dos dados utilizados para os cálculos da resistência da ligação para os diferentes modos de ruptura propostos. Além disso, apresentam-se os valores de resistência da ligação para madeira tratada e não tratada. Como na EUROCODE 5 (CEN, 2004), para obter a resistência total da ligação, multiplicou-se o menor valor entre os modos de ruptura pela quantidade de parafusos do corpo-de-prova.

No gráfico da Figura 14, são apresentados os valores experimentais e das estimativas das normas de resistência da ligação para madeira tratada e não tratada.

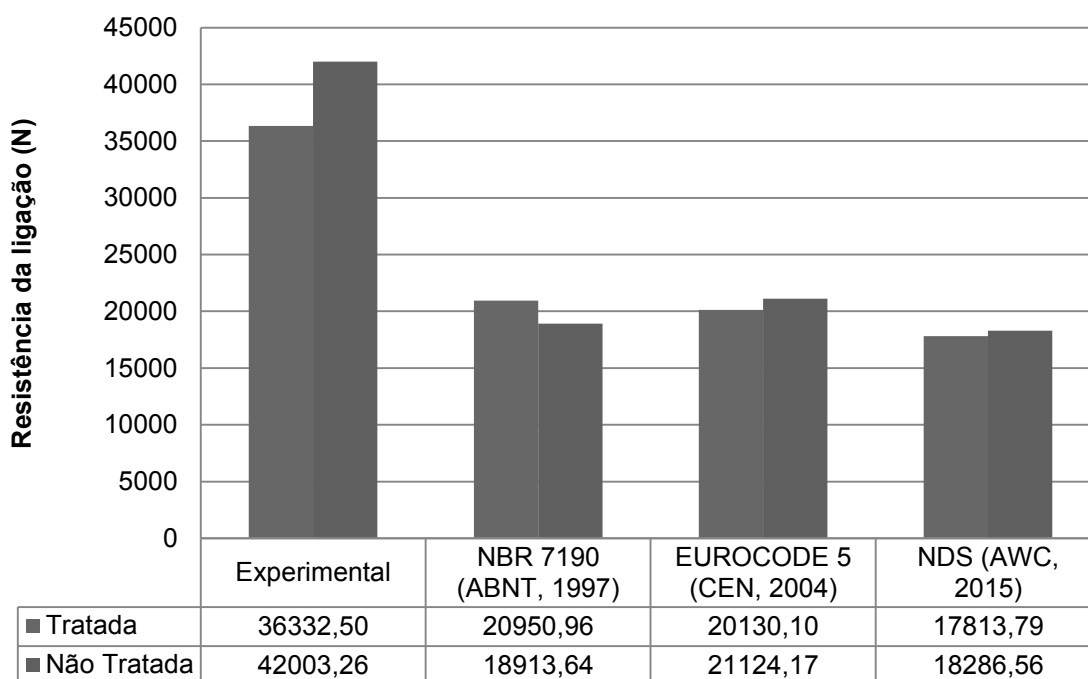


Figura 14 – Comparação entre as estimativas das normas com os valores experimentais de resistências das ligações.

Analisando os valores de resistência da ligação, conclui-se que os valores encontrados através dos ensaios foram superiores aos estimados pelos documentos normativos, sendo que para a madeira tratada a diferença do valor experimental da estimativa da norma NBR 7190 (ABNT, 1997) foi de 73,41% e para a não tratada de 122,08%. Já pela EUROCODE 5 (CEN, 2004), essa diferença foi de 80,48% para madeira tratada e 98,84% para não tratada. Além disso, a norma americana NDS (AWC, 2015), apresentou valores de resistência da ligação, que quando relacionados com os valores experimentais, obtiveram-se valores de 103,96% para madeira tratada e de 129,69 % para madeira não tratada.

Ao comparar os resultados de resistência teórica da NBR 7190 (ABNT, 1997) com os resultados encontrados experimentalmente, verifica-se que para a ruptura os valores foram contrários, pois no ensaio a madeira não tratada resistiu a uma carga maior que a tratada e pela teoria a resistência da madeira tratada é superior a da não tratada.

Quando comparadas as estimativas de resistência da ligação pelas normas EUROCODE 5 (CEN, 2004) e NDS (AWC, 2015) com as resistências experimentais, certifica-se que seguiram os mesmos parâmetros, pois a resistência da ligação na madeira não tratada foi superior à da madeira tratada, tanto nas estimativas das normas, quanto nos ensaios.

Em relação os modos de ruptura, pela NBR 7190 (ABNT, 1997) a ruptura ocorreu por flexão do pino sem especificar em qual peça, pela EUROCODE 5 (CEN, 2004) ocorreu flexão do pino na peça menor e pela NDS (AWC, 2015) a flexão do pino ocorreu nas duas peças, formando uma rótula.

Como a resistência ao embutimento da madeira está intrinsicamente ligado à resistência da ligação, a diferença das estimativas entre as normas se dá, segundo Baena (2015), por a norma brasileira utilizar a resistência à compressão paralela as fibras para determinar a resistência ao embutimento da madeira, enquanto as normas europeia e americana utilizam a densidade da madeira e o diâmetro do pino.

Em geral, as resistências das ligações obtidas pela NBR 7190 (ABNT, 1997) foram superiores as obtidas pelos outros dois documentos normativos, diferindo dos resultados encontrados por Baena (2015) e Góes et al. (2017) os quais verificaram que a resistência da ligação pela norma brasileira é inferior aos outros documentos normativos, isso por a relação entre o diâmetro do pino e a espessura da madeira ser elevada.

5. CONCLUSÕES

Os estudos sobre o comportamento das ligações é de plena importância para a implantação de métodos, que sejam eficientes, nos cálculos de estruturas e, também, em possíveis revisões das normas. A partir dos resultados experimentais obtidos neste trabalho foram possíveis as seguintes conclusões:

O tratamento preservativo da madeira alterou as propriedades mecânicas da madeira de clone de *Eucalyptus urograndis*, aumentando a resistência à compressão paralela as fibras e reduzindo a densidade aparente, entretanto, não houveram alterações significativas na estabilidade dimensional.

Para a resistência das ligações para o estado limite de serviço, considerando um deslocamento da ligação igual a 10 mm, constatou-se que a madeira tratada apresentou maior resistência, atribuída à maior resistência à compressão e um possível maior módulo de elasticidade. Entretanto, para o estado limite último da ligação, a madeira tratada apresentou resistência levemente inferior.

Ao analisar as estimativas de resistência da ligação pelos documentos normativos, conclui-se que os resultados obtidos pelas normas EUROCODE 5 (CEN, 2004) e NDS (AWC, 2015) são mais próximos entre si que os resultados obtidos pela NBR 7190 (ABNT, 1997). Outra conclusão alcançada é que a norma brasileira estima valores contrários às outras normas quando se trata de madeira tratada e não tratada e, além disso, constatou-se que os valores de resistências experimentais foram maiores que os determinados pelas três normas utilizadas.

Observando a tensão de ruptura da madeira, as normas europeia e americana mostraram valores mais coerentes com os experimentais, porém com valores menores que os estimados pela norma brasileira, isso por a NBR 7190 (ABNT, 1997) considerar na resistência ao embutimento apenas a resistência à compressão paralela as fibras, enquanto as normas EUROCODE 5 (CEN, 2004) e NDS (AWC, 2015) consideram a densidade aparente e o diâmetro do pino.

Por consequência dos resultados obtidos em todo o trabalho, conclui-se que ao submeter a madeira de *Eucalyptus urograndis* ao tratamento preservativo em autoclave com o produto CCA, além do seu principal objetivo, o qual é aumentar a durabilidade e a resistência da madeira contra ataques de agentes biológicos, melhora sua qualidade quando utilizada em elemento estrutural, atenuando o

deslocamento da ligação e, conseqüentemente, melhorando o conforto e a segurança de quem usufrui da edificação.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para posteriores trabalhos:

- Analisar troncos de madeira tratada e não tratada;
- Avaliar a profundidade de impregnação do tratamento na espécie de *Eucalyptus urograndis*;
- Realizar novamente a caracterização da madeira de *Eucalyptus urograndis* com uma melhor seleção da amostra.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Pedro A. O. **Uniões pregadas de madeira**. 1987. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

ALVES, R.C.; OLIVEIRA, A.L.C.; CARRASCO, E.V.M. Propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana* F. Mueel. **Revista Floresta e Ambiente** 2017; 24: e00015312. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/loram/v24/2179-8087-floram-2179-8087015312.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2017.

AMERICAN WOOD COUNCIL. **NDS - “National Design Specification for Wood Construction”**. Leesburg, 2015.

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

BACHA, Carlos J.C. Análise da evolução do reflorestamento no Brasil. **Rev. de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 55, n. 2, p. 5-24, jul./dez. 2008.

BAENA, Juliano S. **Comparação dos critérios de dimensionamento de ligações por pinos metálicos (parafusos) em estruturas de madeira**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2015.

BRANDÃO, Leopoldo G. **Desafio Florestal Brasileiro**. In: SBS - Silvicultura, Ano XVIII, n.73, Set./Dez, 23-29P. 1997.

BROCO, Víctor F.; LOIOLA, Pedro L.; PAES, Juarez B.; OLIVEIRA, José T.S. Efeito do tempo e pressão de tratamento nas propriedades mecânicas das madeiras de eucalipto. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, n.15; p. 777, 2012.

CALIL JUNIOR, Carlito. **SET 406 - Estruturas de madeira**. Notas de aula. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998.

CALIL NETO, Carlito. **Ligação com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação para uso em estruturas de madeira**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014.

CORREIA, Ricardo R.; DIAS, Antonio A. **Avaliação da resistência de ligações com parafusos auto-atarraxantes do tipo torx solicitados por tração axial, em peças de madeira**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 8, n. 31, p. 1-30, 2006.

DEMARZO, Mauro A.; PORTO, Aline L.G. Indicadores de Sustentabilidade (LCA) e Análise do Ciclo de Vida para Madeira de Reflorestamento na Construção Civil.

Revista Madeira Arquitetura & Engenharia, n.21, ano 8, Julho-Dezembro, 2007 – ISSN 1806-6097.

EN 1995-1-1 (2004) **Eurocode 5: Design of timber structures** – part 1-1: *General common rules and rules for buildings*, CEN, Brussels.

EN 1995-1-2 (2004) **Eurocode 5: Design of timber structures** – part 1-2: *General – Structural fire design*, CEN, Brussels.

EN 26891 (1991) – **Timber structures** – *Joints made with mechanical fasteners – General principles for the determination of strength and deformation characteristics*, CEN, Brussels.

FARIA, Wigor S.; RESENDE, Dieimes R.; GUIMARÃES, Ingrid L.; PROTÁSIO, Thiago P.; GUIMARÃES JUNIOR, José B. Avaliação das propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* tratado e não tratado com preservativo. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p.287, 2015.

GÓES, Jorge L. N.; SILVA JUNIOR, Josué. **Avaliação experimental da resistência de ligações em madeira com parafusos passantes**. II Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madera. Buenos Aires, 2017.

LAHTELA, Ville; HÄMÄLÄINEN, Kimmo; KÄRKI, Timo; *The Effects of Preservatives on the Properties of Wood after Modification (Review paper)*. **Revista Baltic Forestry** 20(1): 189-203, 2014.

PINHEIRO, Roberto V. **Influência da preservação contra a demanda biológica em propriedades de resistência e de elasticidade da madeira**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

RAMSKILL, Thomas E. **Effect of cracking on Lag Bolt Performance**. Dissertation (PhD), Virginia Polytechnic Institute and State University, Aug. 2002, 280 p.

SILVA, João P.A.G. **Especificações de tratamentos de preservação para elementos de madeira**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Portugal, 2008.

SILVA, Patrícia A.R.; MORAES, Poliana D.; RODRIGUES, João P.C. **Ligações pregadas sob temperaturas elevadas**. 2ª Jornada de Segurança aos Incêndios Urbanos. Universidade de Coimbra. **Anais...** Portugal, 2011.

VITAL, Marcos H.F. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. **Revista do BNDS**, Rio de Janeiro V.14, N. 28, P. 235-276, dez. 2007.

VIVIAN, Magno A.; SANTINI, Elio J.; MODES, Karina S; MORAIS, Wesley W.C. Qualidade do tratamento preservativo em autoclave para a madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 445-453, dez. 2012.

ANEXO A – Dados do ensaio de densidade aparente para madeira tratada

CP	Massa (g)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	Volume (cm ³)	Massa Seca (g)	Umidade Final (%)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	Volume seco (cm ³)	Densidade (kg/m ³)	Densidade Corrigida (kg/m ³)
1	15,75	2,22	2,83	5,02	31,54	15,75	0,00	2,24	2,86	5,00	32,03	499,39	533,88
2	16,16	2,20	2,82	5,13	31,83	16,02	0,87	2,18	2,87	5,16	32,28	507,75	539,86
3	16,68	2,28	2,80	5,24	33,45	15,04	10,90	2,02	2,76	5,05	28,15	498,62	501,77
4	15,77	2,12	2,85	5,24	31,66	15,77	0,00	2,16	2,81	5,10	30,95	498,10	532,57
5	15,60	2,20	2,83	5,13	31,94	15,60	0,00	2,22	2,87	5,17	32,94	488,43	522,70
6	17,55	2,11	2,83	5,12	30,57	15,68	11,93	2,16	2,82	5,08	30,94	574,03	574,25
7	17,05	2,13	2,87	5,14	31,42	15,51	9,93	2,04	2,78	5,14	29,15	542,62	548,68
8	17,14	2,16	2,86	5,15	31,81	15,80	8,48	2,05	2,80	5,02	28,81	538,75	549,02
9	15,93	2,13	2,79	5,20	30,90	15,91	0,13	2,09	2,77	5,11	29,58	515,50	549,89
10	15,91	2,06	2,81	5,24	30,33	15,69	1,40	2,07	2,78	5,11	29,41	524,52	555,33
11	15,30	2,18	2,80	5,10	31,13	15,30	0,00	2,11	2,80	5,12	30,25	491,48	525,82
12	17,79	2,12	2,83	5,15	30,90	17,13	3,85	2,23	2,81	5,21	32,65	575,77	599,72
Média												521,25	544,46
Desvio Padrão												30,51	25,31
Coefficiente de variação (%)												5,85	4,65

ANEXO B – Dados do ensaio de densidade aparente para madeira não tratada

CP	Massa (g)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	Volume (cm ³)	Massa Seca (g)	Umidade Final (%)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	Volume seco (cm ³)	Densidade (kg/m ³)	Densidade Corrigida (kg/m ³)
1	16,84	5,24	3,01	2,04	32,18	15,79	6,65	5,19	2,96	2,00	30,72	523,38	538,92
2	15,33	5,23	2,85	2,00	29,81	15,00	2,20	5,23	2,84	1,97	29,26	514,24	542,61
3	19,47	5,32	2,68	2,07	29,51	18,35	6,10	5,30	2,81	2,01	29,93	659,70	676,79
4	19,30	5,30	2,90	2,03	31,20	18,21	5,99	5,30	2,92	2,00	30,95	618,57	636,21
5	16,29	5,20	2,87	2,00	29,85	15,40	5,78	5,17	2,77	1,98	28,36	545,77	563,97
6	16,59	5,20	2,90	2,00	30,16	15,59	6,41	5,12	2,83	1,97	28,54	550,07	566,43
7	16,04	5,23	2,81	2,00	29,39	15,03	6,72	5,20	2,76	1,95	27,99	545,72	561,16
8	16,90	5,31	2,92	2,02	31,32	16,18	4,45	5,34	2,95	2,02	31,82	539,58	561,64
9	16,72	5,21	2,91	2,04	30,93	15,63	6,97	5,18	2,88	2,02	30,14	540,60	555,29
10	16,72	5,24	2,96	2,02	31,33	15,65	6,84	5,22	2,91	2,00	30,38	533,66	548,71
11	17,41	5,18	3,05	2,01	31,76	16,57	5,07	5,19	3,01	1,99	31,09	548,24	568,53
12	16,18	5,24	2,83	2,00	29,66	15,34	5,48	5,24	2,82	1,98	29,26	545,55	564,63
Média												555,42	573,74
Desvio Padrão												41,45	40,71
Coefficiente de variação (%)												7,46	7,10

ANEXO C – Dados do ensaio de resistência à compressão paralela as fibras

CP	Não tratada					Tratada				
	Dimensões (mm)			Carga (N)	Tensão (MPa)	Dimensões (mm)			Carga (N)	Tensão (MPa)
1	48,96	49,83	151,69	128900	52,83	48,12	49,21	150,88	145100	61,28
2	48,55	49,29	151,80	148900	62,22	48,76	49,06	151,46	162700	68,01
3	49,28	49,11	149,68	131000	54,13	47,72	49,53	150,29	149700	63,34
4	49,73	49,04	150,09	110600	45,35	48,74	49,55	150,54	154300	63,89
5	49,98	48,52	150,98	94570	39,00	48,24	49,11	151,74	138300	58,38
6	48,35	48,41	150,79	125000	53,40	48,90	49,76	150,06	139400	57,29
7	49,66	48,80	151,32	98140	40,50	48,57	49,20	151,77	132100	55,28
8	48,07	48,04	151,39	127400	55,17	48,45	49,80	149,54	125000	51,81
9	49,45	49,53	150,70	128100	52,30	48,18	47,89	150,03	155100	67,22
10	47,76	48,35	151,43	107000	46,34	48,29	48,48	150,72	155000	66,21
11	48,37	48,97	150,41	101000	42,64	48,13	48,51	151,34	154000	65,96
12	46,94	48,61	150,48	122400	53,64	49,07	49,37	150,30	132100	54,53

ANEXO D – Dados para estabilidade dimensional da madeira não tratada

CP	SATURADA					SECA					Ret. Vol. (%)	Deformação de retração (%)			Deformação de inchamento (%)			Coef. de ani.
	M (g)	Tan. (cm)	Rad. (cm)	Axi. (cm)	Vol. (cm³)	M (g)	Tan. (cm)	Rad. (cm)	Axi. (cm)	Vol. (cm³)		Tan.	Rad.	Axi.	Tan.	Rad.	Axi.	
1	28,40	2,20	3,11	5,20	35,58	15,55	2,03	3,00	5,14	31,30	13,66	7,73	3,54	1,15	8,37	3,67	1,17	1,77
2	27,48	2,18	3,03	5,30	35,01	14,87	2,02	2,91	5,22	30,68	14,09	7,34	3,96	1,51	7,92	4,12	1,53	1,92
3	28,80	2,20	3,06	5,30	35,68	15,65	2,04	2,92	5,22	31,09	14,75	7,27	4,58	1,51	7,84	4,79	1,53	2,03
4	29,29	2,14	3,11	5,16	34,34	16,16	2,00	2,90	5,11	29,64	15,87	6,54	6,75	0,97	7,00	7,24	0,98	2,43
5	30,61	2,21	3,10	5,21	35,69	16,93	2,09	2,94	5,17	31,77	12,36	5,43	5,16	0,77	5,74	5,44	0,77	2,28
6	30,51	2,17	3,06	5,13	34,06	15,74	2,04	2,75	5,08	28,50	19,53	5,99	10,13	0,97	6,37	11,27	0,98	3,26
7	29,21	2,07	3,10	5,35	34,33	17,49	2,00	2,93	5,31	31,12	10,33	3,38	5,48	0,75	3,50	5,80	0,75	3,05
8	28,88	2,08	3,05	5,40	34,26	17,39	2,00	2,85	5,34	30,44	12,55	3,85	6,56	1,11	4,00	7,02	1,12	3,26
9	29,21	2,05	3,06	5,24	32,87	15,64	1,98	2,81	5,20	28,93	13,61	3,41	8,17	0,76	3,54	8,90	0,77	3,99
10	29,65	2,06	3,16	5,23	34,05	16,09	2,00	2,92	5,20	30,37	12,11	2,91	7,59	0,57	3,00	8,22	0,58	4,16
11	27,87	2,08	3,10	5,33	34,37	15,81	2,01	2,91	5,30	31,00	10,86	3,37	6,13	0,56	3,48	6,53	0,57	3,23
12	31,33	2,11	3,12	5,38	35,42	18,16	2,02	2,93	5,34	31,61	12,06	4,27	6,09	0,74	4,46	6,48	0,75	2,83

ANEXO E – Dados para estabilidade dimensional da madeira tratada

CP	SATURADA					SECA					Ret. Vol. (%)	Deformação de retração (%)			Deformação de inchamento (%)			Coef. de ani.
	M (g)	Tan. (cm)	Rad. (cm)	Axi. (cm)	Vol. (cm ³)	M (g)	Tan. (cm)	Rad. (cm)	Axi. (cm)	Vol. (cm ³)		Tan.	Rad.	Axi.	Tan.	Rad.	Axi.	
1	28,36	2,23	3,00	5,20	34,79	15,71	2,10	2,80	5,16	30,34	14,66	5,83	6,67	0,77	6,19	7,14	0,78	2,51
2	28,06	2,33	3,06	5,16	36,79	16,16	2,22	2,85	5,10	32,27	14,01	4,72	6,86	1,16	4,95	7,37	1,18	2,97
3	27,44	2,40	3,02	5,26	38,12	15,91	2,25	2,83	5,12	32,60	16,94	6,25	6,29	2,66	6,67	6,71	2,73	2,71
4	28,42	2,34	3,04	5,11	36,35	16,51	2,24	2,85	5,08	32,43	12,09	4,27	6,25	0,59	4,46	6,67	0,59	2,83
5	28,68	2,24	3,00	5,23	35,15	15,80	2,11	2,80	5,18	30,60	14,84	5,80	6,67	0,96	6,16	7,14	0,97	2,56
6	26,97	2,31	3,00	5,11	35,41	15,52	2,15	2,82	5,08	30,80	14,97	6,93	6,00	0,59	7,44	6,38	0,59	2,16
7	26,53	2,38	3,02	5,10	36,66	15,36	2,20	2,87	5,05	31,89	14,96	7,56	4,97	0,98	8,18	5,23	0,99	1,98
8	28,51	2,30	2,94	5,07	34,28	16,21	2,08	2,76	5,02	28,82	18,96	9,57	6,12	0,99	10,58	6,52	1,00	1,98
9	27,21	2,22	2,94	5,03	32,83	15,27	2,08	2,78	5,00	28,91	13,55	6,31	5,44	0,60	6,73	5,76	0,60	2,15
10	28,22	2,37	3,05	5,11	36,94	16,61	2,25	2,83	5,11	32,54	13,52	5,06	7,21	0,00	5,33	7,77	0,00	2,67
11	28,52	2,27	2,97	5,11	34,45	15,81	2,11	2,80	5,10	30,13	14,34	7,05	5,72	0,20	7,58	6,07	0,20	2,03
12	27,10	2,23	3,04	5,14	34,85	15,30	2,10	2,83	5,10	30,31	14,97	5,83	6,91	0,78	6,19	7,42	0,78	2,57

ANEXO F – Dados do ensaio de resistência da ligação ao atingir deslocamento de 10 mm

CP	Não tratada						Tratada					
	Seção (mm)		Carga (N)	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Umidade (%)	Carga Corrigida (N)	Seção (mm)		Carga (N)	Umidade (%)	Carga Corrigida (N)
1	50,76	50,90	23600	762,00	654,00	16,51	26795,74	48,81	48,96	36800	12	36800
2	51,29	49,98	25700	773,70	667,40	15,93	28728,09	49,02	49,42	31800	12	31800
3	50,95	50,23	25900	759,30	657,90	15,41	28551,65	48,54	49,57	35400	12	35400
4	50,08	49,64	23900	754,60	647,80	16,49	27116,87	48,04	49,13	-	12	-
5	50,76	50,59	23800	767,00	659,90	16,23	26820,03	48,51	49,11	36100	12	36100
6	50,60	50,76	24400	760,60	659,70	15,29	26811,82	49,08	48,55	-	12	-
7	51,79	50,50	24400	745,90	642,60	16,08	27383,13	48,48	48,71	38000	12	38000
8	50,10	50,42	26100	746,50	654,90	13,99	27655,72	49,06	48,85	34300	12	34300

ANEXO G – Dados do ensaio de resistência da ligação na ruptura

CP	Não tratada						Tratada					
	Seção (mm)		Carga (N)	Massa inicial (g)	Massa seca (g)	Umidade (%)	Carga Corrigida (N)	Seção (mm)		Carga (N)	Umidade (%)	Carga Corrigida (N)
1	50,76	50,90	36680	762,00	654,00	16,51	41646,94	48,81	48,96	37790	12	37790
2	51,29	49,98	38390	773,70	667,40	15,93	42913,28	49,02	49,42	34320	12	34320
3	50,95	50,23	40110	759,30	657,90	15,41	44216,47	48,54	49,57	38360	12	38360
4	50,08	49,64	38110	754,60	647,80	16,49	43239,50	48,04	49,13	36250	12	36250
5	50,76	50,59	38140	767,00	659,90	16,23	42979,66	48,51	49,11	36930	12	36930
6	50,60	50,76	38110	760,60	659,70	15,29	41876,98	49,08	48,55	34110	12	34110
7	51,79	50,50	36710	745,90	642,60	16,08	41198,15	48,48	48,71	38360	12	38360
8	50,10	50,42	35820	746,50	654,90	13,99	37955,09	49,06	48,85	34540	12	34540

**ANEXO H – Estimativa de resistência da ligação pela NBR 7190
(ABNT, 1997) para madeira tratada e não tratada**

PARÂMETROS COMUNS				
Diâmetro do parafuso (mm)	Diâmetro do furo (mm)	t (mm)	B	Tensão escoamento (MPa)
6,3	6,8	25	3,68	210
NÃO TRATADA				
f_{ed} (MPa)	β_{limite}	$R_{vd,1} p/ \beta < \beta_{limite}$	$R_{vd,1} p/ \beta > \beta_{limite}$	Nº de parafusos
49,79	2,57	3385,98	2364,20	8,00
Resistência final (N)			18913,64	
TRATADA				
f_{ed} (MPa)	β_{limite}	$R_{vd,1} p/ \beta < \beta_{limite}$	$R_{vd,1} p/ \beta > \beta_{limite}$	Nº de parafusos
61,10	2,32	4154,72	2618,87	8,00
Resistência final (N)			20950,96	

ANEXO I – Estimativa de resistência da ligação pela EUROCODE 5 (CEN, 2004) para madeira tratada e não tratada

Parâmetros Comuns					
t₁ (mm)	t₂ (mm)	Tensão de escoamento (MPa)	Diâmetro do parafuso (mm)	M_{y,R}	
25	50	380	6,3	20477,72	
Não Tratada					
Densidade (Kg/m3)	F_{h,1} (MPa)	F_{h,2} (MPa)	ω	F_{ax,Rk} (MPa)	
573,74	44,08	44,08	1	0	
F_{v,Rd} (a) (N)	F_{v,Rd} (b) (N)	F_{v,Rd} (c) (N)	F_{v,Rd} (d) (N)	F_{v,Rd} (e) (N)	F_{v,Rd} (f) (N)
6943,03	13886,07	4717,44	3225,10	2640,52	3878,45
Resistência 1 parafuso (N)		Número de parafusos		Resistência da ligação (N)	
2640,52		8		21124,17	
Tratada					
Densidade (Kg/m3)	F_{h,1} (MPa)	F_{h,2} (MPa)	ω	F_{ax,Rk} (MPa)	
544,46	41,83	41,83	1	0	
F_{v,Rd} (a) (N)	F_{v,Rd} (b) (N)	F_{v,Rd} (c) (N)	F_{v,Rd} (d) (N)	F_{v,Rd} (e) (N)	F_{v,Rd} (f) (N)
6588,68	13177,35	4476,67	3098,09	2516,26	3778,181
Resistência 1 parafuso (N)		Número de parafusos		Resistência da ligação (N)	
2516,26		8		20130,10	

ANEXO J – Estimativa de resistência da ligação pela NDS (AWC, 2015) para madeira tratada e não tratada

Parâmetros comuns							
d (in)	t _m (in)	t _s (in)	R _t	Densidade da água (Lb/ft ³)	Tensão de escoamento do aço F _{yd} (MPa)	Tensão de escoamento do aço F _{yd} (Psi)	
0,25	1,97	0,98	2	64,92	210	30457,98	
Não-Tratada							
Densidade (Lb/ft ³)	G	F _{em} (psi)	F _{es} (psi)	ω	k ₁	k ₂	k ₃
39,81	0,61	6866,84	6866,84	1,00	0,68	1,14	1,14
F _{v,Rd} - Im (lbs)	F _{v,Rd} - Is (lbs)	F _{v,Rd} - Il (lbs)	F _{v,Rd} - IIIIm (lbs)		F _{v,Rd} - IIIs (lbs)	F _{v,Rd} - IV (lbs)	
3352,74	1676,37	1139,01	1269,79		634,90	513,67	
Resistência de 1 parafuso (lbs)	Nº parafusos	Resistência da ligação (lbs)		Resistência ligação (N)			
513,67	8,00	4109,34		18286,56			
Tratada							
Densidade (Lb/ft ³)	G	F _{em} (psi)	F _{es} (psi)	ω	k ₁	k ₂	k ₃
37,77	0,58	6516,37	6516,37	1,00	0,68	1,14	1,14
F _{v,Rd} - Im (lbs)	F _{v,Rd} - Is (lbs)	F _{v,Rd} - Il (lbs)	F _{v,Rd} - IIIIm (lbs)		F _{v,Rd} - IIIs (lbs)	F _{v,Rd} - IV (lbs)	
3181,62	1590,81	1080,88	1212,49		606,25	500,39	
Resistência de 1 parafuso (lbs)	Nº parafusos	Resistência da ligação (lbs)		Resistência ligação (N)			
500,39	8,00	4003,10		17813,79			

