

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

GUILHERME VÍTOR WENDHAUSEN ROTHBARTH

INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE CHANFRO NOS REPAROS EM PRFV

Joinville

2016

GUILHERME VÍTOR WENDHAUSEN ROTHBARTH

INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE CHANFRO NOS REPAROS EM PRFV

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: Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto

Joinville

2016

GUILHERME VÍTOR WENDHAUSEN ROTHBARTH

INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE CHANFRO NOS REPAROS EM PRFV

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro Naval, e aprovado em sua forma final pelo Programa de Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville (SC), 2 de dezembro de 2016.

Banca Examinadora:

Prof. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, Dr. Eng.
Presidente/Orientador

Prof. Gabriel Benedet Dutra, Dr. Eng.
Membro

Prof. Thiago Pontin Tancredi, Dr. Eng.
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar força e motivação.

Aos meus pais Fernando Wendhausen Rothbarth e Lorena Passos Rosa Wendhausen Rothbarth por sempre me incentivarem a estudar muito e correr atrás dos meus objetivos.

Ao engenheiro Lucas Moliner e à empresa Brunswick pela ajuda com tecido de fibra de vidro para a realização da parte prática deste trabalho.

Ao meu tio e padrinho Sérgio Murilo da Rosa e à empresa Tigre por me autorizarem a utilizar a máquina de ensaios de tração.

Ao Maurício, estagiário do laboratório de fabricação de modelos, por todo o auxílio prestado na realização da parte prática deste trabalho.

Ao colega e amigo Killian Candido da Silva por sempre me ajudar quando preciso, tanto na realização deste trabalho quanto nas disciplinas que cursamos juntos.

Aos demais amigos e colegas que fizeram parte desses meus anos dentro da UFSC.

Aos meus colegas da University of Strathclyde e demais amigos de intercâmbio, que me proporcionaram um ano incrível na Escócia.

Ao professor Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, meu orientador, por contribuir com muito conhecimento.

Ao professor Thiago Pontin Tancredi, que, sem saber, indiretamente me sugeriu o tema deste trabalho numa palestra no Congresso Nacional de Engenharias da Mobilidade (CONEMB) 2015.

Ao professor Gabriel Benedet Dutra, que também me ajudou com conhecimentos de materiais compósitos.

Ao professor Luís Fernando Peres Calil, por me auxiliar na parte de análises estatísticas deste trabalho.

Aos outros professores não mencionados aqui, mas que contribuíram com a minha formação.

RESUMO

As características de um compósito diferem das de outras classes de materiais, como o metal, que é um material isotrópico, ou seja, possui as mesmas características em todas as direções. Além das características de um compósito variarem com a direção, os compósitos de matrizes termorrígidas, que são as mais utilizadas no setor naval, não podem ser reprocessados. Por esse motivo, o reparo de uma peça fraturada, assim como a união qualquer de duas peças fabricadas em compósito, não pode ser feito com um processo simples como a soldagem. O presente trabalho traz uma avaliação de método de união de plásticos reforçados de fibra de vidro (PRFV) e discute como as características da união mudam em função da variável ângulo de chanfro. A literatura sugere valores variando de 1:12 até 1:60 dependendo das solicitações de tensão. Neste trabalho, foram feitas peças laminadas manualmente e posteriormente foi feita a união com as rampas de chanfro de 1:6, 1:12 e 1:20, simulando reparos realísticos em embarcações construídas em PRFV. As peças unidas passaram por teste de tração, e os resultados foram comparados aos do material original. Constatou-se pelos valores gerados nos ensaios que a rampa 1:12 gera o melhor reparo, com quase 70% da resistência à tração do laminado original e a rampa 1:6 gera o pior, com apenas 50%. Já os valores dos ensaios com a rampa 1:20 não diferiram muito da 1:12, não conseguindo confirmar parte do que é dito na literatura.

Palavras-Chave: Compósitos. Embarcações. Laminação. Manutenção. Naval.

ABSTRACT

The properties of a composite differ from those of other classes of materials, like metal, which is isotropic, that is, it shows the same behaviour in all directions. Besides the properties of a composite varying with the direction, composites made of thermosetting polymer, the main used polymer in the naval sector, cannot be reprocessed. For that reason, the repair of a damaged composite or the simple bonding of two parts made of composite cannot be done by simple processes like welding. The present paper shows an evaluation of bonding method for fibreglass reinforced plastic (FRP) and it is brought to discussion how the mechanical properties may change as a function of the scarf angle, which books suggest scarves varying from 1:12 to 1:60 depending on the loading. Specimens were hand laid up, and then bonding took place for scarves of 1:6, 1:12 and 1:20, simulating real FRP boat repairs. The bonding specimens went through tensile test and the results were compared to the one of original specimens with no bonding. It was noted from the test values that the scarf of 1:12 generates the best repair, with almost 70% of the total strength of an original specimen, while the scarf of 1:6 the worst, with only 50%. The values for the scarf of 1:20 did not really differ from the one of 1:12, being unable to confirm part of the theory about repairs.

Key words: Composites. Watercrafts. Lamination. Maintenance. Naval.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Laminado com bolhas.	17
Figura 2 – Configurações de superfícies.	18
Figura 3 – Ilustração dos ângulos: 1:12 (placa superior) e 1:20 (placa inferior).....	19
Figura 4 – Preparação da superfície: escalonamento (à esquerda) e lixamento (à direita).	20
Figura 5 – Esquemas de laminação.	22
Figura 6 – Termômetros com medidor de umidade.	25
Figura 7 – Desenho da placa.....	25
Figura 8 – Laminação.	27
Figura 9 – Placa laminada coberta com tecido <i>Voil</i>	27
Figura 10 – Ângulos de chanfro.	28
Figura 11 – Placas sendo usinadas.	29
Figura 12 – Laminação de reparo.	30
Figura 13 – Esquema de corte.	31
Figura 14 – Corte a água.....	32
Figura 15 – Ensaio de tração.	38
Figura 16 – Resultados da distribuição t de <i>student</i> para o experimento de Bittencourt.	40
Figura 17 – Gráfico comparativo de resistência à tração por ANOVA.....	41
Figura 18 – Fraturas SR.....	44
Figura 19 – Fratura R6.	45
Figura 20 – Fratura R6 (vista de espessura).	45
Figura 21 – Rompimento de R12 fora da região de reparo.	46
Figura 22 – Rompimento de R12 na região da emenda.	47
Figura 23 – Rompimento de R20	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comprimento e largura das camadas de manta e tecido utilizados nos reparos.....	30
Tabela 2 – Dimensões dos CPs.....	36
Tabela 3 – Percentual de reforço.	37
Tabela 4 – Tensões de ruptura.....	39
Tabela 5 – Resultados da distribuição t de <i>student</i> para o conjunto SR.....	40
Tabela 6 – Resumo de dados de cada conjunto para a ANOVA.....	41
Tabela 7 – Resultados da ANOVA.....	41
Tabela 8 – Teste de Lilliefors.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CSM	<i>Chopped Strand Mat</i> (manta de fibra de vidro)
CP	Corpo de prova
CPs	Corpos de prova
MEKP	Peróxido de metil-etil-cetona
PRFV	Plástico reforçado de fibra de vidro
R6	Reparo com rampa de chanfro 1:6
R12	Reparo com rampa de chanfro 1:12
R20	Reparo com rampa de chanfro 1:20
SR	Sem reparo

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	OBJETIVOS	13
1.1.1.	Objetivo Geral	13
1.1.2.	Objetivos Específicos	14
2.	LAMINAÇÃO DE PRFV	15
2.1.	LAMINAÇÃO MANUAL	15
2.2.	ADESÃO SECUNDÁRIA	16
3.	TÉCNICA DE REPARO DE COMPÓSITO	17
3.1.	TIPOS DE DANOS	17
3.2.	CONFIGURAÇÃO DA SUPERFÍCIE	18
3.3.	PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE	19
3.4.	ADESIVOS	20
3.5.	FALHAS EM REPAROS	20
3.6.	CONDIÇÕES DE TRABALHO	21
3.7.	PLANO DE LAMINAÇÃO	21
4.	METODOLOGIA	23
4.1.	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	23
4.1.1.	Materiais	23
4.1.2.	Equipamentos	24
4.2.	CONFECÇÃO DAS PEÇAS ORIGINAIS	25
4.3.	USINAGEM DOS ÂNGULOS DE CHANFRO	28
4.4.	REPARO	29
4.5.	CORTE DOS CORPOS DE PROVA	31
4.6.	REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	32
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1.	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	34
5.2.	ENSAIOS DE TRAÇÃO	37
5.2.1.	Valores de tensão obtidos	38
5.2.2.	Características da fratura	43
6.	CONCLUSÃO	49
7.	FUTUROS TRABALHOS	50

REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE A – Relação dos CPs	53
APÊNDICE B – Relatório dos ensaios de tração para SR.....	54
APÊNDICE C - Relatório dos ensaios de tração para R6	56
APÊNDICE D - Relatório dos ensaios de tração para R12	58
APÊNDICE E - Relatório dos ensaios de tração para R20.....	60
ANEXO A – Boletim técnico da resina	62
ANEXO B – Boletim técnico do acelerador	65
ANEXO C – Boletim técnico do iniciador	67
ANEXO D – Certificado de análise do monômero de estireno	71
ANEXO E – Boletim técnico do tecido	73
ANEXO F – Boletim técnico da manta.....	76

1. INTRODUÇÃO

A indústria náutica está em constante crescimento e também em constante evolução. As mudanças não ocorrem somente na estética da embarcação, mas também nos tipos de materiais utilizados, entre outros fatores. Uma classe de materiais em especial é muito utilizada nessa indústria, além de estar em constante estudo, buscando obter cada vez melhores propriedades. Trata-se dos materiais compósitos.

Materiais compósitos são muito utilizados na indústria náutica, devido a suas inúmeras vantagens quando comparados com outras classes de materiais. Dentre essas vantagens, destacam-se baixo peso e alta resistência à corrosão. Segundo Mendonça (2005), um material compósito é um conjunto de dois ou mais materiais diferentes, combinados em escala macroscópica, para funcionarem como uma unidade, visando obter um conjunto de propriedades que nenhum dos componentes individualmente apresentaria.

Essa classe de material não se trata de algo novo, pois desde os primórdios, o ser humano já construía suas embarcações de um compósito muito conhecido, a madeira, um compósito natural, que é utilizado até hoje como matéria prima para muitas estruturas navais. Porém, foi só em 1937, graças ao trabalho de Ray Greene, que os compósitos sintéticos começaram a ser implementados (NASSEH, 2009).

Os compósitos sintéticos possuem vantagens em relação aos naturais, como a possibilidade de se obter estruturas com propriedades materiais mais homogêneas, além de superiores, na maioria dos casos. Os compósitos usualmente utilizados na indústria náutica caracterizam-se por polímeros, que compõem a fase chamada de matriz, reforçados com um material cerâmico, sendo a fibra de vidro a mais utilizada (NASSEH, 2009). Os reforços, normalmente fibras contínuas, podem ser dispostos nas direções que sofrem maiores solicitações, de forma que, combinado com a matriz, oferece alta resistência, principalmente à tração (LEVY NETO, 2006).

Direcionar as fibras corretamente é essencial para evitar falhas estruturais, já que os compósitos não são materiais isotrópicos como, por exemplo, os metais (CALLISTER JUNIOR, 2002). Contudo, todos os materiais são suscetíveis a danos, sendo exigidos estudos sobre reparos. No caso de embarcações feitas de metal, reparos são feitos, em grande parte, de

maneira simples, por processos de soldagem, voltando a ter um material único e isotrópico, exibindo as mesmas propriedades de uma peça não fraturada (MARQUES, 2005).

Embora processos de soldagem sejam muito úteis para ligação de peças metálicas e também possua algumas aplicações em peças poliméricas, não é possível realizar esses processos em materiais compósitos de matrizes termorrígidas, que são as usualmente utilizadas na indústria naval, pois estas são caracterizadas por não permitirem reprocessamento após a cura (LEVY NETO, 2006). Desta forma, haverá partes de polímero em separado, com interface entre a peça original e o reparo, além de haver descontinuidade das fibras do laminado na junta, tornando o reparo um processo não trivial.

Considerando as restrições que um material compósito termorrígido possui para seu reparo, busca-se aperfeiçoar o processo para que as propriedades da peça reparada sejam o mais próximo possível de uma peça não fraturada. Para isso, é necessário manipular variáveis do processo. O presente trabalho mostrará a variação de resistência à tração alterando a variável ângulo de chanfro, que é o ângulo feito na peça fraturada no preparo que antecede a adesivação e relaminação.

Serão fabricadas peças de resina poliéster isoftálica reforçada com tecido de fibra de vidro bidirecional, materiais usualmente utilizados para embarcações de recreio, que serão divididas em quatro conjuntos, unidas com três rampas de chanfro diferentes: 1:6, 1:12 e 1:20, sendo o quarto conjunto composto de amostras originais. Serão feitos testes de tração em cada conjunto de peças, e os resultados serão comparados com os de peças não fraturadas.

As peças serão fabricadas no Laboratório de Fabricação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro Tecnológico de Joinville, enquanto os ensaios serão realizados na empresa Tigre, em Joinville.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Estabelecer a relação do ângulo de chanfro com as tensões máximas admissíveis à tração no reparo de um compósito de resina poliéster isoftálica reforçada com tecido de fibra de vidro.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Laminar peças em PRFV a serem ensaiadas;
- Realizar ensaios de tração em amostras originais e reparadas, verificando as resistências obtidas para cada caso;
- Comparar as resistências para diferentes ângulos de chanfro na preparação para o reparo com as resistências de uma peça original não fraturada;
- Analisar os tipos de fratura;
- Validar a teoria com os resultados práticos.

2. LAMINAÇÃO DE PRFV

Para a realização de um reparo adequado, é necessário primeiramente entender o processo de laminação que resultou na peça original. Após isso, pode-se verificar na literatura o que já se conhece de técnicas de reparo. Ressalta-se que aqui será tratado apenas o processo que utiliza resina poliéster como matriz, por ser a mais utilizada no ramo náutico.

2.1. LAMINAÇÃO MANUAL

A laminação manual, também conhecida como laminação por contato ou *hand lay-up* (MARINUCCI, 2011), é um processo simples por não envolver nenhum investimento em equipamentos de processo para a manufatura (LEVY NETO, 2006). Consiste na disposição de sucessivas camadas de reforço impregnadas pela matriz polimérica sobre um molde que tem a forma negativa da peça a ser fabricada (MARINUCCI, 2011).

O processo começa com a aplicação de agente desmoldante na superfície do molde, com o intuito de evitar a aderência da peça no molde, facilitando a desmoldagem (BITTENCOURT, 2015). Deve-se tomar cuidado com a quantidade para que ela seja suficiente para desmoldar a peça após a cura. Para um molde novo, um tratamento maior com desmoldantes será necessário, enquanto um molde usado precisa de ser limpo e qualquer excesso de cera deve ser removido com solvente, para posteriormente aplicar desmoldante na quantidade ideal (NASSEH, 2008).

Considerando uma laminação sem o uso do *gelcoat*, a próxima etapa é passar uma primeira camada de resina. Antes de a resina ser aplicada, é necessário adicionar um endurecedor, sendo o iniciador MEKP no caso da resina poliéster, para permitir a formação de ligações cruzadas e iniciar a reação de cura. Previamente, deve ser calculado o tempo de gel, para saber o tempo disponível de manipulação da resina.

O processo de cura da resina poliéster é dado em cinco etapas (DUTRA, 2016):

1. Reação química: formação de radicais livres e início das ligações cruzadas.
2. Evolução de calor: exotermia do material.

3. Evolução de voláteis: liberação de estireno.
4. Gelificação: a resina passa do estado líquido para um estado borrachoso. A viscosidade tende ao infinito e é uma transformação irreversível.
5. Vitrificação: o polímero se torna rígido, não havendo mais movimentação molecular.

Após a primeira camada de resina, é feita a disposição de mantas e tecidos de forma intercalada. A quantidade de camadas de reforços dependerá da espessura desejada para o laminado. Todas as camadas devem ser impregnadas com resina (LEVY NETO, 2006). Segundo Nasseh (2007), a quantidade de camadas que pode ser laminada de uma só vez depende do peso do reforço e da quantidade de resina e não há uma regra geral para o número de camadas que podem ser laminadas em sequência, no entanto, um número adequado é de três camadas.

Quando a peça estiver em estágio avançado de cura, é feito o desmolde.

2.2. ADESÃO SECUNDÁRIA

Um laminado de poliéster recente, que ainda está em processo inicial de cura, possui moléculas ativas na superfície que aderem quimicamente a um novo laminado, de modo que não é necessário nenhum preparo superficial ante a aplicação de uma nova camada. O tempo dessas moléculas ativas depende de uma combinação de propriedades da resina, assim como da temperatura de cura. O tempo usual da resina poliéster com moléculas ativas fica entre 24 e 48 horas (ANMARKRUD, 2009).

Segundo esse mesmo autor, após o tempo especificado, haverá apenas a chamada *secondary bonding*, que é uma adesão secundária, ou seja, não haverá ligações cruzadas entre a camada curada e uma nova camada, a adesão ocorrerá apenas pelo poder de adesivação mecânica da resina. Como o tempo entre a fabricação de uma embarcação e um eventual dano é muito maior que 48 horas, pode-se afirmar que qualquer trabalho de reparo será caracterizado como adesão secundária.

3. TÉCNICA DE REPARO DE COMPÓSITO

Os barcos de fibra de vidro têm demonstrado ao longo dos anos, sua boa resistência e durabilidade diante de situações adversas, mas nem por isso estão imunes a avarias de vários tipos, como aquelas provocadas por encalhes, colisões, situações extremas de mal tempo ou, em último caso, aquelas decorrentes de defeitos de fabricação (NASSEH, 2011, p. 639).

Neste capítulo, são feitas várias considerações sobre o reparo de PRFV, laminação sólida, sem a utilização de núcleo inercial.

3.1. TIPOS DE DANOS

Há diversos tipos de danos possíveis a um material compósito de PRFV, incluindo danos de superfície e delaminação. É necessário, antes de aplicar o reparo, fazer a remoção do material danificado. Essa remoção depende do tipo de dano, que pode ser de superfície, delaminação, de junta de topo ou bolhas (Figura 1). Feito isso, é realizada a preparação da superfície para uma relaminação (ERIC GREENE ASSOCIATES, 1999). Nos próximos tópicos, será discutida a preparação do laminado e as técnicas de reparo para danos que avancem na espessura da peça.

Figura 1– Laminado com bolhas.

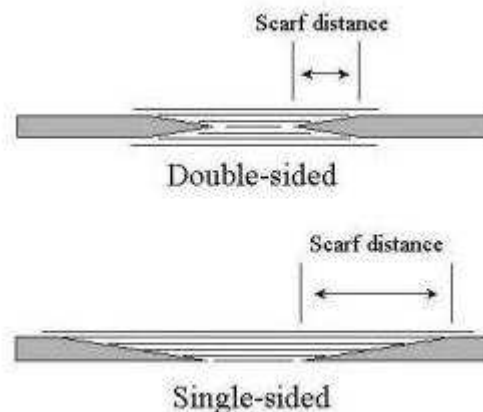


Fonte: do autor.

3.2. CONFIGURAÇÃO DA SUPERFÍCIE

A configuração da superfície também é uma variável a ser considerada. O método de reparo mais comum é o *tapered scarf*, podendo ser *single-sided* (de apenas um lado) ou *double-sided* (de dois lados) (ERIC GREENE ASSOCIATES, 1999). A Figura 2 ilustra as duas configurações de superfícies citadas.

Figura 2 – Configurações de superfícies.



Fonte: ABARIS (2016).

Na remoção da parte danificada, deve-se tomar cuidado com a dispersão de poeira de fibra de vidro. Se possível, utilizar alguma espécie de aspirador (ERIC GREENE ASSOCIATES, 1999).

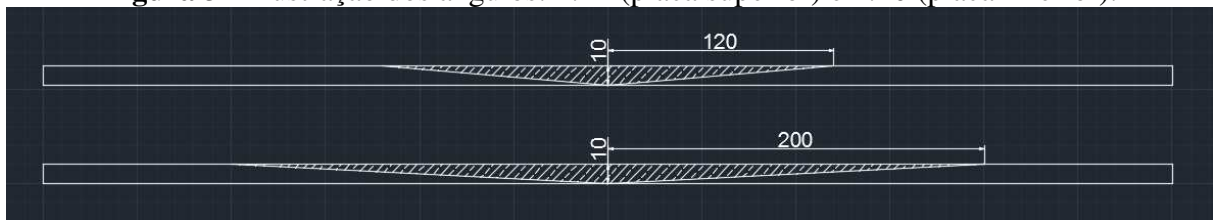
Eric Greene Associates (1999) dá sugestões de remoção do dano, para ser seguido após a determinação da área danificada e sua marcação. Para reparos com extensão parcial da espessura, uma retificadora pode ser utilizada. Já no caso de danos mais extensos, é sugerido fazer cortes perpendiculares para dentro da espessura com uma serra circular.

Muitas vezes o reparo não é apenas superficial, pois há o rompimento total do material, ou parcial, porém com perda estrutural. Para estes casos, a configuração e a preparação das superfícies influencia na qualidade da união. Uma configuração muito comum é a *scarf joint* (MAGNESS, 1990). Acredita-se que o ângulo de chanfro ideal é de 5 graus (WANG, 2006).

Muitos livros afirmam que uma rampa de 1:12 é suficiente para reparos em fibra de vidro. Isso pode ser verdade para áreas pouco solicitadas com laminados espessos. Porém, para laminados mais finos e áreas mais solicitadas, a rampa deveria ser de pelo menos 1:20. (ANMARKRUD, 2009).

Ainda de acordo com Anmarkrud, uma razão 1:40 ou mais deve ser utilizada para assegurar uma adesão adequada e absorção de tensões nas áreas mais solicitadas. Já Halliwell (2007) sugere uma razão 1:50, enquanto Wang (2006) cita uma faixa de 1:20 a 1:60 para compósitos estruturais avançados altamente solicitados. Já Nasseh (2011) diverge de Anmarkrud, afirmando que laminados mais espessos é que necessitam de razões maiores. A Figura 3 exemplifica duas razões, de 1:12 e 1:20.

Figura 3 – Ilustração dos ângulos: 1:12 (placa superior) e 1:20 (placa inferior).



Fonte: do autor.

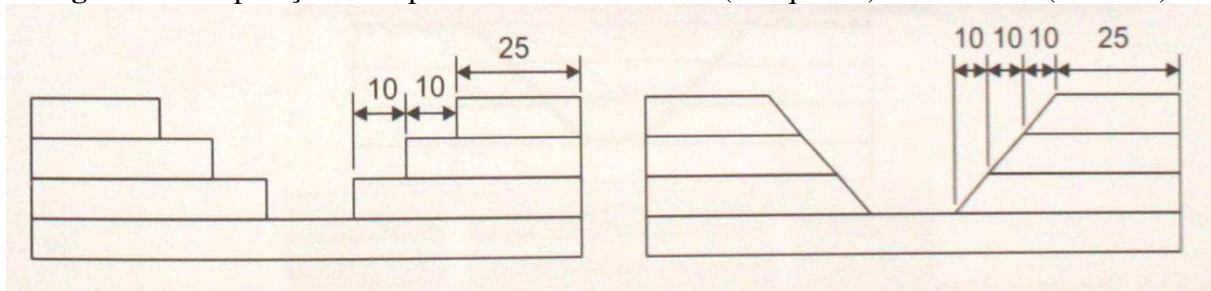
3.3. PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE

A preparação da superfície para a reconstituição do laminado, para melhor distribuição dos esforços, deve ser feita por lixamento ou escalonamento, como ilustrado na Figura 4 (MARINUCCI, 2011). Já foi discutida no capítulo anterior a questão da adesão secundária, e é essencial levar essas considerações para o preparo da superfície. Anmarkrud (2009) afirma que um laminado mais antigo raramente cura completamente, ainda possuindo algumas moléculas reativas que, se um lixamento adequado for feito, adere à laminação de reparo. Outra técnica que pode melhorar as propriedades de adesão segundo Anmarkrud, é limpar a superfície lixada com estireno.

A técnica de lixamento, além de tornar a superfície quimicamente ativa, permite uma melhor adesão mecânica devido a uma maior superfície de contato. (GURIT, 20??). Eric Greene Associates (1999) recomenda limpar a superfície com acetona para aumentar a habilidade do estireno presente na resina de penetrar a superfície do laminado curado. Entretanto, Anmarkrud afirma que não se deve utilizar acetona ou solvente numa superfície porosa recém-lixada, salvo se esta tiver sido contaminada com óleo ou outra impureza.

Feito o preparo da superfície, deve-se escolher um adesivo que seja compatível quimicamente com o compósito (STRONG, 2000). No tópico seguinte, será discutida como é feita essa escolha.

Figura 4 – Preparação da superfície: escalonamento (à esquerda) e lixamento (à direita).



Fonte: MARINUCCI (2011).

3.4. ADESIVOS

A integridade de um reparo depende da força de adesão secundária da resina de reparo no laminado existente (ERIC GREENE ASSOCIATES, 1999). A escolha da resina para reparo não é uma tarefa simples (NASSEH, 2011). Segundo Strong (2000), deve-se escolher um adesivo que seja compatível quimicamente com o compósito. Tradicionalmente, é utilizada a mesma resina do compósito original (NASSEH, 2011).

Considerando resistência, custo e facilidade de processamento, são recomendadas tanto resina poliéster isoftálico quanto resina éster-vinílica, apesar de laminados com epóxi serem mais resistentes (ERIC GREENE ASSOCIATES, 1999).

Resinas epóxi são que as garantem o maior poder de adesão, sendo ideais para *kits* de reparos emergenciais. Porém, há alguns pontos a serem considerados quanto à utilização de resina de reparo diferente da resina do laminado original. De acordo com Nasseh (2011), um laminado de resina epóxi adere bem a um laminado com poliéster, mas o contrário não é verdade. Sendo assim, qualquer reparo num compósito de epóxi deve ser feito com epóxi.

3.5. FALHAS EM REPAROS

Há três principais tipos de falha em união de compósitos: adesiva, coesiva e de substrato (HOKE, 20??).

- Falha adesiva: ocorre quando o adesivo solta-se totalmente de uma das superfícies.
- Falha coesiva: ocorre uma falha na camada adesiva, em que ela não se solta da superfície, mas rompe-se em duas partes.

- Falha de substrato: o adesivo resiste aos esforços, porém há o rompimento do substrato. Isso acontece quando a resistência do adesivo é superior à do substrato, ou então a resistência do substrato foi subestimada.

Muitas vezes, ocorre uma falha híbrida, que é quando mais de um tipo de falha pode ser identificado (ADHESIVE, 2012).

3.6. CONDIÇÕES DE TRABALHO

É importante atentar-se para as condições do ambiente de realização dos trabalhos de reparo. Esses podem ser executados sob variadas circunstâncias, em ambientes internos ou externos. É recomendável, se possível, que sejam controladas certas variáveis de condições de trabalho (FIBREGLASS LIMITED, 19??).

Uma variável importantíssima, provavelmente a mais importante, é a temperatura. Recomenda-se que essa esteja entre 15 e 25 graus Celsius. Também é importante não haver contato direto da luz solar, que pode interferir no processo de cura, diminuindo o tempo de gel e resultando em cura incompleta da resina (FIBREGLASS LIMITED, 19??).

Outro fator relevante é a umidade, que pode ter efeitos adversos na laminação. A umidade relativa no momento da laminação de reparo não deve ser maior que 70% (FIBREGLASS LIMITED, 19??).

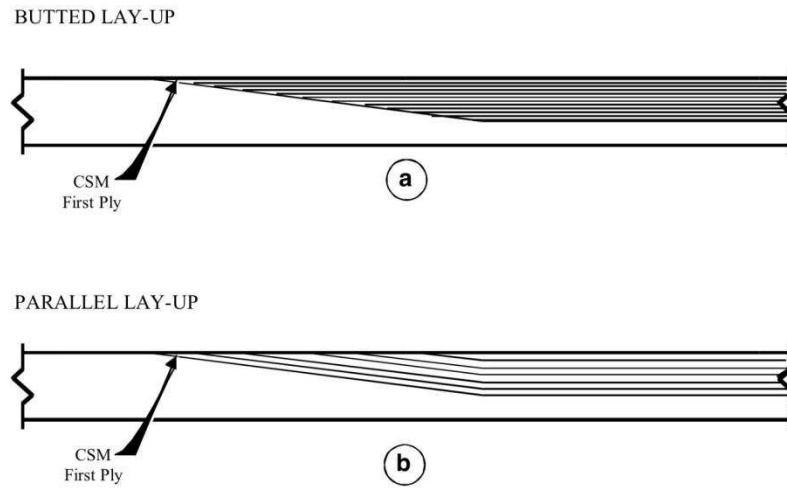
3.7. PLANO DE LAMINAÇÃO

É de grande importância ter um plano de laminação adequado para o reparo. Segundo Wang (2006), a ordem da disposição das camadas de tecido e manta do laminado reparado influencia em propriedades mecânicas como tração, enquanto os efeitos de máxima deformação em cisalhamento são desprezíveis. Deve-se evitar que as fibras das camadas de superfície sejam paralelas à carga principal. Outro ponto constatado por Wang é que as concentrações de tensão são mais uniformes em laminados com um maior número de camadas.

Não só a ordem, mas também se deve escolher entre dois esquemas de laminação de reparo, paralelo ao chanfro (*parallel lay-up*) ou paralelo à superfície original da peça (*butted lay-up*). Em ambos os casos, a primeira camada de laminação (*first ply*) deve ser feita com manta (CSM), e esta necessita de ser disposta na superfície do chanfro para garantir a

adesivação. (ERIC GREENE ASSOCIATES, 1999). A Figura 5 mostra os dois esquemas de disposição das camadas.

Figura 5 – Esquemas de laminação.



Fonte: ERIC GREENE ASSOCIATES (1999).

4. METODOLOGIA

O primeiro passo do trabalho foi a pesquisa bibliográfica sobre o processo de laminação manual e da teoria sobre técnicas de reparo. Após a revisão da bibliografia, iniciou-se a parte prática, que consistiu na laminação manual de quatro placas de PRFV, na usinagem dos ângulos de chanfro, realização das técnicas de reparo, corte dos corpos de prova, ensaio de tração e análise dos resultados.

As técnicas de reparo foram realizadas de modo a simular o reparo do costado superior do casco de embarcações de até 15 metros de comprimento feitas em laminação sólida (*single skin*), ou seja, sem núcleo, com acesso a apenas um dos lados do laminado, permitindo apenas a configuração de superfície *single-sided tapered scarf*. O esquema de laminação escolhido para teste foi o *butted lay-up*. Também atentou-se ao tempo entre a laminação original e os reparos, deixando-se um intervalo de pouco mais de um mês, de modo que só haveria adesão secundária, simulando o que ocorre na realidade com os barcos feitos de PRFV que utilizam matriz de resina poliéster, amplamente usada no setor náutico.

Como em geral é sugerida uma rampa de chanfro de 1:12, decidiu-se testar essa rampa e mais dois valores: um superior e um inferior. Portanto, foram feitos reparos com três configurações diferentes para comparação, com rampas de 1:6, 1:12 e 1:20.

4.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

4.1.1. Materiais

Foram utilizadas placas de vidro temperado nunca utilizadas como superfície para laminação. Como agente desmoldante aplicado na superfície, foi usada a cera TecGlaze®.

A confecção dos corpos de prova foi feita com tecido biaxial de fibra de vidro tipo *E glass* com gramatura nominal de 800 g/m² e gramatura real de 814 g/m², manta de fibra de vidro tipo *E glass* com gramatura nominal de 450 g/m² e gramatura real de 457 g/m², e resina poliéster insaturado isoftálica ARAZYN® 10.0, que é fornecida não acelerada pela Ara

Química (ver anexo A), porém a empresa Sama acrescenta 0,25% de LIOSEC® HC Cobalto 12% (anexo B), fornecendo a resina acelerada para o consumidor final. Para a catalisação da resina, foi utilizado o iniciador MEKP Brasnox® dm 50 da Polinox® (anexo C). Informações técnicas, incluindo propriedades mecânicas, do tecido e da manta utilizados encontram-se nos anexos E e F, respectivamente. Informações da resina, do iniciador e do acelerador encontram-se nos anexos já mencionados anteriormente.

Tecido *Voil* foi adotado em substituição ao *peel ply* para acabamento da superfície superior.

Para a preparação da superfície da peça para o reparo, foram utilizados lixa 60 e monômero de estireno (anexo D).

Para a limpeza de equipamentos e materiais reutilizáveis, foi utilizada solução de limpeza.

4.1.2. Equipamentos

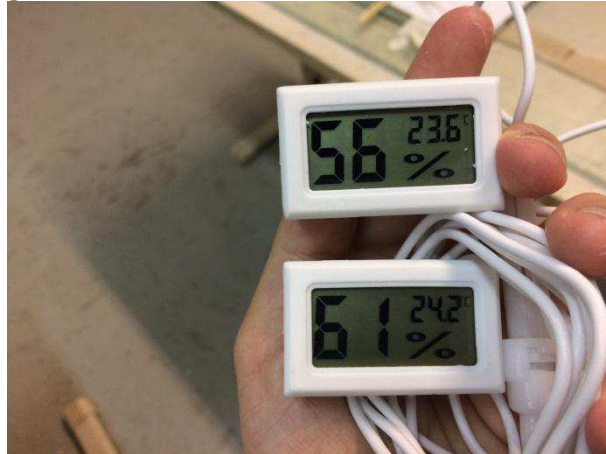
Para segurança de trabalho no laboratório, foram usados equipamentos de proteção individual (EPIs), incluindo jaleco, luvas, máscara, óculos de proteção e sempre vestindo calça comprida e calçando sapatos fechados.

Foram utilizados equipamentos para aferição das condições ambientais: 2 termômetros com medidor de umidade (Figura 6).

Equipamentos de corte foram utilizados: tesoura para cortar tecido e manta, e serra tico-tico para retirar rebarbas dos laminados.

Para os trabalhos de laminação, foi utilizada estopa para passar cera desmoldante no vidro temperado que serviu de superfície de laminação, balança digital para medir a massa de resina e de iniciador, além de medir também a massa dos reforços, pincel de 38 mm para impregnar os reforços com resina, rolo tira bolha 14 mm x 80 mm para retirar bolhas de cada camada laminada.

Figura 6 – Termômetros com medidor de umidade.

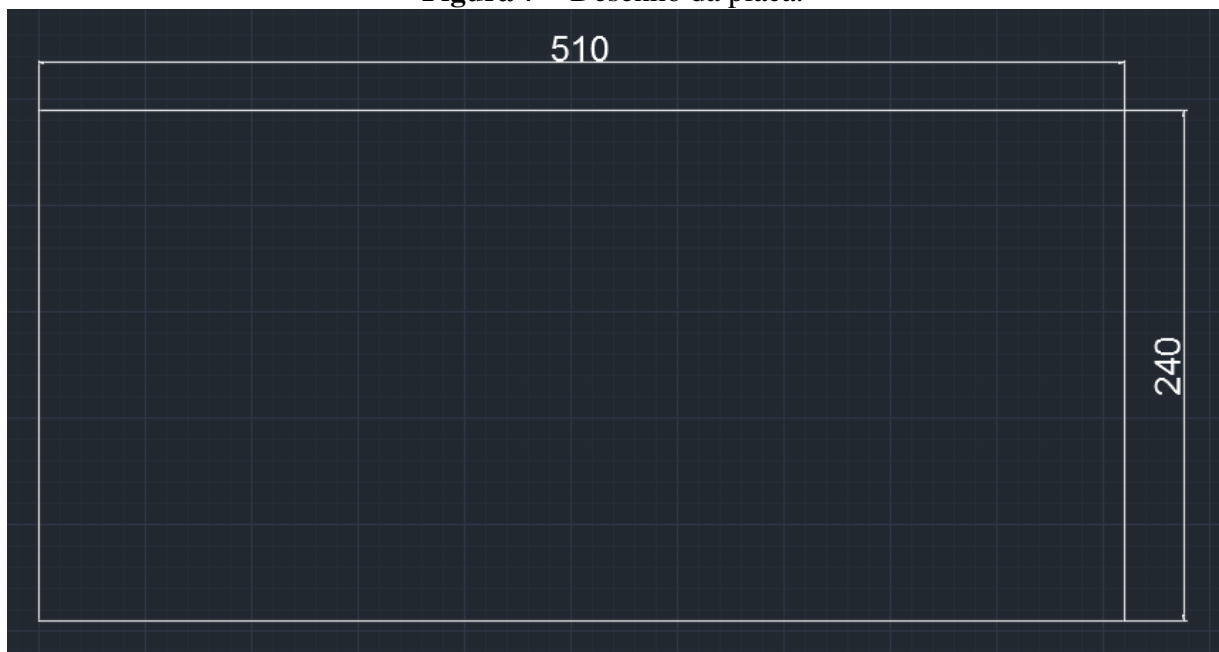


Fonte: do autor.

4.2. CONFECCÃO DAS PEÇAS ORIGINAIS

A confecção das peças originais foi feita seguindo o método tradicional de laminação manual, conforme descrito no capítulo anterior. Foram confeccionadas quatro placas com dimensões de 510 x 240 mm, divididas em 24 amostras com dimensões de 500 x 25 mm (Figura 7). As dimensões atendem aos requisitos da ASTM D3039, para posterior teste de tração.

Figura 7 – Desenho da placa.



Fonte: do autor.

A norma para ensaio de tração em compósitos estabelece algumas regras para dimensionamento dos corpos de prova. O dimensionamento também deve considerar as limitações da máquina de ensaio de tração utilizada, necessitando de ser maior que 120 mm e menor que 1370 mm.

O processo de fabricação ocorreu no Laboratório de Fabricação de Modelos da UFSC, Centro Tecnológico de Joinville, bloco C, sala 110.

A aplicação de cera na superfície deu-se em três camadas e com um intervalo de 20 minutos entre camadas.

Foram cortados tecidos e mantas nas dimensões definidas para cada placa, de 510 mm x 240 mm.

O plano de laminação foi o seguinte: seis camadas de manta 450 g/m² e três camadas de tecido tramado equilibrado bidirecional 0°/90°, gramatura 800 g/m². Vale ressaltar que esses valores de gramatura são nominais. Os valores reais são de 457 g/m² para a manta e 814 g/m² para o tecido.

Considerando o plano de laminação e que precisariam ser feitas quatro placas de compósito, demandou-se o corte de 12 pedaços de tecido e 24 de manta, nas dimensões de 510 x 240 mm.

Antes do início da laminação, verificou-se as condições do ambiente (umidade e temperatura) para estimar a quantidade de iniciador que deveria ser adicionado à resina. Então foi testado o tempo de gel para a resina com a quantidade estimada de iniciador.

A quantidade de resina foi preparada para cada camada individualmente, de modo a haver tempo de gel suficiente para cada camada de laminação.

Com a superfície devidamente preparada para a laminação, primeiramente passou-se uma camada de resina para em seguida colocar a primeira camada de manta. Impregnou-se a manta com resina utilizando pincel, e, com rolinho, foi feita a remoção de bolhas do laminado. A segunda camada também foi de manta e, após essa segunda camada, começou-se a laminação intercalada de tecido e manta e finalizou-se com uma camada extra de manta.

Considerando o elevado número de camadas do laminado, a laminação ocorreu com intervalos, não sendo laminadas mais de quatro camadas de uma só vez. Contudo, o intervalo entre camadas não poderia ser superior a 24 horas, para garantir que ainda haveria adesão primária. A Figura 8 ilustra o processo de laminação.

Figura 8 – Laminação.

Fonte: do autor.

Terminando a laminação com todas as camadas de manta e tecido, cobriu-se as placas com tecido *Voil* e em seguida com uma placa de vidro para nivelar a superfície superior do laminado. O objetivo do tecido *Voil* foi de reduzir a formação de bolhas por causa da placa de vidro e também não aderir ao vidro. A Figura 9 mostra uma das placas cobertas com o tecido *Voil*.

A desmoldagem foi feita com o auxílio de uma espátula e executada pelo menos 24 horas após a laminação da última camada de manta. A eliminação de rebarbas foi feita com serra tico-tico.

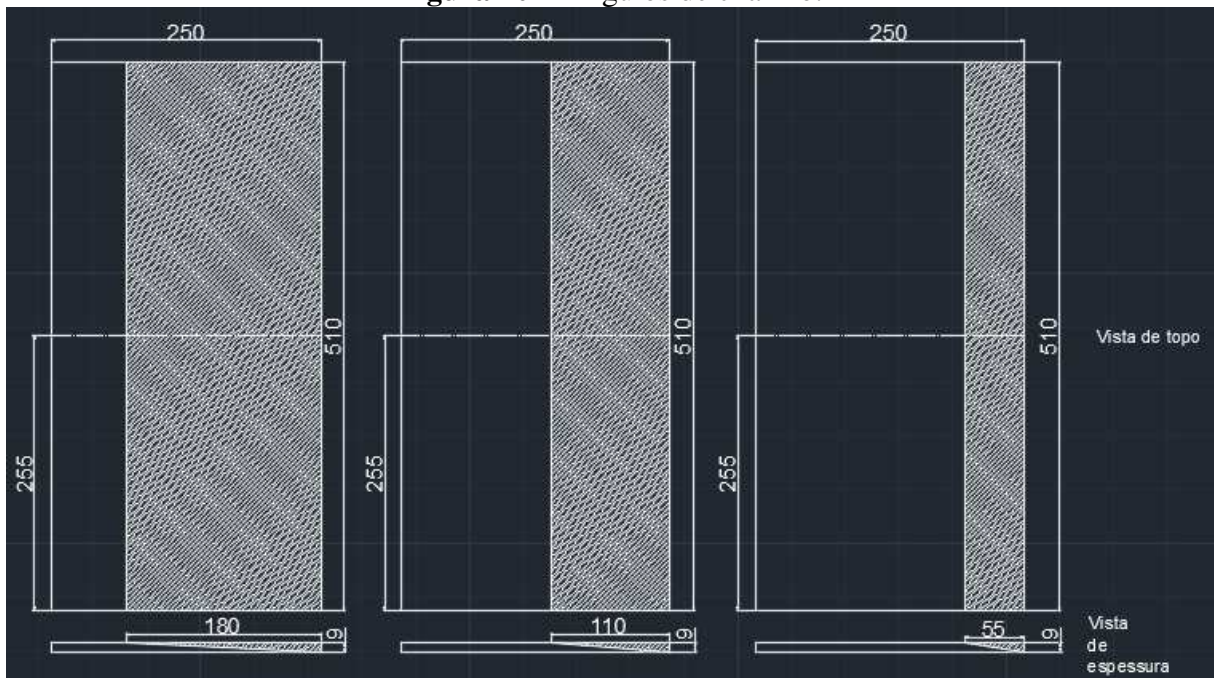
Figura 9 – Placa laminada coberta com tecido *Voil*.

Fonte: do autor.

4.3. USINAGEM DOS ÂNGULOS DE CHANFRO

Após realizar a laminação das placas, três delas foram enviadas para usinagem para fazer os ângulos de chanfro para os reparos. As operações de usinagem foram realizadas com CNC pela empresa Dispofer. Na Figura 10, seguem as ilustrações dos ângulos de chanfro realizados. As ilustrações foram feitas no programa AutoCAD, da AutoDesk, considerando uma espessura nominal de 9 mm para as três placas e assim calculando os comprimentos de rampa para cada uma, de modo que as razões espessura/comprimento fossem de 1:20, 1:12 e 1:6.

Figura 10 – Ângulos de chanfro.



Fonte: do autor.

A Figura 11 mostra as placas sendo usinadas.

Figura 11 – Placas sendo usinadas.



Fonte: do autor.

4.4. REPARO

As técnicas de reparo foram realizadas no Laboratório de Fabricação de Modelos da UFSC, Centro Tecnológico de Joinville. As peças fraturadas foram reparadas com a união em *single-sided tapered scarf*, com ângulos de chanfro de 1:6, 1:12, 1:20.

O reparo foi iniciado 42 dias após a fabricação das peças originais, de forma a não permitir adesão química entre as partes, apenas a chamada adesão secundária, ressaltando que o tempo de adesão primária é de até 48 horas para a resina poliéster.

Para a preparação da superfície, foi feito o corte com o ângulo desejado na usinagem, passo anterior à este, e em seguida as peças a serem unidas sofreram lixamento com lixa 60, aumentando a área de contato, e aplicação de estireno com pincel, ativando as moléculas da superfície para melhor adesão à laminação de reparo.

A laminação de reparo foi feita seguindo o mesmo plano de laminação das peças originais. O esquema utilizado foi o paralelo à superfície original da peça (*butted lay-up*), de modo que os reforços ficariam na direção da principal solicitação de tensão, assim como na

peça original. As peças a serem unidas foram posicionadas espaçadas 20 mm. A Figura 12 mostra a laminação de reparo.

Antes de cortar os reforços para os reparos, foi necessário calcular seus tamanhos que variam de forma diferente para cada ângulo de chanfro. Na Tabela 1, segue a relação das dimensões de manta e tecido para cada configuração.

Tabela 1 – Comprimento e largura das camadas de manta e tecido utilizados nos reparos.

Camada	R20		R12		R6	
	Comprimento	Largura	Comprimento	Largura	Comprimento	Largura
Manta 1	380	240	250	240	160	240
Manta 2	40	240	30	240	20	240
Tecido 1	90	240	60	240	40	240
Manta 3	135	240	90	240	55	240
Tecido 2	190	240	120	240	70	240
Manta 4	230	240	150	240	85	240
Tecido 3	280	240	180	240	100	240
Manta 5	320	240	210	240	115	240
Manta 6	370	240	240	240	130	240

Observação: comprimento e largura dados em milímetros.

Fonte: do autor

Figura 12 – Laminação de reparo.

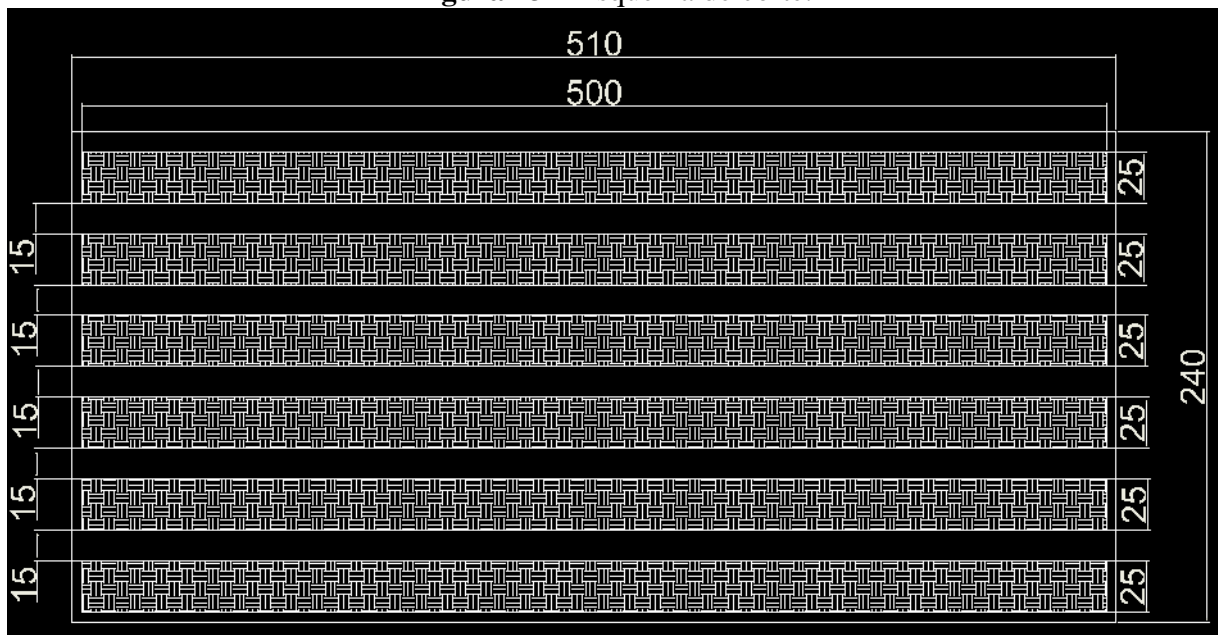


Fonte: do autor.

4.5. CORTE DOS CORPOS DE PROVA

Após a confecção de todas as placas, incluindo os reparos, elas foram enviadas para corte a água na empresa Omax – Corte a água Joinville. Os corpos de prova foram cortados com as dimensões de 500 x 25 mm, conforme a Figura 13. A programação do corte é feita de acordo com o desenho do corte informado pelo cliente. O desenho dos CPs foi feito utilizando o programa AutoCAD.

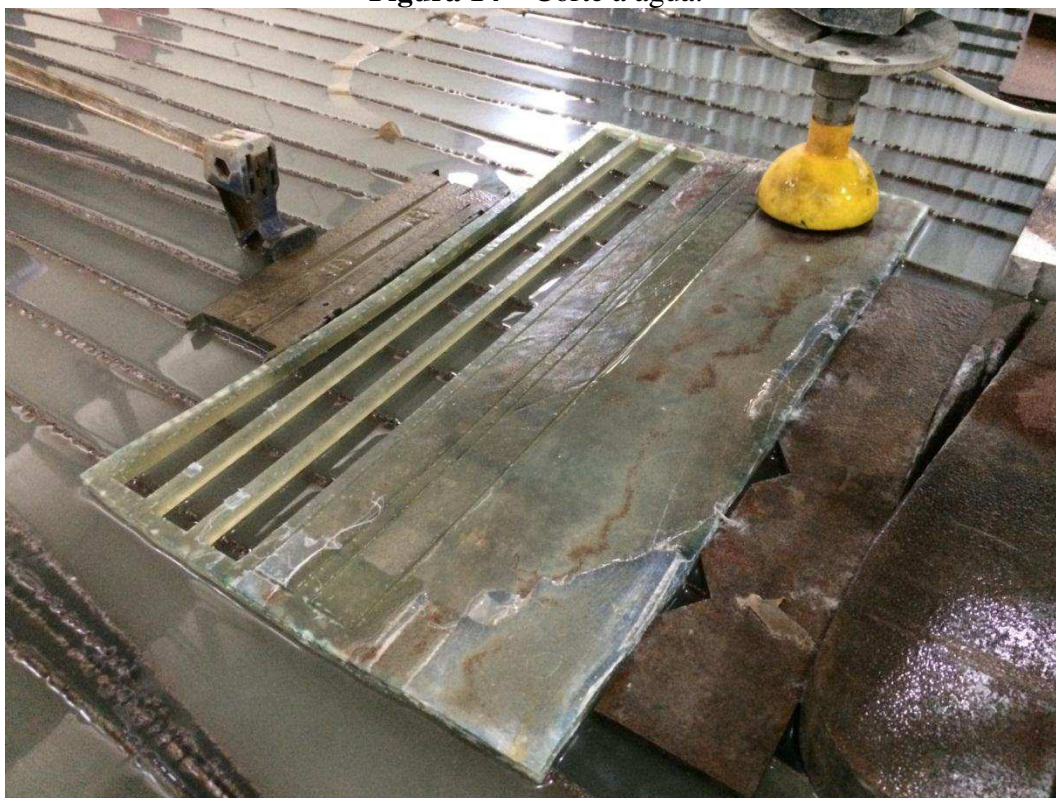
Figura 13 – Esquema de corte.



Fonte: do autor.

O corte a água foi registrado na Figura 14.

Figura 14 – Corte a água.



Fonte: do autor.

A medição dos corpos de prova foi feita utilizando uma trena para medir o comprimento e um paquímetro para medir largura e espessura. No caso da espessura, que seria uma variável com pouco controle dimensional, foi feita a medição em vinte pontos espaçados igualmente e anotados os valores mínimo, médio e máximo para cada CP.

4.6. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Foram feitos ensaios de tração, com o intuito de quantificar a propriedade mecânica de limite de resistência à tração de amostras fraturadas e não fraturadas. Os ensaios foram realizados na Tigre, em Joinville.

Os ensaios foram feitos conforme a norma ASTM D3039. As dimensões recomendadas são de 250 mm x 25 mm x 2,5 mm. A norma permite certas modificações nas dimensões, porém há alguns critérios que devem ser respeitados. Recomenda-se o uso de abas para melhores resultados no caso de laminados com reforços unidirecionais, o que não foi o caso. Para o caso de compósitos de tecidos bidirecionais balanceados, indica-se apenas utilizar lixa pano de esmeril (*emery cloth*) na parte em contato com as garras.

A norma ASTM D3039 também exige um mínimo de cinco ensaios para cada condição. Foram executados seis ensaios para cada ângulo, além de seis ensaios de peças originais.

Considerando que esta norma determina o comprimento total mínimo do corpo de prova igual à soma do comprimento útil mais duas vezes a largura mais o comprimento das garras, determinou-se um comprimento total de 500 mm. O comprimento útil do reparo com a rampa 1:20 é o maior, 380 mm. A largura padrão é de 25 mm. O comprimento preso nas garras é de 25 mm de cada lado. Desta forma, o comprimento mínimo do corpo de prova deveria ser de 480 mm. Considerou-se uma margem de 20 mm, que poderia sofrer imprecisões ou até mesmo desgaste.

A máquina utilizada para os ensaios foi a EMIC linha DL, com célula de carga de 10000 kgf.

Antes de cada ensaio, deve-se informar no programa de computador a largura e a espessura de cada CP. No relatório, é gravado o valor de tensão máxima na ruptura de cada CP, além do programa traçar um gráfico de força x deformação específica do ensaio de cada CP.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram divididos em duas seções: uma com considerações sobre a confecção dos corpos de prova e a outra com os resultados dos ensaios de tração, sendo essa seção subdividida em tensões máximas de cada conjunto de CPs e características da fratura de cada conjunto de CPs.

5.1. CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

As laminações das peças foram feitas no LabMod, localizado na sala 110 do bloco C do Centro Tecnológico de Joinville. Não é possível ter controle da temperatura e da umidade do laboratório. No entanto, foram feitas medições periódicas para ter um acompanhamento das condições ambientais no momento das laminações.

Antes do início das laminações das três primeiras placas, a temperatura média da sala era de 24,8 graus e a umidade relativa média era de 57%. Com essas condições, foi feito o teste de tempo de gel com 1% de catalisador (0,77 g de MEKP para 77 g de resina). O tempo de gel obtido foi de 23 minutos, o que foi considerado adequado para o trabalho, sendo então adotado este percentual de catalisador para todas as laminações.

Iniciou-se então a laminação das três primeiras placas. Não foram feitas as quatro ao mesmo tempo pela questão de espaço e também para não ter que fazer as laminações às pressas por conta do tempo de gel. Decidiu-se que essas três placas seriam as que sofreriam reparos, para uma comparação ideal.

Foram laminadas em sequência duas camadas de manta, uma de tecido e mais uma de manta, sem intervalos significativos. A temperatura e a umidade relativa médias nesse processo foram de 24,4 graus e 58%, respectivamente. Na laminação da quarta camada, observou-se uma redução no tempo de gel, que pode ser explicada devido à exotermia das camadas anteriores. Portanto, houve uma pausa nas laminações, pois a exotermia poderia afetar negativamente as camadas posteriores.

Após 15 horas, foram continuados os trabalhos, com a laminação de mais uma camada de tecido e mais uma de manta. A temperatura e a umidade relativa média foram de 24,4 e 60%, respectivamente.

Após 6 horas, foram laminadas mais uma camada de tecido e mais uma de manta. 24,6 e 58%.

Após 17 horas, terminou-se a laminação das três primeiras placas, com uma última camada de manta e a disposição de tecido *Voil* e uma placa de vidro por cima para nivelar a espessura das placas. O tecido *Voil* foi utilizado para reduzir a formação de bolhas. A desmoldagem ocorreu 24 horas depois, e as rebarbas foram removidas com serra tico-tico.

Considerando os valores de temperatura e umidade registrados, pode-se afirmar que as condições de laminação das placas foram ideais.

Algumas bolhas se formaram na última camada de manta, provavelmente pela placa de vidro ter puxado resina para sua superfície e ar ter adentrado o laminado. Como essas bolhas se formaram apenas afetando uma camada de manta, as propriedades de resistência estrutural das placas não devem ter sido afetadas significativamente.

A última placa foi a que não sofreria reparo. Essa foi confeccionada cinco dias após as outras três placas. Para esta, foi utilizado o mesmo método de fabricação e feitas medições periódicas de temperatura e umidade. A temperatura ficou na faixa de 21,3 e 24,2 graus e a umidade relativa mínima foi de 54%, enquanto a máxima chegou a 70%, no limite aceitável para uma boa laminação.

As técnicas de reparo foram feitas após serem usinados os ângulos de chanfro e realizadas conforme descritas na metodologia, embasadas na teoria, e a laminação de modo semelhante ao das laminações originais. O percentual de MEKP utilizado também foi o mesmo, 1%. A umidade ficou abaixo do limite de 70% durante todo o período de realização dos reparos. A temperatura foi algo que ficou um pouco acima do limite máximo recomendado, sendo a média de 26 graus, devido aos dias de calor e ausência de equipamento de refrigeração que permitisse um controle da temperatura. No entanto, o tempo de cura, que poderia ser afetado negativamente por isso, não inviabilizou a execução dos trabalhos.

O corte a água, realizado para a confecção dos CPs nas dimensões definidas na metodologia, ocorreu dentro da normalidade, gerando CPs com excelente precisão dimensional, o que pôde ser constatado na medição do comprimento com trena e da largura com um paquímetro. Confirmou-se o comprimento de 500 mm para todos os CPs e a largura precisa de 25 mm para a grande maioria dos CPs. Poucos tiveram pequenas variações, sendo a maior de 0,5 mm.

Além da largura, o paquímetro também mediu a espessura de cada CP. Essa teve maiores variações devido a imperfeições do processo de laminação manual. Outra contribuição para a diferença de espessuras foi devido ao rolinho utilizado para retirar bolhas do laminado, que acabou arrastando resina para as bordas, deixando essas mais espessas que a parte central dos CPs.

Para identificação dos CPs, foram adotadas as nomenclaturas SR (sem reparo), R6 (rampa 1:6), R12 (rampa 1:12) e R20 (rampa 1:20), seguido de um número de 1 a 6, identificando cada CP dentro de cada conjunto.

Na Tabela 2, encontram-se os valores mínimos, médios e máximos de espessura e largura de cada CP. A espessura média foi encontrada com o cálculo da média das medidas de 20 pontos espaçados igualmente de ponta a ponta de cada CP.

Tabela 2 – Dimensões dos CPs.

CP	Largura (mm)	Espessura (mm)		
		mín	méd	máx
SR-1	25	7,8	8,35	8,9
SR-2	25	8,1	8,4	8,7
SR-3	25	7,8	8,35	8,9
SR-4	25,4	8,2	8,5	8,9
SR-5	25	8,1	8,45	8,9
SR-6	25,1	8,3	8,7	9,1
R6-1	25	8,1	8,96	10,95
R6-2	25	8,1	9,03	11,2
R6-3	25	8,2	9,07	11,1
R6-4	25	8,6	9,26	10,8
R6-5	25	8,7	9,39	11
R6-6	25	8,9	9,65	11,4
R12-1	25	8,9	9,50	10,9
R12-2	25	8,5	9,21	10,85
R12-3	24,5	9	9,60	11
R12-4	25	8,4	9,27	11,3
R12-5	25	9,05	9,61	10,9
R12-6	25	8,5	9,34	11,3
R20-1	25,2	9,1	9,80	11,7
R20-2	25	8,9	9,85	12,4
R20-3	25,2	8,9	9,79	12,2
R20-4	25,1	9	9,89	12,3
R20-5	25	9	9,86	12,2
R20-6	25	9	9,95	12,5

Fonte: do autor.

O percentual de matriz e de reforço foi calculado com os valores de massa de cada CP, obtidos com a balança de precisão, medidas de comprimento e largura e gramatura das camadas de manta e tecido. A Tabela 3 traz os valores de massa total, de reforço e percentual de reforço.

Tabela 3 – Percentual de reforço.

CP	Peso (g)	Reforço (g)	% reforço
SR-1	157	64,80	41,27
SR-2	156	64,80	41,54
SR-3	156	64,80	41,54
SR-4	164	65,84	40,14
SR-5	161	64,80	40,25
SR-6	165	65,06	39,43
R6-1	162	63,73	39,34
R6-2	164	63,73	38,86
R6-3	164	63,73	38,86
R6-4	167	63,73	38,16
R6-5	169	63,73	37,71
R6-6	169	63,73	37,71
R12-1	175	65,30	37,32
R12-2	174	65,30	37,53
R12-3	174	64,00	36,78
R12-4	174	65,30	37,53
R12-5	176	65,30	37,10
R12-6	175	65,30	37,32
R20-1	189	67,40	35,66
R20-2	189	66,87	35,38
R20-3	186	67,40	36,24
R20-4	187	67,14	35,90
R20-5	190	66,87	35,19
R20-6	189	66,87	35,38

Fonte: do autor.

5.2. ENSAIOS DE TRAÇÃO

Os ensaios de tração geraram relatórios que podem ser encontrados nos apêndices B, C, D e E. Espessura e largura eram dados de entrada no programa. A máquina detectava a força máxima no rompimento de cada CP e gravava no relatório o valor de tensão baseado na área calculada com os dados de entrada. Note-se que a ordem dos CPs nos relatórios dos

ensaios foi diferente da marcação neles em alguns casos. O apêndice A relaciona a marcação de cada CP com o número deles nos relatórios constantes nos apêndices B, C, D e E. A Figura 15 mostra o rompimento de um CP durante o ensaio de tração.

Figura 15 – Ensaio de tração.



Fonte: do autor.

5.2.1. Valores de tensão obtidos

No apêndice B, encontram-se os resultados de tensão de ruptura do ensaio de tração dos CPs SR. As espessuras constantes no relatório são as espessuras médias de cada CP. Nos apêndices C, D e E, encontram-se os resultados de tensão de ruptura do ensaio de tração dos

CPs de R6, R12 e R20, respectivamente. As espessuras constantes nos relatórios são as espessuras mínimas de cada CP. Para comparação com os CPs SR, foi feita a correção calculando-se a tensão para a espessura média de cada CP.

A Tabela 4 apresenta os resultados de tensão de todos os CPs.

Tabela 4 – Tensões de ruptura.

CP	Tensão de ruptura (MPa)
SR-1	182,26
SR-2	178,72
SR-3	147,64
SR-4	188,45
SR-5	174,37
SR-6	149,03
R6-1	92,61
R6-2	92,33
R6-3	87,97
R6-4	82,89
R6-5	74,19
R6-6	89,29
R12-1	120,18
R12-2	114,71
R12-3	116,13
R12-4	123,07
R12-5	120,67
R12-6	111,87
R20-1	109,39
R20-2	117,41
R20-3	116,71
R20-4	110,06
R20-5	113,02
R20-6	118,25

Fonte: do autor.

Em seu trabalho sobre comparação entre processos de laminação, Bittencourt (2015), que também realizou ensaio de tração seguindo a norma ASTM D3039, fez a análise dos resultados utilizando a distribuição *t* de *student*. Para o presente trabalho, cogitou-se adotar a mesma análise, no entanto, julgou-se mais adequado fazer uma Análise de Variância (ANOVA).

Mesmo tendo escolhido fazer uma ANOVA, foi feita a distribuição t de *student* apenas para constatação do conjunto dos CPs SR, que não foram incluídos na ANOVA por ser considerado apenas um grupo de controle.

Como o número de CPs para cada conjunto é de 6, tem-se como número de dados para a distribuição t de *student* $n = 6$, e o grau de liberdade é $n-1 = 5$. Considerou-se um nível de confiança de 95%, nível de significância de 5%, extraindo com esses dados o coeficiente t da tabela, que é $t_{95} = 2,571$.

A Tabela 5 mostra os resultados da distribuição t de *student* para o conjunto SR.

Tabela 5 – Resultados da distribuição t de *student* para o conjunto SR.

	SR	
Média	170,08	MPa
Desvio Padrão	17,47	MPa
Erro	$\pm 18,33$	MPa
Erro %	10,78	%

Fonte: do autor.

Figura 16 – Resultados da distribuição t de *student* para o experimento de Bittencourt.

Distribuição t student - Tensão Máxima	
Número de dados	6
Grau de liberdade	5
Nível de confiança	95%
Nível de significância	5%
Coeficiente t (tabela)	2,571
Laminação Manual	
Média	89,46 MPa
Desvio padrão	11,84 MPa
Limite superior	101,89 MPa
Limite inferior	77,04 MPa
Erro	12,43 MPa

Fonte: BITTENCOURT (2015).

Comparando com os resultados do trabalho de Bittencourt (2015), ilustrado na Figura 16, observa-se que foi obtido aqui resultados melhores. Isso se deve a algumas diferenças, como as orientações das fibras, que no trabalho de Bittencourt (2015) foi -45/+45 enquanto neste foi 0/90 e o percentual de reforço, que foi inferior no experimento de Bittencourt (2015).

Para avaliar os esforços de tração nos conjuntos de reparo, realizou-se uma ANOVA, com os resultados exibidos nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Resumo de dados de cada conjunto para a ANOVA.

RESUMO				
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
R6	6	519,2761	86,54601	49,17874
R12	6	706,6402	117,7734	17,84073
R20	6	684,8398	114,14	14,91657

Fonte: do autor.

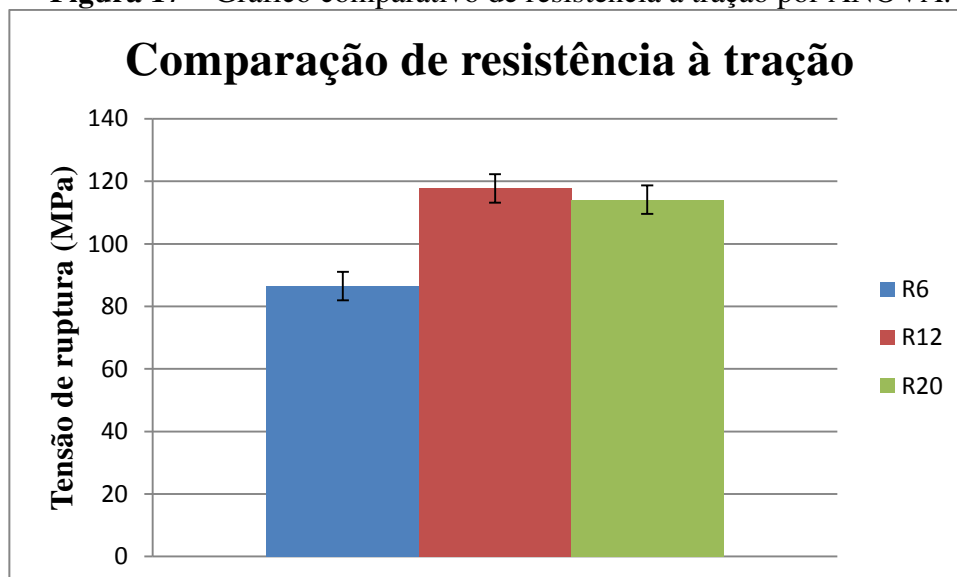
Tabela 7 – Resultados da ANOVA.

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	3499,553	2	1749,776	64,06617	4,49E-08	3,68232
Dentro dos grupos	409,6802	15	27,31202			
Total	3909,233	17				

Fonte: do autor.

Pelos resultados da ANOVA, os três conjuntos de reparos não podem ser considerados iguais, pois F é maior que F crítico. Pelo menos um dos conjuntos apresenta valores que são significativamente diferentes dos demais. A Figura 17 ilustra um comparativo das tensões de ruptura.

Figura 17 – Gráfico comparativo de resistência à tração por ANOVA.



Fonte: do autor.

Com base na ANOVA, é possível calcular os intervalos de confiança (IC) para as três amostras, a saber:

$$IC(\mu_{R6}, 95\%) = 86,55 \pm 4,55 \text{ MPa}$$

$$IC(\mu_{R12}, 95\%) = 117,77 \pm 4,55 \text{ MPa}$$

$$IC(\mu_{R20}, 95\%) = 114,12 \pm 4,55 \text{ MPa}$$

Analisando os intervalos de confiança, todos com o mesmo erro padrão partindo da hipótese de que as variâncias são iguais, verifica-se que R6 realmente possui resistência menor que os outros. No entanto, estatisticamente, não se pode descartar a hipótese de que os valores de R12 e R20 são iguais.

Esses resultados com valores estatisticamente iguais revelam uma falta de poder de teste do experimento, não sendo capaz de confirmar o que diz a literatura, que um reparo com rampa 1:20 é necessário para resistir a solicitações maiores.

O provável que tenha acontecido é que as variações naturalmente existentes na laminação manual podem ter gerado ruídos que foram mais significantes que as variações dos ângulos de chanfro, impossibilitando a validação de parte da teoria de reparos de compósitos.

Em média, a tensão de ruptura para R6 foi 50,89% da tensão de ruptura para SR, para R12 foi 69,25% e para R20 foi 67,11%. Todo o conjunto SR apresentou valores de resistência à tração maiores que qualquer CP de outro conjunto, tanto pelos valores dos ensaios quanto para a distribuição t de *student*, o que indica que um laminado original sempre apresentará melhor resistência, já que esse possui todas as fibras contínuas.

Note-se que, para se utilizar a ANOVA nesta análise, as variáveis aleatórias R6, R12 e R20 foram consideradas aderentes à distribuição normal. A fim de avaliar esta suposição, foram feitos testes de Lilliefors de aderência cujos resultados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Teste de Lilliefors.

R6					
i	x_i	$F(x_i)$	$S(x_i)$	$F(x_i) - S(x_{i-1})$	$F(x_i) - S(x_i)$
0		0	0		
1	74,19	0,0390	0,1667	0,0390	-0,1276
2	82,89	0,3008	0,3333	0,1342	-0,0325
3	87,97	0,5803	0,5000	0,2469	0,0803
4	89,29	0,6522	0,6667	0,1522	-0,0145
5	92,33	0,7953	0,8333	0,1286	-0,0381
6	92,61	0,8066	1,0000	-0,0268	-0,1934

R12

i	x_i	$F(x_i)$	$S(x_i)$	$F(x_i)-S(x_{i-1})$	$F(x_i)-S(x_i)$
0		0	0		
1	111,87	0,081041	0,166667	0,0810	-0,0856
2	114,71	0,234334	0,333333	0,0677	-0,0990
3	116,13	0,349002	0,5	0,0157	-0,1510
4	120,18	0,715836	0,666667	0,2158	0,0492
5	120,67	0,753529	0,833333	0,0869	-0,0798
6	123,07	0,89519	1	0,0619	-0,1048

R20

i	x_i	$F(x_i)$	$S(x_i)$	$F(x_i)-S(x_{i-1})$	$F(x_i)-S(x_i)$
0		0	0		
1	109,39	0,109517	0,166667	0,1095	-0,0571
2	110,06	0,145575	0,333333	-0,0211	-0,1878
3	113,02	0,385646	0,5	0,0523	-0,1144
4	116,71	0,747197	0,666667	0,2472	0,0805
5	117,41	0,801091	0,833333	0,1344	-0,0322
6	118,25	0,856374	1	0,0230	-0,1436

Fonte: do autor.

Observa-se que, em todos os casos, as variáveis tiveram a maior diferença, em módulo, inferior à máxima estipulada no teste de 0,319 para amostras de 6 elementos e nível de significância de 5%. Assim, pode-se aceitar a hipótese de que as variáveis aleatórias se comportam como distribuições normais.

5.2.2. Características da fratura

- Sem reparo: como os CPs SR são peças originais, há apenas uma solicitação dos reforços até o rompimento, sendo assim, obviamente, falha de substrato, já que não há emenda para haver falha adesiva. A Figura 18 exhibe as fraturas SR.

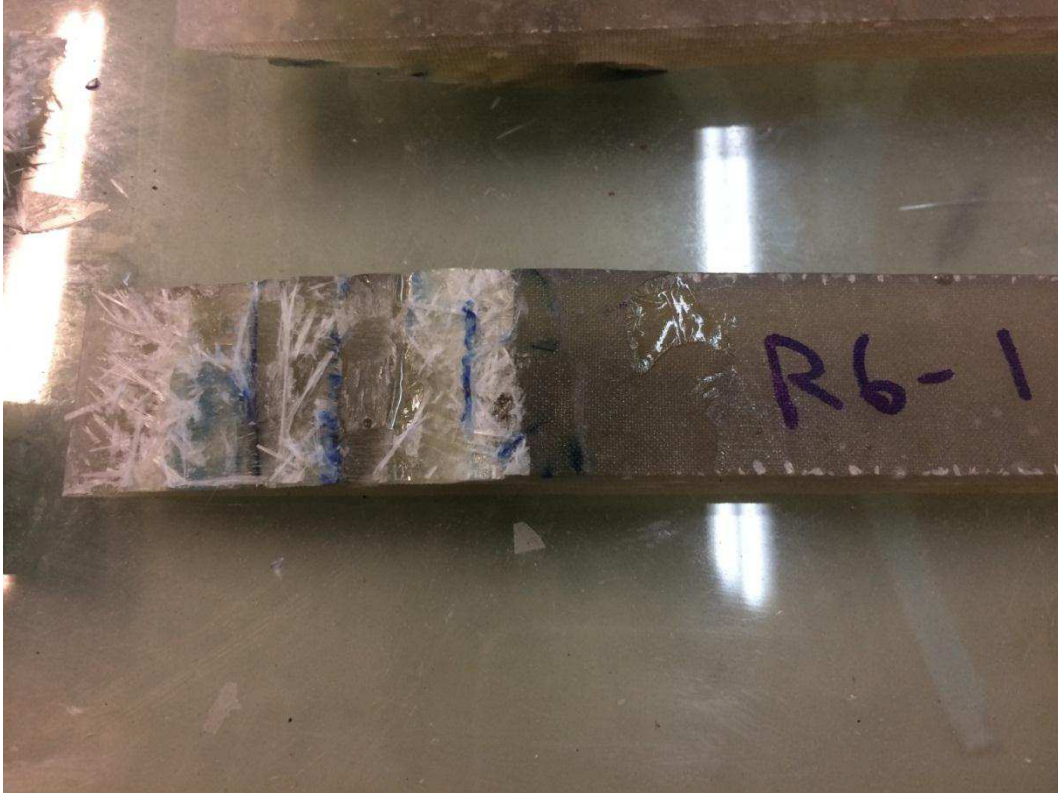
Figura 18 – Fraturas SR.



Fonte: do autor.

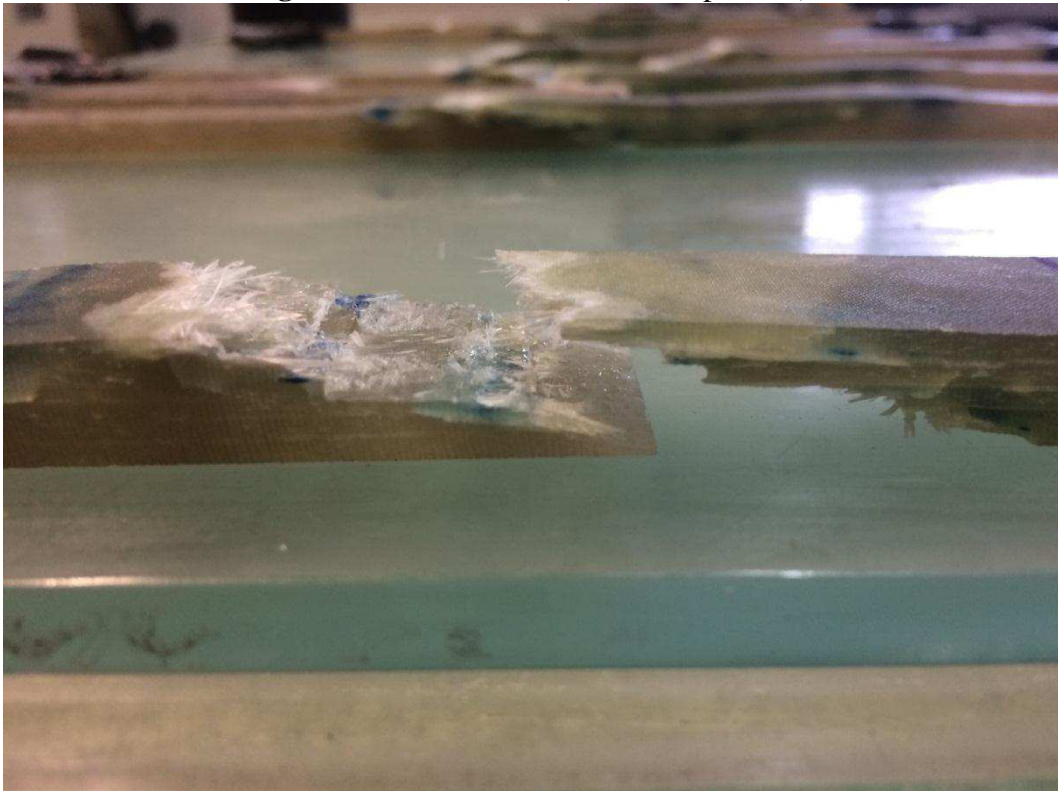
- Reparo com rampa de chanfro 1:6: todos os CPs de R6 romperam na emenda, apresentando fratura adesiva. As figuras 19 e 20 trazem imagens da fratura de um CP do conjunto R6.

Figura 19 – Fratura R6.



Fonte: do autor.

Figura 20 – Fratura R6 (vista de espessura).



Fonte: do autor.

- Reparo com a rampa de chanfro 1:12: metade dos CPs rompeu na emenda, com fratura predominantemente adesiva. A outra metade rompeu de forma semelhante aos CPs sem reparo, provavelmente por concentrações de tensão devido a imperfeições na laminação e uma ótima adesividade na região de reparo, possivelmente em virtude de um bom lixamento, aumentando a área de contato para adesivação mecânica e alta absorção do monômero de estireno passado na superfície ante o reparo, havendo assim uma alta ativação de moléculas da resina poliéster para adesão química com a laminação de reparo. Os rompimentos fora e na emenda podem ser visualizados nas figuras 21 e 22, respectivamente.

Figura 21 – Rompimento de R12 fora da região de reparo.



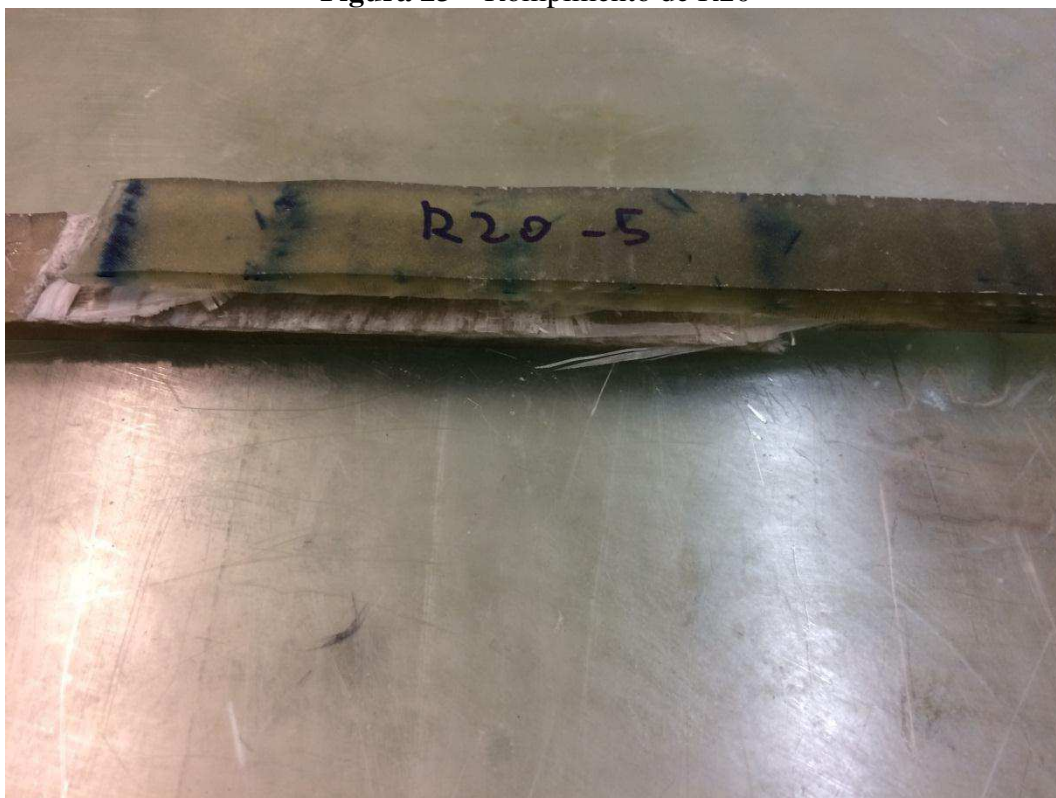
Fonte: do autor.

Figura 22 – Rompimento de R12 na região da emenda.



Fonte: do autor.

- Reparo com a rampa de chanfro 1:20: todos os CPs romperam na emenda de alguma forma. As fraturas foram, em sua maioria, híbridas, um misto de falha adesiva e de substrato. Também pode ter havido falha coesiva, entretanto, é difícil distinguir a olho nu se a falha é adesiva ou coesiva. Um dos CPs do conjunto R20 está ilustrado na Figura 23

Figura 23 – Rompimento de R20

Fonte: do autor

De modo geral, a partir das características de fraturas dos ensaios realizados, acredita-se que a pequena área de R6 faz com que a tendência seja de romper na emenda com falha adesiva, enquanto para uma rampa maior, em que há maior área de contato da superfície, há uma maior tendência de falha de substrato, já que é necessária uma maior força para uma falha adesiva e há concentração de tensão pelas finas áreas de seção transversal individuais. Contudo, uma análise de mecânica da fratura deveria ser feita para averiguar a real causa de ruptura em cada CP.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho examinou a influência do ângulo de chanfro nos reparos de cascos de embarcações fabricadas em PRFV, confrontando as resistências à tração de peças reparadas com as rampas de chanfro de 1:6, 1:12 e 1:20, e de uma peça original.

O reparo que apresentou melhor resistência à tração foi o com rampa 1:12, 69,25% do valor do original. O reparo com rampa 1:20 revelou resultados um pouco inferiores ao da rampa 1:12, no entanto, não se pode afirmar estatisticamente que a rampa 1:12 é melhor, devido à interseção dos intervalos de confiança, que poderia inclusive indicar resultados levemente melhores para R20, comparando o limite inferior de R12 com o superior de R20.

Esse resultado levemente melhor, porém inconclusivo estatisticamente, revela que o experimento não teve poder de teste para demonstrar diferença entre dois dos conjuntos analisados, tendo sido também incapaz de confirmar o que diz a literatura, que recomenda rampas de pelo menos 1:20 para casos com alta solicitação de tensão, afirmando que 1:12 é insuficiente para muitos casos. Imprecisões no processo de laminação podem ter contribuído para um resultado abaixo do esperado para R20, de modo que ruídos se tornassem mais significativos que a variável de análise. Deveriam ser feitos novos ensaios para verificar se a resistência de um reparo com a rampa 1:20 poderia ser maior que a de um reparo com rampa 1:12, pois, caso contrário, não se justifica a utilização de uma rampa maior, que requer maior remoção de material e maior deposição de material novo, implicando em maiores custo e mão-de-obra.

As características das fraturas também chamaram a atenção. O fato de metade dos CPs de R12 romperem fora da emenda indica que um bom reparo e com rampa de chanfro suficientemente grande pode promover uma adesividade com resistência superior à do substrato. No entanto, para ter certeza disso e também chegar a outras conclusões, precisam de ser feitos mais ensaios e uma análise minuciosa de mecânica da fratura.

A seguir, encontram-se sugestões para futuros trabalhos.

7. FUTUROS TRABALHOS

- Caracterização de outras propriedades mecânicas, como compressão, flexão e cisalhamento.
- Comparação de reparos utilizando a configuração *double-sided tapered scarf*.
- Comparação de reparos com o mesmo ângulo de chanfro e variando a laminação de reparo entre *parallel lay-up* e *butted lay-up*.
- Desempenho de reparos para diferentes espessuras do laminado.
- Comparação de reparos utilizando diferentes resinas.
- Comparação de reparos utilizando diferentes planos de laminação.
- Comparação de reparos utilizando diferentes reforços.
- Confeção dos corpos de prova por um método de laminação mais sofisticado, como a infusão.
- Análise de mecânica da fratura dos reparos.
- Estudo de variabilidade de resistência de laminação manual.

REFERÊNCIAS

ABARIS. **Scarfiging**. 2016. Disponível em: <<http://netcomposites.com/guide-tools/guide/repair/scarfiging/>>. Acesso em 23 nov. 2016.

ADHESIVE. 2012. Disponível em <<http://www.adhesiveandglue.com/fracture-of-adhesive.html>> Acesso em: 10 nov. 2016.

ANMARKKRUD, Thomas. **Fishing boat construction: 4**. Building an undecked fibreglass reinforced plastic boat. Roma, Itália: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2009.

ASTM D3039. **Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials**. 1995.

BITTENCOURT, Ana Paula Peixoto. **Estudo comparativo de processos de obtenção de compósitos de fibra de vidro/poliéster**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Naval, Centro de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina.

CALLISTER JUNIOR, William. **Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

DUTRA, Gabriel Benedet. **Cura e técnicas de análise**. Aula 5 da disciplina de materiais e processos de construção naval II. Joinville, Santa Catarina: UFSC, 2016.

ERIC GREENE ASSOCIATES. **Marine composites**. Annapolis, Maryland: Eric Greene Associates, 1999.

FIBREGLASS LIMITED; TYLER BOAT CO. LTD. **Repairing boats with fiberglass reinforced plastics**. Bidston, Birkenhead, UK: Fibreglass Limited, [19??].

GERR, Dave. **The elements of boat strength: for builders, designers, and owners**. Camden, ME: International Marine, 2000.

GURIT. **Guide to composites: delivering the future of composite solutions**. [20??]

HALLIWELL, Sue. **Repair of fibre reinforced polymer structures**. 2003.

HOKE, Michael J. **Adhesive bonding of composites**. Reno, Nevada: Abaris Training Inc, [20??].

LEVY NETO, Flamínio; PARDINI, Luiz Claudio. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

MAGNESS, Frank. **Joining of polymer composite materials**. Livermore, California: Lawrence Livermore National Laboratory, 1990.

MARINUCCI, Gerson. **Materiais compósitos poliméricos: fundamentos e tecnologia**. São Paulo: Artliber Editora, 2011.

MARQUES, Paulo; MODENESI, Paulo; SANTOS, Dagoberto. **Introdução à metalurgia da soldagem**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MENDONÇA, Paulo de Tarso. **Materiais compostos e estruturas sanduíche**. Barueri, São Paulo: Manole, 2005.

NASSEH, Jorge. **Barcos: métodos avançados de construção em composites**. Rio de Janeiro: Jorge Nasseh, 2007.

NASSEH, Jorge. **Técnica e prática de laminação em composites**. Rio de Janeiro: Jorge Nasseh, 2008.

NASSEH, Jorge. 2009. Materiais compostos na indústria náutica brasileira. **Revista composites & plásticos de engenharia**. Janeiro-março, 2009. Disponível em: <http://www.tecnologiademateriais.com.br/consultas_tm/pdf/pr65/54-56.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2016.

NASSEH, Jorge. **Manual de construção de barcos**. 4ª edição. Rio de Janeiro: Jorge Nasseh, 2011.

STRONG, Brent; BECKWITH, Scott. **Joining composite materials: mechanical or adhesive?** Provo, Utah: Brigham Young University, 2000.

WANG, Chun; GUNNION, Andrew. **Design methodology for scarf repairs to composite structures**. Australian Government, 2006.

WEST SYSTEM®. **Fiberglass boat repair & maintenance**. 15th Edition. Bay City, MI: Gougeon Brothers, Inc., March, 2011.

APÊNDICE A – Relação dos CPs

Marcação	Apêndice B
SR-1	CP 1
SR-2	CP 4
SR-3	CP 5
SR-4	CP 6
SR-5	CP 3
SR-6	CP 2

Marcação	Apêndice D
R12-1	CP 6
R12-2	CP 1
R12-3	CP 2
R12-4	CP 3
R12-5	CP 4
R12-6	CP 5

Marcação	Apêndice C
R6-1	CP 1
R6-2	CP 2
R6-3	CP 3
R6-4	CP 6
R6-5	CP 4
R6-6	CP 5

Marcação	Apêndice E
R20-1	CP 1
R20-2	CP 2
R20-3	CP 3
R20-4	CP 4
R20-5	CP 5
R20-6	CP 6

APÊNDICE B – Relatório dos ensaios de tração para SR

APÊNDICE C - Relatório dos ensaios de tração para R6

APÊNDICE D - Relatório dos ensaios de tração para R12

APÊNDICE E - Relatório dos ensaios de tração para R20

ANEXO A – Boletim técnico da resina

ARAZYN 10.0 - BOLETIM
TÉCNICO DE VENDAS

ARA QUÍMICA S/A. - RUA ARTHUR CESAR, 200
18147-000 - ARAÇARIGUAMA - SP - BRASIL • TEL: 0 (XX) 11 4136 6477

RESINA POLIÉSTER INSATURADO, ISOFTÁLICA.**DESCRIÇÃO:**

A resina padrão da família ARAZYN® 10.0, NÃO-ACELERADA, apresenta, no estado líquido, viscosidade baixa e coloração amarela clara. Após a cura, apresenta rigidez, ótimas propriedades mecânicas e alta temperatura de termo-distorção (HDT).

Não é tixotrópica. A resina AZ 10.0#00 satisfaz as exigências da Resolução N° 105 de 19/maio/1999 publicada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde para alimentos do Tipo I.

DESEMPENHO

Resina com boa aceitação as cargas e pigmentos.

SUGESTÕES DE USO

Na preparação de gelcoat onde seja necessária uma boa resistência química e mecânica.

Na fabricação de moldes ou em laminação onde seja necessária uma boa resistência à distorção térmica (HDT) e mecânica.

Nos processos de fabricação por "filament winding" ou moldagem aberta (hand lay-up ou spray-up) de tanques, tubulações ou afins, onde haja a necessidade de resistência química.

Em processos iniciados por altas temperaturas como pultrusão.

OBS: Além do sistema Cobalto/MEK-P, aceita também o sistema DMA/BPO.

PROPRIEDADES DA RESINA LÍQUIDA AZ 10.0 - VALORES TÍPICOS

Viscosidade Brookfield (25°C/LVF sp 2/30 rpm), cps	600
Gel Time (25°C c/0,5% de Co 6% + 1,0 g MEK-P em 100 g resina), minutos	14
Intervalo Pico minutos	15
Pico Exotérmico, °C	200
Índice de Acidez (em solução), mgKOH/g resina	15
Aspecto	Límpido
Cor	Amarela clara
Teor de Sólidos, %	60

OBS: Os valores das propriedades acima obtidos resultam da resina AZ 10.0 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 umidade máxima de 3%.

CURA: Usar, como promotor, o Octoato de Cobalto 6%, na faixa de 0,2 a 0,5%, e, MEK-P, como catalisador num teor que pode variar de 0,9 a 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® 10.0 (continuação)

EMBALAGEM PADRÃO:	Tambor não retornável com 220 kg (peso líquido)
IDENTIFICAÇÃO REQUERIDA:	Líquido inflamável
CÓDIGO:	AZ 10.0#00 (padrão)
	AZ 10.0#XX (outras resinas da mesma família)

PROPRIEDADES MECANICAS – VALORES TÍPICOS*

PROPRIEDADES FÍSICAS DA RESINA CURADA** A 25 °C, SEM REFORÇO:

<u>TESTE</u>	<u>VALOR</u>	<u>MÉTODO DE TESTE</u>
Resistência à Tração, MPa	65	ASTM D-638
Módulo na Tração, MPa	3500	ASTM D-638
Alongamento, %	2,5	ASTM D-638
Resistência à Flexão, MPa	126	ASTM D-790
Módulo na Flexão, MPa	3800	ASTM D-790
Temperatura de Distorção Térmica, °C	90	ASTM D-648
Dureza Barcol, 2 horas, B	35	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: 0,5% de Co 6% + 1,0 g MEK-P em 100 g de resina, seguido de pós-cura de 3 horas à 80°C.*

MANUSEIO:

A resina ARAZYN 10.0 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 EPI (Equipamentos de Proteção Individual). A ARA ASHLAND mantém a FISPQ (Folhas de Informações de Segurança de Produto Químico) de todos os seus produtos à disposição do consumidor. As FISPQ contém 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.

ANEXO B – Boletim técnico do acelerador

LIOSEC[®] HC COBALTO 12 %

LIOSEC[®] HC COBALTO 12 % solução de sais de cobalto de ácidos octóicos sintéticos em solventes adequados.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

	MÉTODOS DE REFERÊNCIA		T.A.
Teor de cobalto, %	ASTM D-2373/90	11,9 - 12,1	(1)
Aspecto	Visual	líquido brilhante azul	(1)
Viscosidade Gardner a 25 °C	ASTM D-1545/89	E máx.	(1)
Odor		leve	(4)
Peso específico a 25 °C	ASTM D-1298/85	1,000 - 1,050	(4)
Sólidos, %	ASTM D-1644/88	75 máx.	(4)
Umidade (Karl Fischer), %	ASTM D-4017/90	1,75 máx.	(1)
Ponto de fulgor, °C	ASTM D-93/90	40 mín.	(4)
Índice de acidez	ASTM D-1639/90	200 - 220	(1)
Teste de centrifugação (sedimentos)	ASTM D-91/87	isento	(1)
Miscibilidade em aguarrás, 1:10		perfeita	(4)
Teste de estabilidade ao ar	ASTM D-564/91	perfeito	(4)
Teste de estabilidade ao frio	ASTM D-564/91	perfeito	(4)

T.A. TIPO DE ANÁLISE
 (1) Análise mandatória
 (4) Análise informativa

EMBALAGEM

Fornecido em tambores de ferro com 190 kg, ou baldes com 18 kg, peso líquido.

ANEXO C – Boletim técnico do iniciador

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 ₃ 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 widening e moldagem fechada, pode ser usado para a aplicação de gelcoats e massa plástica.

OUTRAS INFORMAÇÕES

ARMAZENAMENTO

- Temperatura máxima recomendada: 30°C. Para maior durabilidade, é recomendado o armazenamento abaixo de 30°C.
- Armazene nas embalagens originais, **longe** de inflamáveis e quaisquer fontes de calor, descarga elétrica ou fogo; distante da luz solar, e **longe** de **naftanato de cobalto**, demais promotores, aceleradores, oxidantes ou agentes redutores e fortes ácidos ou bases.
- **Embalagens com vazamentos** – *Remova e isole-as em local seguro.* Re-embale ou descarte-as imediatamente (Veja **derramamentos**).
- **Nunca** armazene em refrigeradores com comidas e/ou bebidas.
- Consulte o Código 432 da Associação Nacional de Proteção contra Incêndio (NFPA) e/ou agências local regulamentadoras.
- Estoque rotativo, utilize primeiro os mais antigos.

MANUSEIO

- Informe toda a equipe de procedimentos sobre o manuseio seguro, e revise o MSDS com eles.
- Retire da área de armazenamento somente as quantidades necessárias para um turno.
- Utilize óculos protetores e luvas resistentes.
- Mantenha fora de calor, fogo e descargas elétricas.
- Evite inalar os vapores.
- Não é recomendada a diluição.
- **Nunca** adicione peróxidos diretamente aos promotores, ou vice-versa. Pode haver decomposição.
- Previna contaminação através de contato com poeira sobre spray, madeira e material combustível.
- Evite o contato com materiais que não sejam polietileno, polipropileno, Teflon®, Tygon® ou similares, aço com ou sem fibra de vidro, e aço inoxidável 304 ou 316, ou equivalente.

PRIMEIROS SOCORROS

- OLHOS - Lave imediatamente com quantidades abundantes de água e continue lavando por 15 minutos, pelo menos. **É necessário o cuidado médico.**
 - PELE – Lave com água e sabão.
- INGESTÃO - Ingira grandes quantidades de leite ou água, e procure imediatamente um médico. Não provoque vômito. Como auxílio a seu médico, sugira entrar em contato com seu Centro local de Controle de Envenenamento.

DERRAMAMENTOS

- Limpe imediatamente, absorvendo com material inerte – vermiculita ou areia.
- Após a absorção, molhe imediatamente com moderação com água e posicione-os em um saco plástico dentro de um balde plástico.
- Descarte-os de acordo com as leis locais, estaduais e federais.

OBSERVAÇÃO: Peróxidos derramados, caso não sejam imediatamente limpos, podem tornar-se contaminados e pegar fogo ou decompor-se de maneira perigosa e violento.

INCÊNDIO

- Peróxidos têm inflamação rápida e queimam vigorosamente com aceleração.
- Utilize água de distâncias seguras – preferencialmente com uma mangueira de água e ar.
- Para pequenos incêndios, pode ser útil um extintor com dióxido de carbono, vapor ou produtos químicos secos.
- Em caso de incêndio próximo ou na área de armazenamento, resfrie as embalagens armazenadas com spray de água.

EMBALAGEM, DESPACHO E DISPONIBILIDADE

Os tamanhos padrão de embalagem do Brasnox® DM 50 são bombonas de 30kg

“A informação contida neste comunicado é baseada nas informações recebidas por nossa equipe, e é apresentada em boa fé, acreditando em sua precisão. Devido à tecnologia extensiva envolvida em seu uso, a fabricante, de maneira alguma, garante tais informações nem realiza quaisquer recomendações ao uso, em caso de desrespeito à patente. As informações contidas neste comunicado prevalecem e substituem todas as informações dos comunicados anteriores. O vendedor não realiza qualquer tipo de garantia, explícita ou implícita, exceto a de que as mercadorias atendem às especificações do comprador. Uma vez que as mercadorias são aceitas pelo comprador no tempo especificado, este assume todo o risco e responsabilidade por danos oriundos do uso dos produtos. Quer seja utilizado somente pelo comprador ou em conjunto com outros produtos, vendido à terceiros em sua forma original ou re-embalado pelo comprador e vendido à terceiros.”

MAIS INFORMAÇÕES SOBRE PRODUTOS

Tel: 55 11 4591-3444

e-mail: polinox@polinox.com.br

site: www.polinox.com.br

ANEXO D – Certificado de análise do monômero de estireno



CERTIFICADO DE ANALISE

PRODUTO:	MONOMERO DE ESTIRENO		
CODIGO: 10040003	NOTA FISCAL:		
QUANTIDADE: 500 g	LOTE: 0187		
FABRICAÇÃO: 03/09/2016	VALIDADE: 6 meses		

RESULTADOS DAS ANALISES

Ensaio	Unid.	Método/ referencia	Especificação	Resultados
PUREZA, % EM MASSA	% M	MPI 000079	Min. 99,6	99,8
ETILBENZENO, PPM	PM	MPI 000079	Máx. 1500	598
INIBIDOR, MG TBC / KG	MK	MPI 000075	27,5 – 32,5	29,50
COR PT/CO ESTIRENO	CL	MPI 000043	Máx. 10	5,90
POLIMEROS, MG/KG	MK	MPI 000078	0,0	0,0
PEROXIDOS (H2O2), PPM	PM	MPI 000079	Máx. 100	18,0
ALDEIDOS (BENZALDEIDO), PPM	PM	MPI 000079	Máx. 200	47,0
DENSIDADE	DN	MPI 000102	0,904 – 0,906	0,905
APARENCIA ESTIRENO	-	MPI 000043	Liquido claro	Liquido claro

Analista Laboratório

Emissão: 23 de setembro de 2016

Sebastião Matos

QUÍMICO RESPONSÁVEL:
SEBASTIÃO MATOS
CRQ 1340.3753 – XIII REGIÃO

Nota: dados transcritos do certificado original do fabricante;

Certificado emitido eletronicamente, dispensa assinatura.

ANEXO E – Boletim técnico do tecido



PRODUCT DESCRIPTION

OC® Woven Roving Fabrics are composed of direct rovings woven into a fabric or tape. The input rovings are designed to give controlled wet-out and excellent laminate properties. The construction gives bi-directional (0°/90°) reinforcement and the strength of continuous filaments. OC® Knytex® Fabrics are designed to be compatible with multiple resin systems, and can be customized to meet specific product requirements.

PRODUCT APPLICATION

OC Woven Roving Fabrics provide high-quality, global products designed to meet your performance and cost requirements. OC Woven Roving Fabrics provide the most economical solution for raising glass content of laminates and increasing laminate stiffness and impact resistance without adding thickness, weight, or other non-reinforcing materials. The fabric delivers cost-effective solutions to your competitive reinforcement challenges, particularly large parts such as boat hulls and high-durability laminates such as underground storage vessels.

FEATURES

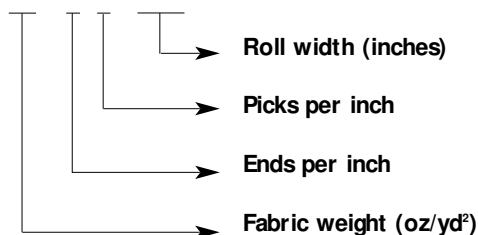
- ECONOMICAL, MULTI-USE FABRIC
- CONSISTENT GLASS LOADING
- EXCELLENT DIMENSIONAL STABILITY
- REGULAR POROSITY
- ASSORTED WEAVE PATTERNS AND PREFERENTIAL FIBER LOADING
- CRIMP ENGINEERED FOR END-USE

PRODUCT BENEFITS

- LOWER FINISHED PART COST
- EXCELLENT LAMINATE PROPERTIES AND COST-EFFECTIVE REINFORCEMENT
- EASE OF HANDLING AND DRAPABILITY
- RAPID WET-OUT AND FAST APPLICATION
- DESIGN FLEXIBILITY AND ENGINEERED STRAIN VALUES
- HIGH IMPACT RESPONSE

PRODUCT NOMENCLATURE

W R 24 - 5x4 - 50.0





OC[®] FABRICS
OC[®] WOVEN ROVING (0° / 90°)

PHYSICAL PROPERTIES / AVAILABLE PRODUCTS

FABRIC STYLE	TOTAL WEIGHT					MAT	DRY THICKNESS
	(OZ/YD ²)	0°	90°	+ 45°	-45°		(INCHES)
W R10-5x5	10.7	6.4	4.3	0	0	0	0.017
W R18-5x4	18.0	9.9	8.1	0	0	0	0.025
W R18-7x5	18.7	10.0	8.7	0	0	0	0.024
W R22-5x3.5	22.0	13.0	9.0	0	0	0	0.028
W R24-5x4	24	13	11	0	0	0	0.029

SAMPLE MECHANICAL PROPERTIES

Sample Mechanical Properties of Laminate based on W R18-5x4 (50% glass content by weight).

	ENGLISH UNITS	SI UNITS
Tensile (ASTM D 638)		
Strength	44.5 ksi	307 MPa
Modulus	2.99 msi	20.6 GPa
Compression (ASTM D 695)		
Strength	45.7 ksi	315 MPa
Modulus	3.31 msi	22.8 GPa
Flexural (ASTM D 790)		
Strength	58.8 ksi	405 MPa
Modulus	2.29 msi	15.8 GPa

Sample Mechanical Properties of Laminate based on W R24-5x4 (50% glass content by weight).

	ENGLISH UNITS	SI UNITS
Tensile (ASTM D 638)		
Strength	41.9 ksi	289 MPa
Modulus	2.07 msi	14.3 GPa
Compression (ASTM D 695)		
Strength	33.4 ksi	230 MPa
Modulus	2.28 msi	15.7 GPa
Flexural (ASTM D 790)		
Strength	55.9 ksi	385 MPa
Modulus	2.2 msi	15.2 GPa

OWENS CORNING
WORLD HEADQUARTERS
 ONE OWENS CORNING PARKWAY
 TOLEDO, OHIO 43659
 1.800.GET.PINK
www.owenscorning.com/composites

EUROPEAN OWENS CORNING
FIBERGLAS S.A.
 CHAUSSÉE DE LA HULPE, 166
 B-1170 BRUSSELS
 BELGIUM
 32.2.674.82.11

OWENS CORNING LATIN AMERICA
 AV. DAS NAÇÕES UNIDAS, 17.891-30. AND.
 CEP – 04795-100
 SÃO PAULO, BRAZIL
 55.11.5514.7900

OWENS CORNING ASIA/PACIFIC
 HANOI BUILDING 3F
 1-2-9 SHIKAKOEN, MINATO-KU
 TOKYO, 105-0011 – JAPAN
 81.3.5733.1671



COMPOSITE SOLUTIONS



INNOVATIONS FOR LIVING™

This information and data contained herein is offered solely as a guide in the selection of a reinforcement. The information contained in this publication is based on actual laboratory data and field test experience. We believe this information to be reliable, but do not guarantee its applicability to the user's process or assume any responsibility or liability arising out of its use or performance. The user agrees to be responsible for thoroughly testing any application to determine its suitability before committing to production. It is important for the user to determine the properties of its own commercial compounds when using this or any other reinforcement. Because of numerous factors affecting results, we make no warranty of any kind, express or implied, including those of merchantability and fitness for a particular purpose. Statements in this data sheet shall not be construed as representations or warranties or as inducements to infringe any patent or violate any law, safety code or insurance regulation.

ANEXO F – Boletim técnico da manta



BOLETIM TÉCNICO

MANTAS DE FIBRA DE VIDRO

Manta para Laminação Manual - M710B

Descrição

A manta M710B é um material de reforço obtido de fibras de vidro Advantex™ cortadas, aglutinadas umas às outras através de ligante de alta solubilidade em monômero de estireno, com compatibilidade com resinas poliéster, vinil éster e epóxi.

O vidro Advantex™ combina as excelentes propriedades mecânicas e elétricas do vidro E com a resistência à corrosão de ácidos do vidro E-CR, atendendo aos requerimentos estabelecidos nas normas ISO 2078 e na ASTM D578-98, tanto para o vidro E como para o vidro E-CR.

As fibras são cortadas e distribuídas de maneira uniforme e aleatória, originando, no plano das mantas, laminados com propriedades isotrópicas.

Este produto foi desenvolvido para ser usado como reforço para peças que são fabricadas no processo de laminação manual em molde aberto (hand lay-up).

Destaques

- Compatível com resinas poliéster, viniléster e epóxi
- Rápida molhagem
- Redução no consumo de resinas
- Aumento de produtividade
- Baixa marcação no gelcoat
- Menor liberação de penugem

Benefícios

Compatível em Poliéster, Viniléster e Epóxi

A manta M710B foi desenvolvida para que possa reforçar resinas poliéster ou viniléster, sendo usada também com resinas epóxi.

Rápida Molhagem

Rapidez de molhagem significa menos tempo de laminação e menor custo.

Redução no Consumo de Resinas

Com a alta rapidez de molhagem, o consumo de resina é significativamente reduzido.

Aumento de Produtividade

Outra característica marcante deste produto é a facilidade de roletagem e eliminação das bolhas de ar, que diminui sensivelmente o esforço do Operador, aumentando a produtividade e a vantagem competitiva do Transformador.

Baixa Marcação do Gelcoat

A marcação do gelcoat é minimizada devido a grande uniformidade desta manta. Os produtos com pouca marcação de gelcoat têm melhor aparência e maior aceitação no mercado.

Menor Liberação de Penugem

Maior conforto para o Operador devido a menor liberação de penugem durante o manuseio do produto.



Dados do produto

Gramagem (g/m ²)	225	300	375	450	600
Diâmetro interno do rolo (cm)	10				
Diâmetro externo do rolo (cm)	32 ± 2				
Largura padrão (cm)	140				
Perda ao fogo (%)	5,5	3,4	2,8	2,0	2,5
Peso (kg)	47	50	60	60	65

Propriedades Mecânicas dos Laminados

Ensaio	MPa (seco)	MPa (úmido)
Resistência à Tração	76 - 96	69 - 83
Módulo de Tração	7500 - 8900	5200 - 6200
Resistência à Flexão	165 - 193	130 - 140
Módulo de Flexão	7500 - 8900	5300 - 6200

Embalagem

A manta M710B é enrolada sobre tubetes de papelão, embalada com stretch film de polietileno transparente e paletizada. Os paletes são protegidos externamente, contra poeira e umidade, com filme plástico esticável. Alguns rolos podem apresentar descontinuidades. Estes rolos são sinalizados, no local do corte, por uma tira de papel com a inscrição "Corte Interno".

Estocagem

As fibras de vidro devem ser armazenadas em sua embalagem original, em local fresco e seco.

Validade

Não existe restrição quanto a data limite para utilização de fibras de vidro quando estas são estocadas à temperatura ambiente e em sua embalagem original.

Informações Adicionais:

Para maiores informações,
Consulte a FISQP e nosso Departamento Técnico:

Tel./Fax: (047) 3453-3328 – Joinville - SC

Site: www.sama.ind.br

e-mail: sama@sama.ind.br

As informações contidas neste boletim, são fornecidas de boa fé e estão corretas baseadas em nossas experiências e conhecimentos. Como não temos qualquer controle sobre o uso de nossos produtos, Solicitamos aos clientes testarem seus produtos na inspeção de recebimento para sua finalidade antes do uso. Nenhuma garantia expressa ou implícita, é dada ou sugerida. Não assumimos assim, qualquer responsabilidade quanto a rendimento, desempenho ou quaisquer danos materiais ou pessoais decorrentes do uso das informações acima ou do armazenamento e manuseio em condições inadequadas.