

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

**KILLIAN CANDIDO DA SILVA**

**INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE COMPENSADO  
NAVAL REVESTIDO COM PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO**

Joinville

2016

KILLIAN CANDIDO DA SILVA

**INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE COMPENSADO  
NAVAL REVESTIDO COM PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval, no Curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Claudimir A. Carminatti

Joinville

2016

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

Silva, Killian C.  
INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE  
COMPENSADO NAVAL REVESTIDO COM PLÁSTICO REFORÇADO COM  
FIBRA DE VIDRO / Killian C. Silva ; orientador, Claudimir  
A. Carminatti - Joinville, SC, 2016.  
63 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville.  
Graduação em Engenharia Naval.

Inclui referências

1. Engenharia Naval. 2. Compensado Naval. 3. Plástico  
Reforçado com fibra de Vidro. 4. Materiais compósitos. I.  
Carminatti, Claudimir A.. II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Naval. III. Título.

**INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE COMPENSADO  
NAVAL REVESTIDO COM PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO**

KILLIAN CANDIDO DA SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Naval.

Joinville (SC), 30 de novembro de 2016.

---

Prof. Dr. Thiago Pontin Tancredi  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico de Joinville  
Coordenador do Curso de Engenharia Naval

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Claudimir A. Carminatti, Dr.  
Presidente  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Profa. Derce de Oliveira Souza Recouvreux, Dra.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Gabriel Benedet Dutra, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais,

Valcedir e Rosinete por terem me motivado e dado suporte para que eu pudesse ter a oportunidade de adquirir conhecimento.

A minha noiva,

Isabelly por ter estado ao meu lado compartilhando os bons e maus momentos durante toda a minha graduação.

Ao meu orientador,

Prof. Claudimir A. Carminatti, agradeço pela disponibilidade proporcionada, pela grande ajuda e apoio.

A minha banca de TCC,

Profa. Derce, Prof. Gabriel e Prof. Ricardo por terem aceitado o convite prontamente.

Prof. Ewerson, Prof. José e Tec. Robson da Universidade Católica de Joinville pelo auxílio na realização dos ensaios.

A Universidade Católica de Joinville,

Pela disponibilidade do equipamento de flexão estática.

Aos amigos,

Alessandro dos Reis, Daniel Senff, Daniel Korol, Anderson Heinz, Guilherme Rothbarth, Eduardo Bastezini, Victor Gonçalves, Nicolas Höhn e tantos outros que me ajudaram tanto academicamente quanto fazendo companhia.

## RESUMO

O compensado naval é uma boa alternativa para a substituição ou aplicação em conjunto com diversos tipos de materiais, como madeiras de lei, fibras e concreto na construção civil. A sua utilização na construção de barcos permite a diminuição do peso da embarcação de madeira devido a sua versatilidade. O compensado naval pode ser combinado com diferentes resinas e reforços para a criação de um painel, permitindo a sua aplicação em diversos tipos de ambientes, como, por exemplo, na indústria naval, em cascos, anteparas, casaria, etc. O objetivo deste trabalho foi verificar a influência da umidade do compensado naval quando utilizado plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) usando resina epóxi ou poliéster ortoftálica como matriz. A metodologia aplicada consistiu na confecção de corpos de prova com diferentes umidades, sendo parte deles laminado. Foi determinada a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade para os corpos de prova, sendo realizada a análise estatística dos dados. Os resultados indicaram que a utilização do reforço de PRFV melhora as propriedades mecânicas do compensado, enquanto que a presença da umidade no compensado tem influência negativa sobre as mesmas. Também não houve diferença significativa na utilização das resinas poliéster ou epóxi como matriz. A utilização de compensado reforçado com PRFV pode ser uma alternativa interessante na substituição de materiais empregados em diferentes áreas da engenharia.

**Palavras-chave:** Compósitos, compensado naval, PRFV, propriedades mecânicas.

## ABSTRACT

Marine plywood is a good alternative for replacement or application in conjunction with various types of materials such as hardwood, fiber and concrete in construction. This is used in boat construction, because allows the weight reduction of the wooden vessel due to its versatility. The marine plywood can be combined with different resins and reinforcements for the creation of a panel, allowing its application in different types of environments, such as in the naval industry, in hulls, bulkheads, etc. The objective of this paper was to verify the influence of the moisture of the naval plywood when using glass fiber reinforced plastic (FRP) using epoxy resin or orthophthalic polyester as matrix. The applied methodology consisted in the preparation of specimens with different moisture, being some of them laminated. The tensile strength and modulus of elasticity were determined for the specimens, and the statistical analysis of the data was performed. The results indicated that the use of the FRP reinforcement improves the mechanical properties of the plywood, while the presence of the plywood moisture has a negative influence on the plywood. There was also no significant difference in the use of polyester or epoxy resins as matrix. The use of reinforced plywood with FRP can be an interesting alternative in the substitution of materials used in different areas of engineering.

**Keywords:** Marine plywood, static bending test, moisture influence, FRP.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Casaria sendo construída utilizando compensado.....	15
Figura 2 – Esquema de corte de lâminas em torno.....	19
Figura 3 – Esquema de corte de folhas faqueadas.....	19
Figura 4 – Painéis de EGP.....	20
Figura 5 – Modelo de chapa de fibra.....	21
Figura 6 – Placa de <i>insulation board</i> .....	21
Figura 7 – Comparação entre MDP e MDF.....	22
Figura 8 – Configuração da <i>Oriented strand board</i> .....	23
Figura 9 – Secagem das lâminas.....	24
Figura 10 – Costura com adesivo.....	24
Figura 11 – Aplicação de adesivo.....	25
Figura 12 – Posicionamento das lâminas de compensado.....	25
Figura 13 – Corpo de prova de compensado com parte do revestimento de cedro (parte clara) removido.....	27
Figura 14 – Esquema de nomenclatura dos corpos de prova.....	29
Figura 15 – Corte dos corpos de prova.....	30
Figura 16 – Corpos de prova com o seu teor de umidade equalizados após três semanas.....	31
Figura 17 – CPDU acondicionado na estufa para secagem.....	32
Figura 18 – Empenamento dos CDPF com baixo teor de umidade.....	35
Figura 19 – Compensados sem e com revestimento durante o processo de cura.....	35
Figura 20 – Procedimento inicial dos testes de flexão.....	36
Figura 21 – Exemplo de determinação do incremento de carga, deformação e força máxima para um corpo de prova.....	38
Figura 22 – Tensão de ruptura para compensado sem revestimento.....	40
Figura 23 – Módulo de elasticidade para compensado sem revestimento.....	40
Figura 24 – Tensão de ruptura para compensado com revestimento de poliéster ortoftálica ..	42
Figura 25 – Módulo de elasticidade para compensado com revestimento poliéster ortoftálica.....	42
Figura 26 – Tensão de ruptura para compensado com revestimento de resina epóxi.....	45
Figura 27 – Módulo de elasticidade para compensado com revestimento epóxi.....	45
Figura 28 – Comparação entre tensões de ruptura para resinas poliéster ortoftálica e epóxi na direção transversal a fibra da madeira.....	47

Figura 29 – Comparação entre módulos de elasticidade para resinas poliéster ortoftálica e epóxi na direção transversal a fibra da madeira. ....	47
Figura 30 – Comparação entre os CDPF sem revestimento e com revestimento de resina poliéster ortoftálica para a tensão de ruptura.....	48
Figura 31 – Comparação entre os CDPF sem revestimento e com revestimento de resina poliéster ortoftálica para módulo de elasticidade .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização dos corpos de prova para ensaio de flexão.....	29
Tabela 2 – Umidades dos corpos de prova utilizados para determinação da umidade média..	33
Tabela 3 – Tensão de ruptura em compensado sem revestimento .....	39
Tabela 4 – Módulos de elasticidade em compensado sem revestimento .....	39
Tabela 5 – Tensão de ruptura em compensado com reforço de resina poliéster ortoftálica.....	41
Tabela 6 – Módulo de elasticidade em compensado com reforço de resina poliéster ortoftálica.....	42
Tabela 7 – Análise de variância para os Grupos OU1T e OU2T para o módulo de elasticidade .....	43
Tabela 8 – Tensão de ruptura em compensado com revestimento de resina epóxi.....	44
Tabela 9 – Módulo de elasticidade em compensado com reforço de resina epóxi .....	44
Tabela 10 – Análise de variância para os Grupos EU1L e EU2L para a tensão de ruptura.....	46
Tabela 11 – Análise de variância entre compensado sem revestimento e com revestimento de resina poliéster ortoftálica com 12% de umidade.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABIMCI	Associação Brasileira da indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de variância
CDPF	Corpo de prova para a flexão estática
CDPU	Corpos de prova para a determinação de umidade
EGP	Edge Glued Panel
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
OSB	Oriented Strand Board
PMR	Painéis de madeira reconstituída
PMR	Painéis de Madeira Reconstituída
PMVA	Produtos de Maior Valor Agregado
PRFV	Plástico Reforçado com Fibra de Vidro
WBP	Water Boiled Proof

## LISTA DE SÍMBOLOS

M	Mega
Pa	Pascal
mm	milímetros
g	gramas

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>17</b>
3.1 COMPÓSITOS .....	17
<b>3.1.1 Reforços</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1.2 Matrizes</b> .....	<b>17</b>
3.2 PAINÉIS DE MADEIRA .....	18
<b>3.2.1 Madeira processada mecanicamente</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2.2 Painéis de madeira industrializada, ou reconstituídos (PMR)</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.3 Fabricação do compensado laminado</b> .....	<b>23</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
4.1 MATERIAIS .....	26
4.1.1 Compensado .....	26
4.1.2 Matrizes .....	27
4.1.3 Reforço .....	28
4.2 MÉTODOS .....	28
4.2.1 Caracterização dos corpos de prova para ensaio de flexão.....	28
4.2.2 Determinação do teor de umidade.....	31
4.2.3 Laminação e preparação final .....	34
4.2.4 Ensaio de flexão estática .....	36
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>39</b>
5.1 COMPARAÇÃO ENTRE COMPENSADO SEM REFORÇO PARA DIFERENTES UMIDADES .....	39

5.2 COMPARAÇÃO ENTRE COMPENSADO COM REFORÇO DE RESINA POLIÉSTER ORTOFTÁLICA PARA DIFERENTES UMIDADES .....	41
5.3 COMPARAÇÃO ENTRE COMPENSADO COM REFORÇO DE RESINA EPÓXI PARA DIFERENTES UMIDADES .....	43
5.4 COMPARAÇÃO ENTRE COMPENSADO COM REVESTIMENTO POLIÉSTER ORTOFTÁLICO E EPÓXI .....	46
5.5 COMPARAÇÃO ENTRE COMPENSADO COM E SEM REVESTIMENTO .....	48
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>50</b>
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	51
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A região de Itajaí possui as embarcações pesqueiras mais modernas e mais bem equipadas do Brasil. Elas podem ser fabricadas de diferentes materiais, os mais comuns são madeira, polímero, aço e alumínio. A escolha do material está vinculada ao custo e aos requisitos de construção.

Devido as legislações ambientais, diminuição da quantidade de matéria prima e necessidade de manutenção constante, com o passar dos anos a madeira começou a ter preços cada vez mais altos, fazendo com que já não seja usada com tanta frequência para a fabricação de novas embarcações nessa região. Atualmente em Santa Catarina muitos estaleiros se dedicam a área de reparo das embarcações já construídas (RENCK, 2014).

A grande demanda por madeira maciça para construção em diversas áreas nas últimas décadas fez com que esse material ficasse cada vez mais escasso, aumentando a dificuldade para a sua obtenção nas qualidades e dimensões adequadas para as diversas necessidades, fazendo com que a indústria de painéis de madeira ganhasse demanda ano após ano com os derivados da madeira para ajudar a burlar a escassez desse recurso tão fundamental para a sociedade (FONSECA et al., 2009).

Entre esses tipos de derivados existem os feitos a partir da madeira desagregada e depois reconstituída com processos químicos que é o caso dos painéis de madeira industrializada, ou reconstituídos (PMR) que são OSB, MDF e MDP. Há também derivados confeccionados a partir de lâminas separadas mecanicamente como é o caso compensado laminado (VIDAL; HORA, 2014)

Como alternativa para substituir as madeiras nobres, baratear o preço de construção e ainda tendo a vantagem de não adicionar tanto peso a embarcação, os estaleiros da região de Itajaí optam por usar compensado naval combinado com PRFV em partes da embarcação, como por exemplo nas cabines e que é exemplificado na Figura 1. Segundo Nasseh (2011) o compensado pode ser usado em muitas áreas diferentes na construção de barcos de madeira, como convés, cavernas, anteparas, chapeamento do casco e muitas outras partes do interior.

Figura 1 – Casaria sendo construída utilizando compensado



Fonte: Autor (2016).

Como pode ser observado na imagem, a embarcação é construída a céu aberto e o painel de compensado que é primeiro montado e eventualmente laminado, está sujeito a umidade ambiente e eventuais chuvas. Como é conhecido de diversas literaturas, como Nasseh (2011) e Greene (1999), a umidade é prejudicial ao laminado de PRFV. Portanto, esse trabalho buscou identificar a influência da umidade nas propriedades mecânicas do painel de compensado sem e com reforço de fibra de vidro utilizando dois tipos diferentes de matrizes.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1.OBJETIVO GERAL

Analisar a influência da umidade do compensado naval combinado com plástico reforçado com fibra de vidro, utilizando as matrizes poliéster ortoftálica e epóxi nas propriedades mecânicas dos compósitos.

### 2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Confeccionar um material compósito constituído de compensado naval, plástico reforçado com fibra de vidro e resinas poliéster ortoftálica e epóxi como matrizes.
- Analisar a influência da umidade nas propriedades mecânicas do compósito e do compensado;
- Comparar as propriedades mecânicas dos compósitos de compensado naval reforçados produzidos utilizando ferramentas estatísticas.
- Comparar as propriedades mecânicas dos corpos de prova sem reforço e reforçados com revestimento de PRFV;

### 3.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Os compensados são aplicados para a construção de barcos. Podem ser utilizados para a sua inteira fabricação, bem como para partes específicas dos mesmos. Para melhorar as suas propriedades, são utilizados materiais compósitos, como por exemplo, compensados reforçados com fibra de vidro. Neste capítulo serão apresentados os conceitos básicos sobre materiais compósitos, bem como sobre compensados na forma de painéis de madeira, seus tipos e suas aplicações.

#### 3.1 COMPÓSITOS

Um material compósito pode ser definido como um material formado pela combinação de dois ou mais materiais que apresenta propriedades melhores que a de cada componente de sua constituição individualmente. Os materiais que compõe o compósito são definidos como matriz e reforço (MARINUCCI, 2011).

##### 3.1.1 Reforços

Os reforços são constituídos de milhares de filamentos que variam entre 5 e 15 micrometros, permitindo que sejam processados com máquinas têxteis. Os principais tipos de fibra são de vidro, aramida e carbono. Na estrutura do compósito elas são as responsáveis por suportar o carregamento mecânico pois possuem alto módulo de elasticidade na direção longitudinal das fibras (GAY, 2003).

As fibras de vidro são responsáveis por mais de 90% das fibras utilizadas em plásticos reforçados graças a melhor relação custo/benefício já que, por mais que seja a menos onerosa, não deixa tanto a desejar no quesito resistência a tração, além de boa resistência química e fácil processabilidade, podendo, no entanto, sofrer deterioração quando submetidas a cargas elevadas por longos períodos de tempo (GREENE, 1999)

##### 3.1.2 Matrizes

Os materiais que “sustentam” as fibras são chamados de matrizes e são separados em três grupos. O mais comum é o das matrizes poliméricas (*polymeric matrix*), conhecidas como resinas. Elas podem ser termoplásticas ou termoendurecíveis (*themosetting*). Há o grupo das

matrizes metálicas (*metallic matrix*) e também o das matrizes cerâmicas (*mineral matrix*). Em cada grupo são encontradas características distintas que apresentam vantagens ou desvantagens dependendo da utilização (GAY, 2003).

As resinas mais empregadas na indústria náutica são as resinas poliéster, epóxi e estervinílicas (GREENE, 1999). Esse trabalho tem como foco apenas as matrizes poliméricas, portanto quando for mencionado o termo matriz nos textos seguintes, irá se pressupor que será referente as do tipo poliméricas.

As funções primárias das matrizes são transmitir as forças entre as fibras e estabilizar a forma do componente. Uma vez que as matrizes poliméricas analisadas de forma isolada possuem baixa resistência mecânica, combinadas com fibras há um aprimoramento das características mecânicas do material (NASSEH, 2011). Ao promover a separação entre as fibras, a matriz acaba melhorando a resistência a fadiga do material, pois dificulta a propagação de falhas entre fibras adjacentes. Porém, isso é particularmente verdade para as matrizes de tipo polimérico. A matriz garante ainda impermeabilidade, resistência química, proteção contra abrasão e bom acabamento (GREENE, 1999).

## 3.2 PAINÉIS DE MADEIRA

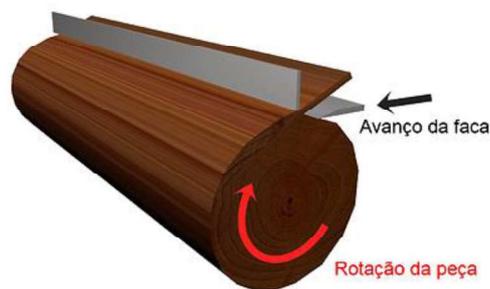
### 3.2.1 Madeira processada mecanicamente

São produtos obtidos a partir da madeira maciça:

- Serrados: são simplesmente os produtos oriundos apenas do corte das toras, sua utilização depende de suas três dimensões (espessura, largura e comprimento) e das características da madeira. Suas principais aplicações são na construção civil (estrutural), beneficiados e móveis (VIDAL; DA HORA, 2014).
- Produtos de maior valor agregado (PMVA): ao reprocessar a madeira serrada com objetivo de agregação de valor ao produto primário, é obtido os chamados PMVA. Alguns dos PMVA produzidos no país são portas, molduras, pisos, edge glued panel (EGP), entre outros (BIAZUS et al., 2010).
- Laminados: obtidos pelo corte de toras de madeira maciça em lâminas, dividem-se em dois grupos. Os torneados que através de tornos (Figura 2) transformam em lâminas as

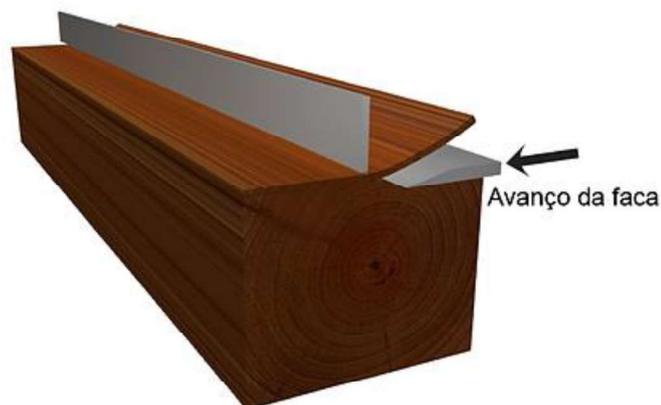
toras (usualmente madeiras de baixa densidade) e que são utilizados na fabricação de compensados (Figura 3). Já as lâminas faqueadas (costumasse utilizar madeira nobre com bom aspecto visual) são folhas de 0,63 mm a 3 mm, e de melhor qualidade que os torneados. O processo consiste no deslocamento transversal relativo de uma faca sobre um bloco de madeira previamente cortado em seções retangulares, produzindo assim as folhas. Estas lâminas são utilizadas para revestimento de superfícies de madeira (compensados, aglomerados, MDF, etc.) ou até paredes (REMADE, 2003).

Figura 2 – Esquema de corte de lâminas em torno



Fonte: A Madeira <[profruijaimewixsite.com/carpintaria/faq](http://profruijaimewixsite.com/carpintaria/faq)>. Acessado 10 out. 2016.

Figura 3 – Esquema de corte de folhas faqueadas



Fonte: A Madeira <[profruijaimewixsite.com/carpintaria/faq](http://profruijaimewixsite.com/carpintaria/faq)>. Acessado 10 out. 2016.

- Painéis de madeira processados mecanicamente: categoria do compensado e EGP (Figura 4) também conhecido como sarrafeado (sarrafos de madeira colados lateralmente e em seguida é comum serem revestidos por lâminas torneadas ou faqueadas). Existem diversos tipos de compensados, a depender de sua composição, que garante diferentes propriedade (VIDAL; DA HORA, 2014).

Figura 4 – Painéis de EGP



Fonte: Madecaus. <[madecaus.com/index.asp?op=11&área](http://madecaus.com/index.asp?op=11&área)> Acessado 10 out. 2016.

### 3.2.2 Painéis de madeira industrializada, ou reconstituídos (PMR)

Os PMR são fabricados através de processos químicos da madeira no qual ela é desagregada e em seguida reconstituída. Os PMR podem ser divididos em dois grupos: os que são formados por partículas de madeira e os compostos por madeira em estágio ainda mais avançado de desagregação das fibras. O processo se resume em reduzir as fibras da madeira, misturá-las com resinas e com a ação da pressão e temperatura formar os painéis (VIDAL; DA HORA, 2014).

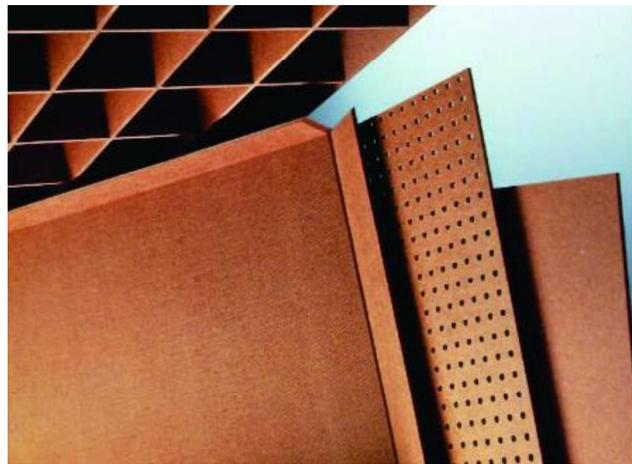
As vantagens dos PMR em relação a madeira maciça segundo (BIAZUS et al., 2010) são:

- Aproveitamento quase integral das toras.
- Não ser necessário o uso de toras com dimensões específicas, permitindo trabalhar até mesmo com resíduos.
- Produção de painéis de grandes dimensões onde o limitante são as dimensões das máquinas que processam os painéis e não as toras.
- Disposição aleatória das partículas, minimizando a anisotropia que a madeira maciça possui.
- Pode ser impregnado com mais facilidade com aditivos repelentes a inseto, retardantes de fogo e também aditivos que diminuem as características higroscópicas.

Os principais tipos de PMR são:

- Chapa de fibra ou chapa dura (hardboard): possuindo alta densidade e espessura fina, ela é o resultado da prensagem das fibras da madeira a quente e úmido, condição essa que faz com que os próprios aglutinantes naturais da madeira (não há adição de resinas) se tornam reativos. É comum ser utilizada na fabricação de móveis, principalmente em fundo de gavetas, porta retratos e de armários (REMADE, 2003).

Figura 5 – Modelo de chapa de fibra



Fonte: Somapil. <[www.somapil.com/pt/placas](http://www.somapil.com/pt/placas)>. Acessado 10 out. 2016.

- *Insulation board*: é fabricada com baixa prensagem, assim, possui a principal característica de possuir baixa densidade, podendo ser usada como material isolante de temperatura e isolante acústico (REMADE, 2003).

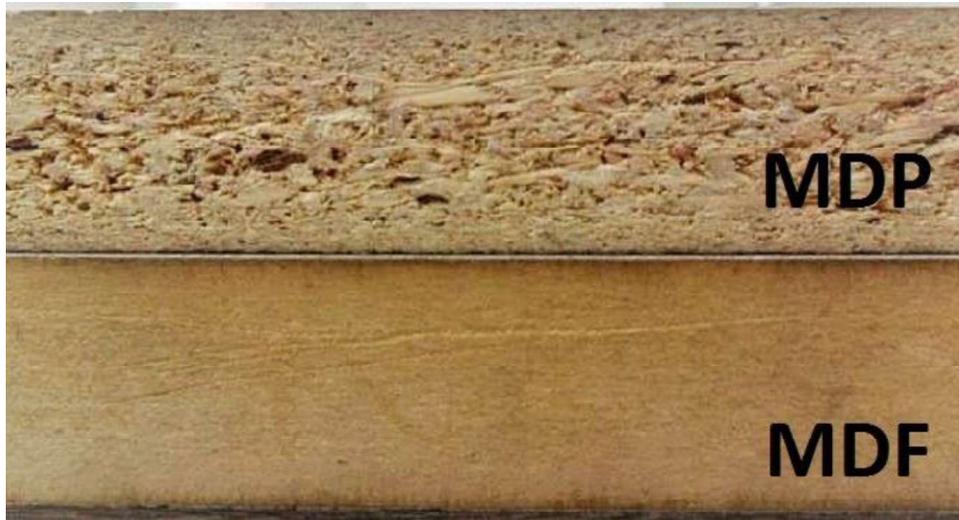
Figura 6 – Placa de *insulation board*



Fonte: Celotex. <[www.celotex.co.uk/products](http://www.celotex.co.uk/products)> Acessado 10 out. 2016.

- Painel de partículas de média densidade (MDP): também conhecido como aglomerado. É comum no mundo utilizar resíduos de qualidade inferior para a sua fabricação. Porém, no Brasil, é utilizada madeira de reflorestamento. É concebido a partir de partículas de média densidade como o próprio nome já diz. Sua utilização consiste majoritariamente em móveis retilíneos (BIAZUS et al., 2010).
- Medium Density Fiberboard (MDF): difere do MDP por ter uma etapa de desagregação a mais (cozimento) fazendo com que suas fibras possam ficar mais aglutinadas. Por esse motivo é necessária mais matéria prima para a sua fabricação, o que o torna mais oneroso. Suas características mecânicas são similares a madeira maciça, o que confere ao material melhor usinagem quando comparado ao MDP. Pode ser fabricado em maiores densidades como, high density fiberboard (HDF) e super density fiberboard (SDF) que apresentam maior densidade, menor espessura e possuem outras possibilidades de aplicações, como pisos (BIAZUS et al., 2010).

Figura 7 – Comparação entre MDP e MDF



Fonte: Líder Interiores. <[www.liderinteriores.com.br/blog/mdf-ou-mdp](http://www.liderinteriores.com.br/blog/mdf-ou-mdp)>

Acessado 10 out. 2016.

- *Oriented strand board* (OSB): é um painel com lascas e tiras orientadas de forma perpendicular entre si e dispostas em camadas. É mais comum ser empregado em itens decorativos (VIDAL; DA HORA, 2014).

Figura 8 – Configuração da *Oriented strand board*



Fonte: Globalwood. <[globalwood.com.br/painel-de-madeira-industrial](http://globalwood.com.br/painel-de-madeira-industrial)>  
Acessado 10 out. 2016.

### 3.2.3 Fabricação do compensado laminado

A matéria prima segundo a ABIMCI (2013) é sempre uma madeira com baixa densidade, geralmente pinus ou eucalipto reflorestado ou outras espécies nativas dependendo da região do país onde o compensado é fabricado.

Como já descrito na seção 3.2.1 são obtidas lâminas a partir das toras através de tornos. As lâminas são devidamente secas para garantir uma colagem entre as chapas nas etapas seguintes (Figura 9). Essas lâminas nem sempre possuem a largura ideal para compor o painel de compensado, portanto, é necessário fazer a união entre essas lâminas, podendo essa união ser através de uma costura com fios de nylon ou com fitas adesivas. Esse processo de união com nylon e fitas adesivas também é feito em regiões onde houveram rachaduras durante o processo de torno ou durante o manuseio (Figura 10) (PRATA, 2006).

Figura 9 – Secagem das lâminas



Fonte: Lano da Amazônia. <[lanodaamazonia.com.br/](http://lanodaamazonia.com.br/)> Acessado 10 out. 2016.

Figura 10 – Costura com adesivo



Fonte: PRATA (2006)

A etapa seguinte é a aplicação de adesivo (Figura 11). Esse adesivo é o que determina se o compensado será de uso interno ou externo (naval) (ABIMCI, 2013). A formulação das resinas que compõe o adesivo varia muito com relação a proporção e adição de outros componentes, mas basicamente é utilizado resina de uréia-formaldeído para aplicações internas e de fenol-formaldeído para uso externo (maior tolerância a umidade) também chamada de *water boiled proof* (WBP) (PIZZI et al.,1995).

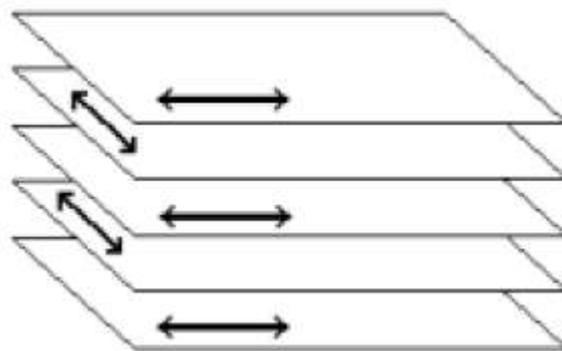
Figura 11 – Aplicação de adesivo



Fonte: PRATA (2006)

Em seguida são montadas as camadas que variam em quantidade de painel para painel já que esses são comercializados com espessuras que variam de 3 a 35 mm normalmente. São camadas sempre em números ímpares e que são sobrepostas em ângulos de 90° (Figura 12). Após a montagem pode ser adicionado uma camada de lâmina faqueada de outra espécie de madeira para embelezar o produto final (cedro no caso do compensado usado para este trabalho). Logo depois o painel passa por uma pré-prensagem para uma melhor distribuição do adesivo e segue para a prensagem que confere a devida adesão entre as camadas. Agora já formado o painel é necessário que ele passe pelo acabamento onde é serrado para ter as dimensões comerciais padrão que são de 1600x2200 mm para o mercado interno e 1220x2440mm para o mercado externo (PRATA, 2006).

Figura 12 – Posicionamento das lâminas de compensado



Fonte: FONSECA et al. (2011)

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Como já mencionado anteriormente, o painel de compensado tem a madeira como sua matéria prima. A madeira é feita de celulose, sendo que a celulose tem a característica de absorver umidade do meio em que estiver. O nome dessa característica é higroscopia. Uma vez que a água é prejudicial durante a polimerização da resina no processo de cura (NASSEH, 2011), o objetivo inicial desse trabalho foi de descobrir o quanto a umidade do próprio compensado afetaria o seu revestimento de PRFV.

A metodologia utilizada foi o de método comparativo das propriedades do compensado em ensaio de flexão estática tendo como variável a umidade e o revestimento.

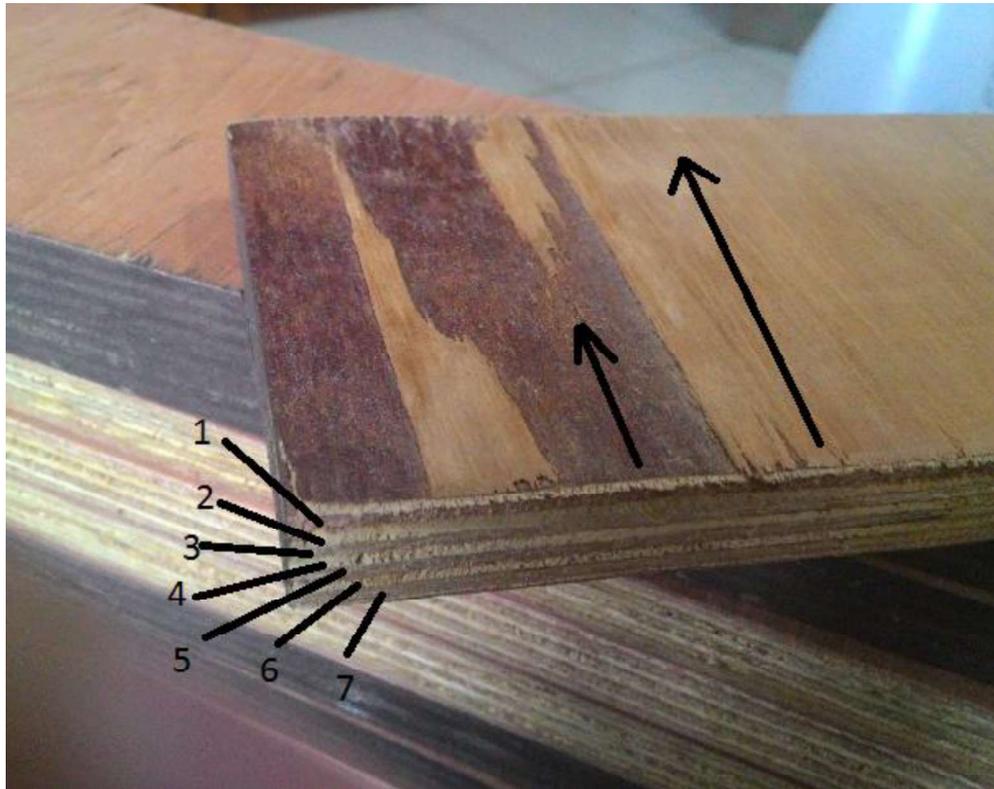
### **4.1 MATERIAIS**

#### **4.1.1 Compensado**

O compensado utilizado foi o do tipo naval de cedro. Praticamente todos os compensados são fabricados com lâminas de madeira de baixa ou média densidade, portanto, por mais que o compensado seja denominado como cedro, na verdade ele é feito de madeira menos nobre. O compensado utilizado neste trabalho é uma mesma de pinus e eucalipto (marca COMPEWIT). A lâmina de cedro, que é produzida através do método de faqueamento, tem espessura apenas decorativa, sendo que praticamente não agrega as propriedades da madeira de cedro no painel. Isto é bem visível na Figura 13, onde foi destacada propositalmente um pedaço da lâmina para exemplificar. Também é visível que a lamina de cedro possui as fibras nas mesmas direções (paralelas) a camada inferior, como está sendo indicado pelas flechas.

As dimensões do painel adquirido forma de 1600x2200 mm de largura e comprimento com 12 mm de espessura. Na Figura 13 é possível visualizar nitidamente que esse painel foi fabricado com sete lâminas (desprezando as lâminas de revestimento de cedro).

Figura 13 – Corpo de prova de compensado com parte do revestimento de cedro (parte clara) removido



Fonte: Autor (2016)

#### 4.1.2 Matrizes

Foram escolhidas duas matrizes para compor o reforço.

##### 4.1.2.1 Resina poliéster ortoftálica

O motivo da escolha dessa resina como matriz foi por ser a menos onerosa e assim, conseqüentemente, a mais utilizada. A resina poliéster ortoftálica utilizada foi a do tipo cristal (transparente) para facilitar a visualização de bolhas que ficam no material. Foi vendida pela empresa Sama e produzida pela empresa Ashland. O prazo de validade foi respeitado. Informações sobre a resina podem ser visualizadas no Apêndice. O endurecedor adquirido junto com a resina foi BRASNOX<sup>®</sup> DM50 e consta no Apêndice.

#### 4.1.2.2 Resina epóxi

Escolhida por ter propriedades superiores quando comparada as outras resinas, a resina epóxi é utilizada quando se procura alto desempenho. Como o compensado geralmente é utilizado quando se busca economia e agilidade na construção de um barco, talvez não seja interessante na prática investir nessa resina para qualquer tipo de serviço com compensado, visto que seu custo é mais elevado.

A resina utilizada foi adquirida da empresa Redelease, juntamente com o endurecedor. As informações técnicas do composto formado pela mistura de ambas as substâncias está disponível no Apêndice.

#### 4.1.3 Reforço

Comumente se utiliza na prática tanto tecido quanto manta de forma combinada como reforço para conseguir propriedades isotrópicas e anisotrópicas. Porém, para melhor identificar as propriedades do compensado e não do reforço, foi utilizado apenas tecido de fibra de vidro, visto que ele não possui tanta aleatoriedade como a manta. A gramatura de 200 g/m<sup>2</sup> do tecido foi escolhida com base no método *plyglass*, descrito por Nasseh (2008). É um método de construção de embarcação de compensado reforçado com fibra de vidro onde se utiliza tecidos na ordem de 200 a 300 g/m<sup>2</sup>.

O tecido de fibra de vidro é do tipo E, biaxial, com proporção de 50% para trama e 50% para urdume. Suas características estão descritas no Apêndice.

### 4.2 MÉTODOS

#### 4.2.1 Caracterização dos corpos de prova para ensaio de flexão

O planejamento do trabalho é apresentado na Tabela 1. Foram produzidos 80 corpos de prova, sendo 40 corpos de prova com fibras longitudinais e 40 com fibras transversais. Deste total, 60 corpos de prova foram laminados, enquanto 20 foram utilizados como referência.

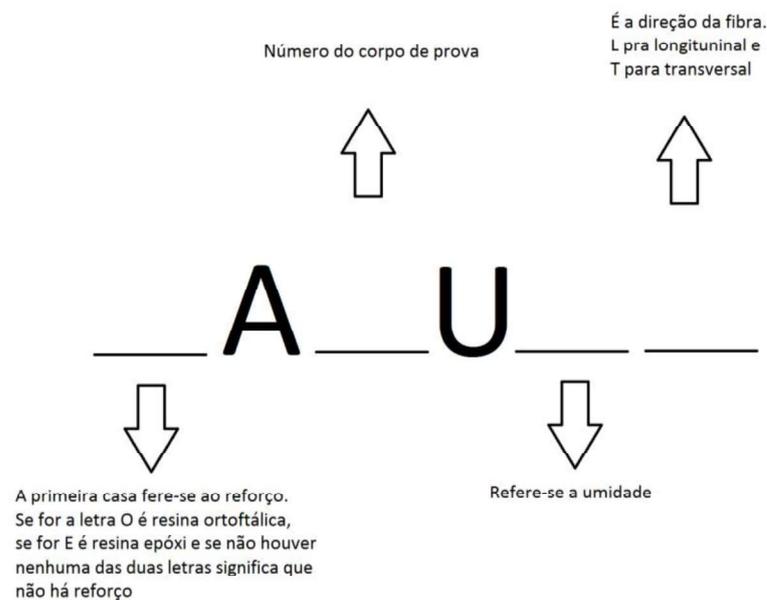
Tabela 1 – Caracterização dos corpos de prova para ensaio de flexão

Corpos de prova	Resina	Umidade	Corpos de prova com fibras longitudinais	Corpos de prova com fibras transversais
Sem reforço		Ambiente	5	5
		Elevada	5	5
Com reforço	Ortoftálica	Muito baixa	5	5
	Ortoftálica	Ambiente	5	5
	Ortoftálica	Elevada	5	5
	Epóxi	Muito baixa	5	5
	Epóxi	Ambiente	5	5
	Epóxi	Elevada	5	5

Fonte: Autor (2016)

A Figura 14 apresenta um esquema de como foram nomeados os corpos de prova, considerando se o mesmo foi laminado com resina poliéster ortoftálica ou epóxi, o número do corpo de prova, a umidade existente no CP e a direção das fibras da madeira, se longitudinal ou transversal.

Figura 14 – Esquema de nomenclatura dos corpos de prova



Fonte: Autor (2016)

Foi utilizada a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) de número 9533:2012 com o título Compensado – Determinação da resistência à flexão estática. A aparelhagem necessária para o uso desta norma é: micrômetro, que permita leitura com resolução mínima de 0,05 mm; paquímetro, com resolução mínima de 0,1 mm, e máquina de ensaio de flexão estático.

Os corpos de prova para a flexão estática (CDPF), segundo a norma, devem ter vinte e cinco vezes a espessura dos mesmos, com a adição de cinquenta milímetros, e uma largura padrão de setenta e cinco milímetros. Por fim, as dimensões dos corpos de prova foram de 350x75x12 mm de comprimento, largura e espessura, respectivamente.

A norma determina que os CDPF devem ser retirados de uma distância de no mínimo 50 mm dos bordos do painel compensado. Para o corte dos corpos de prova foi utilizada uma serra circular com o auxílio de uma guia paralela de corte, que permitiu cortes com uma boa precisão (Figura 15).

A quantidade mínima de corpos de prova definida pela norma ABNT 9533:2012 é de cinco amostras na direção longitudinal do compensado e cinco amostras na direção perpendicular à fibra da madeira.

Figura 15 – Corte dos corpos de prova



Fonte: Autor (2016)

O passo seguinte foi o lixamento, utilizando lixa de grão 100, dos cantos dos CDPF, para remoção de rebarbas, e também das superfícies dos mesmos, para melhorar a adesão da resina com a madeira. Após esse processo, os corpos de prova foram acondicionados em

caixas plásticas com o objetivo de equalizar as umidades, uma vez que estariam isoladas e submetidas às mesmas condições climáticas nesta condição.

A etapa seguinte foi a determinação da umidade dos corpos de prova. Foram utilizadas as normas ABNT NBR 9434, Compensado – Determinação do teor de umidade, e ABNT NBR 9488, Amostragem de compensado para ensaio. Foram usados no total 26 corpos de prova para a determinação de umidade (CPDU). Os mesmos foram divididos igualmente e acomodados nas caixas junto com as amostras do ensaio de flexão.

#### 4.2.2 Determinação do teor de umidade

Após três semanas acondicionadas nas caixas (Figura 16) para a equalização da umidade, tanto as amostras para flexão quanto para o teste de umidade foram pesadas em balança digital de precisão 0,01g e, em seguida, foram marcadas com códigos para identificação.

Figura 16 – Corpos de prova com o seu teor de umidade equalizados após três semanas



Fonte: Autor (2016)

Os CPDU foram alocados em estufa com temperatura máxima de 103°C (determinado pela norma ABNT NBR 9434) e foram repesadas a cada 24 horas até que não houvesse variação maior que 0,03% em relação a massa da última pesagem. Assim, segundo a norma, seria alcançado o valor de aproximadamente 0% de umidade e o teor de umidade inicial deveria ser calculado a partir da Equação (1):

$$TU = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

onde

$TU$  é o teor de umidade em porcentagem %;

$M_u$  é a massa úmida (inicial) do corpo de prova, expresso em gramas (g);

$M_s$  é a massa seca (final) do corpo de prova expressa em gramas (g).

A Figura 17 apresenta os corpos de prova sendo colocados na estufa para a secagem e, conseqüente, determinação dos valores de umidade. Na Tabela 2 estão apresentados os valores das umidades calculados para os corpos de prova utilizados para a determinação da umidade média.

Figura 17 – CPDU acondicionado na estufa para secagem



Fonte: Autor (2016)

Tabela 2 – Umidades dos corpos de prova utilizados para determinação da umidade média

<b>Amostra</b>	<b>Peso inicial (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>
1	94,35	84,22	12,0
2	98,06	87,18	12,5
3	104,92	94,03	11,6
4	105,95	94,29	12,4
5	100,71	90,25	11,6
6	99,64	88,69	12,3
7	97,15	86,32	12,5
8	112,6	100,04	12,6
9	97,46	87,08	11,9
10	92,37	82,51	12,0
11	95,67	85,45	12,0
12	98,64	88,23	11,8
13	98,42	87,99	11,9
14	99,65	89,13	11,8
15	102,35	91,52	11,8
16	101,66	90,97	11,8
17	96,68	86,20	12,2
18	97,88	87,54	11,8
19	101,23	90,34	12,1
20	98,68	88,15	11,9
21	100,04	89,22	12,1
22	103,84	92,47	12,3
23	99,67	89,02	12,0
24	103,54	92,48	12,0
25	96,65	86,35	11,9
26	103,08	92,17	11,8

Fonte: Autor (2016)

Analisando a Tabela 2, verifica-se que a umidade média obtida para os corpos de prova utilizados para a determinação da umidade foi de 12%. Como a variação foi muito baixa, é possível afirmar que as umidades dos CDPF também foram de aproximadamente 12% na hora da pesagem, sendo agora possível estimar quanto seria a sua massa seca e teor de umidade para as pesagens futuras.

A partir dos resultados obtidos na Tabela 2, foi possível definir uma umidade próxima de zero para os corpos de prova utilizados para o ensaio de flexão com umidade muito baixa, conforme Tabela 1. Para quantificar a umidade elevada em casos práticos de laminação, os CDPF foram expostos ao ar livre em dia com chuva forte, sendo após acomodados em ambiente seco a uma umidade ambiente de aproximadamente 70% até que sua aparência externa fosse de ausência de água. Então todas essas amostras foram embaladas com plástico filme PVC para buscar preservar ao máximo a umidade contida dentro das fibras até o dia da laminação.

#### **4.2.3 Laminação e preparação final**

O método de laminação utilizado foi o manual. O primeiro passo foi cortar os tecidos nas dimensões dos corpos de prova com o auxílio de uma tesoura. Todos os tecidos que seriam utilizados foram cortados de uma só vez só.

A sequência de laminação foi praticamente igual em todos os CDPF, começando com eles sendo pesados, sendo este valor armazenado em uma planilha. Após, eram colocados sobre um filme terphane desmoldante com uma placa de vidro como base. A resina foi misturada com o iniciador em um copo plástico descartável utilizando uma colher descartável para agitação. As quantidades de iniciador e resina foram reguladas com o auxílio de uma balança de precisão de 0,01 g, sendo 1% de iniciador para a resina poliéster e treze partes de endurecedor para cem de resina para a resina epóxi.

Depois de realizadas as misturas, era aplicada uma primeira camada de resina sobre o compensado com o auxílio de uma trincha. O tecido era colocado sobre o CDPF e era aplicada mais uma camada de resina, distribuída pela superfície com o rolete, que também era utilizado para a retirada das bolhas. Imediatamente após a aplicação do revestimento, o CDPF era invertido e o mesmo procedimento de laminação era realizado na superfície que anteriormente estava voltada para baixo. O excesso de resina era espalhado pelas laterais dos corpos de prova, de modo a impermeabilizá-los, mantendo a umidade constante para que essa estivesse presente nos CDPF quando submetidos à flexão.

O maior problema encontrado foi durante a secagem dos corpos de prova com baixo teor de umidade. Durante a secagem, a umidade dos CDPF foi verificada utilizando uma balança e também foi analisado o aspecto dos corpos de prova. Quando a umidade média estava próxima de 1%, começou a ocorrer empenamento em alguns corpos de prova (Figura 18). Assim, decidiu-se realizar as laminações destes CDPF antes de sua secagem completa

(zero % de umidade) para evitar maiores distorções. Já os corpos de prova com umidade ambiente foram laminados sem que houvesse necessidade de induzir qualquer umidade, e os de umidade elevada precisaram ser retirados do filme de PVC antes do processo de laminação, sendo que os mesmos continham uma média de 18% de umidade.

Figura 18 – Empenamento dos CDPF com baixo teor de umidade



Fonte: Autor (2016)

A Figura 19 apresenta os CDPF com e sem revestimento de fibra de vidro durante o processo de laminação. Foi possível laminar no máximo dois corpos de prova por completo antes do *gel time* da resina poliéster, que foi de aproximadamente 12 minutos, enquanto para a resina epóxi foi possível laminar dois corpos de prova a cada 15 minutos, devido ao seu *gel time*. Noventa gramas de resina foram suficientes para revestir por completo o compensado.

Uma semana após realizado o processo de revestimento, foi necessário fazer o desbaste do excesso de resina e tecido das laterais das amostras de compensado. Para isso foi utilizada uma lixadeira de cinta portátil com lixa de grão 80.

Figura 19 – Compensados sem e com revestimento durante o processo de cura



Fonte: Autor (2016)

#### 4.2.4 Ensaio de flexão estática

Dando continuidade a execução da norma ABNT NBR 9533 (2012) foi necessário calcular qual a velocidade de carregamento do cutelo sobre o corpo de prova. Esse cálculo é realizado utilizando a Equação (2). Os ensaios foram realizados no Centro Universitário Católica de Santa Catarina – Unidade Joinville.

$$V = \frac{k \times L^2}{6 \times e} \quad (2)$$

onde

$V$  é a velocidade de carregamento, expressa em milímetros por segundo (mm/s);

$k$  é a taxa de deformação de fibra, a qual é igual a 0,00005;

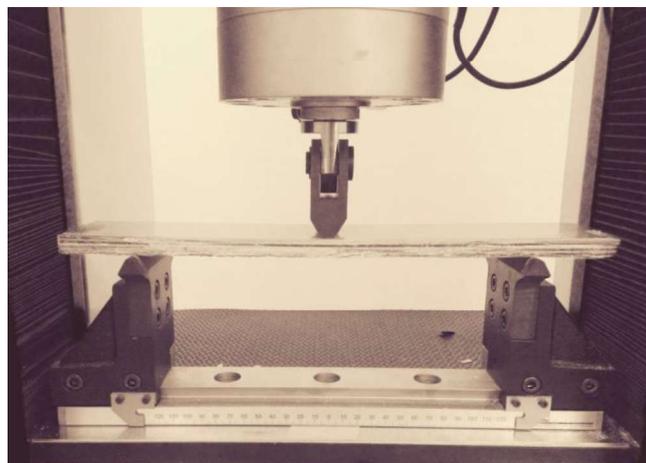
$L$  é a distância entre apoios (vão), expressa em milímetros (mm);

$e$  é a espessura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

Pela Norma, o ideal é que o espaço entre vãos seja de 300 milímetros. Porém, o máximo que a máquina forneceu foi um vão de 260 milímetros, sendo então calculada a velocidade de carregamento de 2,81 mm/s.

A Figura 20 apresenta o procedimento inicial dos testes de flexão. A máquina ensaiada é da marca EMIC, e os resultados dos seus ensaios forma registrados no software TESC em forma gráfica.

Figura 20 – Procedimento inicial dos testes de flexão



Fonte: Autor (2016)

Os gráficos foram gerados e armazenados para análise. A Norma estabelece as equações para a determinação da tensão de ruptura e do módulo de elasticidade.

A tensão de ruptura é calculada utilizando-se a Equação (3):

$$T_r = \frac{3 \times F_{MÁX} \times L}{2 \times l \times e^2} \quad (3)$$

onde

$T_r$  é a tensão de ruptura à flexão estática, expressa em megapascals (Mpa) com exatidão de 0,5 Mpa;

$F_{MÁX}$  é a carga de ruptura, expressa em Newtons (N);

$e, L, l$  são, respectivamente, espessura, distância entre os centros de apoio e largura do corpo de prova.

O módulo de elasticidades é calculado utilizando-se a Equação (4):

$$E_b = \frac{L^3 \times (F_2 - F_1)}{(4 \times l \times e^3 \times (S_2 - S_1))} \quad (4)$$

onde

$E_b$  é o módulo de elasticidade, expresso em Megapascals (Mpa);

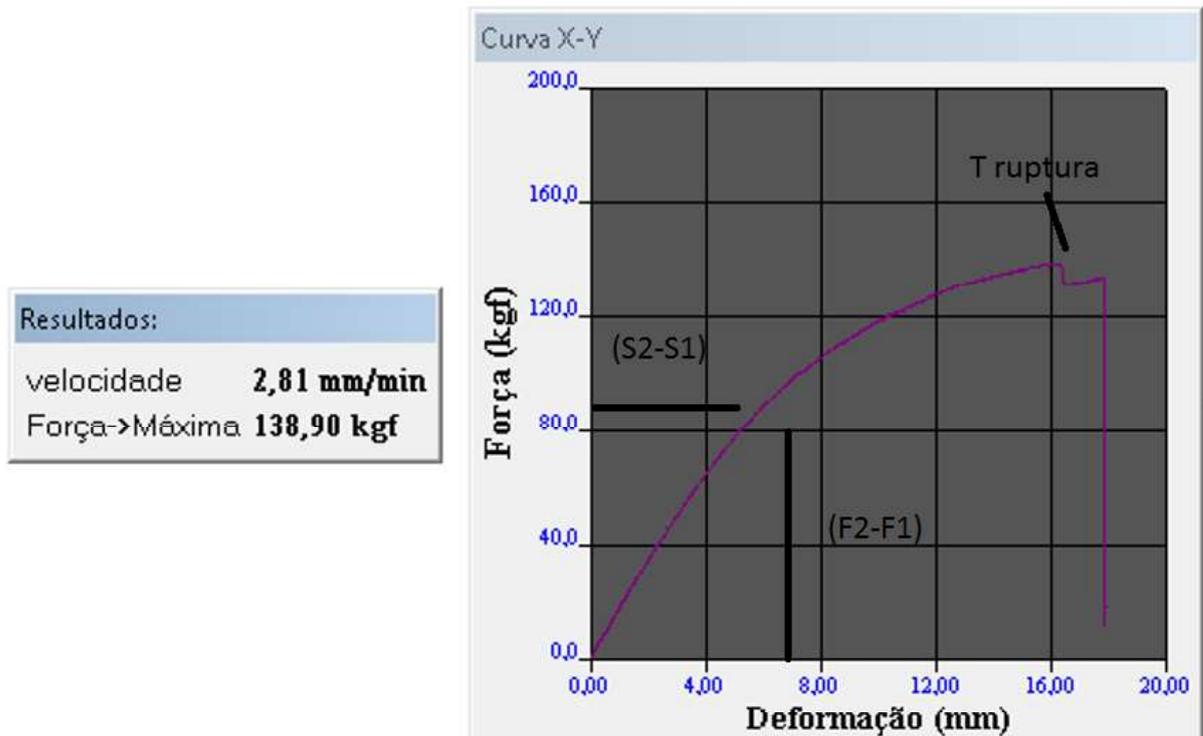
$e, L, l$  são, respectivamente, espessura, distância entre os centros de apoio e largura do corpo de prova;

$(F_2 - F_1)$  é o incremento de carga no trecho reto de curva carga-deformação, expresso em Newtons (N);

$(S_2 - S_1)$  é o incremento de deformação, no ponto central do vão, correspondente a  $(F_2 - F_1)$ , expresso em milímetros (mm).

O incremento de carga e de deformação foram obtidos como indicado na Figura 21. A força máxima ( $F_{MÁX}$ ) é dada diretamente pelo software, sendo também exemplificada na mesma.

Figura 21 – Exemplo de determinação do incremento de carga, deformação e força máxima para um corpo de prova



Fonte: Autor (2016)

Segundo Hibbeler (2010), a deformação ( $S_2 - S_1$ ) é chamada de deformação elástica. Se a força não ultrapassar este intervalo, o corpo ainda pode retornar as condições físicas que tinha antes de sofrer o carregamento. Caso a força passe essa faixa de deformação elástica, o material sofre deformação plástica e acaba tendo as características físicas alteradas. Por fim, existe a possibilidade do material ser submetido a um carregamento maior do que pode suportar, rompendo e, logicamente, não possuindo mais aplicabilidade.

## 5. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de flexão dos corpos de prova de compensado reforçados com fibra de vidro laminados com resinas poliéster ortoftálica e epóxi comparados com a flexão de corpos de prova sem reforço.

### 5.1 COMPARAÇÃO ENTRE COMPENSADO SEM REFORÇO PARA DIFERENTES UMIDADES

Os corpos de prova de compensado sem reforço foram ensaiados para se obter os valores relativos a sua tração de ruptura e o módulo de elasticidade para diferentes umidades.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores médios calculados, com os respectivos erros, para a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade para o compensado sem revestimento, sendo U1L e U1T os grupos de CDPF sem revestimento com umidade média de 12% com a direção da fibra longitudinal e transversal, respectivamente, e U2L e U2T, os corpos de prova sem revestimento com umidade média de 23% nas direções da fibra longitudinal e transversal, respectivamente. A análise estatística usada é baseada na distribuição t de Student devido ao baixo número de amostras com confiabilidade de 95%.

Tabela 3 – Tensão de ruptura em compensado sem revestimento

<b>Grupo</b>	<b>Tensão de ruptura média (MPa)</b>	<b>Erro 95% (MPa)</b>	<b>Umidade média (%)</b>
U1L	43,9	± 1,4	12,2
U2L	26,6	± 2,8	22,6
U1T	48,5	± 2,0	11,9
U2T	25,9	± 6,9	23,3

Fonte: Autor (2016)

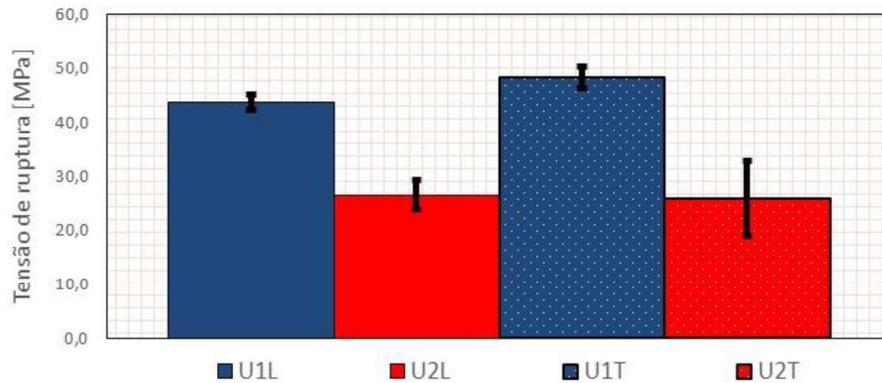
Tabela 4 – Módulos de elasticidade em compensado sem revestimento

<b>Grupo</b>	<b>Módulo de elasticidade médio (MPa)</b>	<b>Erro 95% (MPa)</b>	<b>Umidade média (%)</b>
U1L	4932,9	± 746,3	12,2
U2L	3230,2	± 759,8	22,6
U1T	5174,0	± 396,4	11,9
U2T	3402,9	± 892,4	23,3

Fonte: Autor 2016

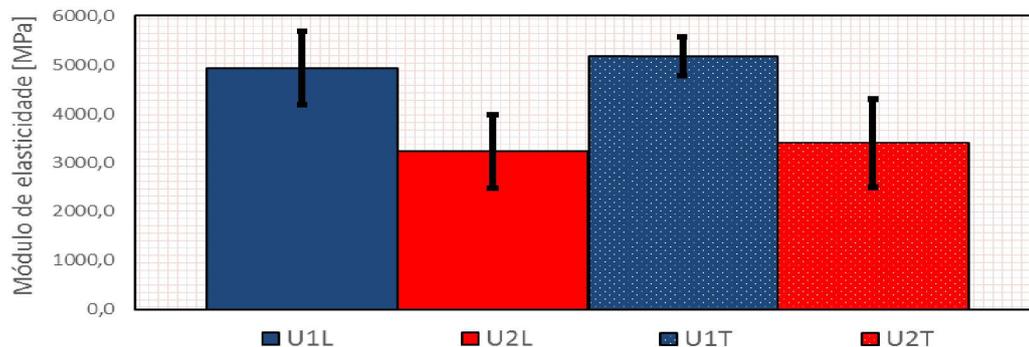
As Figura 22 e 23 apresentam, de forma gráfica, os valores obtidos para a tensão de ruptura e módulo de elasticidade para CDPF sem reforços nas direções longitudinal e transversal com 12 e 23 % de umidade média.

Figura 22 – Tensão de ruptura para compensado sem revestimento



Fonte: Autor (2016)

Figura 23 – Módulo de elasticidade para compensado sem revestimento



Fonte: Autor (2016)

Cabe ressaltar que as umidades que constam nas tabelas foram medidas exatamente na hora do ensaio. Já as medidas de espessura e largura foram realizadas aproximadamente três horas antes do ensaio.

Analisado a Tabela 3, nota-se que a umidade nos corpos de prova saturados são em média 50% maiores que as umidades saturadas para o compensado reforçado. Isto aconteceu devido à forma como a umidade foi induzida nos corpos de prova. Os CP foram mergulhados em água com temperatura ambiente por aproximadamente vinte minutos cinco horas antes da realização do ensaio. Outro motivo é que quanto mais umidade mais será perceptível a influência desta nas propriedades mecânicas do material.

Cabe destacar que segundo Longsdon (1998), o volume da madeira varia conforme a umidade, ou seja, as dimensões variam e isso precisa ser levado em conta para o cálculo de tensão de ruptura e módulo de elasticidade.

Analisando-se as médias e respectivos erros, nota-se que houve um melhor desempenho para o compensado com umidade média de 12% em relação ao de 23%, tanto para o sentido longitudinal quanto para o transversal das fibras da madeira.

## 5.2 COMPARAÇÃO ENTRE COMPENSADO COM REFORÇO DE RESINA POLIÉSTER ORTOFTÁLICA PARA DIFERENTES UMIDADES

Os corpos de prova foram laminados utilizando resina ortofetálica. Segundo Greene (1999), o PRFV possui ótimas propriedades mecânicas, além de proporcionar estanqueidade. Assim, já era esperado que os corpos de prova reforçados com fibra de vidro obtivessem valores de tensão de ruptura e módulo de elasticidade superiores aos corpos de prova sem reforço. As umidades dos corpos de prova foram medidas novamente antes de serem reforçadas, e, pelo fato da resina impermeabilizar o compensado, a umidade se manteve constante dentro do compensado até o dia do ensaio. As Tabela 5 e 6 apresentam os resultados para a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade para o compensado reforçado com resina poliéster ortoftálica, sendo OUxL e OUxT os corpos de prova longitudinal e transversal, respectivamente, com 2, 12 e 18% de umidade média.

Tabela 5 – Tensão de ruptura em compensado com reforço de resina poliéster ortoftálica

<b>Grupo</b>	<b>Tensão de ruptura média (MPa)</b>	<b>Erro 95% (MPa)</b>	<b>Umidade média (%)</b>
OU1L	77,4	± 7,7	2,1
OU2L	63,0	± 7,0	12,0
OU3L	55,3	± 7,5	17,5
OU1T	80,0	± 15,5	2,3
OU2T	58,5	± 1,8	12,8
OU3T	54,3	± 4,0	17,5

Fonte: Autor (2016)

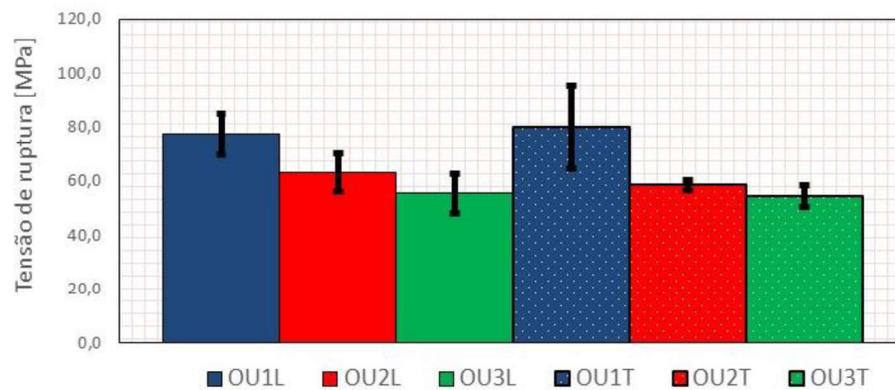
Tabela 6 – Módulo de elasticidade em compensado com reforço de resina poliéster ortoftálica

Grupo	Módulo de elasticidade médio (MPa)	Erro 95% (MPa)	Umidade média (%)
OU1L	6918,8	±546,7	2,1
OU2L	5450,2	±871,3	12
OU3L	5119,4	±861,1	17,5
OU1T	6654,8	±135,4	2,3
OU2T	5880,5	±732,2	12,8
OU3T	5303,5	±652,8	17,5

Fonte: Autor (2016)

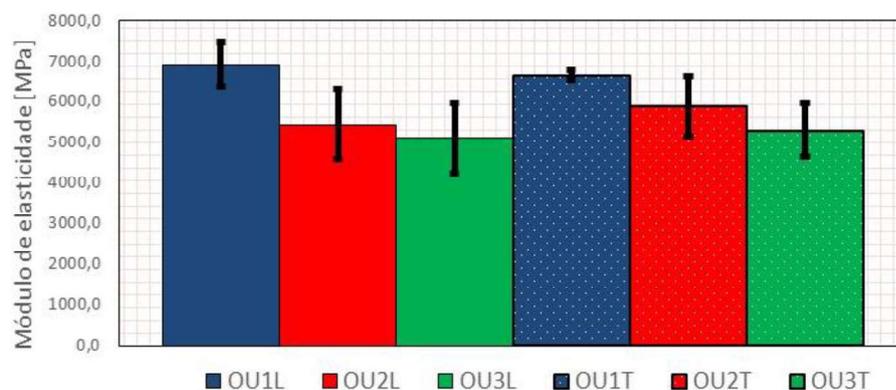
Nas Figura 24 e 25 estão apresentados, de forma gráfica, os valores obtidos para a tensão de ruptura e módulo de elasticidade para CDPF com reforço utilizando resina poliéster ortoftálica como matriz nas direções longitudinal e transversal com 2, 12 e 18% de umidade média.

Figura 24 – Tensão de ruptura para compensado com revestimento de poliéster ortoftálica



Fonte: Autor (2016)

Figura 25 – Módulo de elasticidade para compensado com revestimento poliéster ortoftálica



Fonte: Autor (2016)

A tensão de ruptura e o módulo de elasticidade foram determinados para os corpos de prova reforçados. Para os CDPF produzidos com resina poliéster ortoftálica, a tensão de ruptura média encontrada foi de 77,7 MPa na direção longitudinal, enquanto que na direção transversal a média foi de 80,0 MPa, ambas a 2% de umidade. O aumento da umidade provocou a diminuição dos valores médios, sendo que em 18% de umidade, os valores foram aproximadamente 30 % inferior (55,3 e 54,3 MPa). Já para o módulo de elasticidade, os valores calculados na direção longitudinal foram 26% menores quando comparadas as umidades de 2 e 18% (6918,8 e 5119,4 MPa), enquanto que na direção transversal, o CDPF com 18% de umidade o módulo de elasticidade foi 20,3% inferior ao valor obtido para o CDPF com 2% de umidade (6654,8 e 5303,5 MPa).

Fazendo a análise das médias e suas respectivas faixas de erros, é constatado que existe uma intersecção entre os grupos OU1T e OU2T na comparação entre os módulos de elasticidade. Assim, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) para ver o quão significativa é esta variação (Tabela 7). Os resultados demonstram que o valor-P é menor que 0,05, ou seja, podemos rejeitar a hipótese nula de médias iguais e garantir que a umidade teve influência no valor do módulo de elasticidade.

Tabela 7 – Análise de variância para os Grupos OU1T e OU2T para o módulo de elasticidade

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
OU1T	5	33273,86	6654,772	9056,463
OU2T	5	29402,38	5880,476	264735,4

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1498833,767	1	1498834	10,94871	0,010716	5,317655
Dentro dos grupos	1095167,325	8	136895,9			
Total	2594001,092	9				

Fonte: Autor (2016)

### 5.3 COMPARAÇÃO ENTRE COMPENSADO COM REFORÇO DE RESINA EPÓXI PARA DIFERENTES UMIDADES

Foram produzidos 30 corpos de prova de compensado reforçados com resina epóxi, divididos em 10 corpos de prova para cada umidade: 2, 12 e 18%. Os corpos de prova de resina epóxi com umidade de 12% não foram ensaiados devido a indisponibilidade da

máquina de flexão estática. Porém, com os resultados obtidos para as umidades testadas foi possível tirar conclusões satisfatórias.

As Tabela 8 e 9 apresentam os valores para a tensão de ruptura e módulo de elasticidade calculados a partir dos corpos de prova reforçados utilizando resina epóxi como matriz com 2 e 18% de umidade, sendo EUxL e EUxT os CDPF nas direções longitudinal e transversal, respectivamente.

Tabela 8 – Tensão de ruptura em compensado com revestimento de resina epóxi

<b>Grupo</b>	<b>Tensão de ruptura média (MPa)</b>	<b>Erro 95% (MPa)</b>	<b>Umidade média (%)</b>
EU1L	73,7	± 7,3	1,7
EU3L	60,7	± 7,8	1,5
EU1T	89,6	± 13,6	18,1
EU3T	63,9	± 2,2	18,2

Fonte: Autor (2016)

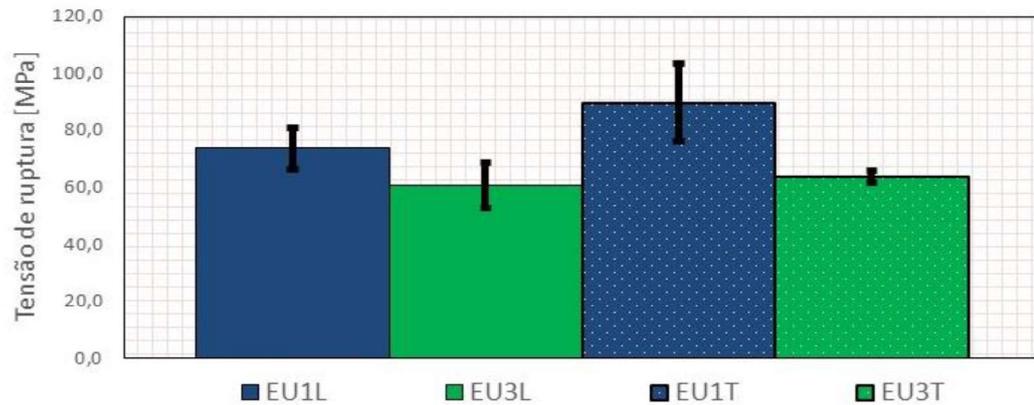
Tabela 9 – Módulo de elasticidade em compensado com reforço de resina epóxi

<b>Grupo</b>	<b>Módulo de elasticidade médio (MPa)</b>	<b>Erro 95% (MPa)</b>	<b>Umidade média (%)</b>
EU1L	7075,2	± 821,1	1,7
EU3L	5745,0	± 488,4	1,5
EU1T	7381,7	± 584,6	18,1
EU3T	5890,3	± 295,6	18,2

Fonte: Autor (2016)

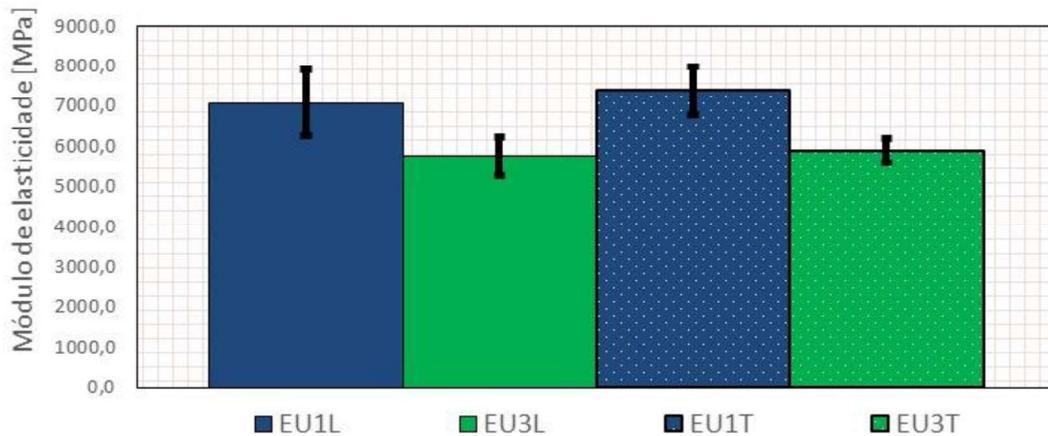
Os valores para a tensão de ruptura e módulo de elasticidade para CDPF com reforço utilizando resina epóxi como matriz nas direções longitudinal e transversal com 2, e 18% de umidade média estão apresentados de forma gráfica nas Figura 26 e 27.

Figura 26 – Tensão de ruptura para compensado com revestimento de resina epóxi



Fonte: Autor (2016)

Figura 27 – Módulo de elasticidade para compensado com revestimento epóxi



Fonte: Autor (2016)

Foi encontrada mais uma intersecção entre os intervalos de erros entre diferentes umidades para a tensão de ruptura, dessa vez entre EU1L e EU3L. A Tabela 10 apresenta a análise de variância para os dois grupos, obtendo-se que um valor-P inferior a 0,05 permite rejeitar mais uma vez a hipótese de nula de médias iguais.

Tabela 10 – Análise de variância para os Grupos EU1L e EU2L para a tensão de ruptura

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
EU1L	5	368,6951	73,73902	26,38612
EU2L	5	303,3473	60,66947	30,41555

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	427,0329	1	427,0329	15,03593	0,004691	5,317655
Dentro dos grupos	227,2067	8	28,40083			
Total	654,2396	9				

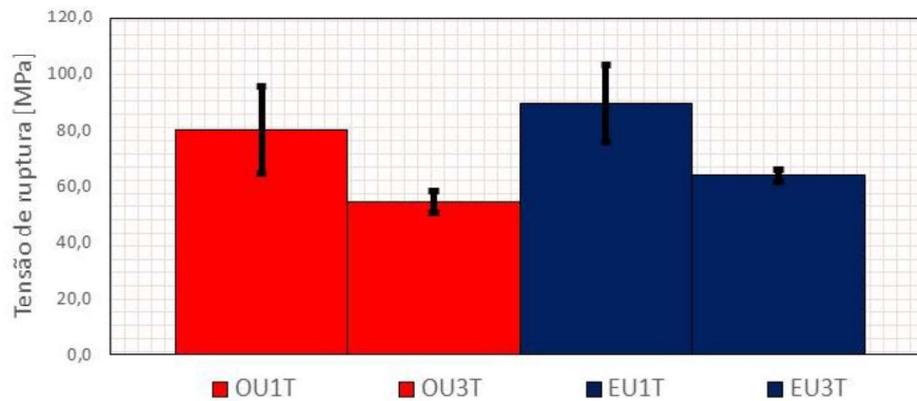
Fonte: Autor (2016)

Para os CDPF produzidos com resina epóxi, a tensão de ruptura média encontrada foi de 73,7 MPa na direção longitudinal, enquanto que na direção transversal a média foi de 89,6 MPa, ambas a 2% de umidade aproximadamente. O aumento da umidade provocou a diminuição dos valores médios, sendo que em 18% de umidade, os valores foram aproximadamente 25% inferiores (60,7 e 63,9 MPa). Já para o módulo de elasticidade, os valores calculados na direção longitudinal foram 18,7% menores quando comparadas as umidades de 2 e 18% (7075,2 e 5745 MPa), enquanto que na direção transversal, o CDPF com 18% de umidade o módulo de elasticidade foi 18,5% inferior ao valor obtido para o CDPF com 2% de umidade (7381,7 e 5890,3 MPa).

#### 5.4 COMPARAÇÃO ENTRE COMPENSADO COM REVESTIMENTO POLIÉSTER ORTOFTÁLICO E EPÓXI

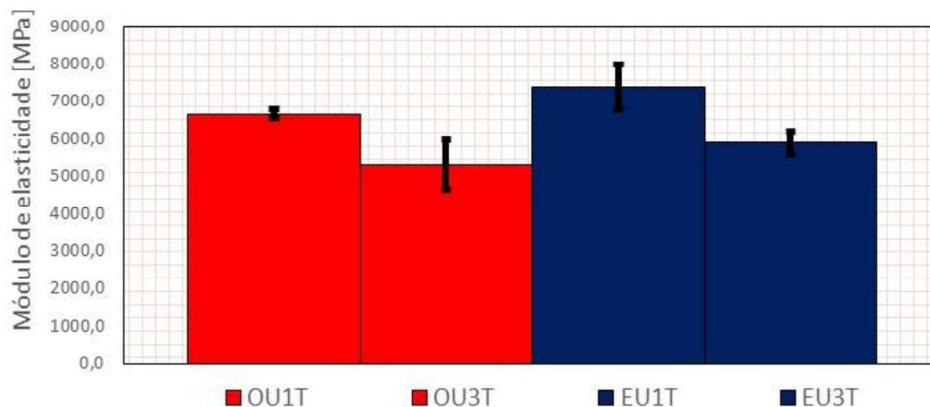
As Figura 28 e Figura 29 apresentam os valores para a tensão de ruptura e módulo de elasticidade quando foram utilizadas as resinas epóxi e poliéster ortoftálica. Para facilitar a análise, serão comparados apenas os corpos de prova na direção transversal, pois não foi encontrada uma variação significativa entre as direções da fibra da madeira. Como já mencionado anteriormente, não foi possível realizar os ensaios dos CDPF revestidos com epóxi com umidade ambiente (12%), assim não tendo como comparar com os CDPF de mesma umidade para a resina poliéster ortoftálica.

Figura 28 – Comparação entre tensões de ruptura para resinas poliéster ortoftálica e epóxi na direção transversal a fibra da madeira



Fonte: Autor (2016)

Figura 29 – Comparação entre módulos de elasticidade para resinas poliéster ortoftálica e epóxi na direção transversal a fibra da madeira.



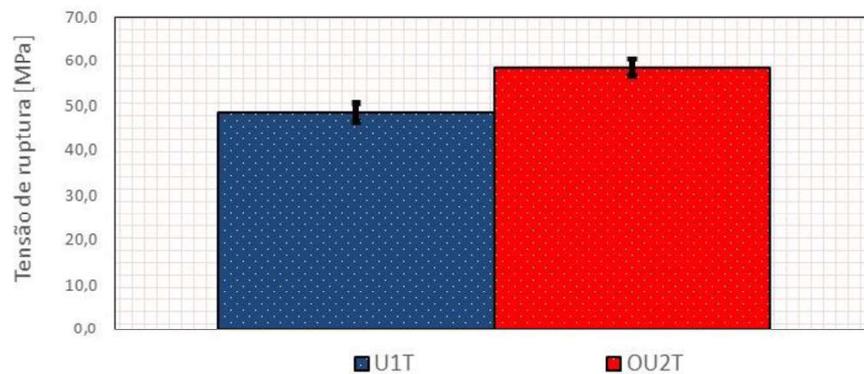
Fonte: Autor (2016)

Analisando as tensões de ruptura é possível detectar uma média maior para as amostras revestidas com resina epóxi, porém, para baixa umidade (média 10% maior da resina epóxi) o erro é muito grande, ficando impossível afirmar com exatidão que uma possui vantagem em relação à outra. Já na análise para a umidade de 18% para ambos os revestimentos é notório um desempenho melhor para a resina epóxi com erro muito baixo, ficando claro que possivelmente a resina poliéster ortoftálica deve ter um certo grau de intolerância para o aumento da umidade do compensado. Na análise do módulo de elasticidade fica bem evidente a superioridade da resina epóxi que permitiu uma melhora de 10% tanto para umidade baixa quanto para a umidade elevada.

## 5.5 COMPARAÇÃO ENTRE COMPENSADO COM E SEM REVESTIMENTO

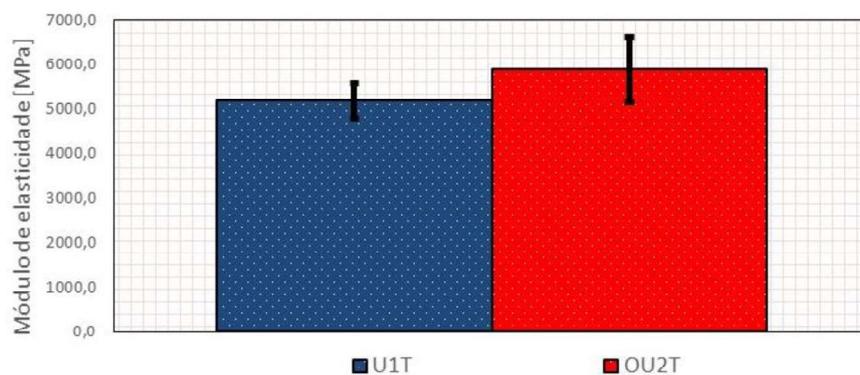
Apenas podem ser comparados corpos de prova com umidades semelhantes, restando para essa análise apenas os CDPF sem revestimento e com revestimento de resina poliéster ortoftálica para umidade de 12% em média. As Figura 30 e 31 apresentam as tensões de ruptura e módulo de elasticidade para CDPF sem e com revestimento de resina poliéster ortoftálica.

Figura 30 – Comparação entre os CDPF sem revestimento e com revestimento de resina poliéster ortoftálica para a tensão de ruptura



Fonte: Autor (2016)

Figura 31 – Comparação entre os CDPF sem revestimento e com revestimento de resina poliéster ortoftálica para módulo de elasticidade



Fonte: Autor (2016)

A análise de tensão de ruptura demonstra que o revestimento de PRFV conferiu ao compósito melhor desempenho, sendo 17% superior ao material sem revestimento. A princípio este valor pode parecer pouco significativo, mas se for levado em consideração que apenas duas finas camadas de fibra foram utilizadas, os resultados mostram-se expressivos.

A comparação dos módulos de elasticidade não permitiu fazer afirmações devido ao cruzamento da faixa de erros. Com a utilização da ANOVA (Tabela 11), que retornou o valor P de 0,027, é possível afirmar que houve influência positiva do revestimento, mais precisamente, uma média de 12%.

Tabela 11 – Análise de variância entre compensado sem revestimento e com revestimento de resina poliéster ortoftálica com 12% de umidade.

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
U1T	5	25870,17	5174,033	77608,85
OU2T	5	29402,38	5880,476	264735,4

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1247655	1	1247655	7,288892	0,027083	5,317655
Dentro dos grupos	1369377	8	171172,1			
Total	2617032	9				

Fonte: Autor (2016)

## 6. CONCLUSÕES

Compósitos de compensado naval com e sem reforço foram produzidos utilizando-se plástico reforçado com fibra de vidro e as resinas poliéster ortoftálica e epóxi. Dos 96 corpos de prova produzidos, 70 foram utilizados para a determinação das propriedades mecânicas - tensão de ruptura e módulo de elasticidade. Foram produzidos CPs com umidades diferentes, sendo, na média, de 2, 12 e 18%.

Percebe-se também que o revestimento torna o compensado mais rígido, com uma adição muito baixo de peso e volume. Isso é obviamente excelente para a indústria náutica uma vez que otimização de peso e espaço é sempre muito bem-vinda. Embora experimentalmente esse ganho tenha sido pouco significativo para a umidade de 12%, é valido lembrar que apenas foram adicionadas duas camadas de tecido de fina espessura, e que a adição de mais alguns milímetros de manta e tecido de vidro poderiam ter dobrado os valores das propriedades de tensão de ruptura e módulo de elasticidade.

É notória a distinção entre grupos devido aos fatores que os diferenciam, no caso, a umidade e o revestimento. Ou seja, com 95% de confiabilidade é possível afirmar que a umidade tem fator negativo nos produtos de compensado revestidos com fibra de vidro, sendo a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade médios para a resina epóxi de 73,7 MPa e 7075,2 MPa e de 77,4 MPa e 6918,8 MPa para a resina poliéster ortoftálica, respectivamente, para uma umidade de 2%. O aumento da umidade diminui os valores médios para a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade para todos os CP, independente da resina utilizada.

Fica praticamente impossível distinguir o efeito da direção das fibras (longitudinal ou transversal) do compensado. Em todos os ensaios, para os corpos de prova com e sem revestimento, e para as mesmas umidades, a média das tensões de ruptura e módulo de elasticidade estão no mesmo intervalo de confiança de 95%. É valido destacar que a madeira pinus possui tensão de ruptura de aproximadamente 70MPa na direção longitudinal em 15% de umidade segundo o IPT (1989) e para o compensado sem revestimento testado obteve-se em média 45 MPa em 12% de umidade, confirmando que realmente a fibra influencia na tensão de ruptura.

O revestimento de resina epóxi acabou apresentando um desempenho levemente superior com relação ao revestimento poliéster ortoftálico, porém, seu preço de aquisição foi quatro vezes superior, e isso deve ser levado em conta na hora da escolha da matriz.

Como o compensado mescla as direções das fibras ortogonalmente, e ainda adiciona resinas de alta adesão a pressões elevadas, o produto final é uma painel com tensão de ruptura

maior que a média da madeira pinus em forma de prancha. Considerando ainda que o pinus não tem a mesma propriedade no sentido transversal é conclusivo que o painel de laminado possui uma distribuição de tensões mais homogênea que a sua matéria prima.

## 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As sugestões de continuidade dos estudos relacionados ao compensado naval são:

- Refazer o estudo utilizando um número maior de corpos de prova, não necessitando testar as direções longitudinal e transversal das fibras da madeira, visto que não houve influência dessa variável no estudo.
- Determinar as propriedades mecânicas para outros tipos de painéis de madeira e até mesmo madeira de lei usando reforço de fibra de vidro, visto que esses outros painéis são cada vez mais utilizados em nosso cotidiano.
- Fazer o mesmo estudo para corpos de prova submetidos a câmara salina
- Analisar a influência de elevadas temperaturas, utilizadas em operações práticas, no compensado revestido com fibra de vidro para diferentes umidades do compensado.

## REFERÊNCIAS

- ABIMCI – **Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente**. Estudo Setorial 2013 – Ano-Base 2012. Curitiba, 2013.
- BLAZUS, A.; HORA, A.; LEITE, B. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.32, p. 49-90, set. 2010.
- FONSECA, C. B.; Costa, G. F.; Dias, F. M. **Reforço com Fibras de Vidro em Painéis Compensados uma Alternativa Ecológica**. Unileste. 2011.
- GAY, D. **Composite Materials: Design and Applications**. 7. Ed. 2003.
- GREENE. E. **Marine Composites**. 2. Ed. 1999.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- IPT. **INFORMAÇÕES SOBRE MADEIRAS**. Pinus-eliote, 1989.
- LOGSDON, N. B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. São Carlos, 1998
- NASSEH, J. **Técnica E Prática De Laminação Em Composites**. 1. ed. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites, 2008.
- NASSEH, J. **Manual de construção de barcos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites, 2011.
- PIZZI, A.; LEYSER, E. V.; WESTERMEYER, C. **Adhesive composition comprising isocyanate phenol-formaldehyde and tannin, useful for manufacturing plywoods for exterior application**. US. Pat. 5407980 A. 18 abr. 1995. 17p.
- PRATA, J. G. **Processo de fabricação de compensado**. UFPR. 2006.
- REMADE. **A indústria brasileira de painéis de madeira**. *Revista da Madeira*, n. 71, mai. 2003. Disponível em: <[www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=328](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=328)>. Acesso em: ago. 2016.
- RENCK, E. **Comparação entre as embarcações pesqueiras que praticam o método de cerco construídas no Vale do Itajaí e Peru**. UFSC. 2014.
- VIDAL, André Carvalho Foster; HORA, André Barros da. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.40, p. 323-384, set. 2014.

## Apêndice 1 – Medidas e resultados para cada corpo de prova

	Carga total [kgf]	Carga total [N]	Deformação total [mm]	Incremento de carga [N]	Incremento de deformação [mm]	Módulo de elasticidade [Mpa]	Tensão ruptura [Mpa]	Teor de umidade	Espessura (mm)	Largura (mm)
A1U1L	120	1182	12,5	589	4	4995	42,7	12,2	11,99	75,1
A2U1L	129	1261	12	667	4	5611	45,3	12,4	12,02	75,2
A3U1L	124	1215	12	569	3,8	5050	43,7	11,8	12,01	75,2
A4U1L	125	1226	13	392	3,2	4147	44,2	12,4	12,01	75
A5U1L	123	1207	12,5	575	4	4861	43,5	12,3	12	75,2
A1U1T	132	1295	18	785	5	5322	46,8	12,1	12	75
A2U1T	142	1393	19,8	785	4,8	5501	50,0	11,7	12,02	75,2
A3U1T	139	1363	17,8	785	5	5281	48,9	11,6	12,02	75,2
A4U1T	134	1314	10,25	863	6	4859	47,3	12,0	12,01	75,1
A5U1T	140	1373	18	800	5,5	4907	49,4	11,8	12,02	75
A1U2L	88	864	25,5	540	4,2	3491	26,9	23,7	12,89	75,5
A2U2L	90	879	12	559	4	3759	27,1	21,0	12,93	75,6
A3U2L	92	903	10	412	4,5	2423	27,6	22,3	13,01	75,4
A4U2L	77	755	9,8	392	3	3505	23,3	22,6	12,95	75,5
A5U2L	95	929	18	520	4,6	2973	28,2	23,6	13,03	75,5
A1U2T	84	823	22	491	4,8	2691	25,0	23,3	13,02	75,6
A2U2T	90	883	14,5	540	5	2835	26,8	21,7	13,03	75,6
A3U2T	97	947	13,8	589	4	3929	29,1	23,7	12,96	75,6
A4U2T	60	589	11	392	3	3478	18,0	24,0	12,99	75,4
A5U2T	102	996	23	618	4	4082	30,4	23,9	13	75,7
OA1U1T	205	2016	11,5	1030	5	6157	66,9	1,9	12,51	75,1
OA2U1T	200	1962	8,5	1566	7	6679	65,0	3,0	12,51	75,2
OA3U1T	242	2370	10	2370	10	7057	78,4	2,5	12,52	75,2
OA4U1T	302	2959	15	1962	8	7304	98,0	1,8	12,53	75
OA5U1T	248	2433	12	1962	8,5	6889	80,6	2,1	12,51	75,2
OA1U1L	262	2570	11,5	2158	8	8032	85,0	2,3	12,52	75,2
OA2U1L	218	2140	9,8	1668	7,3	6811	70,9	1,7	12,52	75,1
OA3U1L	230	2257	10,7	1962	8	7319	74,8	2,4	12,51	75,2
OA4U1L	247	2423	12,5	1619	7,5	6417	80,1	2,2	12,52	75,3
OA5U1L	235	2305	11	1962	8	7292	76,2	2,0	12,52	75,3
OA1U2T	192	1887	16	1354	6	6283	59,6	12,0	12,78	75,6
OA2U2T	172	1687	11	1030	5,7	5039	53,4	11,9	12,78	75,5
OA3U2T	192	1884	15	1275	6	5905	59,4	12,0	12,79	75,6
OA4U2T	192	1880	15	1275	6	5863	59,0	12,2	12,82	75,6
OA5U2T	188	1844	14,5	1324	5,8	6313	58,0	12,3	12,81	75,6
OA1U2L	162	1593	15	1177	6	5470	50,4	11,7	12,78	75,5
OA2U2L	208	2042	16	1177	6	5463	64,5	11,8	12,78	75,6
OA3U2L	159	1563	12	834	5,2	4440	49,2	12,3	12,81	75,5
OA4U2L	229	2246	12,1	1275	5	7069	70,7	12,1	12,8	75,6

OA5U2L	200	1962	13,5	1177	5,5	5946	61,9	12,0	12,79	75,6
OA1U3T	195	1914	12,2	1275	6	5158	55,0	15,8	13,35	76,1
OA2U3T	269	2642	18,5	1177	5	5681	75,6	18,4	13,37	76,2
OA3U3T	265	2604	13,5	1452	6,1	5743	74,6	16,4	13,37	76,2
OA4U3T	180	1770	14	1226	5,5	5425	51,0	17,1	13,35	75,9
OA5U3T	185	1815	14	1177	5	5675	52,0	17,5	13,38	76,1
OA1U3L	204	1997	13	883	4,2	5092	57,4	18,5	13,37	75,9
OA2U3L	197	1933	13	883	5	4249	55,3	17,2	13,4	75,9
OA3U3L	255	2506	16,5	1128	5	5395	71,3	17,4	13,41	76,2
OA4U3L	182	1785	10	1158	4	6840	50,5	18,5	13,48	75,9
OA5U3L	180	1766	11,5	1079	4,5	5729	50,2	18,3	13,42	76,1
EA1U1T	279	2736	11	2736	11	7399	90,5	1,1	12,53	75,1
EA2U1T	299	2937	12,3	2060	8	7685	97,3	1,6	12,51	75,2
EA3U1T	293	2878	11,9	2649	11,5	6825	94,9	1,9	12,54	75,2
EA4U1T	226	2217	9	2158	9	7091	73,1	1,6	12,56	75
EA5U1T	285	2796	10	2207	9,5	6868	92,1	1,3	12,55	75,2
EA1U1L	202	1982	8,5	1982	8,5	6941	65,6	1,6	12,52	75,2
EA2U1L	230	2253	10	2158	9	7184	74,9	1,5	12,5	75,1
EA3U1L	194	1902	7,5	2011	7,5	7964	62,8	1,7	12,53	75,2
EA4U1L	254	2489	10,5	2453	10	7240	81,8	2,2	12,55	75,3
EA5U1L	205	2011	8,5	2109	9	6935	66,2	1,8	12,54	75,3
EA1U3T	225	2203	12,5	1226	5	5941	63,3	19,6	13,37	75,9
EA2U3T	220	2163	13	1177	5	5701	62,1	17,4	13,36	76,1
EA3U3T	229	2246	13,5	1177	5	5681	64,3	18,8	13,37	76,2
EA4U3T	255	2499	12,5	1472	6	5944	71,8	17,5	13,35	76,2
EA5U3T	235	2305	12	1226	4,8	6186	66,2	18,2	13,36	76,1
EA1U3L	189	1849	11,8	1275	5	6178	53,2	18,1	13,37	75,9
EA2U3L	240	2354	16	1177	4,5	6294	67,4	17,5	13,4	75,9
EA3U3L	235	2305	11	1324	6	5302	65,8	19,3	13,39	76,2
EA4U3L	206	2017	10,5	1275	4,5	6651	56,7	18,2	13,5	76,1
EA5U3L	250	2453	10	1275	5,5	5594	70,2	17,8	13,37	76,2

Fonte: Autor

APÊNDICE 1 – BOLETIM TÉCNICO DA RESINA POLIÉSTER ORTOFTÁLICA  
CRISTAL



## ARAZYN 1.0 - BOLETIM TECNICO DA FAMILIA

ARA QUÍMICA S/A. - RUA ARTHUR CÉSAR, 200  
18147-000 - ARAÇARIGUAMA - SP - BRASIL • TEL: 0 (XX) 11 4136 1900

BTE DOCUMENTO 000162

### RESINA POLIÉSTER INSATURADO, ORTOFTÁLICA, BAIXA REATIVIDADE, CRISTAL:

#### DESCRIÇÃO:

A resina padrão da família AZ 1.0 de baixa reatividade e pré-acelerada apresenta, no estado líquido, viscosidade média, alta transparência e ausência de coloração. Após cura, apresenta rigidez, alta transparência e cristalinidade.

#### OUTRAS RESINAS

Na mesma família, existem outras resinas com características específicas quanto à viscosidade, absorção de raios UV, tixotropia, pigmentação, tempo de gel e não aceleração (NPA). Consultar o departamento técnico da AraAshland.

#### SUGESTÕES DE USO

Fundição de Objetos de Artesanato e Decoração: painéis, vitrais, tampos de mesa, bijouterias, estátuas, troféus.

Fundição de Peças para Sanitários: assentos sanitários, saboneteiras, lixeiras, porta-toalhas, lavatórios etc.

Indústria de Botões: centrifugação e bastões.

Com Fibra de Vidro na Construção Civil: telhas (processo manual), domus e venezianas.

A resina padrão da família AZ 1.0 aceita como produtos modificadores, corantes na forma pura ou pigmentos na forma de pastas de poliéster não reativo, monômero de estireno como diluente, absorvedores de raios UV, promotores ou inibidores especiais para acelerar ou retardar a cura, agentes tixotrópicos e outros. Há necessidade de testes para identificar o grau de aceitação de cada um desses aditivos. Certamente, a adição deles afeta as características da resina padrão. Em caso de dúvidas, consultar o departamento técnico da AraAshland.

#### PROPRIEDADES DA RESINA LÍQUIDA AZ 1.0 - Padrão

Viscosidade Brookfield(25°C/LVF sp 2/12 rpm), cps	1400-1800
Gel Time (25°C c/1,0 g MEK-P em 100 g resina), minutos	10' - 14'
Intervalo de Pico, minutos	max. 22
Pico Exotérmico, °C	max. 150
Índice de Acidez (em solução), mg KOH/g resina	max. 30
Aspecto	cristal
Cor(curada)	incolor
Teor de Sólidos, %	min. 68 %

*OBS: Os valores das propriedades acima obtidos resultam da resina AZ 1.0 na sua forma original (padrão) Qualquer produto adicionado à mesma, afetará tais valores. O catalisador (MEK-P) usado, possui teor de oxigênio ativo de 8,9 a 9,1% e unidade máxima de 3%.*

*CURA: Usar MEK-P como catalisador num teor que pode variar de 0,6 à 2,0%. A escolha do teor de MEK-P está diretamente ligada à espessura e volume da peça, bem como à temperatura ambiente.*

®Marca registrada da Ara Química S. A.

Nota: Os dados e resultados de laboratório contidos neste boletim foram determinados pela Ashland através de métodos de análise específicos. A Ara Química/ Ashland não garantem a duplicação destes resultados por terceiros. Todos os dados apresentados são fornecidos de boa fé e, tendo a intenção de ser precisos. Os valores são orientativos e todas as recomendações ou sugestões contidas ou baseadas neste boletim deverão ser avaliadas pelo cliente a fim de determinar a aplicabilidade ou adequação para seu uso particular.

Todas as etiquetas e notas de precaução devem ser lidas e entendidas pelo cliente. Consulte a Ara Química e as regulamentações oficiais para maiores informações adicionais sobre segurança e saúde no manuseio do produto. O cliente é responsável por estar em acordo com a aplicabilidade das leis federais, estaduais ou municipais e regulamentos que cubram o uso do produto. Deve-se dar maior atenção às aplicações do consumidor final. A liberdade de uso de qualquer patente pertencente a Ashland ou outros não está incluída neste documento.

## ARAZYN<sup>®</sup> 1.0 (continuação)

---

---

### PROPRIEDADES MECANICAS - VALORES TÍPICOS\*

---

---

PROPRIEDADES FÍSICAS DA RESINA CURADA\*\* A 25 °C SEM REFORÇO (pós-cura 2 horas à 80°C):

<u>TESTE</u>	<u>VALOR</u>	<u>MÉTODO DE TESTE</u>
Resistência à Tração, psi	8.100	ASTM D-638
Módulo na Tração, psi X10 <sup>5</sup>	2,85	ASTM D-638
Alongamento, %	3,2	ASTM D-638
Resistência à Flexão, psi	12.000	ASTM D-790
Módulo na Flexão, psi X10 <sup>5</sup>	4,0	ASTM D-790
Temperatura de Distorção Térmica, °C	65	ASTM D-648
Dureza Barcol , 2 horas	35-40 B	ASTM D-2583

*\*Valores Típicos: Baseados em materiais testados em nossos laboratórios, mas com variação de amostra para amostra. Valores típicos não devem ser considerados como uma garantia de análise de algum lote específico ou como item de especificação.*

*\*\* Sistema de Cura: 1,0 g MEK-P em 100 de resina, seguido de pós-cura de 2 horas à 80 °C.*

<b>EMBALAGEM PADRÃO:</b>	Tambor não retornável com 220 kg (peso líquido)
<b>IDENTIFICAÇÃO REQUERIDA:</b>	Líquido inflamável
<b>CÓDIGO:</b>	AZ 1.0#00 (padrão)
	AZ 1.0#XX (outras resinas da mesma família)

#### MANUSEIO:

A resina AZ 1.0 contém produtos que podem ser perigosos se não forem manuseados adequadamente. O contato com a pele e olhos deve ser evitado e é necessário o uso de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual).

A AraAshland mantém a FISP (Folhas de Informações de Segurança de Produto) de todos os seus produtos à disposição do consumidor. As FISPs contêm informações de segurança, saúde e procedimentos adequados de manuseio, a fim de proteger seus empregados e consumidores.

#### ARMAZENAMENTO RECOMENDADO:

**Tambores:** Manter à temperatura de 25°C ou menor. O tempo de vida do produto na estocagem diminui com o aumento da temperatura de estocagem. Evite exposição às fontes de aquecimento tais como luz do sol ou tubulações de vapor. Manter a embalagem vedada para prevenir contra umidade e evaporação do estireno.

**Tanques:** Armazenar em tanques de aço inoxidável ou revestido com tinta de base epóxi ou fenólica. Verifique as condições de armazenagem de forma a evitar umidade e/ou calor

#### VIDA ÚTIL:

Este produto tem vida útil limitada. Quando armazenado de acordo com as recomendações acima, o produto tem vida útil mínima de 03 (três) meses.

APÊNDICE 2 – BOLETIM TÉCNICO DO EDURECEDOR DA RESINA POLIÉSTER  
ORTOFTÁLICA CRISTAL

## BRASNOX® DM50

### DESCRIÇÃO

**BRASNOX® DM 50** é um peróxido de metil etil cetona em dimetilftalato indicado para cura de resina poliéster insaturada e éster vinílica.

### PROPRIEDADES TÍPICAS

Aspecto.....	Líquido, Límpido e Incolor
Oxigênio Ativo (%).....	8,80 – 9,00
Densidade (g/cm <sub>3</sub> 25°C).....	1,14 – 1,18
Solúvel em.....	ftalatos, cetonas, alcoóis e glicóis
Insolúvel em.....	hidrocarbonetos aromáticos clorados e alifáticos
SADT (Temperatura de Decomposição em Auto-aceleração) (°C).....	65
Temperatura de Estocagem (°C).....	Máx. 30

### APLICAÇÃO

**Brasnox® DM 50** é um iniciador de polimerização em resinas de poliéster insaturadas e éster vinílicas , em temperatura ambiente. Aplicações em processos hand lay-up, spray-up, laminação contínua telhas, filament winding e moldagem fechada, pode ser usado para a aplicação de gelcoats e massa plástica.

APÊNDICE 3 – BOLETIM TÉCNICO DO COMPONENTE GERADO PELA MISTURA  
DA RESINA EPÓXI E DO SEU RESPECTIVO ENDURECEDOR



## SQ 2001 e SQ 3024

### SISTEMA DE RESINA EPOXÍDICA

#### APRESENTAÇÃO

Este sistema pode ser usado em revestimentos em plástico reforçado (no máximo 05 mm por vez), metais, concreto, preenchimentos, encapsulamentos, etc onde necessite um material com boa resistência química e mecânica com alta dureza.

#### CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES

	Resina SQ 2001	Endurecedor SQ 3024
Aparência	líquido límpido	líquido incolor a âmbar
Viscosidade, 20°C, cPs	10.000 a 14.000	20 +/- 03
Peso Específico, 20°C, g/cm <sup>3</sup>	1,15 +/- 0,01	0,970 +/- 0,02

#### PROPRIEDADES DO SISTEMA NÃO CURADO

Proporção de mistura (Resina: Endurecedor) .....	100:13 partes em peso.
Temperatura de manipulação (°C) .....	18 - 30.
Tempo de utilização da mistura (gel time) a 20°C.....	15 a 20 min.
Tempo de endurecimento da mistura (100 ml, 20°C,).....	60 a 90 min.
Cura total a 20°C.....	24 a 48 horas.

#### PROPRIEDADES DO SISTEMA CURADO

Resistência à Tração (kg/mm <sup>2</sup> ) VSM 77101 .....	3 a 4.
Resistência à Pressão(kg/mm <sup>2</sup> ) VSM 77102 .....	16 a 17.
Resistência à Flexão (kg/mm <sup>2</sup> ) VSM 77103 .....	4 a 5.
Resistência à Flexão de Choque (cm kg/cm <sup>2</sup> ) VSM 77105 .....	2 a 3.

#### RESINA BASE

A resina epoxídica base do sistema é um produto líquido, resultante da reação da Epicloridrina com o Bisfenol A modificada.

#### ENDURECEDOR

A opção pela poliamina como endurecedor foi feita tendo em vista promover a melhor dureza com boa resistência térmica, química e mecânica com média exotermia, possuindo boa solubilização na resina, permitindo cura homogênea com velocidade e propriedades finais bastante controláveis.

#### ARMAZENAGEM

Resinas epoxídicas são estáveis por um longo período de tempo à temperatura ambiente. Recomendamos que o sistema seja armazenado em locais onde não haja variação brusca de temperatura.

Vida útil: Dentro das especificações de armazenagem, a embalagem não aberta tem vida útil garantida de 12 (doze) meses, todavia o material pode resistir vários meses mais.

## APÊNDICE 4 – BOLETIM TÉCNICO DA FIBRA DE VIDRO

