

Anderson Pavei Battisti

**INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE INSERÇÃO NA RESISTÊNCIA  
AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO AUTOATARRAXANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof<sup>da</sup>. Dr.<sup>a</sup> Poliana Dias de Moraes

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Battisti, Anderson Pavei

Influência do ângulo de inserção na resistência ao arrancamento de parafuso autoatarraxante / Anderson Pavei Battisti ; orientador, Poliana Dias de Moraes , 2017.

48 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Resistência ao arrancamento de parafuso autoatarraxante. 3. Influência do ângulo de inserção do parafuso na resistência ao arrancamento. I. , Poliana Dias de Moraes. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Anderson Pavei Battisti

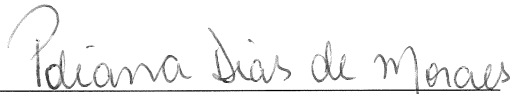
**INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE INSERÇÃO NA RESISTÊNCIA  
AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO AUTOATARRAXANTE**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado e  
aprovado como parte dos requisitos para a obtenção do título de  
ENGENHEIRO CIVIL.

Florianópolis, 23 de novembro 2017

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Luciana Rohde  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**



---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Poliana Dias de Moraes  
Orientadora

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ângela do Valle

Prof.<sup>a</sup> Carolina Coelho da Rosa



## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Paulo César Battisti e Marilene Pavei Battisti; ao meu irmão, Andrei Pavei Battisti, pelo incentivo prestado durante este longo percurso.

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Poliana Dias de Moraes, pela receptiva atenção prestada na elaboração deste estudo.

Aos professores qualificados que passaram por minha graduação e me tornaram grande parte do que sou atualmente.

À acadêmica de doutorado do Programa de Pós-graduação de Engenharia Civil da UFSC, Prof.<sup>a</sup> Carolina Coelho da Rosa pelo auxílio prestado no desenvolvimento deste estudo.

Ao Laboratório de Experimentação em Estruturas (LEE) e seus laboratoristas, pelo conhecimento e criatividade adquiridos na área da pesquisa científica.

Aos amigos que fiz durante momentos de distração, estudo, companheirismo e que apoiaram não somente minha graduação, mas além dela.



## RESUMO

Nesta pesquisa foi avaliada a influência do ângulo de inserção de parafusos autoatarraxantes na resistência ao arrancamento dos mesmos para a espécie *Pinus elliottii* proveniente de florestas plantadas do estado de Santa Catarina. Os parafusos usados nos ensaios tinham 7 mm de diâmetro e foram inseridos nos corpos de prova com ângulos de 30°, 60°, 75° e 90° (medido entre o eixo do parafuso e a grã da madeira). Foi usada uma amostra contendo um total de 48 corpos de prova para a realização deste estudo. Os resultados obtidos para as resistências ao arrancamento foram analisados por meio de testes estatísticos de comparação de médias. Os testes informaram que o ângulo de inserção, na espécie de madeira estudada, não altera a resistência ao arrancamento desempenhada pelo parafuso. Por sua vez, as resistências características ao arrancamento teóricas, para a espécie de madeira estudada, apresentaram inadequação com relação aos valores obtidos experimentalmente.

**Palavras-chave:** madeira; parafuso autoatarraxante; resistência ao arrancamento.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ligação por entalhes em mãos francesas. ....	4
Figura 2 – Ligação entre placa de piso e suas vigas de sustentação. ....	4
Figura 3 – Ligação com parafuso autoatarraxante. ....	5
Figura 4 – Anel de cisalhamento. ....	6
Figura 5 – Chapa com dentes estampados. ....	6
Figura 6 – Tipos de prego: (a) com cabeça, (b) sem cabeça, (c) galvanizado, (d) ardox, (e) anelado e (f) cabeça dupla. ....	6
Figura 7 – Parafusos tradicionais: (a) para madeira e (b) sextavado com rosca soberba. ....	8
Figura 8 – Parafusos autoatarraxantes utilizados neste estudo com comprimento de: (a) 140 mm e (b) 100 mm. ....	8
Figura 9 – Parafuso submetido a esforço transversal. ....	10
Figura 10 – Modos de ruptura segundo a Teoria de Johansen. ....	11
Figura 11 – Parafuso submetido a esforço axial. ....	14
Figura 12 – Parafuso submetido a esforço transversal e axial. ....	15
Figura 13 – Resistência ao arrancamento perpendicular à grã em função da densidade relativa da madeira e do diâmetro do parafuso. ....	17
Figura 14 – Resistência ao arrancamento perpendicular à grã em função do comprimento de penetração da rosca, da espécie da madeira e do diâmetro do parafuso. ....	18
Figura 15 – CP da madeira utilizada: exemplo onde o anel de crescimento mede 12,9 mm. ....	27
Figura 16 – CP (sem o parafuso) e suas dimensões nominais. ....	29
Figura 17 – Gabarito para inserção do parafuso no CP: ângulo de inserção de 60°. ....	30
Figura 18 – CP e as inclinações do parafuso com relação à grã: (a) 30° e (b) 90°. ....	31
Figura 19 – Posição do parafuso no CP para as configurações angulares de: (a) 90° e (b) 30°. ....	31

Figura 20 – Máquina Kratos. ....	33
Figura 21 – Suportes de aço para garantir ensaios adequados. ....	33
Figura 22 – Suportes de aço: (a) superior e (b) inferior: suporte para configuração angular de 60°. ....	33
Figura 23 – Curva força-deslocamento: CP n°1 da configuração de 30°. ....	34
Figura 24 – Estufa utilizada para determinar os teores de umidade. ....	37
Figura 25 – Resistências ao arrancamento. ....	39
Figura 26 – Resistências características ao arrancamento experimentais e teóricas: análise 1. ....	42
Figura 27 – Resistências características ao arrancamento experimentais e teóricas: análise 2. ....	43

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diferenças fundamentais entre parafusos passantes e não passantes.....	7
Quadro 2 – Prescrições para o cálculo da resistência característica ao arrancamento teórica pela norma EN1995-1-1.....	21
Quadro 3 – Prescrições para o cálculo da resistência característica ao arrancamento teórica pela norma DIN1052. ....	23
Quadro 4 – Especificações normativas para a determinação experimental da resistência ao arrancamento. ....	25



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Amostra e suas principais características. ....	28
Tabela 2 – Resistências características ao arrancamento teóricas. ....	42



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>2 REVISÃO-BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 MADEIRA.....	3
2.2 LIGAÇÕES.....	3
2.3 ELEMENTOS DE LIGAÇÕES MECÂNICAS .....	5
<b>2.3.1 Conectores .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3.2 Pinos.....</b>	<b>6</b>
2.4 PARAFUSOS .....	7
<b>2.4.1 Parafusos tradicionais .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4.2 Parafusos autoatarraxantes .....</b>	<b>9</b>
2.5 SOLICITAÇÕES EM PARAFUSOS AUTOATARRAXANTES10	
<b>2.5.1 Esforços transversais.....</b>	<b>10</b>
<b>2.5.2 Esforços axiais.....</b>	<b>14</b>
<b>2.5.3 Combinação de esforços transversais e axiais .....</b>	<b>15</b>
2.6 FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO.....	15
<b>2.6.1 Teor de umidade da madeira.....</b>	<b>16</b>
<b>2.6.2 Massa específica da madeira.....</b>	<b>16</b>
<b>2.6.3 Comprimento de penetração da rosca .....</b>	<b>17</b>
<b>2.6.4 Direção das fibras da madeira em relação ao eixo do parafuso .....</b>	<b>19</b>
2.7 PRESCRIÇÕES DE CÁLCULO NORMATIVAS PARA AS RESISTÊNCIAS CARACTERÍSTICAS AO ARRANCAMENTO. 20	

2.8 DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSOS AUTOATARAXANTES ...	24
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1 MATERIAIS.....	27
3.2 AMOSTRA.....	28
3.3 CORPOS DE PROVA .....	29
3.4 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	30
3.5 ENSAIO DE ARRANCAMENTO.....	32
3.6 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO EXPERIMENTAL.....	34
3.7 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA AO ARRANCAMENTO.....	34
3.8 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE....	35
3.9 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA CARACTERÍSTICA .....	35
3.10 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DOS CORPOS DE PROVA .....	36
3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	37
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
4.1 RESISTÊNCIAS AO ARRANCAMENTO EXPERIMENTAIS.	39
4.2 RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO .....	40
<b>4.2.1 Cálculo da resistência característica ao arrancamento teórica .....</b>	<b>40</b>
<b>4.3.2. Resistências características ao arrancamento: experimentais e teóricas.....</b>	<b>42</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>45</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O uso da madeira em projetos estruturais é cada vez maior, seja como madeira serrada ou como madeira reconstituída laminada colada, visto que este material é de fonte renovável, facilmente trabalhável e possui uma relação resistência mecânica/peso elevada. Ela é usada na construção civil desde a antiguidade. No Brasil, atualmente, ao contrário dos países europeus e da América do Norte, ela é menos utilizada. Entre os fatores determinantes para esta limitação são: o baixo grau de industrialização das empresas brasileiras, a carência de mão de obra qualificada e a maior exigência de detalhamento dos projetos realizados com madeira.

As ligações mais usadas em estruturas de madeira são as de tipo pino, cujo conector é um elemento metálico, o qual transfere os esforços de um elemento estrutural para outro. Estes elementos metálicos são, geralmente, parafusos passantes com arruelas e porcas. Porém, atualmente, existe no mercado brasileiro um novo elemento de ligação do tipo pino, o qual é classificado como parafuso não passante. Trata-se do parafuso autoatarraxante, objeto deste estudo. Ele é um produto inovador e cada vez mais empregado em projetos estruturais de madeira nos Estados Unidos, Japão e países da Europa (CALIL, 2014).

Os parafusos autoatarraxantes permitem aplicações onde um comprimento maior de parafuso é necessário, como nas ligações entre vigas de madeira ou entre vigas e pilares, visto que são mais resistentes à torção e à flexão. A inserção deste parafuso, sem pré-furação, funciona muito bem com madeiras de baixa massa específica, permitindo executar ligações com maior rapidez e praticidade, fatores cada vez mais importantes na execução de um sistema construtivo moderno.

No Brasil, a norma brasileira de dimensionamento de estruturas em madeira, NBR7190:1997, somente apresenta critérios para o dimensionamento de ligações com parafusos passantes ou com pregos, enquanto que, nos Estados Unidos e nos países europeus, os critérios de cálculo para o dimensionamento de ligações de estruturas de madeira com este tipo de parafuso são definidos para as madeiras comumente usadas na região (normas NDS2015, EN1995-1-1 e DIN 1052, por exemplo).

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a influência da inclinação de inserção de parafuso autoatarraxante em relação à grã da madeira na resistência característica ao arrancamento.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) determinar a resistência ao arrancamento de parafuso autoatarraxante de rosca contínua em madeira da espécie *Pinus elliottii* oriunda de floresta plantada brasileira em vários ângulos de inserção em relação à grã (30°, 60°, 75° e 90°);
- b) verificar a adequação dos métodos de cálculo descritos pelas normas europeia EN1995-1-1 e alemã DIN-1052 no que diz respeito à resistência característica ao arrancamento de parafuso autoatarraxante.

## 2 REVISÃO-BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MADEIRA

Apesar da construção com madeira ainda ser restrita em relação ao concreto armado, o potencial do território florestal brasileiro tem exercido papel fundamental no atendimento da crescente demanda atual. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), o setor de árvores plantadas é, atualmente, uma referência mundial por sua atuação pautada pela sustentabilidade, competitividade e inovação (Relatório Anual IBÁ, 2017).

No Brasil, a área ocupada por florestas plantadas é de 7,84 milhões de hectares, sendo este setor responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB industrial no país (Relatório Anual IBÁ, 2017).

O mesmo Relatório Anual IBÁ (2017) informa que, dentre as florestas plantadas no país, destacam-se os plantios dos gêneros eucalipto e pinus, com 5,7 e 1,6 milhões de hectares, respectivamente. O eucalipto está localizado principalmente em Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%). Já o pinus concentra-se no Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%).

### 2.2 LIGAÇÕES

O conhecimento das propriedades mecânicas da madeira é fundamental para a realização de projetos de estruturas construídas com este material, inclusive as propriedades relacionadas ao dimensionamento das ligações. Flach e Frenette (2000) *apud* Duarte (2004) mencionam que:

“A ação de construir é primordialmente a adição e a ligação de elementos separados (...). Ligações, nós e junções são pontos frágeis nas estruturas: eles enfraquecem as seções, reduzem a resistência ao fogo e custam dinheiro. Entretanto, eles são necessários para recriar a continuidade das estruturas (...).”

Duarte (2004) apresenta uma classificação das ligações entre elementos de madeira, basicamente, em três tipos: por contato, coladas e mecânicas. As ligações por contato são formadas apenas pelo contato entre as peças de madeira, o qual, normalmente, é realizado através de “encaixes” nas mesmas. Estes “encaixes” são chamados de entalhes e

são muito conhecidos pela precisa carpintaria japonesa. Um exemplo básico deste tipo de ligação são os entalhes realizados nas mãos francesas que unem vigas e pilares (Figura 1).

Figura 1 – Ligação por entalhes em mãos francesas.



Fonte: Leird (2010).

As ligações coladas, principalmente utilizadas em madeira laminada colada, são executadas a partir da união de elementos de madeira pela adição de um adesivo entre elas. Este tipo de ligação garante alta resistência e rigidez, entretanto sua eficiência está ligada à qualidade do adesivo, bem como aos seus processos de fabricação e execução no canteiro de obras. Este tipo de ligação apresenta, normalmente, ruptura frágil. Porém é possível aumentar sua ductilidade através do emprego em conjunto com outro tipo de elemento de ligação, como parafusos (DUARTE, 2004). Um exemplo desse tipo de ligação é a união das placas de piso com suas vigas de sustentação, como é o caso da estrutura da Figura 2.

Figura 2 – Ligação entre placa de piso e suas vigas de sustentação.



Fonte: Brite (2011).

As ligações mecânicas são aquelas onde há a inserção de um elemento de ligação nas peças de madeira. Atualmente, estes tipos de ligação são praticamente indispensáveis e cada vez mais estudados devido às novidades do mercado, as quais possibilitam oportunidades para criar estruturas mais esbeltas e contemporâneas. Um exemplo desse tipo de ligação é a utilização dos parafusos autoatarraxantes deste estudo (Figura 3) e, portanto, as que receberão mais ênfase nos textos seguintes.

Figura 3 – Ligação com parafuso autoatarraxante.



Fonte: Site da empresa Rothoblass (2017).

## 2.3 ELEMENTOS DE LIGAÇÕES MECÂNICAS

Os elementos usados na concepção de ligações mecânicas podem ser divididos em dois grupos: os conectores e os pinos. Tendo em vista sua maior utilização, os elementos que receberão maior atenção serão os produzidos em liga metálica.

### 2.3.1 Conectores

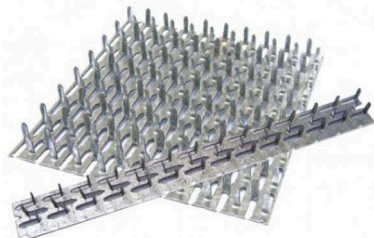
Os conectores, também conhecidos como elementos de superfície, transmitem cargas transversais por cisalhamento entre as peças de madeira. Entre os mais comuns, encontram-se os anéis de cisalhamento (Figura 4) e as chapas com dentes estampados (Figura 5) (DUARTE, 2004).

Figura 4 – Anel de cisalhamento.



Fonte: Site da empresa Portland Bolt (2017).

Figura 5 – Chapa com dentes estampados.

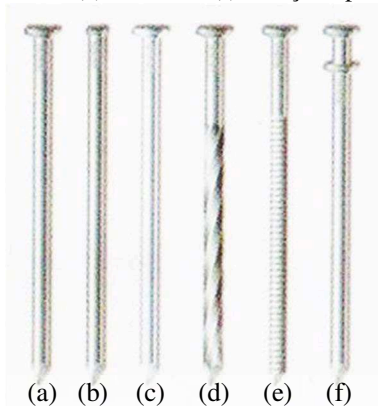


Fonte: Site da empresa TWBrazil (2017).

### 2.3.2 Pinos

Os principais pinos metálicos são os pregos e parafusos. Os pregos podem ser encontrados no mercado com diversos diâmetros, comprimentos, tipos de haste e cabeça, sendo os mais comuns representados na Figura 6.

Figura 6 – Tipos de prego: (a) com cabeça, (b) sem cabeça, (c) galvanizado, (d) ardox, (e) anelado e (f) cabeça dupla.



Fonte: adaptado do Site da empresa Ferragens JK (2017).

Os pregos anelares e ardox possuem maior resistência ao arrancamento que os pregos comuns (WOOD HANDBOOK, 1999 apud DUARTE, 2004). Isto acontece porque eles possuem uma superfície de contato com a madeira maior que a apresentada pelos pregos comuns.

Já os parafusos receberão um maior detalhamento nos textos seguintes, pois são objeto de desenvolvimento deste estudo.

## 2.4 PARAFUSOS

Os parafusos podem ser divididos em dois grupos principais: passantes e não passantes, sendo suas diferenças fundamentais listadas no Quadro 1. As diferenças entre os tipos de rosca e de bloqueio, como define Ramskill (2002), são devidas ao princípio de funcionamento destes diferentes grupos de parafusos. Em ligações solicitadas a esforços axiais, quando são utilizados parafusos passantes, é a porca que resiste à carga axial. Quando são utilizados parafusos não passantes, a resistência à carga axial é fornecida pela rosca embutida na madeira. Os parafusos não passantes são vantajosos nas ligações onde o comprimento necessário do parafuso passante é muito grande ou quando o acesso a um lado da ligação é restrito (DUARTE, 2004).

Quadro 1 – Diferenças fundamentais entre parafusos passantes e não passantes.

<b>Característica</b>	<b>Passante</b>	<b>Não passante</b>
Localização na madeira	Atravessa a peça	Ponta embutida na peça
Diâmetro ao longo do comprimento	Constante	Variável
Extremidade (oposta à cabeça)	Plana	Pontiaguda
Tipo de rosca e bloqueio	Filetes próximos que recebem porcas roscáveis	Filetes afastados sem bloqueio

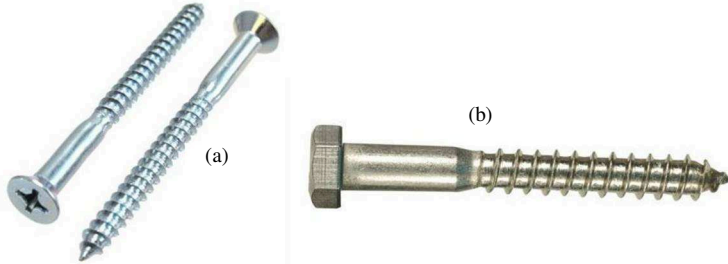
Fonte: autoria própria (2017).

Correia (2002) diferencia os parafusos não passantes em dois subgrupos: para madeira e autoatarraxantes. No primeiro subgrupo, estão os parafusos para madeira ou *wood screws* e, no segundo, os sextavados de rosca soberba ou *lag screws* e os autoatarraxantes tipo torx ou *tapping screws*. Por sua vez, Duarte (2004) classifica todos os parafusos não passantes como sendo autoatarraxantes, incluindo-se os três tipos de parafusos citados.

Visando melhorar a classificação apresentada e facilitar o entendimento deste estudo, distinguir-se-á os parafusos não passantes em dois subgrupos: os tradicionais, que incluem os parafusos para

madeira (Figura 7a) e os sextavados com rosca soberba (Figura 7b); e os autoatarraxantes (Figuras 8a e 8b).

Figura 7 – Parafusos tradicionais: (a) para madeira e (b) sextavado com rosca soberba.



Fontes: Sites das empresas Corm Square e Duplex, respectivamente (2017).

Figura 8 – Parafusos autoatarraxantes utilizados neste estudo com comprimento de: (a) 140 mm e (b) 100 mm.



Fonte: autoria própria (2017).

### 2.4.1 Parafusos tradicionais

Segundo Ehlbeck e Ehrhardt (1995), os parafusos tradicionais são caracterizados por possuírem, ao longo do seu comprimento, excluindo-se a cabeça, uma parte composta de haste lisa e outra por rosca. A haste e a rosca, normalmente, possuem o mesmo diâmetro, o qual é também definido como o diâmetro nominal do parafuso. Esses autores classificam os parafusos segundo seus respectivos diâmetros:

- parafusos para madeira: diâmetros que variam de 4 a 8 mm;
- sextavados com rosca soberba: diâmetros nominais que variam de 8 a 20 mm.

Os parafusos para madeira podem ser encontrados com diversas formas de cabeça, onde as mais comuns são as cabeças chata, oval e redonda (WOOD HANDBOOK, 1991). Atualmente, elas são geralmente usinadas com encaixe do tipo *philips*, porém já foram largamente fabricadas com encaixe tipo fenda. O formato da cabeça



depende, normalmente, do acabamento que se deseja fornecer à ligação bem como seu melhor encaixe na utilização de outros acessórios, como as arruelas. Eles podem ser fabricados de aço, bronze, outros metais ou ligas e ter acabamentos de níquel, cromo ou cádmio (WOOD HANDBOOK, 1999). Duarte (2004) informa que, no mercado brasileiro, os diâmetros mais comuns para estes parafusos estão entre 2,2 a 6,1 mm. Os parafusos para madeira são indicados para fixar peças pouco espessas ou peças submetidas a pequenos esforços (CORREIA, 2002).

Por sua vez, os parafusos sextavados de rosca soberba são, geralmente, utilizados para fixar peças mais robustas, estando submetidos a esforços de cisalhamento ou a uma combinação de esforços de cisalhamento e de arrancamento (CORREIA, 2002). Eles são fabricados em aço baixo carbono ou em aço inox, possuem cabeça hexagonal e são, frequentemente, encontrados no mercado brasileiro com diâmetros que variam de 4,8 a 12,7 mm (DUARTE, 2004).

Ambos os parafusos tradicionais devem ser inseridos na madeira por meio de rotação com parafusadeira, chave de fenda ou chave inglesa, respeitando-se a pré-furação da madeira para evitar fendilhamentos (DUARTE, 2004). O diâmetro de pré-furação depende do diâmetro do parafuso e da densidade da madeira, sendo seu diâmetro variável conforme a norma consultada.

Como exemplo, pode-se citar a especificação da norma brasileira NBR7190:1997, a qual prescreve o diâmetro de pré-furação de ligações parafusadas (ligação considerada rígida) menor que o diâmetro do parafuso acrescido de 0,5 mm. Para os casos em que o diâmetro de pré-furação for maior que o apresentado anteriormente, a ligação deve ser considerada deformável.

#### **2.4.2 Parafusos autoatarraxantes**

Os parafusos autoatarraxantes, dependendo da densidade da madeira, normalmente são inseridos sem pré-furação e usados para resistirem a esforços cisalhantes e axiais (CORREIA, 2002; DUARTE, 2004). Nos Estados Unidos e países da Europa, sua utilização é frequente e vários estudos demonstram sua elevada eficiência (BEJTKA e BLASS, 2002; OPAZO e BUSTOS, 2008; TOMASI et al., 2010; SILVA et al., 2015; DIETSCH e BRANDNER, 2015), tanto em termos de resistência quanto de execução.

De acordo com Blass e Bejtka (2001), os parafusos autoatarraxantes são fabricados com diâmetro de até 12 mm e

comprimentos máximos de 600 mm, além de serem endurecidos após a usinagem da rosca. Este endurecimento possibilita o aumento das resistências à flexão e à torção, viabilizando maiores comprimentos em relação aos parafusos tradicionais.

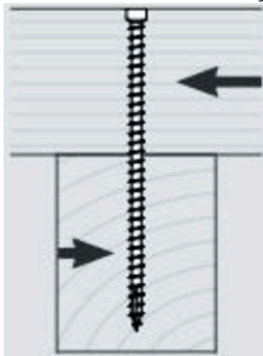
## 2.5 SOLICITAÇÕES EM PARAFUSOS AUTOATARRAXANTES

Em uma estrutura em madeira, os parafusos autoatarraxantes podem estar submetidos a esforços transversais, axiais ou ambos, os quais serão detalhados a seguir.

### 2.5.1 Esforços transversais

Os esforços transversais atuam perpendicularmente ao eixo do parafuso e são aqueles que tendem a “cortá-los” transversalmente ao comprimento (Figura 9).

Figura 9 – Parafuso submetido a esforço transversal.



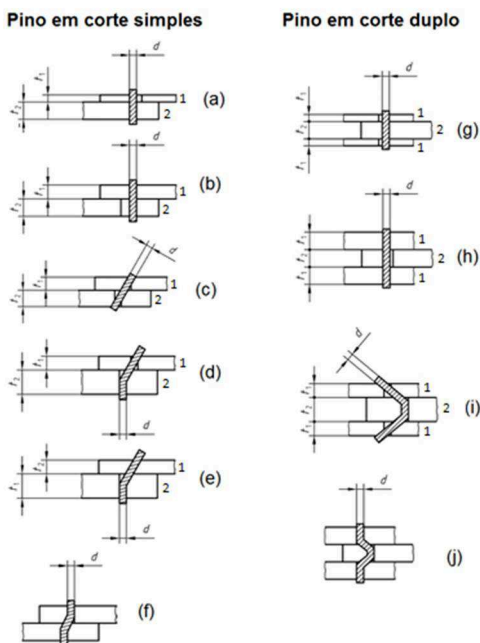
Fonte: Catálogo de produtos da empresa Rothoblaas (2017).

A resistência das ligações realizadas com pinos passantes ou não passantes, posicionados perpendicularmente ao plano de cisalhamento e carregados transversalmente ao longo do seu eixo, pode ser calculada pela Teoria de Johansen (JOHANSEN, 1949). A resistência ao esforço transversal de uma ligação entre elementos de madeira conectados pelos fixadores citados é limitada, basicamente, por dois tipos de falha: a resistência ao embutimento das peças de madeira e a resistência à flexão do pino.

Os modos de falha descritos por Johansen (1949) estão ilustrados na Figura 10 e ocorrem conforme:

- e (g) são limitadas pela resistência ao embutimento na peça de madeira 1;
- (b) e (h) também são restringidas pela resistência ao embutimento, porém na peça de madeira 2;
- em (c) ocorre a rotação do pino e o embutimento em ambas as peças de madeira;
- em (d) e (i) a falha se dá por flexão do pino com formação de uma rótula plástica próxima de cada plano de cisalhamento, bem como o embutimento no membro de madeira 1;
- em (e) o pino sofre, similarmente ao caso anterior, flexão com a formação de uma rótula plástica, entretanto o embutimento ocorre no membro de madeira 2;
- em (f) e (j) a falha também decorre pela flexão do pino, contudo há a formação de duas rótulas plásticas próximas de cada plano de cisalhamento, além do embutimento em ambos os elementos da ligação.

Figura 10 – Modos de ruptura segundo a Teoria de Johansen.



Fonte: Norma Alemã DIN1052.

Os cálculos das resistências de ligações madeira-madeira com parafusos carregados transversalmente mudaram ao longo do tempo. Isto se deve à percepção de que, além do embutimento da madeira e da flexão do parafuso, existe também a mobilização da resistência ao arrancamento do mesmo (TOMASI et al., 2010).

As especificações contidas na norma EN1995-1-1 (também relacionadas às rupturas da Figura 10), para a resistência característica transversal de uma ligação madeira-madeira com a utilização de parafusos, deve ser o valor mínimo encontrado pelas seguintes expressões:

a) para parafusos submetidos a corte simples:

$$F_a = f_{h,1,k} t_1 d \quad (1)$$

$$F_b = f_{h,2,k} t_2 d \quad (2)$$

$$F_c = \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (3)$$

$$F_d = 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} t_1^2 d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (4)$$

$$F_e = 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} t_2^2 d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (5)$$

$$F_f = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (6)$$

com

$$F_{v,Rk} = \min\{F_a; F_b; F_c; F_d; F_e; F_f\},$$

$$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k},$$

b) para parafusos submetidos a corte duplo:

$$F_g = f_{h,1,k} t_1 d \quad (7)$$

$$F_h = 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \quad (8)$$

$$F_i = 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} t_1^2 d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (9)$$

$$F_j = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \quad (10)$$

com

$$F_{v,Rk} = \min\{F_g; F_h; F_i; F_j\},$$

$$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k},$$

sendo

$f_{h,i,k}$  a resistência característica ao embutimento na madeira i, com i igual a 1 ou 2 (N/mm<sup>2</sup>);

$t_i$  a largura da madeira ou a profundidade de penetração da rosca do parafuso no membro i (mm);

$d$  o diâmetro nominal do parafuso (mm);

$\beta$  a razão entre as resistências características ao embutimento dos membros 2 e 1;

$M_{y,Rk}$  o momento característico de plastificação do parafuso (N.mm);

$F_{ax,Rk}$  a resistência característica ao arrancamento do parafuso (N);

$F_{i/j}$  a resistência característica transversal por plano de cisalhamento por parafuso, com i ou j variando de (a) a (f) para corte simples e de (g) a (j) para corte duplo (N);

$F_{v,Rk}$  a resistência característica transversal da ligação por plano de cisalhamento por parafuso (N).

Como apresentado na norma EN1995-1-1, o primeiro termo do lado direito das equações 3 a 6, 9 e 10, é a resistência transversal de acordo com Johansen (1949). Por sua vez, o segundo termo  $F_{ax,Rk}/4$ , nas mesmas equações, é devido à contribuição do efeito de corda, o qual corresponde à redistribuição dos esforços no parafuso (mobilização da resistência ao arrancamento). Tomasi et al. (2010) apontam que tal termo pode ser reescrito como  $\mu \cdot F_{ax,Rk}$ , tomando-se  $\mu = 0,25$ .

Segundo a norma EN1995-1-1, a contribuição da resistência transversal devida ao efeito de corda (apenas para parafusos) deve ser considerada como 100% em relação à parte de Johansen, ou seja, o segundo termo do lado direito das equações citadas deve ser igual a  $1,00 \cdot F_{ax,Rk}/4$ .

### 2.5.2 Esforços axiais

Os esforços axiais são paralelos ao eixo do parafuso e são aqueles que tendem a alongá-los ao longo do comprimento (Figura 11). Um dos primeiros estudos com parafusos solicitados axialmente foi realizado por Fairchild (1926), o qual realizou mais de 10.000 ensaios com diversas espécies de madeiras. O autor descreveu diferentes variáveis envolvidas, como o diâmetro de pré-furação, os tipos de rachadura da madeira e as dimensões e tipos de acabamento dos parafusos.

Figura 11 – Parafuso submetido a esforço axial.



Fonte: Catálogo de produtos da empresa Rothoblaas (2017).

Ramskill (2002) definiu que, em uma ligação de estrutura de madeira realizada com parafusos submetidos a esforços axiais, a ruptura pode ocorrer por tração no parafuso ou pelo rompimento das fibras da madeira acomodadas entre as roscas do mesmo. Por sua vez, as fibras da madeira podem falhar por cisalhamento, compressão, embutimento ou uma combinação destes modos (RAMSKILL, 2002).

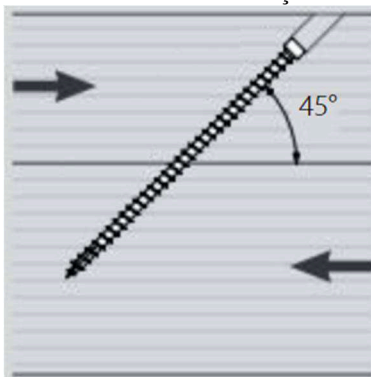
As especificações de cálculo para determinar a resistência ao arrancamento de parafusos, tendo em vista sua importância para este

estudo, serão apresentadas no Item 2.6.4 (existentes na literatura) e no Seção 2.7 (compreendidas nas normas).

### 2.5.3 Combinação de esforços transversais e axiais

Se a ligação estiver submetida a esforços transversais e axiais (Figura 12), deve-se verificar a resistência da ligação para a atuação simultânea de ambos os esforços.

Figura 12 – Parafuso submetido a esforço transversal e axial.



Fonte: Catálogo de produtos da empresa Rothoblaas (2017).

A norma EN1995-1-1 especifica que, para ligações parafusadas, a equação 11 deve ser respeitada:

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (11)$$

sendo

$F_{ax,Ed}$  o esforço axial solicitante de projeto (N);

$F_{ax,Rd}$  a resistência ao arrancamento de projeto (N);

$F_{v,Ed}$  o esforço transversal solicitante de projeto (N);

$F_{v,Rd}$  a resistência transversal de projeto (N).

## 2.6 FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO

As principais variáveis que influenciam a resistência ao arrancamento de parafusos inseridos em peças de madeira são: as

propriedades da madeira; o tamanho e a forma da peça; o teor de umidade; a massa específica; o diâmetro e o comprimento de penetração da rosca do parafuso; o diâmetro de pré-furação; a velocidade de aplicação da carga durante o ensaio; as alterações nas propriedades da madeira ou do parafuso durante o tempo compreendido entre a sua inserção e o ensaio; a direção das fibras da madeira em relação ao eixo do parafuso bem como a temperatura do ensaio, sendo alguns destes fatores discutidos a seguir (CORREIA, 2002; DUARTE, 2004).

### **2.6.1 Teor de umidade da madeira**

Apesar de existirem poucos estudos que relacionam o teor de umidade da madeira com a resistência ao arrancamento, Cockrell (1933) determinou as resistências de parafusos inseridos em diversos tipos de madeiras, entre elas espécies com densidades altas e baixas. O autor demonstrou que a resistência ao arrancamento diminui quando o teor de umidade aumenta.

Por sua vez, Horvath et al. (2008) analisaram a influência do teor de umidade na resistência ao cisalhamento de três diferentes espécies de madeira. Os autores concluíram que, quando o teor de umidade aumenta, a resistência ao cisalhamento diminui.

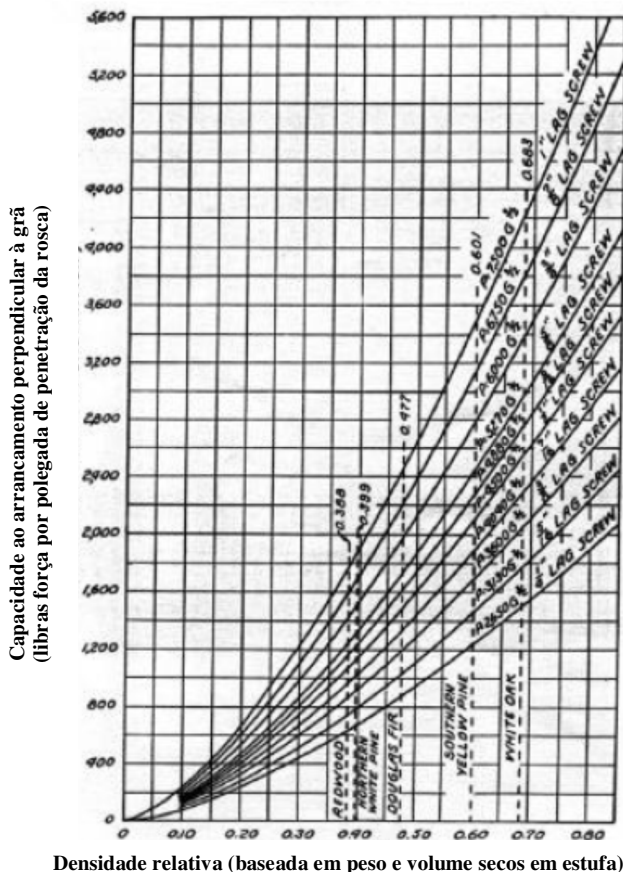
Sendo a resistência ao arrancamento uma medida indireta da resistência ao cisalhamento (fibras da madeira solicitadas pela rosca do parafuso), observa-se que Cockrell (1933) e Horvath et. (2008) tiveram conclusões similares: as resistências que os autores analisaram foram reduzidas quando o teor de umidade da madeira foi aumentado.

### **2.6.2 Massa específica da madeira**

Dentre as propriedades que caracterizam a madeira, a massa específica é o melhor parâmetro para analisar a resistência ao arrancamento dos parafusos (NEWLIN e GAHAGAN, 1938). No estudo de Newlin e Gahagan (1938), os autores concluíram que a resistência ao arrancamento é diretamente proporcional à massa específica da madeira. Para obterem tal conclusão, testaram parafusos sextavados com rosca soberba de diversos diâmetros e em diferentes espécies de madeira. Os resultados são apresentados em um gráfico com curvas exponenciais (Figura 13) – distintas para cada tamanho de parafuso.



Figura 13 – Resistência ao arrancamento perpendicular à grã em função da densidade relativa da madeira e do diâmetro do parafuso.



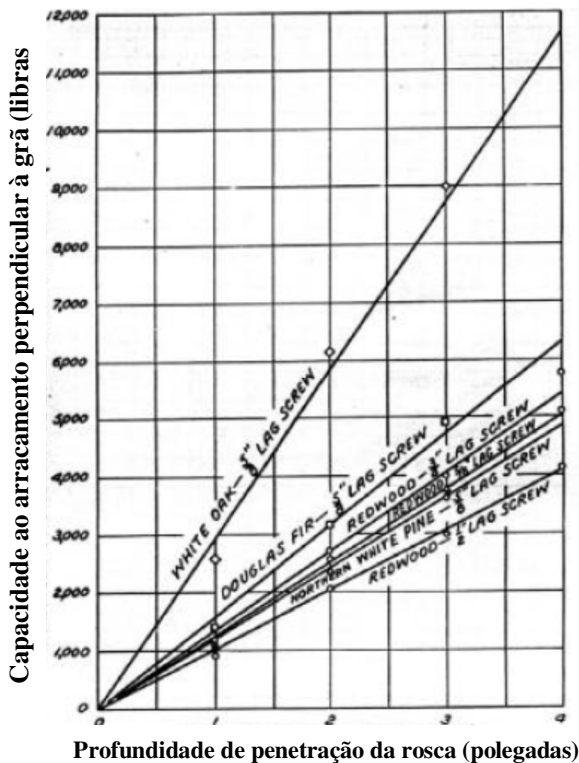
Fonte: Newlin e Gahagan (1938).

### 2.6.3 Comprimento de penetração da rosca

A influência do comprimento de penetração da rosca na resistência ao arrancamento de parafusos sextavados com rosca soberba (Figura 14) também foi estudada por Newlin e Gahagan (1938). Os autores constataram que, quanto maior a profundidade de penetração da rosca do parafuso, maior a resistência ao arrancamento executada pelo mesmo, sendo a relação entre eles descrita de forma linear. Estas

relações lineares permitem caracterizar a resistência ao arrancamento como uma força por unidade de comprimento de rosca inserida na madeira.

Figura 14 – Resistência ao arrancamento perpendicular à grã em função do comprimento de penetração da rosca, da espécie da madeira e do diâmetro do parafuso.



Fonte: Newlin e Gahagan (1938).

Hübner et al. (2010), observando a influência do comprimento efetivo da rosca bem como da localização da ponta do parafuso, obtiveram um fator de redução de  $1,11d$  (onde  $d$  é o diâmetro do parafuso) ao comprimento nominal da rosca inserida (Seção 2.6.4), para casos em que a ponta do parafuso está embutida na madeira. Os autores constataram que, como Newlin e Gahagan (1938), a relação entre a profundidade da rosca inserida e a resistência ao arrancamento do parafuso é dada de forma linear.

## 2.6.4 Direção das fibras da madeira em relação ao eixo do parafuso

A influência da direção das fibras da madeira na resistência ao arrancamento foram estudadas por Blass et al. (2006). Eles realizaram ensaios de arrancamento em madeira de abeto-falso (*Picea abies*) com massa específica média de 452 kg/m<sup>3</sup> e variaram os ângulos de aplicação entre 0° e 90° (com incrementos de 15°). Os autores concluíram que a direção das fibras da madeira influencia na resistência ao arrancamento do parafuso, sendo este fato representado na equação 12, a qual serviu como base para as especificações da norma europeia EN1995-1-1.

$$R_{ax,k} = \frac{0,52d^{0,5}l_{ef}^{0,9}\rho_k^{0,8}}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (12)$$

sendo

$d$  o diâmetro nominal do parafuso (mm);

$l_{ef}$  a profundidade de penetração da rosca (mm);

$\rho_k$  a massa específica característica da madeira (kg/m<sup>3</sup>);

$\alpha$  o ângulo entre o eixo do parafuso e a grã (°), sendo  
30° ≤ α ≤ 90°;

$R_{ax,k}$  a resistência característica ao arrancamento (N).

Hübner et al. (2010) tinham por objetivo validar as equações de Blass et al. (2006). O estudo que foi desenvolvido com uma espécie de baixa densidade (*Picea abies*). Para tal, analisaram o comportamento da resistência ao arrancamento de parafuso aplicado em madeira de freixo (*Fraxinus excelsior L.*) com massa específica média de 746 kg/m<sup>3</sup>. Os autores também variaram o ângulo de inserção (0° a 90° com incrementos de 15°), o diâmetro (4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm e 20 mm), o comprimento de penetração da rosca (4d, 6d e 8d, onde d é o diâmetro), bem como a localização da ponta (embutida ou fora da madeira).

A conclusão de Hübner et al. (2010) é de que o ângulo de inserção do parafuso altera a resistência característica ao arrancamento (teórica) somente quando são utilizados ângulos menores de 30°. As equações 13 e 14 representam as conclusões obtidas por Hübner et al. (2010):

$$R_{ax,\alpha,k} = 1,42 \cdot 10^{-3} l_{ef}^{0,94} \rho_k^{1,7} d^{0,65}, \text{ para } \alpha \geq 30^\circ \quad (13)$$

$$R_{ax,\alpha,k} = 1,42 \cdot 10^{-3} l_{ef}^{0,94} \rho_k^{1,7} d^{0,65} (1 - 0,01(30^\circ - \alpha)), \quad (14)$$

para α ≤ 30°

com

$$l_{ef} = l_{nom} - 1,11d$$

caso a ponta do parafuso esteja embutida na madeira,

sendo

- $l_{ef}$  o comprimento efetivo do parafuso (mm);  
 $\rho_k$  a densidade característica da madeira (kg/m<sup>3</sup>);  
 $d$  o diâmetro do parafuso (mm);  
 $\alpha$  o ângulo entre o eixo do parafuso e a orientação das fibras (°);  
 $l_{nom}$  o comprimento nominal do parafuso (mm);  
 $R_{ax,\alpha,k}$  a resistência característica ao arrancamento com um ângulo  $\alpha$  entre o eixo do parafuso e a direção da grã (N).

## 2.7 PRESCRIÇÕES DE CÁLCULO NORMATIVAS PARA AS RESISTÊNCIAS CARACTERÍSTICAS AO ARRANCAMENTO

As diferentes prescrições para determinar as resistências características ao arrancamento teóricas, relativas às normas EN1995-1-1 e DIN1052, estão representadas nos Quadros 2 e 3, respectivamente. Elas são baseadas nos parâmetros: densidade característica da madeira, diâmetro do parafuso, comprimento de penetração da rosca e do ângulo entre o eixo do parafuso e a orientação das fibras da madeira.

Destaca-se principalmente que o intervalo angular especificado pela EN1995-1-1 ( $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ ) é maior que o apresentado pela DIN1052 ( $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ ). Também se observa que a EN1995-1-1 possui equações distintas (15 ou 16) para diferentes diâmetros de parafuso (ao passo que a DIN1052 não possui especificação para tal). Entretanto, a DIN1052 limita as especificações de cálculo da resistência característica ao arrancamento para massas específicas características menores ou iguais a 500 kg/m<sup>3</sup>.

Quadro 2 – Prescrições para o cálculo da resistência característica ao arrancamento teórica pela norma EN1995-1-1.

Tipo de parafuso	Ângulo de inserção	Massa específica	Diâmetro do parafuso	Cálculo teórico especificado pela norma
Com rosca	$30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	Não específica	$6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$ $0,60 \leq d_1/d \leq 0,75$ sendo $d_1$ : o diâmetro interno da rosca; $d$ : o diâmetro externo da rosca.	$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d l_{ef} k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (15)$ com $f_{ax,k} = 0,52 d^{-0,5} l_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8}$ $k_d = \min\{d/8; 1\}$ $n_{ef} = n^{0,9}$ sendo $d$ : o diâmetro nominal do parafuso (mm); $f_{ax,k}$ : a tensão característica ao arrancamento perpendicular às fibras (N/mm <sup>2</sup> ); $n$ : o número de parafusos agindo simultaneamente na ligação; $n_{ef}$ : o número de parafusos efetivos na ligação. Neste estudo $n = 1$ ; $l_{ef}$ : a profundidade de penetração da rosca (mm); $\rho_k$ : a massa específica característica da madeira (kg/m <sup>3</sup> ); $\alpha$ : o ângulo entre o eixo do parafuso e a grã (°); $F_{ax,\alpha,Rk}$ : a resistência característica ao arrancamento (N).

Tipo de parafuso	Ângulo de inserção	Massa específica	Diâmetro do parafuso	Cálculo teórico especificado pela norma
Com rosca	$30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	Não específica	Diferentes das especificações citadas acima	$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d_{ef}}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8} \quad (16)$ <p>sendo</p> <p><math>f_{ax,k}</math>: a tensão característica ao arrancamento perpendicular às fibras. É determinada de acordo com a norma EN14592 para a massa específica associada <math>\rho_a</math> (N/mm<sup>2</sup>);</p> <p><math>\rho_a</math>: é a massa específica associada para <math>f_{ax,k}</math> (kg/m<sup>3</sup>);</p> <p>E as demais variáveis são iguais as citadas acima.</p>

Fonte: autoria própria (2017).

Quadro 3 – Prescrições para o cálculo da resistência característica ao arrancamento teórica pela norma DIN1052.

Tipo de parafuso	Ângulo de inserção	Massa específica	Diâmetro do parafuso	Cálculo teórico especificado pela norma
Com rosca	$45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	Não específica	$R_{ax,k} = \frac{f_{1,k} l_{ef} d}{\text{sen}^2 \alpha + \frac{4}{3} \text{cos}^2 \alpha} \quad (17)$ <p>com</p> $f_{1,k} = 80 \cdot 10^{-6} \rho_k^2 \text{ para parafusos autoatarraxantes}$ <p>sendo</p> <p><math>f_{1,k}</math>: a tensão característica ao arrancamento do parafuso na direção perpendicular às fibras (N/mm<sup>2</sup>);</p> <p><math>l_{ef}</math>: a profundidade de penetração da rosca (mm);</p> <p><math>d</math>: o diâmetro nominal do parafuso (mm);</p> <p><math>\alpha</math>: o ângulo entre o eixo do parafuso e a grã (°);</p> <p><math>R_{ax,k}</math>: a resistência característica ao arrancamento do parafuso (N).</p>

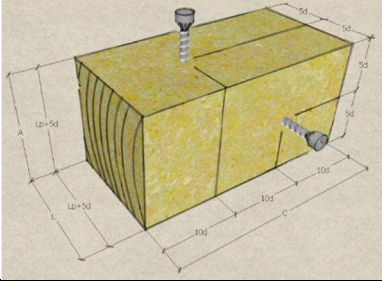
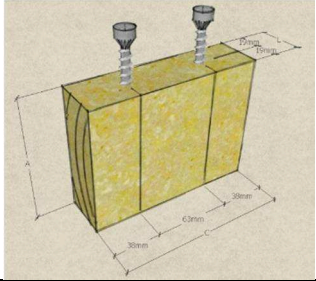
Fonte: autoria própria (2017).

## 2.8 DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSOS AUTOATARRAXANTES

Não existe norma brasileira para a determinação da resistência ao arrancamento de parafusos autoatarraxantes, porém a norma europeia EN1382(1999) e a norma internacional ASTM-D-1761(2012) tratam desse assunto. As especificações técnicas contidas nas normas citadas estão resumidas no Quadro 4. A diferença mais notória entre as normas é o tamanho do CP, sendo o especificado pela EN1382, maior que o caracterizado pela ASTM-D-1761. Outra característica apresentada pela EN1382 (diferentemente da ASTM-D-1761) é que, no mesmo CP, são inseridos um parafuso na direção radial e outro na tangencial.



Quadro 4 – Especificações normativas para a determinação experimental da resistência ao arrancamento.

Especificação	EN1382	ASTM-D-1761
<b>Dimensões mínimas do corpo de prova</b>	$C \times L \times A: (30d) \times (l_p + 5d) \times (l_p + 5d)$	$C \times L \times A$ : suficientes para acomodar os parafusos, entretanto deve-se respeitar os espaçamentos especificados
<b>Espaçamentos entre bordas e parafusos</b>		
<b>Tamanho da amostra</b>	Não especifica	10 corpos de prova
<b>Profundidade de penetração da rosca (<math>l_p</math>)</b>	$8d \leq l_p \leq 20d$ , onde $d$ é o diâmetro do parafuso	$\frac{2}{3} l$ , onde $l$ é o comprimento do parafuso
<b>Pré furação</b>	Não especifica	70% do diâmetro do parafuso
<b>Taxa de aplicação da carga</b>	Suficiente para obtenção da carga máxima em $90 \pm 30$ s	Uniforme de $2,54 \text{ mm/min} \pm 25\%$
<b>Resistência ao arrancamento</b>	Força máxima registrada	Força máxima registrada

Fonte: autoria própria (2017).



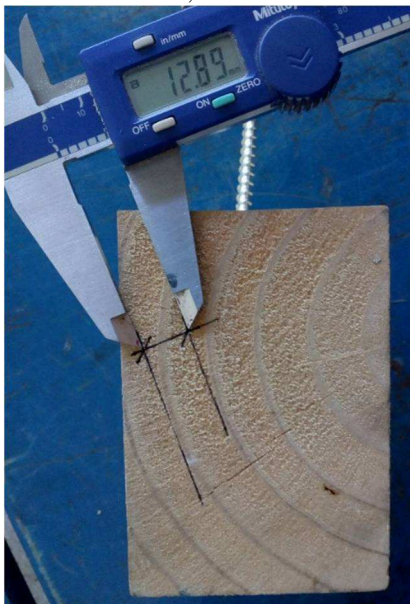
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais e os métodos usados para a obtenção das resistências ao arrancamento experimental e teórica dos parafusos. Os testes foram realizados no Laboratório de Experimentação em Estruturas (LEE), situado no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

#### 3.1 MATERIAIS

Os materiais usados neste estudo foram uma espécie de madeira e dois tipos de parafuso. A espécie de madeira utilizada foi a *Pinus elliottii* com anéis de crescimento que variaram entre 5,0 mm e 13,0 mm (Figura 15). A madeira foi proveniente de florestas plantadas no estado de Santa Catarina e oriunda de classificação visual e de lotes homogêneos.

Figura 15 – CP da madeira utilizada: exemplo onde o anel de crescimento mede 12,9 mm.



Fonte: autoria própria (2017).

Por sua vez, os parafusos eram autoatarraxantes em aço, com rosca contínua (modelo VGZ), da marca italiana Rothoblass. A tensão característica de escoamento e o momento característico de plastificação, informados pela fabricante, eram iguais a  $f_{y,k} = 1.000 \text{ N/mm}^2$  e  $M_{y,k} = 14.174,2 \text{ N.mm}$ , respectivamente. Duas dimensões de parafusos foram usadas (Figura 8):  $7 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$  e  $7 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ , ambos com cabeça cilíndrica do tipo torx e diâmetro de  $9,5 \text{ mm}$ . Os parafusos com a primeira dimensão foram inseridos perpendicularmente ( $\alpha = 90^\circ$ ) no corpo de prova, enquanto os parafusos da segunda dimensão foram inseridos nos demais ângulos ( $30^\circ$ ,  $60^\circ$  e  $75^\circ$ ). A profundidade de penetração da rosca, igual a  $70 \text{ mm}$ , foi a mesma para os dois tipos de parafuso (Seção 3.4).

### 3.2 AMOSTRA

Para avaliar a influência do ângulo de inserção do parafuso na resistência ao arrancamento, foram adotadas quatro configurações angulares:  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$  e  $90^\circ$ . Estes ângulos seguem a mesma analogia apresentada na literatura, tal como Blass et al. (2006) e Tomasi et al. (2010). Ressalta-se que ângulos menores de  $30^\circ$  não foram analisados, pois seguem a mesma semelhança de análise apresentada na literatura. Esse fato é evidenciado na norma NBR7190:1997, que não recomenda a inserção de parafusos de forma paralela ( $\alpha = 0^\circ$ ) à grã da madeira.

Para cada ângulo de inserção, foram usados 12 corpos de prova (CP), quantidade que atende às exigências da norma ASTM-D-1761, a qual especifica um número mínimo de 10 CP (Quadro 4). A amostra e suas características encontram-se representadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Amostra e suas principais características.

Configuração angular ( $^\circ$ )	Qdade de CP	Massa específica média ( $\text{kg/m}^3$ )	Desvio padrão das massas específicas ( $\text{kg/m}^3$ )	Teor de umidade (%)
30	12	449	44	14,58
60	12	444	46	14,48
75	12	451	46	14,83
90	12	454	45	14,84
Total global	48	450	44	14,59

Fonte: autoria própria (2017).

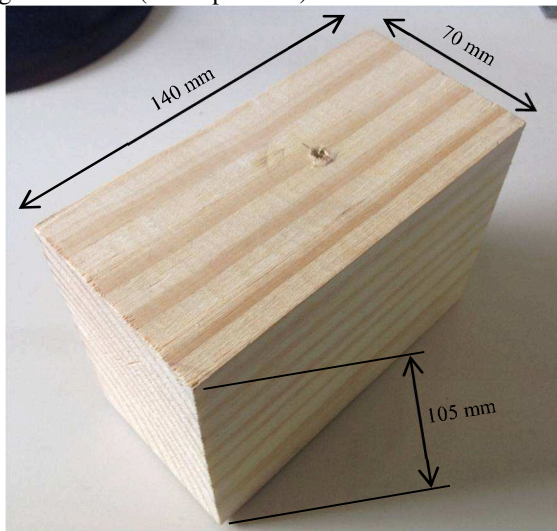
As normalidades relativas às massas específicas aparentes (Seção 3.11) permitiram analisar as médias das massas específicas aparentes pelo teste ANOVA (WALPOLE et al., 2016). A igualdade entre as médias das massas específicas aparentes confirmou a homogeneidade estatística da amostra. Assim sendo, pôde-se comparar os valores das resistências experimentais ao arrancamento determinadas para os quatro ângulos de inserção do parafuso.

Por sua vez, a profundidade de penetração da rosca e o diâmetro do parafuso, por terem sido iguais para todos os CP da amostra, permitem descartar a influência (Seção 2.6) dos mesmos na resistência experimental ao arrancamento.

### 3.3 CORPOS DE PROVA

As dimensões dos CP, obtidas a partir das dimensões do parafuso autoatarraxante, foram estabelecidas conforme a norma EN1382 (Quadro 4). Os CP foram confeccionados nas dimensões de 140 mm de comprimento, 70 mm de largura e 105 mm de altura (Figura 16).

Figura 16 – CP (sem o parafuso) e suas dimensões nominais.



Fonte: autoria própria (2017).

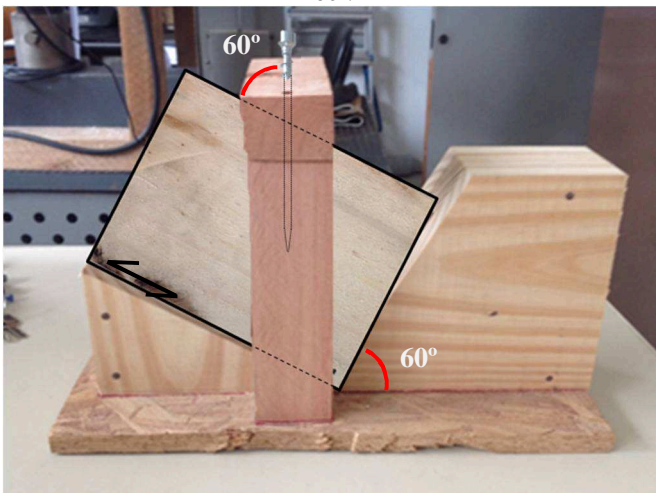
A norma EN1382 determina que, no mesmo CP, sejam inseridos dois parafusos: um na direção tangencial e outro na direção radial da grã da madeira (Quadro 4). Neste estudo foi realizada, em cada CP, a inserção de apenas um parafuso por dois fatores:

- a) na dificuldade em distinguir essas orientações nos CP usados nesse estudo;
- b) em Rosa et al. (2016), onde os autores analisaram 32 corpos de prova submetidos ao arrancamento de parafusos autoatarraxantes e produzidos com as espécies *Pinus elliottii* e *Hymenolobium petraeum*. Os ensaios foram realizados com a aplicação de dois parafusos em um mesmo corpo de prova, porém foram obtidos resultados estatisticamente equivalentes com relação às resistências ao arrancamento obtidas pelas direções tangencial e radial (nas duas espécies escolhidas).

### 3.4 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram preparados com o auxílio de gabaritos de 30°, 60°, 75° e 90°, os quais visavam garantir a precisão do ângulo de inserção dos parafusos. Estes gabaritos foram confeccionados na marcenaria do LEE com a utilização de sobras de madeira e de chapas de OSB (*Oriented Strand Board*) (Figura 17).

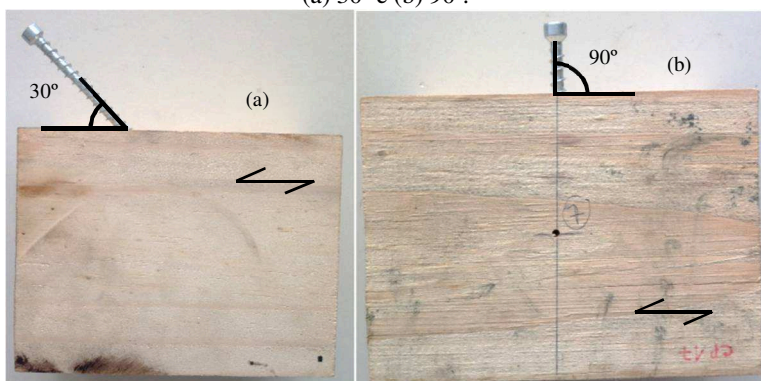
Figura 17 – Gabarito para inserção do parafuso no CP: ângulo de inserção de 60°.



Fonte: autoria própria (2017).

Os gabaritos permitiram o bloqueio do CP à rotação durante a inserção do parafuso e a correta aplicação angular (Figura 18a e 18b). Os gabaritos também garantiram que a mesma profundidade de penetração da rosca fosse aplicada em todos os CP.

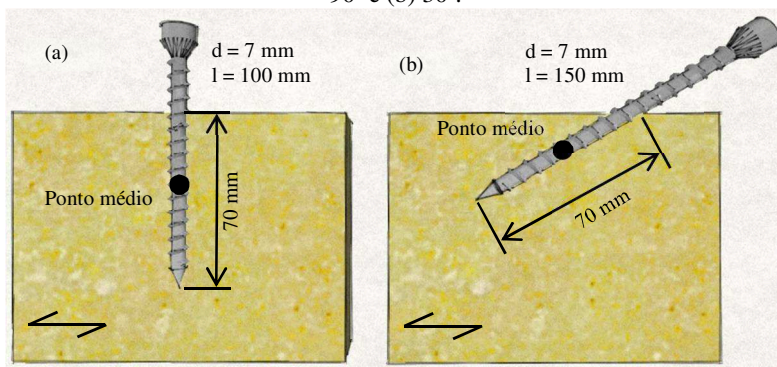
Figura 18 – CP e as inclinações do parafuso com relação à grã:  
(a) 30° e (b) 90°.



Fonte: autoria própria (2017).

Para todas as angulações, a rosca do parafuso teve 70 mm do seu comprimento inserido no interior do CP, conforme ilustrado nas Figuras 19a e 19b.

Figura 19 – Posição do parafuso no CP para as configurações angulares de: (a) 90° e (b) 30°.



Fonte: autoria própria (2017).

Os parafusos foram inseridos sem a pré-furação, devida à forma de inserção deste tipo de parafuso se comportar bem frente à baixa densidade da espécie de madeira utilizada. A ferramenta utilizada para a aplicação e a retirada dos parafusos, antes e depois dos ensaios, foi uma parafusadeira com controle de torque (reversível) e velocidade variável.

### 3.5 ENSAIO DE ARRANCAMENTO

Os ensaios de arrancamento foram realizados em uma máquina universal de ensaios mecânicos da marca Kratos com célula de registro de carga de 200 kN (Figura 20). A máquina possui um sistema de aquisição dados de força e de deslocamento, permitindo a construção de gráficos força-deslocamento. Para a fixação do CP na posição que permitisse a aplicação da carga de arrancamento com o ângulo desejado em relação às fibras da madeira, foram usinados suportes em aço SAE 1020 (Figura 21).

Os suportes de aço foram constituídos em duas partes:

- suporte superior (Figura 22a): foi fabricado de forma a segurar apenas a cabeça do parafuso;
- suporte inferior (Figura 22b): diferentes para cada configuração angular, foram usinados de forma a bloquear os CP. A abertura de 21 mm (3 vezes o diâmetro do parafuso) garante que o parafuso seja arrancado sem influência do próprio suporte na resistência experimental ao arrancamento.

A taxa de aplicação da carga foi de 1,9 mm/min e o início do seu registro foi efetuado a partir de 353 N, valor determinado como aproximadamente 10% da resistência ao arrancamento máxima registrada. O registro a partir desta carga garante a ausência de folgas entre os materiais ensaiados, assegurando assim um gráfico força-deslocamento retilíneo na parte inicial do teste (Seção 3.6).



Figura 20 – Máquina Kratos.



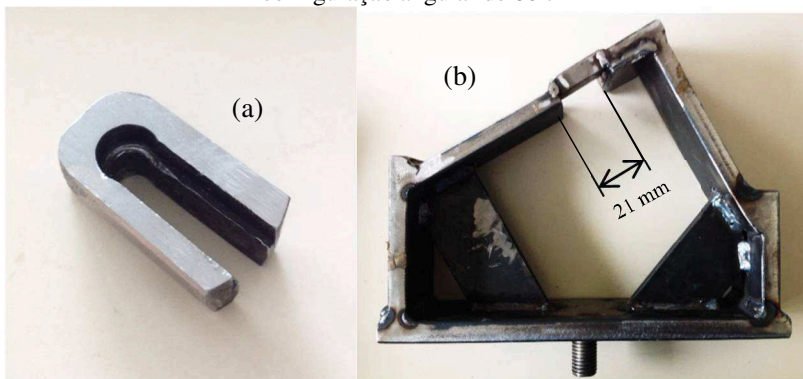
Fonte: autoria própria (2017).

Figura 21 – Suportes de aço para garantir ensaios adequados.



Fonte: autoria própria (2017).

Figura 22 – Suportes de aço: (a) superior e (b) inferior: suporte para configuração angular de 60°.

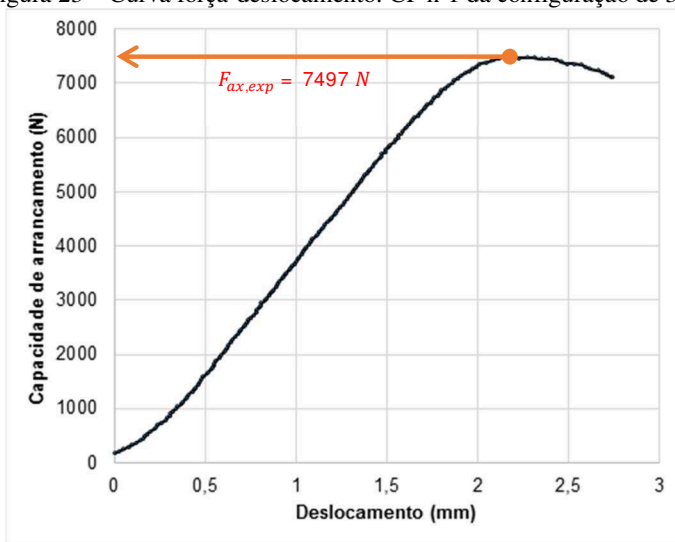


Fonte: autoria própria (2017).

### 3.6 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO EXPERIMENTAL

A resistência ao arrancamento experimental dos parafusos foi determinada a partir do máximo carregamento suportado pelo corpo de prova (Quadro 4), identificado facilmente nas curvas força-deslocamento como exemplifica a Figura 23. Tais resistências foram atingidas no intervalo de  $90 \pm 30$  s, conforme recomenda a norma EN1382 (Quadro 4).

Figura 23 – Curva força-deslocamento: CP n°1 da configuração de 30°.



Fonte: autoria própria (2017).

### 3.7 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA AO ARRANCAMENTO

A resistência característica ao arrancamento, para cada configuração angular, foi calculada por meio da equação 20, a qual corresponde à distribuição de probabilidade estatística de Student (WALPOLE et al., 2016).

$$F_{ax,k} = F_{ax,m} - t \cdot S_n \quad (20)$$

sendo

$F_{ax,m}$  a resistência média ao arrancamento, obtida pela média aritmética das resistências experimentais ao arrancamento (N);

$t$  o coeficiente t de Student, tabelado de acordo o tipo de análise, nível de confiança e grau de liberdade. Neste estudo  $t = 1,796$  (igualmente determinado no cálculo da massa específica característica da madeira);

$S_n$  o desvio padrão amostral, obtido das resistências experimentais ao arrancamento (N);

$F_{ax,k}$  a resistência característica ao arrancamento (N).

### 3.8 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE

A massa específica aparente dos corpos de prova foi calculada por meio da equação 21. Para determinar a massa e as dimensões reais, os mesmos foram pesados com balança de precisão e medidos com paquímetro. Tais medidas foram realizadas logo após o ensaio de arrancamento e a remoção do parafuso autoatarraxante.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ap}}{C_{real} \times L_{real} \times A_{real}} \quad (21)$$

sendo

$m_{ap}$  a massa aparente (g);

$C_{real}$  o comprimento real (cm);

$L_{real}$  a largura real (cm);

$A_{real}$  a altura real (cm);

$\rho_{ap}$  a massa específica aparente experimental (g/cm<sup>3</sup>).

### 3.9 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA CARACTERÍSTICA

A massa específica característica é um dos parâmetros de cálculo para determinar as resistências teóricas ao arrancamento (equações 15 a 17). Elas foram calculadas por meio da equação 22 (Seção 4.2), para cada amostra, a qual corresponde à distribuição de probabilidade estatística de Student (WALPOLE et al., 2016).

$$\rho_k = \rho_{ap,m} - t \cdot S_n \quad (22)$$

sendo

$\rho_{ap,m}$  a massa específica aparente média, obtida pela média aritmética das massas específicas aparentes experimentais ( $\text{g/cm}^3$ );

$t$  o coeficiente t de Student, tabelado de acordo o tipo de análise, nível de confiança e grau de liberdade. Visto que neste estudo tem-se uma análise unicaudal, nível de confiança de 95% e grau de liberdade igual a  $n - 1 = 11$  (onde  $n$  é o tamanho amostral de cada configuração angular),  $t = 1,796$ ;

$S_n$  o desvio padrão amostral, obtido das massas específicas aparentes experimentais ( $\text{g/cm}^3$ );

$\rho_k$  a massa específica característica ( $\text{g/cm}^3$ ).

### 3.10 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DOS CORPOS DE PROVA

Os teores de umidade dos CP foram determinados pela equação 23, a qual é definida no Anexo B da NBR7190:1997. As massas inicial e final (seca) foram determinadas por meio da pesagem em balança de precisão. A massa inicial foi determinada logo após o ensaio e a remoção do parafuso dos CP. Após esta primeira pesagem, foi realizado o processo de secagem dos CP em uma estufa (Figura 24), com temperatura constante de  $100 \pm 2$  °C. A massa da madeira seca foi determinada após, aproximadamente 24 horas, do final do ensaio de arrancamento. Este tempo foi, segundo o Anexo B da NBR7190:1997, suficiente para encontrar a estabilidade das massas das madeiras secas em estufa.

$$U = \frac{m_i - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (23)$$

sendo

$m_i$  a massa inicial da madeira (g);

$m_s$  a massa da madeira seca em estufa (g);

$U$  o teor de umidade experimental (%).

Figura 24 – Estufa utilizada para determinar os teores de umidade.



Fonte: autoria própria (2017).

### 3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As análises estatísticas foram realizadas por meio dos *softwares* Assistat 7.7 e Action Stat 3.1, para todos os valores obtidos experimentalmente, com um nível de 5% de significância. Inicialmente foram analisadas as massas específicas aparentes e, posteriormente, as resistências ao arrancamento.

As normalidades das massas específicas aparentes foram todas confirmadas, para cada ângulo de inserção, através de dois testes de normalidade muito comuns na estatística: Anderson-Darling (ANDERSON e DARLING, 1952) e Kolmogorov-Smirnov (SMIRNOV, 1948). Após essa etapa foi confirmada, entre os diferentes ângulos de inserção do parafuso, a igualdade das variâncias das massas específicas aparentes através do teste de Bartlett (BARTLETT, 1937). Por fim, as médias das massas específicas aparentes, determinadas para cada configuração angular, foram igualadas por meio do teste de análise de variância (ANOVA) (WALPOLE et al., 2016).

A igualdade entre as médias das massas específicas aparentes permitiu classificar a amostra como estatisticamente homogênea. Sendo a amostra assim classificada, partiu-se para as análises estatísticas das resistências ao arrancamento.

O procedimento realizado foi igual ao apresentado para as massas específicas aparentes. Inicialmente, todas as normalidades das resistências ao arrancamento (obtidas para cada configuração angular) foram verificadas através dos testes de Anderson-Darling (ANDERSON e DARLING, 1952) e Kolmogorov-Smirnov (MASSEY, 1951). Após

esta etapa, foi realizada a verificação das igualdades das variâncias entre os diferentes ângulos de inserção através do teste de Bartlett (BARTLETT, 1937). Por fim, as resistências ao arrancamento obtidas para cada configuração angular tiveram suas médias comparadas por meio do teste de análise de variância (ANOVA) (WALPOLE et al., 2016).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

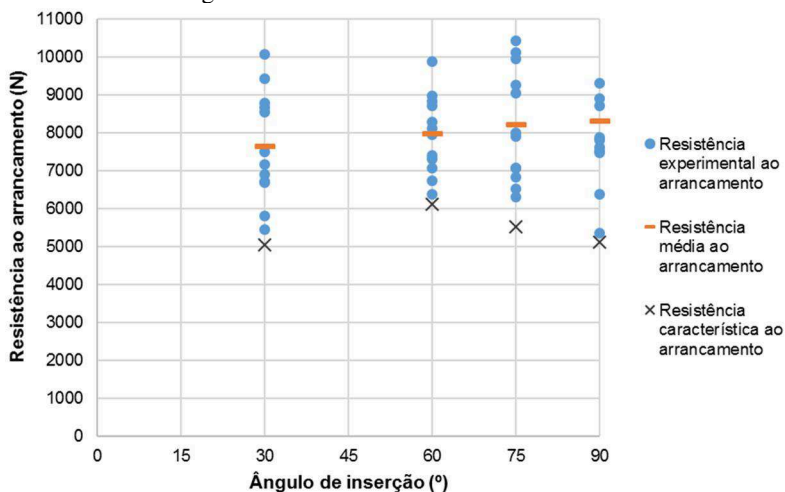
Este capítulo está organizado em duas partes. Na primeira parte, apresentar-se-ão as resistências experimentais ao arrancamento e efetuar-se-á a comparação das resistências médias ao arrancamento, entre as diferentes configurações angulares, a fim de se determinar a influência do ângulo de inserção na resistência ao arrancamento desempenhada pelo parafuso.

Na segunda parte, inicialmente, demonstrar-se-á o cálculo das resistências características ao arrancamento teóricas. Em seguida, comparar-se-ão as resistências experimentais ao arrancamento com as resistências teóricas ao arrancamento fornecidas pela literatura.

### 4.1 RESISTÊNCIAS AO ARRANCAMENTO EXPERIMENTAIS

As resistências experimentais, médias e características, para todas as configurações angulares, encontram-se representadas na Figura 25. Ressalta-se que as massas específicas médias e seus respectivos desvios padrões, relativos a cada configuração angular, encontram-se na Seção 3.2.

Figura 25 – Resistências ao arrancamento.



Fonte: autoria própria (2017).

O teste de comparação de médias ANOVA (WALPOLE et al.,2016) demonstrou que não há diferenças estatisticamente significativas entre as resistências médias ao arrancamento, indicando que o ângulo de inserção do parafuso não influencia na resistência ao arrancamento da espécie de madeira utilizada neste estudo. Esse comportamento também foi observado por Hübner et al. (2010) para ângulos iguais ou superiores a 30° (equação 13). Ressalta-se que Hübner et al. (2010) utilizaram uma espécie mais densa que a usada neste estudo, com massas específicas médias iguais a 746 kg/m<sup>3</sup> e 450kg/m<sup>3</sup> (Tabela 1), respectivamente.

Contrariamente à constatação obtida pelo teste ANOVA (WALPOLE et al.,2016) e por Hübner et al. (2010 p), as normas EN1995-1-1 e DIN1052 consideram que existe diferença entre as resistências ao arrancamento para distintos ângulos de inserção do parafuso. A espécie de madeira utilizada por Blass et. al. (2006), precursores das especificações da EN1995-1-1, possuía massa específica média igual a 452 kg/m<sup>3</sup>, ou seja, valor muito semelhante à massa específica média da espécie utilizada neste estudo e igual a 450 kg/m<sup>3</sup>.

Tal discordância pode ser justificada pelo fato de que somente a massa específica não é suficiente para caracterização do tecido lenhoso da madeira. Na Europa, as espécies de coníferas apresentam crescimento lento e, conseqüentemente, um tecido lenhoso com anéis de crescimento mais estreitos entre os da primavera-verão (mais claro) e de outono-inverno (mais escuro). Por sua vez, o crescimento desigual (rápido na primavera-verão e lento no outono-inverno) da espécie *Pinus elliottii* no Brasil, resulta em anéis de crescimento mais largos. Como já citado na Seção 3.1, os anéis de crescimento da espécie de madeira estudada variaram entre 5,0 mm e 13,0 mm de espessura.

Assim sendo, sugere-se que estudos futuros utilizem outras espécies de madeira e englobem uma amostra maior, com parafusos de diferentes diâmetros ( $d$ ) e comprimentos de rosca inseridos ( $l_{ef}$ ), a fim de verificar se o ângulo de inserção realmente não influencia na resistência ao arrancamento do parafuso.

## 4.2 RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO

### 4.2.1 Cálculo da resistência característica ao arrancamento teórica

Abaixo, foi exemplificado como as resistências características ao arrancamento teóricas foram determinadas para o ângulo de inserção



igual a  $60^\circ$ . Sendo  $d = 7,0 \text{ mm}$ ,  $l_{ef} = 70,0 \text{ mm}$  e  $\alpha = 60^\circ$ , tem-se que pela equação 22:

$$\rho_k = \rho_{ap,m} - t \cdot S_n = 444 - 1,796 \cdot 46 \rightarrow \rho_k = 361 \text{ kg/m}^3$$

a) Blass et al. (2006) – equação 12:

$$R_{ax,k} = \frac{0,52d^{0,5}l_{ef}^{0,9}\rho_k^{0,8}}{1,2\cos^2\alpha + \sin^2\alpha} = \frac{0,52 \cdot 7,0^{0,5} \cdot 70,0^{0,9} \cdot 361^{0,8}}{1,2\cos^2 60^\circ + \sin^2 60^\circ}$$

$$\therefore R_{ax,k} = \mathbf{6669 \text{ N}}$$

b) Hübner et al. (2010) – equação 13 ( $\alpha = 30^\circ$ ) e suas variáveis:

$$l_{ef} = l_{nom} - 1,11d = 70,0 - 1,11 \cdot 7,0 \rightarrow l_{ef} = 62,2 \text{ mm}$$

$$R_{ax,\alpha,k} = 1,42 \cdot 10^{-3} l_{ef}^{0,94} \rho_k^{1,7} d^{0,65}$$

$$\therefore R_{ax,60,k} = 1,42 \cdot 10^{-3} \cdot 62,2^{0,94} \cdot 361^{1,7} \cdot 7,0^{0,65}$$

$$\therefore R_{ax,60,k} = \mathbf{5444 \text{ N}}$$

c) EN1995-1-1 – equação 15 (o parafuso usado atende às especificações diamétricas apresentadas no Quadro 2) e suas variáveis:

$$f_{ax,k} = 0,52d^{-0,5}l_{ef}^{-0,1}\rho_k^{0,8} = 0,52 \cdot 7,0^{-0,5} \cdot 70,0^{-0,1} \cdot 361^{0,8}$$

$$\therefore f_{ax,k} = 14,3 \text{ N/mm}^2$$

$$k_d = \min\{d/8; 1\} = \min\{7,0/8; 1\} = \min\{0,875; 1\}$$

$$\therefore k_d = 0,875$$

$$F_{ax,60,Rk} = \frac{n_{ef}f_{ax,k}dl_{ef}k_d}{1,2\cos^2\alpha + \sin^2\alpha} = \frac{1,0 \cdot 14,3 \cdot 7,0 \cdot 70,0 \cdot 0,875}{1,2\cos^2 60^\circ + \sin^2 60^\circ}$$

$$\therefore F_{ax,60,Rk} = \mathbf{5835 \text{ N}}$$

d) DIN1052 – equação 16 e suas variáveis:

$$f_{1,k} = 80 \cdot 10^{-6} \rho_k^2 = 80 \cdot 10^{-6} \cdot 361^2 \rightarrow f_{1,k} = 10,4 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{ax,k} = \frac{f_{1,k}l_{ef}d}{\sin^2\alpha + \frac{4}{3}\cos^2\alpha} = \frac{10,4 \cdot 70,0 \cdot 7,0}{\sin^2 60^\circ + \frac{4}{3}\cos^2 60^\circ}$$

$$\therefore R_{ax,k} = \mathbf{4718 \text{ N}}$$

Assim sendo, tem-se as resistências características ao arrancamento teóricas (BLASS et al., 2006; HÜBNER et al., 2010; EN1995-1-1 e DIN1052), para cada configuração angular, representadas na Tabela 2. Tais resistências foram calculadas da mesma forma conforme exemplificado para o ângulo de 60° (destacadas na Tabela 2).

Tabela 2 – Resistências características ao arrancamento teóricas.

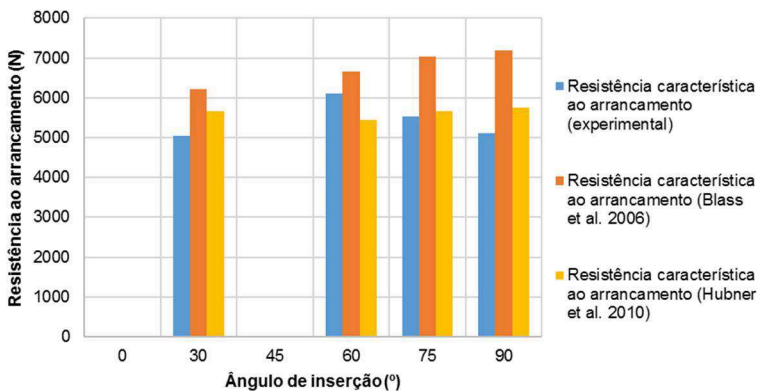
Ângulo de inserção (°)	Resistência característica ao arrancamento (N)			
	<i>Blass et al. (2006)</i>	<i>Hübner et al. (2010)</i>	<i>EN1995-1-1</i>	<i>DIN1052</i>
30	6207	5671	5431	4290
60	<b>6669</b>	<b>5444</b>	<b>5835</b>	<b>4718</b>
75	7036	5658	6157	5231
90	7181	5744	6284	5445

Fonte: autoria própria (2017).

#### 4.3.2. Resistências características ao arrancamento: experimentais e teóricas

A primeira análise da Figura 26 compara as resistências características ao arrancamento experimentais e teóricas (BLASS et al., 2006; HÜBNER et al., 2010).

Figura 26 – Resistências características ao arrancamento experimentais e teóricas: análise 1.

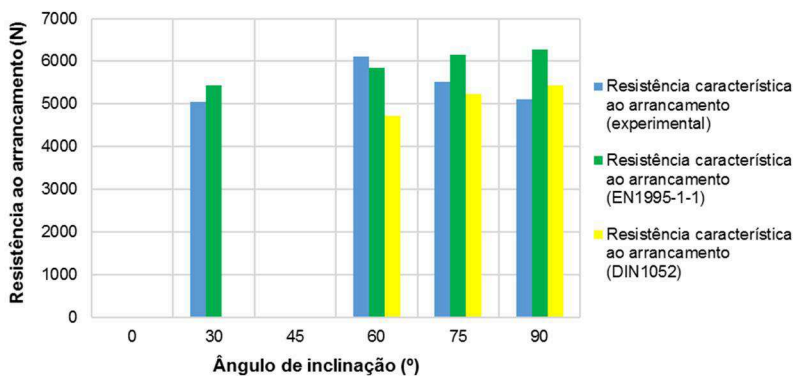


Fonte: autoria própria (2017).

Constata-se que, com exceção do ângulo de 60° para Hübner et al. (2010), todas as resistências características ao arrancamento experimentais são menores que as teóricas (BLASS et al., 2006; HÜBNER et al., 2010). Isso pode levar a um projeto com um nível de segurança menor que o previsto inicialmente pelas normas.

Uma segunda análise é ilustrada na Figura 27, a qual compara as resistências características ao arrancamento experimentais e teóricas definidas pelas normas EN1995-1-1 e DIN1052.

Figura 27 – Resistências características ao arrancamento experimentais e teóricas: análise 2.



Fonte: autoria própria (2017).

Percebe-se que a norma EN1995-1-1 fornece valores de resistência característica ao arrancamento maiores que as obtidas experimentalmente, exceto na configuração angular de 60°. O mesmo acontece com os valores obtidos segundo a norma alemã DIN1052 exceto aqueles obtidos para o ângulo de 90°. Sugere-se que estudos futuros sejam desenvolvidos com outras espécies de madeira, a fim de verificar se essa constatação ocorre também com madeiras diferentes do *Pinus elliottii*.

## 5 CONCLUSÃO

Neste estudo foi avaliada a influência do ângulo de inserção na resistência ao arrancamento de parafuso autoatarraxante com 7 mm de diâmetro. Foram utilizados 48 corpos de prova produzidos com madeira da espécie *Pinus elliottii* e cujos ângulos de aplicação do parafuso (com relação à grã) variaram entre quatro configurações angulares: 30°, 60°, 75° e 90°. Os resultados obtidos permitem concluir que:

- a) não há diferenças estatisticamente significativas entre as resistências ao arrancamento médias para cada ângulo, o que indica que a inserção do parafuso com diferentes angulações não influencia na resistência ao arrancamento do mesmo.
- b) os métodos de cálculo das resistências características ao arrancamento teóricas apresentados: por Blass et al. (2006) demonstraram-se inadequados (contra a segurança) para todos os ângulos estudados; por Hübner et al. (2010) e pela norma EN1995-1-1 demonstraram-se inadequados para os ângulos de 30°, 75° e 90° (as resistências determinadas para o ângulo de 60° demonstraram-se adequadas); pela norma DIN1052 comprovaram-se adequados (seguros) para os ângulos de 60° e 75°, porém inadequados para o ângulo de 90°.

Como sugestão para estudos futuros, indica-se a utilização de parafusos que variem os diâmetros e comprimentos de rosca inseridos, compreendendo uma amostra maior, a fim de verificar se o ângulo de inserção do parafuso realmente não influencia na resistência ao arrancamento desempenhada pelo mesmo.

Sugere-se também, a fim de verificar a adequação (demonstração de segurança) dos métodos de cálculo das resistências características ao arrancamento apresentados pela literatura (BLASS et al., 2006; HÜBNER et al., 2010; EN1995-1-1; DIN1052), a utilização de outras espécies de madeiras brasileiras.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **ASTM D 1761 – 12: Standard test methods for mechanical fasteners in wood**. West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107p.

BLASS, H. J.; BEJTKA, I. **Screws with Continuous Threads in Timber Connections**. In: Proceedings of the International RILEM Symposium. Stuttgart, Germany, p. 143-152, 2001.

BLASS, H. J.; BEJTKA I. **Joints with inclined screws**. In: Proceedings from meeting thirty-five of the international council for building research studies and documentation, CIB, Working Commission W18 – Timber Structure. Kyoto, Japan, 2002.

BLASS, H.J.; BEJTKA, I.; UIBEL, T. **Tragfähigkeit von Verbindungen mit SelbstbohrendenHolzschrauben mit Vollgewinde**. Vol. 4 of series Karlsruher Berichte zum, 2006.

BRITE, J. **Liquid nails adhesive subfloor and deck adhesives**. architectmagazine.com. 22/04/2011. Disponível em: <[http://www.architectmagazine.com/technology/products/liquid-nails-adhesive-subfloor-and-deck-adhesives\\_o](http://www.architectmagazine.com/technology/products/liquid-nails-adhesive-subfloor-and-deck-adhesives_o)>. Acessado em: 05/10/2017.

CALIL NETO, C. **Ligações com Parafusos Auto-atarraxantes sem Pré-furação para uso em Estruturas de Madeira**. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil, 2014, 158 p.

COCKRELL, R. A. **A Study of the Screw-Holding Properties of Wood**. New York State College of Forestry, Technical Publication No. 44, Syracuse, New York, USA, 1933.

CORREIA, R.R. **Avaliação da Resistência de Ligações com Parafusos Auto-atarraxantes do Tipo Torx Solicitados por Tração Axial, em Peças de Madeira**. Dissertação de mestrado. Programa de

Pós-graduação em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil, 2002, 89 p.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG **DIN 1052: Design of timber structures; General rules and rules for buildings**. German, 2008.

DIETSCH, P.; BRANDNER, R. **Self-tapping screw and threaded rods as reinforcement for structural timber elements – A state-of-the-art report**. Timber Structures and Building Construction, Technische Universität München, Germany, 2015.

DUARTE, R.S. **Avaliação do Comportamento de Ligações com Parafusos Auto-Atarraxantes em Vigas de MLC**. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2004, 248 p.

EHLBECK, J.; EHRHARDT, W. **Screwed joints**. Lecture C8, Timber Engineering, Step 1, STEP/Eurofortech, Centrum Hout, Almere.

EUROPEAN STANDARD EUROCODE. **EN 1382: Timber Structures – Test methods - Withdrawal capacity of timber fasteners**. Brussels, Belgium, 1999.

EUROPEAN STANDARD EUROCODE. **Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1+A1: General – Common rules and rules for buildings**. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2008.

FAIRCHILD, I. J. **Holding Power of Wood Screw**. Technologic Papers of the Bureau of Standards n° 319 (Part of Vol. 20). Department of Commerce, Washington, USA, 1926.

JOHANSEN, K.W. **Theory of timber connections**. International association of bridge and structural engineering. Bern, Publication vol. 9, 1949. p. 249–62.

HORVATH, N.; MOLNÁR, S.; NIEMZ, P. **Untersuchungen zum Einfluss der Holzfeuchte auf ausgewählte Eigenschaften von Fichte, Eiche und Rotbuche.** In Holztechnologie, 49(1): 10–15, 2008.

HÜBNER, U.; RASSER, M.; SCHICKHOFER, G. **Withdrawal Capacity of Screws in European Ash. (Fraxinus Excelsior L.).** In: World Conference on Timber Engineering (WCTE), 2010.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual IBÁ 2017.** Disponível em: <<http://iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acessado: 05/10/2017.

LEIRD, T. **What I should have posted last year.** periodhomes.blogspot.com.br. 09/03/2010. Disponível em: <[http://periodhomes.blogspot.com.br/2010\\_03\\_01\\_archive.html](http://periodhomes.blogspot.com.br/2010_03_01_archive.html)>. Acessado em: 20/09/2017.

NEWLIN, J.A.; GAHAGAN, J. M. **Lag-screw joints: Their behavior and design.** Technical Bulletin nº 597. U. S. Department of Agriculture, 1938, 27 p.

OPAZO, A.; BUSTOS, C. **Study of the Lateral Strength of Timber Joints with Inclined Self-Tapping Screws.** Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology. Concepción, Chile, 2008.

RAMSKILL, T. E. **Effect of Cracking on Lag Bolt Performance.** Dissertation submitted as partial fulfilment of requirements of Doctor of Philosophy of Civil Engineering degree. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, 2002, 548 pp.

ROSA, C. C.; MORAES, P. D.; GARCIA, P. H.; AZEVEDO, C.A. **Capacidade de arrancamento de parafuso autoatarraxante na direção perpendicular às fibras.** Artigo apresentado no XV Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Curitiba, Brasil, 2015.

SILVA, C.; BRANCO, J. M.; RINGHOFER, A.; LOURENÇO, P. B.; SCHICKHOFER, G. **The influences of moisture content variation, number and width of gaps on the withdrawal resistance of self-tapping screws inserted in cross laminated timber.** ISISE,

Department of Civil Engineering of University of Minho, Braga, Portugal, 2015.

SMITH, I.; FOLIENSTE, G. **Load and Resistance Factor Design of Timber Joints: International Practice and Future Direction**. Journal of Structural Engineering, p. 48-59, 2002.

SITE CORMSQUARE.COM. **Wood screws**. Disponível em: <<https://cormsquare.com/Industrial-consumables/Screw--Bolts-and-Fastners/27157/Wood-Screws>>. Acessado em: 29/10/16.

SITE DUPLEXFASTENER.COM. **Lag bolts**. Disponível em: <[http://www.duplexfastener.com/bolts\\_types\\_fasteners\\_bolt\\_lag-bolts.html](http://www.duplexfastener.com/bolts_types_fasteners_bolt_lag-bolts.html)>. Acessado em: 29/10/2016.

SITE FERRAGENSJK.COM.BR. **Tipos de prego em geral**. Disponível em: <[http://www.ferragensjk.com.br/produtos\\_detail.php?id\\_produtos=76](http://www.ferragensjk.com.br/produtos_detail.php?id_produtos=76)>. Acessado em: 26/10/16.

SITE PORTLANDBOLT.COM. **Split Rings**. Disponível em: <<http://www.portlandbolt.com/products/others/split-rings/>>. Acessado em: 26/10/16.

SITE ROTHOBLAAS.COM. **Shear connections using HBS – HBS + EVO – TBS screws**. Disponível em: <<http://www.rothoblaas.com/software>>. Acessado em: 05/10/2017.

SITE ROTHOBLAAS.COM. **Catalogue of wood connectors and timber plates**. Disponível em: <<http://www.rothoblaas.com/catalogues-rothoblaas>>. Acessado em: 28/10/2017.

SITE TWBRAZIL.COM.BR. **Anti-racha para eucalipto**. Disponível em: <<https://www.twbrazil.com.br/woodframe/gn-18>>. Acessado em: 26/10/16.

TOMASI, R.; CROSATTI, A.; PIAZZA, M. **Theoretical and experimental analysis of timber-to-timber joints connected with inclined screws**. Department of Mechanical and Structural Engineering of University of Trento, Trento, Italy, 2010.