

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

EDUARDO DOS ANJOS INÁCIO

ESTUDO DE FIBRAS DE LAMINADOS USADOS NA INDÚSTRIA NÁUTICA

Joinville

2016

EDUARDO DOS ANJOS INÁCIO

ESTUDO DE FIBRAS DE LAMINADOS USADOS NA INDÚSTRIA NÁUTICA

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 de Joinville.

Orientador: Dr. Gabriel Benedet Dutra

Joinville

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

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

Inácio, Eduardo dos Anjos
ESTUDO DE FIBRAS DE LAMINADOS USADOS NA INDÚSTRIA
NÁUTICA / Eduardo dos Anjos Inácio ; orientador, Gabriel
Benedet Dutra - Joinville, SC, 2016.
72 p.

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

Inclui referências

1. Engenharia Naval. 2. Embarcações de recreio. 3.
Materiais compósitos. 4. Processos de laminação. 5. Resinas.
I. Dutra, Gabriel Benedet. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Naval. III. Título.

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso

ESTUDO DE FIBRAS DE LAMINADOS USADOS NA INDÚSTRIA NÁUTICA

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro naval. Campus Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Joinville, 29 de junho de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Gabriel Benedet Dutra - Presidente

Universidade Federal de Santa Catarina - Professor Doutor do Departamento de Engenharia Naval

Ricardo Aurélio Quinhões Pinto - Membro

Universidade Federal de Santa Catarina - Professor Doutor do Departamento de Engenharia Naval

Wagner Mauricio Pachekoski - Membro

Universidade Federal de Santa Catarina - Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas

AGRADECIMENTOS

A Deus,

pelo dom da vida, por ter nos abençoado e nos concedido perseverança e força ao longo desta caminhada.

Aos meus pai,

Mario e Janete, por terem acreditado no meu sonho e terem oferecido suporte para que eu chegasse até aqui. Agradeço também pelo amor dedicado e presença em todos os momentos da minha vida. Amo muito vocês!

Aos meu irmão,

Leonardo, pelo apoio, pelos momentos de descontração nos finais de semana e pela grande ajuda disponibilizada para realização deste TCC.

A minha namorada,

Christiny, por estar presente desde o início dessa caminhada, me incentivando e apoiando nos momentos bons e principalmente de dificuldades. Agradeço também pelo amor, carinho despendidos. Amo muito você!

Ao meu avó,

João, agradeço por todo o carinho e ajuda para que eu concluísse minha graduação. Amo muito você!

À Margareth, Christian e Adélia,

por me acolherem como parte da família e pelo apoio.

Aos familiares,

que de alguma forma, contribuíram para esta conquista e hoje comemoram conosco. Muito Obrigado!

Aos meus amigos,

Fredi, Rudimar, Turco, Zucco, Janaina, Iuran, Cristhian, Antônio, Nayara e Camila pela amizade e por muitos outros amigos que de alguma forma contribuíram e torceram para eu chegar até aqui. Muito Obrigado!

A Vanessa Vargas

Pela ajuda e contribuição prestadas para a realização dos ensaios deste trabalho. Muito obrigado!

Ao meu orientador,

Gabriel, agradeço pela disponibilidade proporcionada, pela grande ajuda e apoio.

Aos nossos mestres,

pelos ensinamentos ao longo de nossa formação, se comprometendo com a sua qualidade.

A minha banca de TCC: Gabriel Benedit Dutra, Ricardo Aurélio Quinhões Pinto e Wagner Maurício Pachekoski,

pelas contribuições dadas para o fortalecimento deste estudo.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência dos processos de laminação manual, laminação a vácuo e infusão sobre as propriedades físicas de absorção de água e relação matriz/reforço do compósito final. Além disso, duas resinas com propriedades distintas, poliéster e epóxi, foram investigadas. A metodologia aplicada consistiu na confecção dos corpos de provas para os três processos abordados, cada um utilizando tanto a matriz de resina de poliéster quanto a de epóxi. O teste de absorção de água foi baseado na norma ASTM D 570 (1998). A quantidade de matriz/reforço no laminado foi determinada pelo ensaio de combustão conforme a norma ASTM D 2584 (2011). Os resultados da comparação de diferentes métodos de laminação mostram que a utilização de vácuo no processo, auxilia na remoção de excesso de resina do laminado, sendo que o teor de fibra para a infusão foi em média de 0,45. Enquanto que a laminação a vácuo alcançou 0,31 e a laminação manual 0,20. Há algumas discrepâncias dos valores alcançados com a literatura, entretanto as tendências são as mesmas. Já para a absorção de água, houve um acréscimo de massa nas peças com resina de poliéster até acontecer a saturação, independentemente do método de laminação adotado. Entretanto, a combinação de peças laminadas com auxílio de vácuo (laminação a vácuo e infusão) e a resina epóxi de baixa viscosidade, apresentaram compósitos com fissuras e susceptíveis a ação da água. Estas fissuras ao longo do laminado deixaram as fibras expostas ao meio. Também se observou uma alta porosidade destes corpos de prova, que apresentaram uma fração volumétrica de vazios de até 0,48, ocasionando valores de absorção de água muito superiores àqueles usuais para esta resina, de até 38% de ganho de massa em 1608 horas de teste. Ao comparar as diferentes resinas, a viscosidade foi a propriedade física que apresentou as influências mais significativas nos resultados avaliados. Apesar dos maiores teores de fibras alcançados com a resina epóxi, a presença de valores de pressão negativa na ordem de 500 mmHg durante a laminação causou o surgimento de fissuras e porosidade nas peças. Dessa forma, fica evidenciado por meio deste estudo, que construtores devem encontrar a relação adequada entre a pressão utilizada na bomba de vácuo em processo de laminação a vácuo e infusão, e a viscosidade da resina utilizada, de forma a obter placas com altos teores de fibras e sem a presença de poros ou fibras expostas.

Palavras-chave: Embarcações de Recreio. Materiais compósitos. Processos de laminação. Resinas.

ABSTRACT

This paper has the objective of investigate the influence of the hand lay-up, vacuum bagging and infusion, as well as the use of a polymeric matrix made of polyester or epoxy resin, in their physical properties of water absorption and quantity of matrix/reinforcement in the final composite. Furthermore, two resins with different properties, polyester and epoxy, were investigated. The methodology consisted in the preparation of the specimens for the three processes mentioned above, each processed with both the polyester resin matrix as epoxy. The water absorption test was based on ASTM D 570 (1998). To verify the quantity of matrix/reinforcement of the laminate will be done a test following the rules of ASTM D 2584 (2011). The results of the comparison of different lamination methods show that the use of vacuum in the process, assists in the removal of excess resin, and fiber content for infusion has averaged 0,45. While the vacuum lamination reached 0,31 and manual lamination 0,20. There are some discrepancies in the values achieved with the literature, but the tendencies are the same. Already for water absorption, there was an increase in mass specimens of polyester resin even happen saturation, regardless of lamination method assumed. However, the combination of specimens laminated with vacuum assist (vacuum lamination and infusion) and the epoxy resin of low viscosity, had composites with fissures susceptible to the action of water. These fissures along the laminate, left the fibers exposed to the environment. It was also observed a high porosity of these specimens, which had a volume fraction of voids up to 0,48, causing water absorption values much higher than those usual for this resin, until 38% by weight gain in 1608 hours of testing. When comparing the different resins, the viscosity was the physical property that presented the most significant influences on the evaluated results. Although the higher fiber contents obtained with the epoxy resin, the presence of negative pressure values in the order of 500 mmHg during lamination, cause the appearance of fissures and porosity in the specimens. Thus, it is evidenced by this study that manufacturers must find the adequate relationship between the pressure used in the vacuum pump in a vacuum lamination process and infusion, and the viscosity of the resin used, to obtain plates with high levels of fibers and without the presence of voids or exposed fibers.

Keywords: Recreational crafts. Composite materials. Lamination processes. Resins.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura molecular da resina epóxi diglicidil éter do bisfenol-A	19
Figura 2 - Primeira divisão das laminações no molde de vidro.....	28
Figura 3 – Etapas da laminação manual com resina poliéster:	29
Figura 4 - Etapas da laminação a vácuo:	30
Figura 5 - Etapas da laminação por infusão:	32
Figura 6 - Placas retangulares laminadas após a desmoldagem	33
Figura 7 - Etapas do ensaio de combustão:	35
Figura 8 - Etapas do ensaio de absorção de água:	37
Figura 9 – Etapas do ensaio de densidade aparente e fração volumétrica de vazios:.....	38
Figura 10 – Sublaminação representada pelas regiões brancas no CP confeccionado por laminação a vácuo com resina epóxi	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média dos teores de fibras dos processos de laminação	41
Gráfico 2 - Teores de fibras para cada tipo de resina	42
Gráfico 3 - Massa dos CPs com resina poliéster x Horas de teste	43
Gráfico 4 - Nuvem de pontos da quantidade de absorção de água dos CPs com resina poliéster ao longo do teste	44
Gráfico 5 - Massa dos CPs com resina epóxi x Horas de teste	45
Gráfico 6 - Nuvem de pontos da taxa de absorção de água dos CPs com resina epóxi	46
Gráfico 7 – Detalhamento do gráfico de absorção de água para resina epóxi (Gráfico 4) com escala da absorção de água de 0 a 3%	47
Gráfico 8 - Absorção média de água dos CPs após 1608 horas de imersão.....	48
Gráfico 9 - Porosidade dos CPs por processo.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios das massas das fibras e matriz, e fração mássica de fibras dos CPs	39
Tabela 2 - Valores médios dos teores de fibras dos CPs	40
Tabela 3 – Volume médio, massa e densidade aparente dos CPs	50
Tabela 4 - Densidades teóricas dos CPs	50
Tabela 5 - Diferença entre densidade aparente e teórica	51
Tabela 6 – Fração volumétrica de vazios	51

LISTA DE ABREVIATURAS

ABMACO	Associação Brasileira de Materiais Compósitos
ACOBAR	Associação Brasileira dos Construtores de Barcos e seus Implementos
ALMACO	Associação Latino-Americana de Materiais Compósitos
ASTM	American Society for Testing and Materials
CP	Corpo de prova
CPs	Corpos de prova
DGEBA	Diglicidil Éter do Bisfenol-A
EPX	Epóxi
INF	Infusão
LM	Laminação manual
LV	Laminação a vácuo
M	Matriz
NPG	Neo Pentil Glicol
POL	Poliéster
PRFV	Plástico reforçado de fibra de vidro

LISTA DE SÍMBOLOS

m_C	Massa do compósito
m_F	Massa de fibras
m_M	Massa da matriz
M_C	Fração mássica do compósito
M_F	Fração mássica de fibras
M_M	Fração mássica da matriz
v_C	Volume do compósito
v_F	Volume de fibras
v_M	Volume da matriz
v_V	Volume de vazios
V_F	Fração volumétrica de fibras
V_M	Fração volumétrica da matriz
V_V	Fração volumétrica de vazios
ρ_A	Densidade aparente
ρ_C	Densidade teórica
ρ_F	Densidade das fibras
ρ_M	Densidade da matriz

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
3	COMPÓSITOS	17
3.1	REFORÇOS	17
3.2	MATRIZ POLIMÉRICA	17
3.3	ESCOLHA DO TIPO DE RESINA	18
3.3.1	Resina de Poliéster Isoftálica com NPG	18
3.3.2	Resina Epóxi	19
4	PROCESSOS DE LAMINAÇÃO	21
4.1	LAMINAÇÃO MANUAL	21
4.2	LAMINAÇÃO A VÁCUO	22
4.3	INFUSÃO	22
5	MICROMECAÂNICA	24
6	METODOLOGIA	27
6.1	MATERIAIS	27
6.2	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	28
6.2.1	Laminação Manual	29
6.2.2	Laminação a Vácuo	30
6.2.3	Infusão	31
6.3	ENSAIOS	34
6.3.1	Ensaio de combustão	34
6.3.2	Ensaio de absorção de água	36
6.3.3	Ensaio para encontrar densidade aparente e fração volumétrica de vazios	37
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
7.1	TESTE DE COMBUSTÃO	39
7.1.1	Comparação de processos	40
7.1.2	Comparação entre resinas	42
7.2	TESTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	43
7.2.1	Comparação de processos	47
7.2.2	Comparação entre resinas	49

7.3	TESTE DE DENSIDADE APARENTE E FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE VAZIOS ⁴⁹	
8	CONCLUSÕES.....	54
9	TRABALHOS FUTUROS.....	55
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE A – CRONOGRAMA	59
	APÊNDICE B – FOTOS CORPOS DE PROVA COM AS ETIQUETAS DE IDENTIFICAÇÕES DO PROCESSO UTILIZADO E DA RESINA	60
	APÊNDICE C – TABELA COM PESAGENS REALIZADAS NO ENSAIO DE COMBUSTÃO.....	61
	APÊNDICE D – TABELA COM PESAGENS REALIZADAS NO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	63
	APÊNDICE E – TABELA COM AS DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA DO TESTE DE DENSIDADE APARENTE E FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE VAZIOS...	69
	APÊNDICE F – TABELA COM PESAGENS REALIZADAS NO TESTE DE DENSIDADE APARENTE E FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE VAZIOS.....	70

1 INTRODUÇÃO

Em países que desenvolvem atividades relacionadas à indústria náutica, se observam reflexos na movimentação econômica através da geração de empregos diretos na construção, utilização e manutenção das embarcações, além dos empregos gerados indiretamente com o turismo. Internacionalmente, alguns países se destacam nesse setor, como os Estados Unidos, Espanha, França, Itália, Austrália e Nova Zelândia (ACOBAR, 2005).

O Brasil tem grande potencial para se tornar referência internacional no setor náutico, pois possui condições climáticas favoráveis ao uso de embarcações de recreio, além de ser banhado por uma costa de 7.480 km. Outro fator bastante favorável a expansão e exploração deste setor, é que o Brasil possui 8% de toda água doce do mundo: são vários lagos, bacias hidrográficas e rios, totalizando 32.550 km de extensão de águas navegáveis (ACOBAR, 2005). Segundo dados da pesquisa da ACOBAR publicada em 2012, a frota nacional de embarcações de recreio acima de 16 pés é de aproximadamente 70.000 lanchas e veleiros.

A construção de embarcações para esporte e recreio já era realizada no Brasil desde o começo do século XX, mas a indústria náutica nacional deu início aos processos produtivos efetivamente na década de 1960 nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, pertencentes à Região Sudeste, a qual é atualmente a que tem as maiores concentrações de estaleiros, estruturas de apoio náutico e da frota (ACOBAR, 2012).

Um dos grandes avanços tecnológicos que contribuíram para a expansão do setor foi a criação dos compósitos de plástico reforçado com fibras de vidro (PRFV) pelo exército norte-americano no início da Segunda Guerra Mundial (ABMACO, [s. d.]). Surgiu então um material leve e resistente à corrosão, que chegou ao Brasil em 1954 com a fundação da primeira fábrica deste tipo de material, sendo comercializado resinas de poliéster (ABMACO, [s. d.]). Sua chegada foi importante para que na década seguinte iniciassem os processos produtivos de construção de embarcações de lazer.

A configuração mais comum de um compósito é um reforço de fibra embutido em uma matriz polimérica (VENTURA, 2009). O reforço é responsável por fornecer rigidez, resistência, estabilidade térmica, propriedade de condutividade elétrica ou de isolamento. Em complemento, a matriz tem a função de distribuir as cargas para o reforço, preencher os espaços vazios e isolar as fibras protegendo-as do ambiente externo (MAZUMDAR, 2002). O tipo de material escolhido e o processo de manufatura influenciam fortemente na qualidade da peça em compósito obtida em termos de propriedades físicas e mecânicas. Desta forma faz-se necessário conhecimentos do material para fazer uma seleção adequada de forma a atingir as propriedades desejadas.

Na literatura, alguns grupos de pesquisa já reportaram resultados comparando diferentes metodologias de processamento usuais no mercado náutico e seus reflexos nas propriedades dos compósitos. Segundo Lombard (2011) o laminado feito pelo processo de infusão obtém melhor qualidade que o feito por laminação manual, devido a menor quantidade de resina presente, o que gera um laminado mais leve com melhores propriedades mecânicas.

Riche, Pabon e Cohen (2009) avaliaram que o processo de infusão é melhor que a laminação manual em relação à saúde dos laminadores, ao meio ambiente e a fatores econômicos. Dentro do Laboratório de Fabricação de Modelos, o trabalho de Bittencourt (2015) iniciou as pesquisas sobre a influência dos tipos de processos de fabricação sobre as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos e constatou que para laminados *single skin* o processo de infusão também apresenta as melhores propriedades.

Uma segunda comparação feita, foi a respeito do tipo de material utilizado como matriz, neste caso foram estudadas as propriedades físicas citadas anteriormente, obtidas com dois tipos de resinas: de poliéster e de epóxi, ambas com reforço de fibra de vidro.

Considerando esse contexto, este estudo poderá contribuir para a qualificação dos processos de produção que utilizam materiais compósitos e para seleção adequada dos materiais no âmbito da indústria náutica, buscando o seu desenvolvimento e reconhecimento no mercado internacional. Com isso o presente trabalho propõe comparar as propriedades físicas de absorção de água e quantidade de matriz/reforço obtidas pelos processos de laminação manual, a vácuo e infusão.

2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Analisar as propriedades físicas de absorção de água e relação de matriz/reforço de compósitos de fibra de vidro via laminação manual, laminação a vácuo e infusão com diferentes tipos de resinas; epóxi e poliéster.

Objetivos Específicos

- Quantificar a quantidade de fibras nos laminados;
- Testar a propriedades de absorção de água em diferentes tipos de resinas: Epóxi e Poliéster Isoftálica com Neo Pentil Glicol (NPG);
- Avaliar a influência da metodologia de laminação nas propriedades físicas;
- Avaliar o comportamento das peças de compósitos obtidas por diferentes processos de laminação, sujeitas a longo período de contato com água;
- Estimar a porosidade residual de cada processo por meio do cálculo da densidade.

3 COMPÓSITOS

Quando dois ou mais materiais com distintas fases macroscópicas e características diferentes formam um único material com propriedades melhores que a de cada componente separadamente, esta mistura é chamada de material compósito (ALMACO, [s. d.]). Materiais compósitos geralmente são formados por duas fases, uma matriz (M) e os reforços ou fibras (F).

3.1 REFORÇOS

Os reforços podem ser encontrados na forma de filamentos, partículas ou escamas (ALMACO, [s. d.]). As fibras, forma mais comum na indústria náutica, são responsáveis por suportarem os carregamentos mecânicos, devido as suas boas propriedades de resistência e módulo de elasticidade na direção das fibras. Os tipos mais comuns comercialmente são as fibras de carbono, de vidro e de aramida (MARINUCCI, 2011).

As fibras de vidro, dentre os principais tipos citados, são as que oferecem melhor relação custo/benefício e têm boas propriedades elásticas. Podem ser classificados em diferentes tipos de acordo com suas propriedades, que variam de acordo com a composição das suas matérias-primas (MARINUCCI, 2011).

3.2 MATRIZ POLIMÉRICA

Um material compósito polimérico tem sua estrutura formada pela combinação de uma matriz polimérica com reforço de fibras embutidas (ABMACO, [s. d.]). As matrizes poliméricas sozinhas têm baixa resistência mecânica, por isso são combinadas às fibras de alta resistência para adquirirem características mecânicas aprimoradas (NASSEH, 2011). Segundo a ABMACO [s. d.] as matrizes são responsáveis por conferir rigidez e a forma da estrutura, unindo as fibras e outros componentes presentes, transferir os esforços mecânicos para o reforço, garantir impermeabilidade e qualidade de acabamento, resistência química, proteção contra abrasão e desgaste e diminuir a propagação de trincas e fissuras por envolver cada

filamento de forma que possam atuar separadamente. A resistência à fadiga é muito importante para os laminados, pois devem ser submetidos a grandes deformações sem, no entanto, apresentar distorções que sejam permanentes durante todo seu ciclo de vida (NASSEH, 2011).

Os polímeros que constituem a matriz podem ser termoplásticos, e podem ser amolecidos e deformados se aplicado temperatura e pressão, voltando a ter a rigidez inicial ao serem resfriados (ABMACO, [s. d.]). Ou podem ser termofixos, aqueles que não podem ser reprocessados após curados, ou seja, com a elevação da temperatura ao invés de amolecerem eles são degradados. São caracterizados por apresentarem ligações cruzadas entre cadeias com ligações químicas primárias (covalentes), quanto mais ligações cruzadas forem formadas durante a cura maior será a rigidez e estabilidade térmica do material (MAZUMDAR, 2002).

Nasseh (2011) diz que três tipos de resinas são mais utilizadas na confecção dos laminados náuticos: as resinas poliéster, estervinílicas e epóxi.

3.3 ESCOLHA DO TIPO DE RESINA

Existem vários tipos de resinas, e a sua escolha deve ser feita corretamente para que seja compatível com o processo de laminação empregado, pois cada processo tem suas particularidades como o tempo de gel, tempo de cura e tempo de desmoldagem. Também devem ser levados em conta a toxicidade, custo, propriedades de resistência à água e resistência química (NASSEH, 2011).

3.3.1 Resina de Poliéster Isoftálica com NPG

As resinas de poliéster são polímeros formados pela reação de um diácido e um diálcool resultando em água e vários grupos éster, fazendo com que tenha longas cadeias lineares. Se alguns dos componentes principais tiver insaturação em sua formulação, a resina será insaturada (NETO e PARDINI, 2006).

Esse tipo de resina é formada por um Glicol que tem como características importantes a resistência química, resistência à temperatura, cristalinidade, absorção de água e flexibilidade (ABMACO, [s. d.]). É formada também por um ácido insaturado, sendo os mais comuns o ácido maleico na forma de anidrido, e o ácido fumárico, tendo este último um menor tempo de processo (ABMACO, [s. d.]). Ácidos saturados também estão presentes,

com a função de basicamente estender a cadeia, pois se fosse formada somente por ácidos insaturados as duplas ligações ficariam muito próximas, o que torna o material mais frágil (NETO e PARDINI, 2006).

Para diminuir a viscosidade do sistema e para na reação de polimerização aumentar a probabilidade das reações intermoleculares são adicionadas à resina monômeros de baixa massa molar, sendo o estireno um exemplo. A presença de iniciadores é importante pois se decompõem em radicais livres que atacam as duplas ligações e iniciam a formação das ligações cruzadas (NETO e PARDINI, 2006).

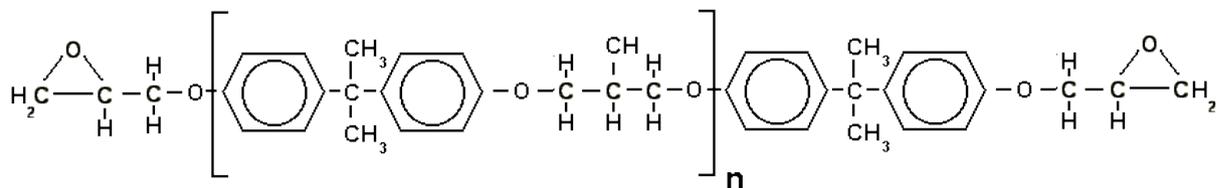
As resinas de Poliéster Isoftálica com NPG tem o glicol substituído pelo neo pentil glicol (NPG) para ter uma característica de menor absorção de água. O ácido saturado presente é o isoftálico que tem cadeias mais longas o que atribui à resina melhores propriedades mecânicas, resistência química e térmica (ABMACO, [s. d.]).

3.3.2 Resina Epóxi

Este tipo de resina é formada por grupos epóxis nas extremidades da molécula, compostos por um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono. No meio da molécula estão presentes as unidades de repetição, a variação do tipo e do número “n” destas repetições dão diferentes características à resina (MARINUCCI, 2011).

O tipo de resina que será utilizada neste trabalho é a epóxi diglicidil éter do bisfenol-A (DGEBA). Para este tipo, com “n” entre 0 e 1 obtém-se resinas líquidas com baixa viscosidade, e a partir de 1 resinas sólidas. A estrutura molecular deste tipo de resina é ilustrada na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura molecular da resina epóxi diglicidil éter do bisfenol-A



Fonte: SILAEX (2016).

Conforme Marinucci (2011) a escolha dos agentes de cura (endurecedores) deve ser feita de acordo com a necessidade do produto a ser fabricado, pois algumas propriedades, como o tempo de gel são influenciadas por essa escolha.

4 PROCESSOS DE LAMINAÇÃO

O estudo dos processos de laminação é fundamental para a construção das embarcações, pois correspondem de 50 – 60% do custo total de um compósito, para que se fabriquem laminados de alto desempenho e com um menor custo (NETO e PARDINI, 2006).

Afim de obter elevadas propriedades mecânicas o laminado deve conter uma baixa relação matriz/reforço, ou seja, deve conter um alto teor de fibras em sua composição. Porém para se ter uma boa resistência ao meio ambiente esta relação tem que ser alta, ou pelo menos deve se ter um alto teor de resina nas camadas mais externas do laminado (NASSEH, 2011).

As diferenças entre os processos de fabricação são decorrentes da forma da aplicação das matérias primas, das transformações físico-químicas que as matrizes são sujeitas durante a laminação e ao tempo e modo de cura do laminado (NETO e PARDINI, 2006).

4.1 LAMINAÇÃO MANUAL

A laminação manual é a mais simples e praticada a mais tempo na construção de embarcações de recreio, não requer grandes investimentos iniciais de equipamentos e não exige mão de obra muito especializada (NASSEH, 2011). O processo é feito sobre um molde, no qual é feito um tratamento da superfície e aplicação de agentes desmoldantes (NETO e PARDINI, 2006). Primeiramente é aplicado uma camada de *gel coat*, material com função de proteger o laminado e dar um acabamento superficial com boa aparência (NASSEH, 2011). Em seguida é realizada a colocação das fibras com mantas e tecidos dispostas em direções pré-determinadas e impregnadas com resina, intercalado com a compactação e retirada de bolhas com rolos (NETO e PARDINI, 2006). A resina pode ser curada com a temperatura ambiente e varia de acordo com a quantidade de catalisador utilizado (ABMACO, [s. d.]). De acordo com Nasseh (2011), o teor de fibras média obtida com a laminação manual utilizando mantas e *woven rovings* (tecidos) como reforços é em torno de 30%, enquanto que se for com tecido multiaxial pode chegar a valores perto de 50%. A ABMACO [s. d.] cita como vantagens do processo: possibilidade de laminar várias formas e sem limites dimensionais,

superfície exterior lisa devido ao revestimento do *gel coat*, médias a boas propriedades mecânicas, investimentos baixos e moldes simples. As desvantagens também segundo a ABMACO [s. d.] seria em relação as dificuldades na produção seriada e a superfície interna do laminado que não é lisa como a do exterior com *gel coat*.

4.2 LAMINAÇÃO A VÁCUO

Este processo é semelhante com a laminação manual e pode ser entendido como uma melhora do anterior, pois nele é possível compactar melhor as fibras e retirar o excesso de resina presente na laminação final através da aplicação de vácuo sobre o laminado (NETO e PARDINI, 2006). Este material possui um custo maior devido a utilização dos materiais descartáveis empregados durante a laminação (*peel ply*, filme perfurado, bolsa de vácuo), porém se obtém um ganho em redução de peso, menor quantidades de resina consumida e melhora nas propriedades mecânicas do laminado. Este tipo de laminação permite além da fabricação dos laminados, a colagem de núcleos em laminados *sandwich* (NASSEH, 2011). Não há um valor correto para a fração volumétrica obtida, ela pode ter algumas variações como por exemplo o tipo de aplicação de vácuo, para a West System (2010) pode-se chegar até 65% de teor de fibras com bolsas de vácuo, já para laminados fabricado em autoclave este valor pode chegar a 70% de acordo com Nasseh (2011).

4.3 INFUSÃO

O processo de laminação por infusão a vácuo é um processo atual, principalmente para a laminação de peças e cascos de embarcações com padrões de alta qualidade (NASSEH, 2011). O processo em si é simples, assemelha-se ao processo de laminação a vácuo, porém na infusão os materiais de reforços, núcleos e as outras demais camadas posteriores comuns aos processos de laminação a vácuo, são colocados a seco e depois envoltos pela bolsa de vácuo. Além desta diferença, há a entrada de resina para o laminado através da aplicação de vácuo (MARINUCCI, 2011).

Este processo requer cuidado com alguns pontos importantes, como conhecer a permeabilidade das fibras e materiais dos núcleos, a escolha da resina e o seu tempo gel, para que ela não cure antes de ter preenchido todos os espaços do laminado (NASSEH, 2011).

Para Marinucci (2011) o processo de infusão oferece peças com melhor controle dimensional e regularidade da espessura do laminado em relação aos dois processos

anteriores. Nasseh (2011) cita como vantagem a produção de peças leves e resistentes e com boa repetitividade, os teores de fibra variam de 60% a 70%. Com esse processo é possível diminuir custo com perdas e superposições; em contrapartida, em comparação a laminação manual todos os materiais além do laminado necessários para a utilização do vácuo e retirada do excesso de resina da peça não são reutilizáveis.

5 MICROMECHANICA

Aos compósitos poliméricos, por apresentarem um comportamento linear e elástico até próximo da tensão de falha do material, é essencial o conhecimento das propriedades elásticas, que são características mecânicas importantes para analisar as tensões e deformações que um material está sujeito.

A micromecânica é importante para obter as propriedades elásticas dos compósitos pois permite calculá-las com base nas propriedades elásticas obtidas de seus constituintes, sendo necessário conhecer as frações volumétricas dos mesmos. Para poder utilizar equações menos complexas, é preciso fazer simplificações, como considerar a matriz homogênea, com comportamento mecânico linear e elástico e isotrópica e as fibras além disso também são consideradas perfeitamente alinhadas (NETO e PARDINI, 2006).

Neste trabalho, princípios básicos da micromecânica foram aplicados para estimar a porosidade residual de cada processamento utilizado. Em um compósito, podemos dividir o volume total do compósito (v_C) em volume de fibras (v_F), volume de matriz (v_M) e volume de vazios (v_V), que correspondem às bolhas de ar presentes no laminado. As frações volumétricas de fibra (V_F), de matriz (V_M) e de vazios (V_V) são calculadas pela divisão do volume desejado pelo volume total. Com isso é possível planejar teores de fibra e matriz para se obter em uma determinada aplicação.

Tendo o valor da massa do compósito (m_C) e o valor da massa das fibras (m_F), e desprezando inicialmente a fração volumétrica de vazios calcula-se a massa da matriz (m_M) conforme a Equação 1.

$$m_M = m_C - m_F \quad 1$$

Com os valores encontrados das densidades das resinas (ρ_M), e das fibras (ρ_F), encontra-se os valores dos volumes da matriz (v_M) e das fibras (v_F) conforme as Equações 2 e 3. O volume do compósito (v_C) é a soma dos dois volumes.

$$v_M = \frac{m_M}{\rho_M} \quad 2$$

$$v_F = \frac{m_F}{\rho_F} \quad 3$$

As frações volumétricas das resinas (V_M) e das fibras (V_F) são obtidas pelas Equações 4 e 5.

$$V_M = \frac{v_M}{v_C} \quad 4$$

$$V_F = \frac{v_F}{v_C} \quad 5$$

Agora pode-se calcular aproximadamente a densidade teórica (ρ_C) do compósito através da Equação 6, para compará-la com a densidade aparente (ρ_A) medida.

$$\rho_C = \rho_M \times V_M + \rho_F \times V_F \quad 6$$

Para encontrar a fração volumétrica de vazios (V_V) desconsiderada nas equações da micromecânica, partimos então da Equação 7.

$$\rho_A = \frac{m_C}{v_A} \quad 7$$

Substituindo v_C pela soma das parcelas das fibras, matriz e de vazios obtemos a Equação 8.

$$\rho_A = \frac{m_C}{v_M + v_F + v_V} \quad 8$$

Utilizando as equações 2,3,4 e 5 e com manipulação algébrica a Equação 9 fica:

$$\rho_A = \frac{1}{\left[\left(\frac{m_M}{\rho_M \times m_C} \right) + \left(\frac{m_F}{\rho_F \times m_C} \right) + \left(\frac{v_V}{m_C} \right) \right]} \quad 9$$

As frações mássicas são calculadas pelas Equações 10 e 11.

$$M_M = \frac{m_M}{m_C} \quad 10$$

$$M_F = \frac{m_F}{m_C} \quad 11$$

Combinando as equações 9,10 e 11 e rearranjando algebricamente, chegamos na Equação 12 para o cálculo da fração volumétrica de vazios do laminado.

$$V_V = 1 - \rho_A \times \left[\left(\frac{M_M}{\rho_M} \right) + \left(\frac{M_F}{\rho_F} \right) \right] \quad 12$$

6 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho iniciou com uma fundamentação teórica acerca dos assuntos a serem abordados. Para os ensaios foram confeccionados os corpos de prova com os dois tipos de resina e os três tipos de processos. Ao final foi realizada a apresentação e discussão dos resultados. O cronograma completo do desenvolvimento deste trabalho se encontra no Apêndice A.

6.1 MATERIAIS

Todas as placadas laminadas foram fabricadas com reforços de fibra de vidro tipo E do fornecedor SAMA, com densidade (ρ_F) 2,5 g/cm³. Sendo composta por duas camadas de manta de 450 g/m² e uma camada de tecido triaxial 0 \pm 45 $^\circ$ de gramatura 900 g/m², como matriz polimérica foram utilizados os dois tipos de resina deste estudo: Poliéster Isoftálica com NPG com viscosidade 0,60 Pa*s (600 cPs) e 1,1 g/cm³ de densidade (dados obtidos boletim técnico da empresa Águia Química), e a Epóxi com viscosidade 0,35 Pa*s (350 cPs) e 1,11 g/cm³ de densidade (empresa Barracuda).

O *gel coat* que é comum nesses tipos de laminações não foi empregado para não interferir nos resultados dos testes, pelo fato de serem laminados pequenos e com intuito de darem origem aos corpos de provas, não necessitando de um bom acabamento.

Antes de iniciar as laminações, foi passada cera TecGlaze® N, como agente desmoldante, somente nos locais onde ficariam os laminados, para não prejudicar a aderência da fita de vedação da bolsa de vácuo nos processos de laminação a vácuo e infusão. Os equipamentos utilizados durante as laminações foram: espátula, tesoura, balança de precisão, recipientes plásticos, palito de madeira, pipetas, pincéis, lixas, roletes, filme de poliamida (*peel ply*), espirodutos, plástico bolha, fita dupla face, bolsa de vácuo, bomba de vácuo, mangueiras e equipamentos de proteção individual.

6.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de provas (CP) foram confeccionados no Laboratório de Fabricação de Modelos da Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Joinville.

As normas dos ensaios especificam dimensões para os CPs de cada teste. Para os realizados de acordo com a norma ASTM D 570 (1998) as dimensões exigidas são 76,2 mm x 25,4 mm x espessura do laminado, já para a norma ASTM D 2584 (2011) são 25 mm x 25 mm x espessura do laminado.

As laminações dos corpos de prova foram realizadas com o intuito de reproduzir os procedimentos realizados na indústria náutica, e alguns fatores como a habilidade do laminador exercem influência no resultado final dos corpos de prova. Foram confeccionadas seis placas retangulares de aproximadamente 130 mm x 100 mm, sendo duas para cada tipo de resina para os 3 diferentes modos de laminação. Foi considerada uma área maior que o necessário com o intuito de utilizar uma área mais homogênea do laminado, principalmente considerando os processos a vácuo e infusão que podem ter regiões com maiores concentrações de resina. As bordas dos laminados, cuja a laminação não ficou homogênea e em torno de 3 centímetros, foram descartadas.

Uma placa de vidro foi utilizada como molde para as laminações. Primeiramente foram feitas quatro divisões na placa de vidro, conforme Figura 2, onde foram feitas as laminações manual e a vácuo para resina de poliéster em um lado e o mesmo para a resina epóxi do outro lado.

Figura 2 - Primeira divisão das laminações no molde de vidro



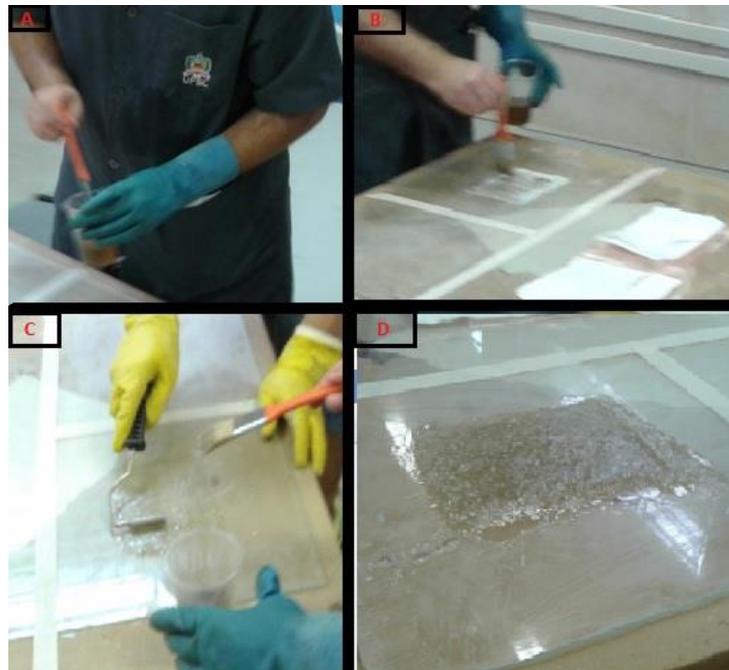
Fonte: Autor (2015).

6.2.1 Laminação Manual

Para os cálculos de quantidade de resina e iniciador para o processo de laminação manual foi considerado o percentual aproximado de massa de 30% de reforço e 70% de resina. Para o iniciador da resina foi utilizado 2,5% para a resina de poliéster e para a epóxi foi respeitada a relação resina/iniciador sugerida pelo fabricante de 3 para 1. Primeiramente a superfície do vidro foi limpa para o agente desmoldante ser aplicado, logo após foi retirado seu excesso e iniciou-se a laminação. A primeira camada foi de manta, com aplicação de resina sobre ela, seguida de uma camada de tecido e por último outra camada de manta. Durante o processo foram utilizados pinceis para impregnar a resina na fibra e os roletes para compactar e tirar possíveis bolhas do laminado. Foi deixado a placa curar completamente por vinte e quatro horas e posteriormente foi feita a desmoldagem.

A Figura 3 ilustra etapas do processo de laminação manual com resina poliéster.

Figura 3 – Etapas da laminação manual com resina poliéster: (A) preparação da resina, (B) impregnação da resina sobre a manta, (C) compactação da resina sobre a manta e (D) placa laminada pronta



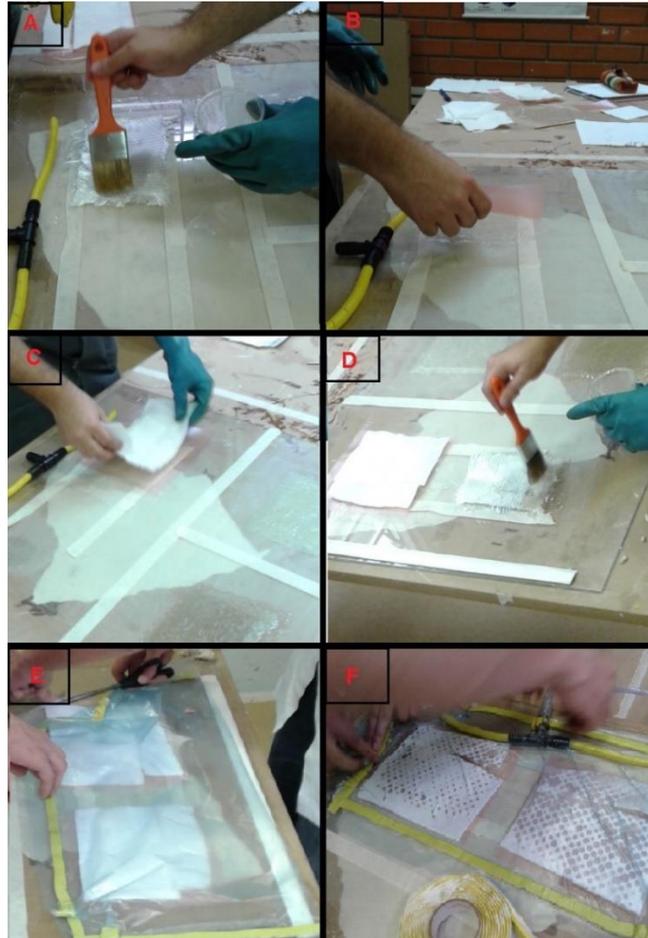
Fonte: Autor (2015).

6.2.2 Laminação a Vácuo

Na laminação a vácuo foi considerado o mesmo percentual de massa de fibras e da matriz polimérica. Neste processo é necessário colocar uma quantidade de iniciador menor, pois é necessário um tempo gel maior para a resina, devido à preparação da bolsa de vácuo que precisa ser completamente vedada. O processo assemelha-se a laminação manual até a impregnação de resina na última camada de manta. Depois do laminado pronto foi acrescentado o *peel ply*, um tecido fino a base de poliamida que permite a passagem de resina e destaca o laminado das camadas adjacentes necessárias para o processo. Também foi colocado plástico bolha e espirodutos para garantir uma melhor homogeneidade da passagem do ar sobre o laminado. Além disso, foi posicionado o *breather*, um material que retém o excesso de resina, deixando passar apenas o ar até a saída de vácuo. Por fim foi colocada a bolsa de vácuo e selada com a fita dupla face *tacky tape*. A bomba de vácuo foi mantida ligada a uma pressão de 600 mmHg durante quatro horas para a cura do laminado. Segundo a ABMACO [s. d.] as pressões usuais para laminação a vácuo são entre 304mmHg a 608 mmHg, já para a infusão é necessária uma pressão mais elevada pois é necessária a transferência da resina para o laminado.

A Figura 4 ilustra seis etapas do processo de laminação a vácuo.

Figura 4 - Etapas da laminação a vácuo: (A) impregnação da resina de poliéster sobre o tecido, (B) posicionamento do *peel ply* sobre o a laminação com poliéster (C) colocação do *breather* sobre a laminação com poliéster, (D) impregnação da resina epóxi sobre a manta, (E) aplicação da bolsa de vácuo sobre as duas laminações e (F) aplicação de vácuo



Fonte: Autor (2015).

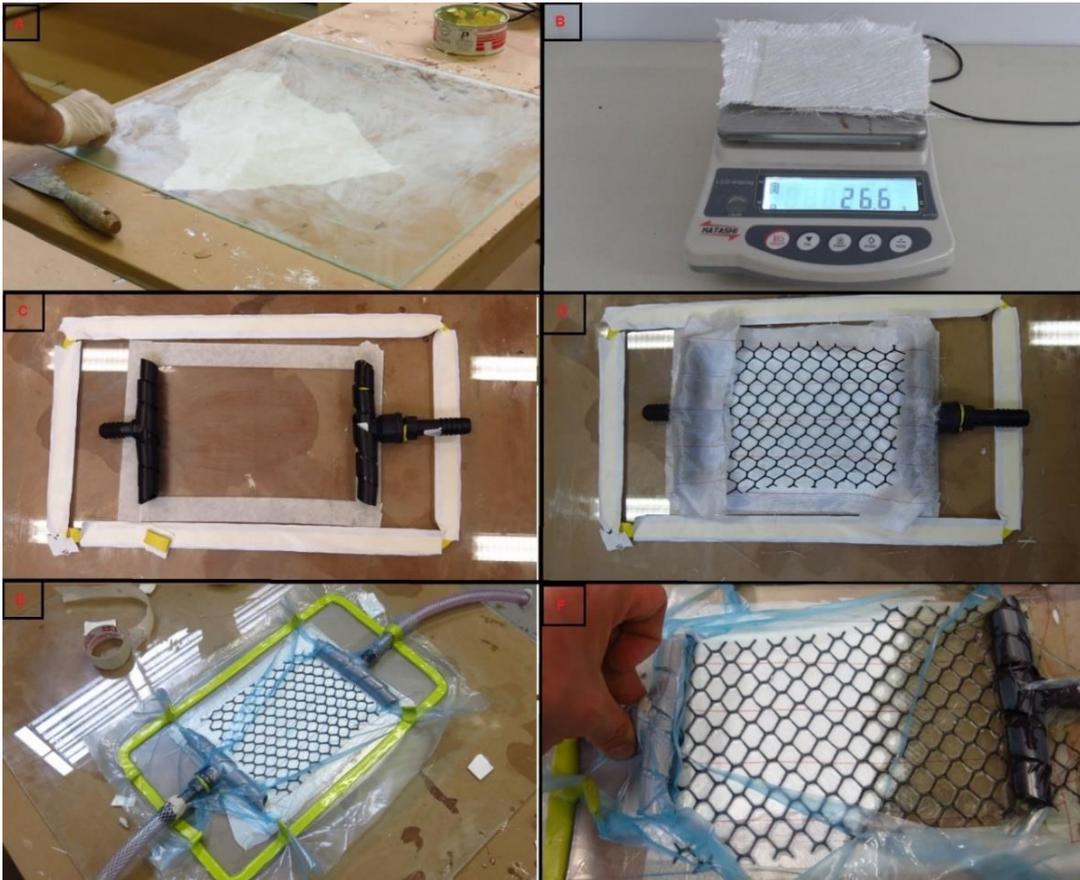
6.2.3 Infusão

A relação percentual de peso de cada componente foi considerada com aproximadamente 50% para fibras e matriz. O processo de limpeza e aplicação de agente desmoldante no molde foi o mesmo que os processos anteriores. A diferença deste processo é que as mesmas camadas de materiais utilizadas na laminação a vácuo, agora foram colocadas a seco, sem a impregnação da resina. Além disso, nesse processo foi colocada uma entrada de resina.

Após montado o laminado a seco e posicionada a bolsa de vácuo, foi ligada a bomba de vácuo para procurar vazamentos antes de iniciar o processo. As saídas de ar das duas laminações foram conectadas à mesma bomba de vácuo. Após a verificação, o vácuo foi aplicado e a mangueira de entrada de resina foi posicionada dentro do recipiente com a resina, que por diferença de pressão foi sendo impregnada no laminado. Terminado o processo, a entrada de resina foi selada e a pressão foi mantida em aproximadamente 600 mmHg durante

vinte e quatro horas para alcançar a cura total. A Figura 5 ilustra etapas do processo de infusão.

Figura 5 - Etapas da laminação por infusão: (A) aplicação de agente desmoldante na placa de vidro, (B) preparação das mantas e tecido, (C) posicionamento da entrada de resina e saída de ar, (D) laminado pronto com todas as camadas a seco, (E) aplicação de vácuo sobre o laminado para verificar vazamentos e (F) impregnação da resina poliéster.



Fonte: Autor (2015).

As placas retangulares laminadas após a desmoldagem podem ser vistas na Figura 6. Do lado esquerdo são as placas laminadas com a resina de poliéster e as do lado direito com epóxi. Na parte superior da imagem são os laminados a vácuo, no meio laminados manual e na parte inferior os de infusão.

Figura 6 - Placas retangulares laminadas após a desmoldagem



Fonte: Autor (2015).

6.3 ENSAIOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Química e de Metrologia da Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Joinville. Os ensaios de combustão e absorção de água das amostras seguiram as normas ASTM D 570 (1998) e ASTM D 2584 (2011). Os corpos de prova com as etiquetas de identificação constam no Apêndice B.

6.3.1. Ensaio de combustão

O ensaio teve como base a norma ASTM D 2584 (2011), norma para o ensaio padrão para perda de ignição de resinas curadas. Foi realizado entre os dias 04 e 11 de janeiro de 2016. Para o teste, os principais equipamentos utilizados foram um forno mufla da marca Zezimaq com capacidade de manter uma temperatura em torno de 900 °C, uma estufa Fanem 515, cadinhos e uma balança com precisão de 0,0001g da marca Katashi. O objetivo deste ensaio é determinar o peso do resíduo da combustão, que é a fibra de vidro por não se deteriorar a temperatura em que o teste foi submetido.

Foram 18 corpos de prova testados, sendo 6 para cada processo de laminação, sendo 3 para resina epóxi e 3 com resina poliéster. As dimensões dos corpos de prova foram aproximadamente: 25mm de largura x 25 mm de comprimento x espessura do laminado.

Primeira os recipientes calcinados na mufla por 30 minutos a uma temperatura de 500 °C conforme a norma ASTM D 2584 (2011). Após a calcinação os cadinhos foram colocados em um dessecador para resfriarem. O manuseio dos cadinhos a altas temperaturas foi feito com uma pinça tenaz de 35 cm e luvas de couro.

A norma estabelece queimar os corpos de prova em forno a uma temperatura de pelo menos 565 °C por 6 horas. Como eram muitas amostras, foi testado e estabelecido realizar o teste na mufla a 900 °C durante 2 horas, o tempo foi suficiente para que todo o material polimérico tenha sofrido combustão no interior do forno, pois em testes realizados anteriormente ao ensaio propriamente dito, constatou-se que o material polimérico presente no laminado levava cerca de 5 minutos para entrar em combustão e eliminar os gases da combustão através da porta do forno.

Antes de iniciar o teste foram medidas as pesagens iniciais dos corpos de prova juntamente com os cadinhos na balança de precisão. Como são 6 cadinhos por vez e pela temperatura da mufla ser muito alta, o tempo para colocar cada cadinho dentro da mufla é pequeno, então optou-se por coloca-los em intervalos de 10 minutos, pois assim os CPs já

teriam entrado em combustão e os gases liberados, não ocorrendo o risco de quando abrir a porta pegarem fogo. Então a partir do primeiro, os demais foram colocados conforme o intervalo estipulado e a partir do último ser inserido na mufla foram contadas 2 horas, para garantir que quaisquer vestígios de outros materiais que não as fibras restassem no final. Após as 2 horas a mufla foi programada para atingir a temperatura de 200 °C, o que levou em torno de 4 horas. Quando atingida tal temperatura os cadinhos foram colocados diretamente no dessecador e deixados até o dia posterior para chegarem a temperatura ambiente. No dia seguinte os cadinhos foram tirados do dessecador e pesados na balança de precisão e seus valores anotados. A Figura 7 ilustra as etapas do ensaio de combustão.

Figura 7 - Etapas do ensaio de combustão: (A) corpos de prova, (B) pesagem dos CPs, (C) posicionamento dos cadinhos dentro do forno a 900 °C, (D) resfriamento dos cadinhos no dessecador e (E) cadinho com o resíduo da combustão



Fonte: Autor (2016).

O mesmo procedimento foi realizado em mais dois dias de teste. O objetivo do teste é obter o peso das fibras que ficaram no cadinho ao final do teste. Conseguindo assim calcular as frações mássicas e volumétricas de fibras para cada um dos três processos.

6.3.2. Ensaio de absorção de água

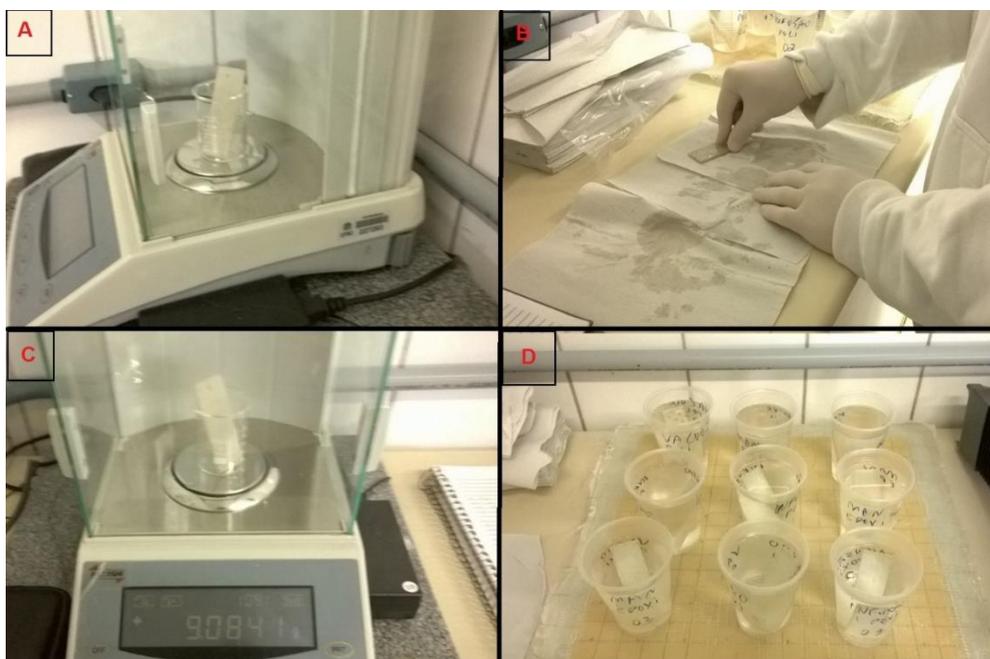
Este ensaio teve como base a norma ASTM D 570 (1998), norma para o ensaio padrão para absorção de água de plásticos. O ensaio ocorreu nos meses de abril a junho de 2016. Os principais equipamentos utilizados foram uma estufa Fanem 515, uma balança com precisão de 0,0001 g da marca Katashi e 9 recipientes plásticos de 300 mililitros.

Assim como no ensaio de combustão, também foram usados 18 corpos de prova. As dimensões dos corpos de prova foram aproximadamente: 25,4mm de largura x 76,2 mm de comprimento x espessura do laminado. Foram colocados dois CPs em cada recipiente plástico, a identificação foi feita em cada lado do recipiente.

A primeira etapa foi secar os CPs na estufa à 50° C durante 24 horas, em seguida foram colocados no dessecador para atingirem a temperatura ambiente. Em seguida foram colocados nos recipientes e pesados na balança com precisão de 0,0001 g. Após as pesagens, os recipientes foram enchidos com água destilada à temperatura ambiente, até os CPs estarem inteiramente submersos.

Após 24 horas os CPs foram removidos da água um de cada vez, secos, pesados na balança de precisão e recolocados nos recipientes. Este procedimento foi repetido nas primeiras 300 horas de teste, obtendo medições diárias sempre no mesmo intervalo de hora do dia. Após as 300 horas foram feitas medições quase que diariamente, com pelo menos três medições por semana, os pontos de medições podem ser vistos no Anexo D. Após 980 horas de teste as medições começaram a ser apenas uma vez por semana, sempre no mesmo dia e intervalo de horário. A Figura 8 ilustra algumas etapas do ensaio.

Figura 8 - Etapas do ensaio de absorção de água: (A) pesagem inicial dos CPs, (B) CPs sendo secos para serem pesados, (C) pesagem dos CPs após sua secagem e (D) CPs nos recipientes plásticos onde ficaram submersos durante todo o ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Com os dados obtidos ao longo das 1776 horas de teste, foi possível montar gráficos comparando os processos e também as duas resinas.

6.3.3. Ensaio para encontrar densidade aparente e fração volumétrica de vazios

A primeira parte deste ensaio foi realizado no dia 18 de maio de 2016 e a segunda parte entre os dias 06 e 08 de junho de 2016.

A primeira parte deste ensaio tem como objetivo encontrar a densidade aparente (ρ_A) dos corpos de prova. O teste é simples e consiste apenas em tirar as medidas dos CPs com um instrumento de precisão, e depois pesa-los em uma balança de precisão. Os principais equipamentos utilizados foram um micrometro da marca INSIZE, um paquímetro da marca DIGIMESS, uma estufa Fanem 515, um becker como recipiente e uma balança com precisão de 0,0001g da marca Katashi.

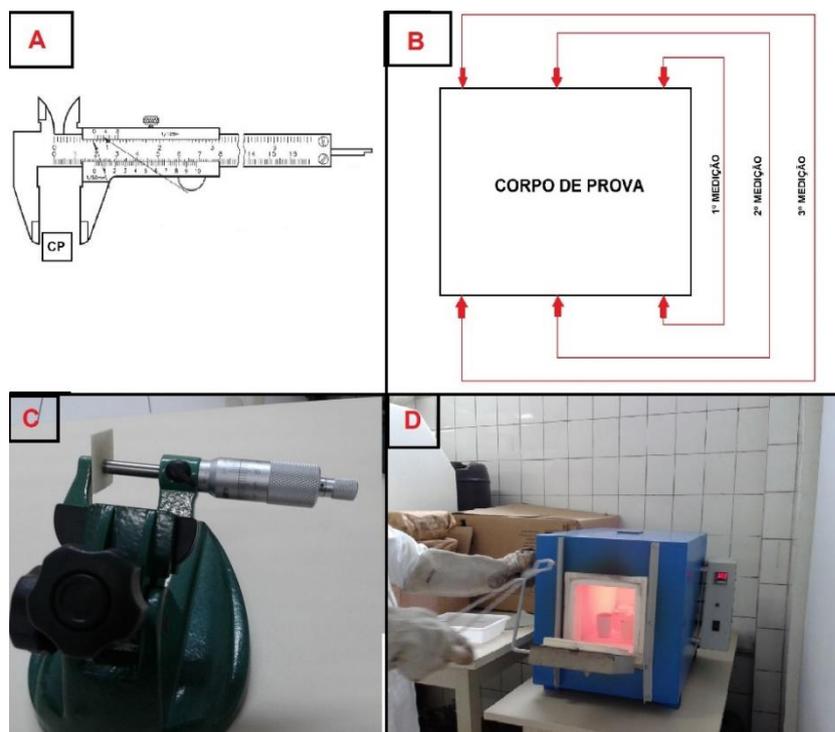
Para os testes foram utilizados 5 corpos de prova, são os seguintes CPs: LM Poliéster, INF Poliéster, LM Epóxi, LV Epóxi e INF Epóxi. Apenas o processo de laminação a vácuo com resina poliéster ficou de fora, pois não havia mais corpo de prova deste processo.

Para cada um foram feitas medições em três pontos e tirado a média deles. Para medir as espessuras foi utilizado um micrômetro e para a largura e comprimento um paquímetro pois ultrapassavam os 25 mm de capacidade do micrômetro. O esquema de medição em 3 pontos diferentes da largura nos CPs, bem como a medição da espessura com micrômetro pode ser vista na Figura 9.

Estes CPs foram posteriormente secados na estufa a aproximadamente 50 °C por 24 horas para poderem ser pesados na balança de precisão. Com as medidas de comprimento, largura e espessura foi calculado o volume do CP. Com o volume e a massa de cada CP foi estimada então a densidade aparente (ρ_A).

Segundo Neto e Pardini (2006), com a micromecânica podemos calcular a densidade teórica (ρ_C) dos CPs submetidos ao ensaio de combustão. Para isso precisamos saber a massa de fibras e da matriz do laminado. Visto isso realizamos a segunda parte deste ensaio, e realizamos o mesmo procedimento do teste de combustão nestes CPs para obter os respectivos valores das massas de fibras e matriz. Por fim, calcula-se o teor de vazios dos laminados por micromecânica.

Figura 9 – Etapas do ensaio de densidade aparente e fração volumétrica de vazios: (A) imagem ilustrativa da medição do comprimento dos CPs com paquímetro, (B) imagem ilustrativa dos pontos das 3 medições da largura dos CPs com paquímetro, (C) medição da espessura com micrômetro e (D) queima do material orgânico dos CPs no forno a 900° C



Fonte: Autor (2016).

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discuss serão apresentados, subdivididos em três tópicos: teste de combustão, resultados de absorção de água e, densidade aparente juntamente com a fração volumétrica de vazios. As discussões serão divididas conforme a proposta do trabalho, comparar e analisar os resultados dos testes para os três tipos de processo de laminação da placa retangular e os dois diferentes tipos de resina utilizados.

7.1 TESTE DE COMBUSTÃO

Neste teste foi medida a massa do corpo de prova antes e após a sua queima no forno, como o resíduo da combustão foram as fibras, foi possível então calcular a massa de cada constituinte do laminado, a matriz e o reforço. As pesagens realizadas para todos os CPs se encontra no Apêndice C.

A Tabela 1 contém os valores da média simples das massas das fibras e da matriz, bem como a fração mássica de fibras dos CPs. Os valores para cada CP também podem ser encontrados no Apêndice C.

Tabela 1 - Valores médios das massas das fibras e matriz, e fração mássica de fibras dos CPs

CPs	MASSA DAS FIBRAS [g]	MASSA DA MATRIZ [g]	FRAÇÃO MÁSSICA DE FIBRAS
LM - POL	1,0249	1,8923	0,35
LV - POL	1,1566	1,9417	0,38
INF - POL	1,0909	0,6172	0,64
LM - EPX	1,0203	1,1699	0,38
LV - EPX	1,1240	0,6928	0,62
INF - EPX	1,1607	0,5950	0,66

Fonte: Autor.

Com os valores da Tabela 1 e com os valores das densidades das fibras (ρ_F) 2,5 g/cm³, e das resinas (ρ_M) 1,10 g/cm³ para poliéster e (ρ_M) 1,11 g/cm³ para epóxi, foi realizado o cálculo dos volumes médios de fibras e matriz. Com isso foi possível obter o teor de fibras (ou fração volumétrica de fibras) que estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios dos teores de fibras dos CPs

CPs	VOLUME DE FIBRAS [g/cm ³]	VOLUME DA MATRIZ [g/cm ³]	TEOR DE FIBRAS
LM – POL	0,4100	1,7203	0,19
LV – POL	0,4626	1,7652	0,21
INF - POL	0,4363	0,5611	0,44
LM – EPX	0,4081	1,5337	0,21
LV – EPX	0,4496	0,6250	0,42
INF - EPX	0,4643	0,5368	0,46

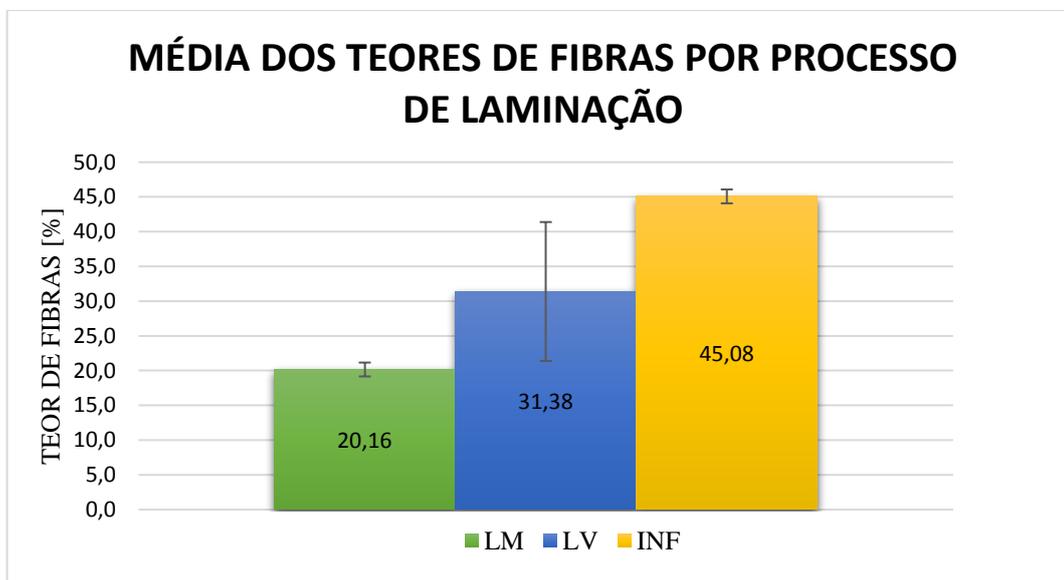
Fonte: Autor.

A Tabela 2 demonstra que houve diferença nos teores de fibras para cada tipo de processo. A diferença de teores para cada processo entre as resinas foi pequena, com exceção do processo de LV, onde houve a maior discrepância, chegando a 50% a diferença. Os CPs com maiores teores de fibras foram os com o processo de infusão para resina epóxi com 0,46, e o com menor foi os com laminação manual para resina de poliéster com 0,19.

7.1.1. Comparação de processos

Primeiramente iremos analisar os teores de fibras obtidos com os encontrados na literatura. A média dos valores encontrados para os 6 corpos de prova (3 para cada tipo de resina) para cada processo se encontra no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Média dos teores de fibras dos processos de laminação



Fonte: Autor.

Neste gráfico será analisado somente os processos, sem levar em conta o tipo de resina. Pelo gráfico é observado que a laminação manual com 20,16% (desvio padrão de 1,15) tem o menor teor de fibras, a laminação a vácuo ficou com 31,38% (desvio padrão de 10,55) e a infusão teve o maior teor de fibras com 45,08% (desvio padrão de 1,82), isso se deve ao fato da aplicação de vácuo sobre o laminado ajudar na retirada de bolhas e do excesso de resina.

Para Nasseh (2011) as laminações manuais podem atingir valores de teor de fibras próximos de 50%, enquanto que para infusão os valores podem chegar a 70%. Neto e Pardini (2006) falam de valores menores que 40% de teor de fibras para laminação manual, valores até 50% na laminação a vácuo e 55% para infusão.

Os teores de fibras alcançados pela laminação manual dependem de muitos fatores subjetivos, como a experiência do laminador, ambiente de laminação, ferramental disponível, etc. Desta forma, há algumas discrepâncias dos valores alcançados com a literatura, entretanto as tendências são as mesmas. A medida que é colocada diferença de pressão no processo, o excesso de resina é retirado do laminado e conseqüentemente há um aumento no teor de fibras.

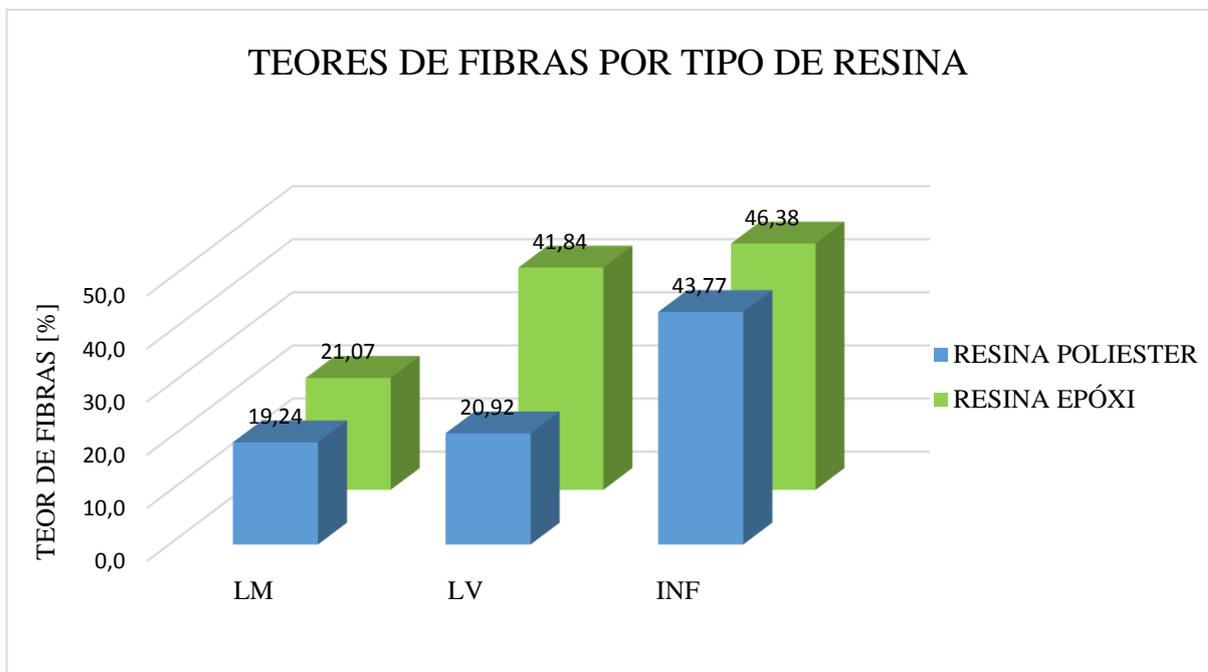
Analisando o Gráfico 1, nota-se que as barras de erros de cada processo não interceptam valores de outros processos. Então, em acordo com a literatura, o processo de

laminação por infusão obtém a melhor relação reforço/matriz, com um alto teor de fibras, o que influencia beneficemente nas propriedades mecânicas dos laminados, conforme mostrado no trabalho de Bittencourt (2015).

7.1.2. Comparação entre resinas

Comparando agora os teores de fibras em relação a resina poliéster e a epóxi, apresentados no Gráfico 2, percebemos que para todos os processos de laminação a resina epóxi obteve teores maiores.

Gráfico 2 - Teores de fibras para cada tipo de resina



Fonte: Autor.

O processo de laminação a vácuo para a resina de poliéster teve valores muito baixos comparado com a literatura, ficou muito próximo dos valores da laminação manual e contribuiu para o baixo teor médio de fibras de todos os CPs confeccionados por LV (apresentado no Gráfico 1). Esta diferença entre as resinas para o método de laminação a vácuo pode ser atribuída aos valores de viscosidade de cada resina. A resina epóxi, apresentava uma viscosidade de 0,35 Pa*s (350 cPs) de acordo com o fabricante, enquanto a resina poliéster apresenta quase o dobro de viscosidade, com um valor de 0,60 Pa*s (600 cPs).

Quanto menor a viscosidade da resina, maior a taxa de remoção da mesma do laminado ao aplicar uma diferença de pressão. Visto que a resina epóxi apresenta uma viscosidade bem menor, o processo de retirada de resina através do auxílio do vácuo apresentou resultados mais efetivos. Já os processos LM e INF tiveram valores próximos para os dois tipos de resina.

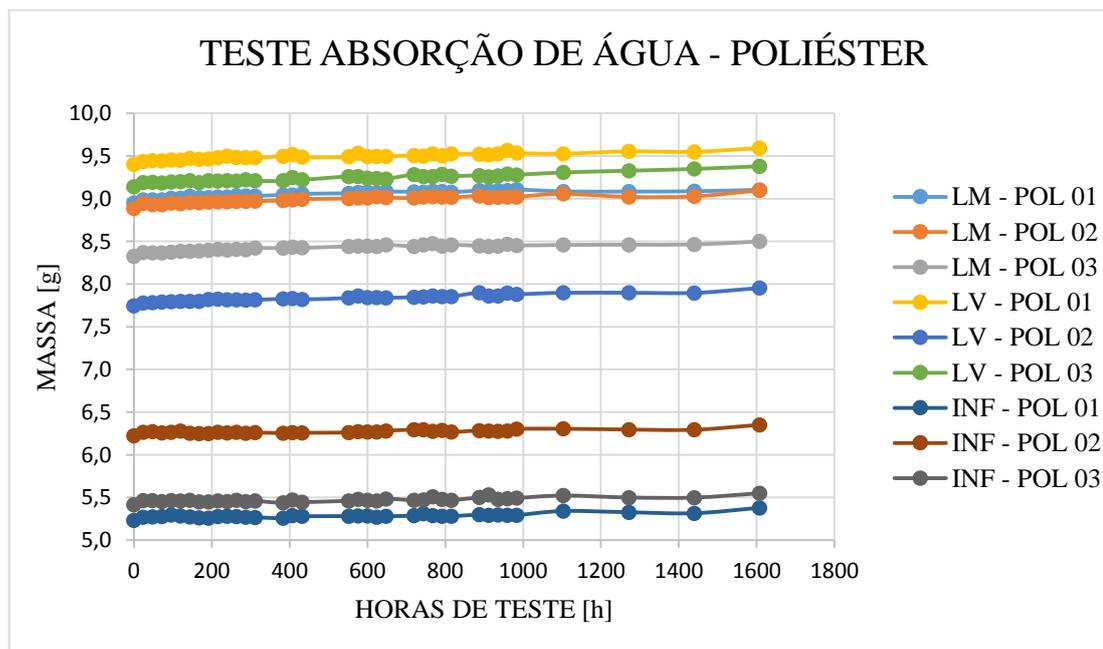
7.2 TESTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Neste ensaio os corpos de prova foram pesados e posteriormente colocados em recipientes em contato direto com água destilada e pesados por vários dias para analisar a absorção de água em função do tempo. Os valores de todas as pesagens desde o início do teste até a última medição, após 1608 horas de teste constam no Apêndice D.

As medições foram diárias nas primeiras duas semanas, totalizando mais de 300 horas de teste, após esse tempo as medições continuaram quase que diariamente até próximo de 1000 horas de teste. A partir desse ponto o teste prosseguiu com medições apenas uma vez na semana até alcançar as 1608 horas de teste finais.

O Gráfico 3 ilustra a variação da massa dos CPs ao longo das horas de teste para resina poliéster.

Gráfico 3 - Massa dos CPs com resina poliéster x Horas de teste

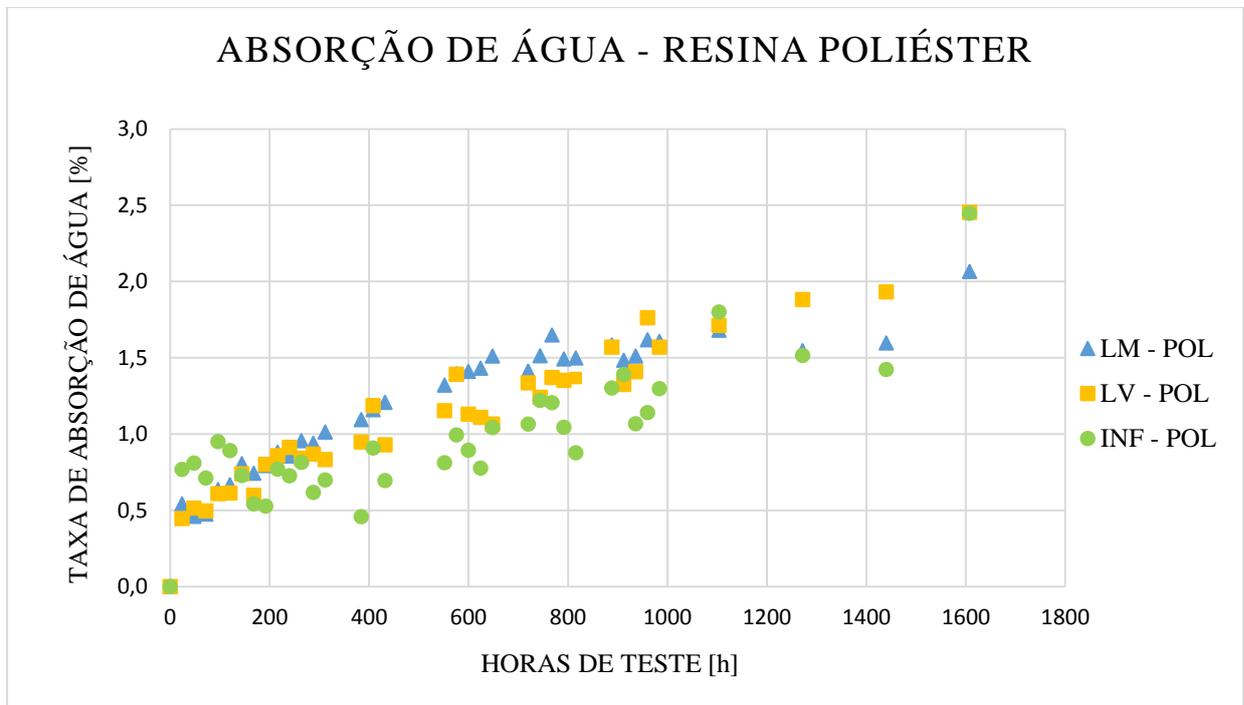


Fonte: Autor.

Nota-se através deste gráfico que os CPs tiveram uma pequena variação na sua massa ao longo de todo o teste.

O Gráfico 4 apresenta uma nuvem de pontos, com a média das quantidades de absorção de água em percentual em todos os pontos de medições, para os 3 corpos de prova de cada processo com resina poliéster. Este ganho de massa está associado a absorção de água.

Gráfico 4 - Nuvem de pontos da quantidade de absorção de água dos CPs com resina poliéster ao longo do teste



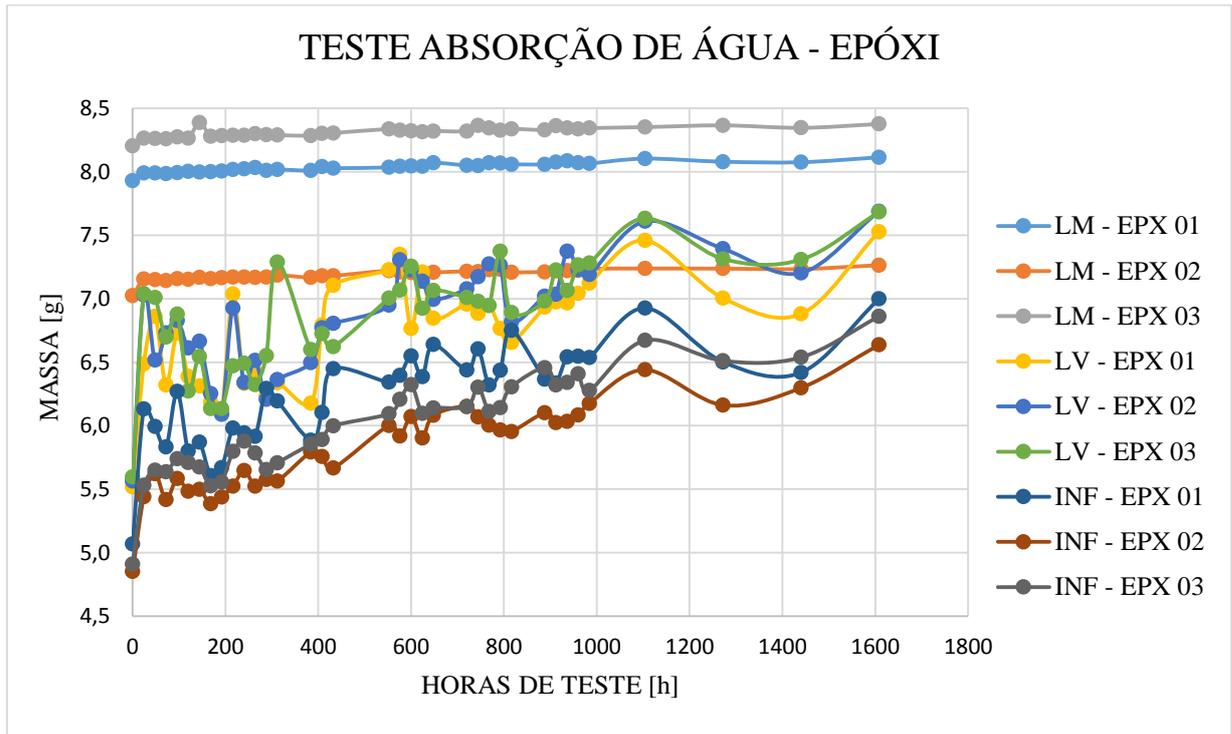
Fonte: Autor.

De acordo com o Gráfico 4, os CPs de INF mostraram uma tendência a ter uma maior absorção nas primeiras horas de teste, seguidos de uma leve queda, voltando a aumentar aos poucos estes valores ao longo do teste, próximo do final do teste houve uma pequena queda novamente, porém na última medição teve um grande acréscimo, terminando com uma quantidade de 2,45% de absorção de água. Os CPs de LM tiveram os maiores valores de absorção de água em quase todo o teste, tendo valores muito próximos da LV, entretanto finalizou o teste com a menor média de absorção, com 2,06%. Os CPs com LV,

durante todo o teste a sua taxa de absorção esteve em ascendência, e ao final do teste a taxa de absorção de água foram os mesmos 2,45% que para INF.

O Gráfico 5 apresenta a variação da massa dos CPs ao longo das horas de teste para resina epóxi.

Gráfico 5 - Massa dos CPs com resina epóxi x Horas de teste

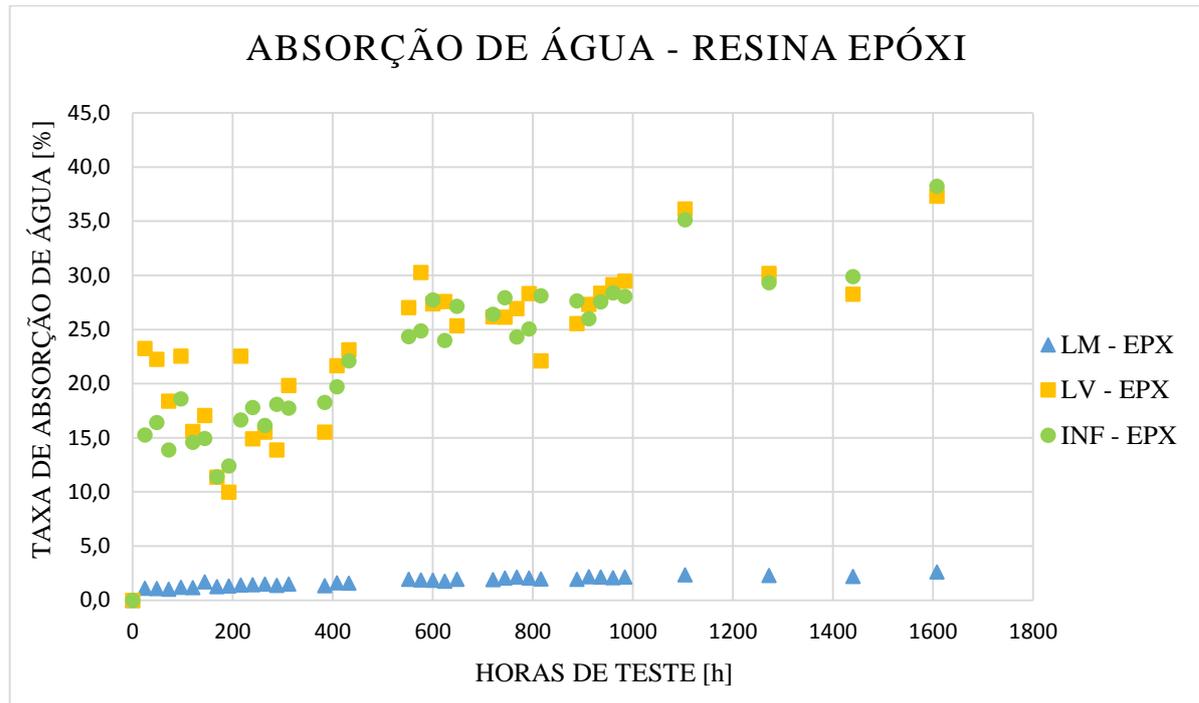


Fonte: Autor.

No Gráfico 5, diferentemente do Gráfico 3 (para resina poliéster), têm grandes variações nas massas dos CPs, com exceção do processo LM que teve pouca variação ao longo do tempo.

O Gráfico 6 apresenta uma nuvem de pontos, com a média das taxas de absorção de água em todos os pontos de medições, para os 3 corpos de prova de cada processo com resina epóxi. Notar que a escala foi aumentada em relação ao Gráfico 4, para apresentar todos os resultados no mesmo gráfico.

Gráfico 6 - Nuvem de pontos da taxa de absorção de água dos CPs com resina epóxi

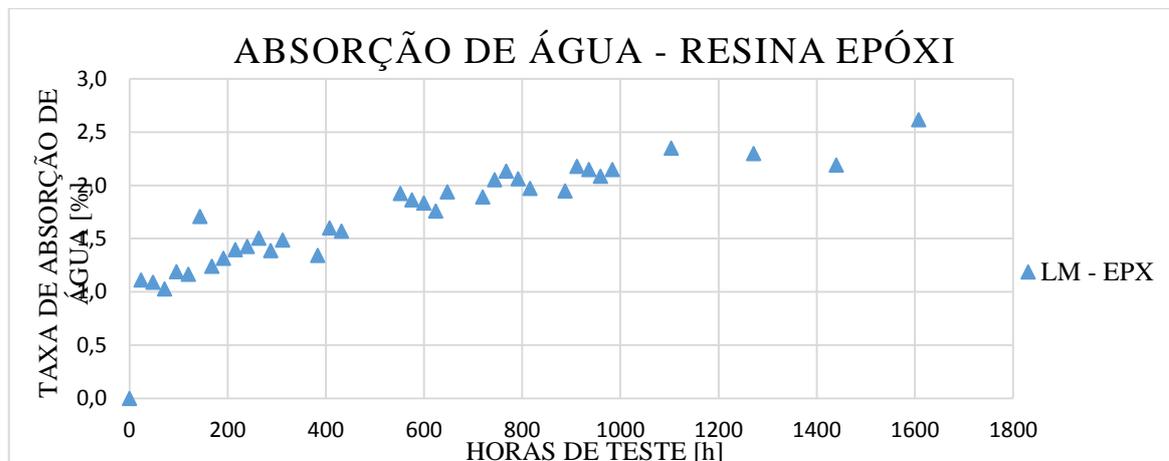


Fonte: Autor.

Os processos LV e INF tiveram um grande salto de absorções já nas primeiras 100 horas, seguida de uma leve caída dos valores nas 100 horas seguintes, a partir de 200 horas de teste há a retomada da elevação dos valores, que foram aumentando até o final do teste. Os CPs de LV terminaram o ensaio com uma taxa de absorção de água de 37%,3 e INF com 38,22%, valores bem mais acentuados que os de poliéster.

Para verificar as variações sofridas pelo processo de LM que o Gráfico 4 não permite visualizar devido a escala utilizada, vamos analisar a nuvem de pontos com foco apenas na escala em que há variação dos valores, que vai de 0 a 3%. Então o Gráfico 7 apresenta um detalhamento do gráfico da absorção de água para resina epóxi.

Gráfico 7 – Detalhamento do gráfico de absorção de água para resina epóxi (Gráfico 4) com escala da absorção de água de 0 a 3%



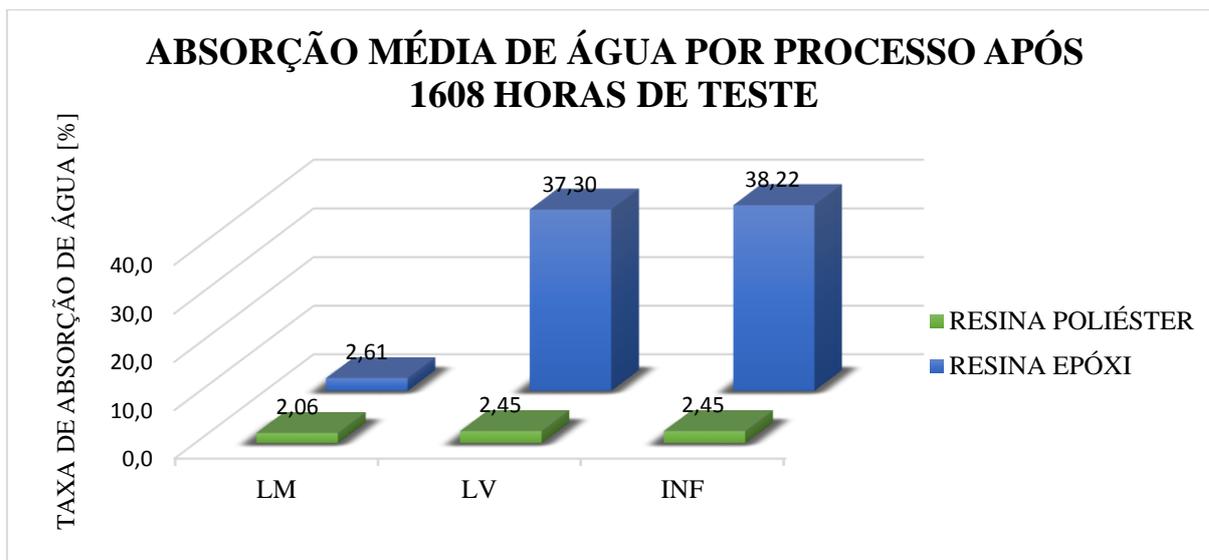
Fonte: Autor.

Por este gráfico percebemos que o ganho de massa esteve quase que o teste inteiro em crescimento, e se comportou de forma semelhante a LM com resina poliéster, com aumento de 2,61% no fim do teste.

7.2.1. Comparação de processos

Agora será feita a análise para absorção de água nos CPs. O Gráfico 8 apresenta a absorção média de água dos CPs após o fim do teste, totalizando 1608 horas submersos em água destilada à temperatura ambiente, em percentagem de cada processo para os dois tipos de resina empregados.

Gráfico 8 - Absorção média de água dos CPs após 1608 horas de imersão



Fonte: Autor.

Os CPs confeccionados pelo processo de laminação manual tiveram uma taxa de absorção de água condizente com a literatura, ficando com taxas entre 1,5% a 3,5%. Segundo resultados apresentados por Thomason (1995), utilizando o processo de fabricação por pultrusão com fibra de vidro e epóxi, expostos à umidade a 23 °C, obteve-se taxas de absorção entre 0,75% a 1,5%. Fraga et al. (2003) confeccionaram CPs por laminação manual e resina poliéster, imersos em água a 40 °C, e em torno de 1600 horas de teste encontraram valores de absorção de água por volta de 3%.

Os processos de LV e INF com resina poliéster ficaram dentro do esperado pela literatura, com taxas entre 2% e 3%. Li (2000) em estudo com CPs confeccionados pelo processo de RTM (Moldagem por Transferência de Resina), imersos em água a 50 °C, obteve em torno de 0,3% para resina poliéster isoftálica após 400 horas de teste, e 1,5% para resina epóxi em torno de 1600 horas de teste.

Já os processos com aplicação de vácuo tiveram uma grande absorção de água utilizando a resina epóxi, ficando em torno de 38%. Tal valor ficou bem acima dos aproximadamente 5,5% encontrado por Kim et al. (2011), para CPs fabricados por infusão, com fibra de vidro como reforço e matriz de epóxi e expostos a umidade a 80 °C.

Dutta (2008) com CPs fabricados por laminação com aplicação de vácuo e resina epóxi, e submersos em água a 95 °C, apresenta valores de absorção somente até 80 horas de teste. Enquanto Dutta (2008) obteve saturação com aproximadamente 60 horas de teste com

2% de absorção, o valor obtido neste trabalho para o mesmo tempo de teste ainda não apresentava saturação e já possuía uma absorção em torno de 20% (ver Apêndice D).

A utilização do vácuo durante a laminação auxilia no controle de resina na peça, entretanto, supõe-se que os altos valores de pressão impostos a peça combinado com a baixa viscosidade da resina, causou uma sublaminação da peça e exposição de algumas fibras. A sublaminação acontece quando a matriz não envolve e protege o reforço por completo do meio externo, assim também não repassando efetivamente as tensões sobre a peça para o reforço. Assim sendo, as fibras de vidros ficaram expostas funcionando como caminho para percolação da água no restante do laminado. Além disto, possivelmente houve um surgimento de microfissuras no laminado.

A interface resina/fibras é degradada pelo efeito da humidade presente no laminado, pois ela separa as combinações químicas diminuindo a resistência das ligações da interface, causando o comprometimento das propriedades mecânicas do laminado (KIM et al., 2011).

7.2.2. Comparação entre resinas

Em relação a absorção de água e fração volumétrica de vazios, a diferença se deu mais evidente em relação aos processos com auxílio de vácuo do que as resinas, como já discutido no tópico anterior. Entretanto, ao verificar o Gráfico 8 é possível comparar os valores de absorção de água para resina epóxi e poliéster confeccionados sem auxílio de vácuo, via LM. A resina epóxi teve uma absorção levemente maior que a resina poliéster. Segundo Dutta (2008), resinas epóxis podem ter cavidades ao longo das fibras, que podem acumular água. Isto ocorre pela água absorvida, que destrói a ligação na interface reforço/matriz.

Mesmo com propriedades físicas distintas entre as resinas poliéster e epóxi, fatores de processamento foram decisivos para qualidade do laminado, em termos de porosidade e consequentemente absorção de água. Não foi possível assim analisar em detalhes a influência do tipo de resina sobre as propriedades analisadas.

7.3 TESTE DE DENSIDADE APARENTE E FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE VAZIOS

As massas dos corpos de prova foram anotadas e suas dimensões foram medidas em 3 pontos diferentes e depois calculada a média de cada dimensão. Com estes valores foi

possível calcular a densidade aparente (ρ_A) de cada CP. A Tabela 3 apresenta os valores médios das dimensões e volumes para os CPs, a massa e a densidade aparente (ρ_A) calculada. Para verificar a variação das medidas, o Apêndice E contém a tabela completa.

Tabela 3 – Volume médio, massa e densidade aparente dos CPs

MEDIDAS	LM - POL	INF - POL	LM - EPX	LV - EPX	INF - EPX
Largura média [mm]	26,67	25,43	26,35	26,07	25,83
Comprimento médio [mm]	26,12	25,93	24,83	26,82	26,67
Espessura média [mm]	3,23	1,72	3,31	2,54	2,72
Volume médio [cm³]	2,25	1,13	2,17	1,78	1,87
Massa [g]	2,84	1,67	2,72	1,58	1,79
Densidade aparente [g/cm³]	1,26	1,48	1,26	0,89	0,96

Fonte: Autor.

Por meio dos conceitos e equacionamentos da Micromecânica apresentados e dos valores de densidade de fibras e resinas utilizados nas laminações foi possível montar a Tabela 4 para o valor da densidade teórica (ρ_c) dos CPs. As massas de fibras e matriz foram obtidas aplicando o teste de combustão nos mesmos CPs submetidos ao teste de densidade aparente, a tabela com os valores completos obtidos se encontra no Apêndice F.

Tabela 4 - Densidades teóricas dos CPs

MEDIDAS	LM - POL	INF - POL	LM - EPX	LV - EPX	INF - EPX
Massa fibras [g]	0,98	1,08	1,04	1,01	1,19
Massa matriz [g]	1,86	0,59	1,69	0,57	0,59
Fração mássica de fibras [g]	0,35	0,65	0,38	0,64	0,67
Volume fibras [cm ³]	0,39	0,43	0,41	0,40	0,48
Volume matriz [g]	1,69	0,53	1,52	0,51	0,54
Teor de fibras	0,19	0,45	0,22	0,44	0,47
Densidade teórica [g/cm³]	1,36	1,72	1,41	1,73	1,76

Fonte: Autor.

A Tabela 5 apresenta os valores de densidades aparente e teórica, e a diferença em percentagem entre elas.

Tabela 5 - Diferença entre densidade aparente e teórica

MEDIDA	LM - POL	INF - POL	LM - EPX	LV - EPX	INF - EPX
Densidade aparente [g/cm ³]	1,26	1,48	1,26	0,89	0,96
Densidade teórica [g/cm ³]	1,36	1,72	1,41	1,73	1,73
Diferença entre densidade aparente e teórica [%]	7,91	16,90	12,12	94,20	84,46

Fonte: Autor.

Através da comparação dos valores da densidade aparente e teórica do compósito, verifica-se então que a densidade teórica tem valores superiores, com a diferença entre elas alcançando 94,2% para laminação a vácuo com epóxi. A diferença se dá, além do erro associado as medições, mas também pelo volume de vazios ter sido desconsiderado no cálculo da densidade teórica.

A terceira etapa deste teste foi calcular a fração volumétrica de vazios (V_v) pela Equação 12 da micromecânica. As densidades utilizadas foram as (ρ_A) medidas na primeira etapa deste teste, encontrada na Tabela 3. As frações volumétricas de vazios são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Fração volumétrica de vazios

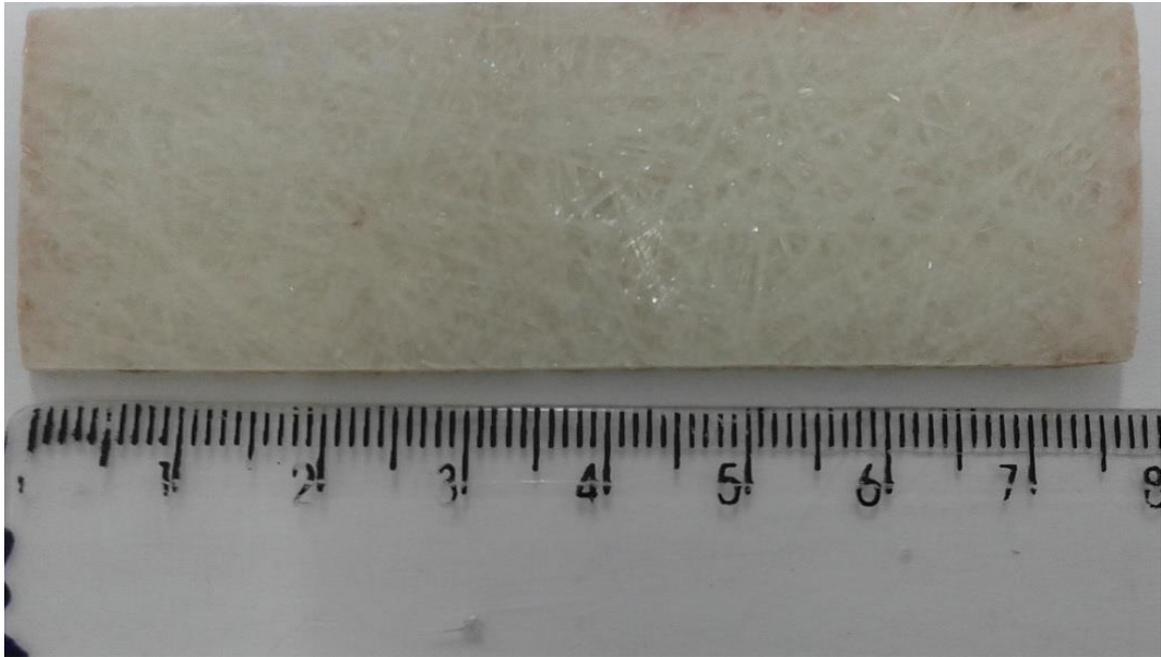
MEDIDA	LM - POL	INF - POL	LM - EPX	LV - EPX	INF - EPX
Fração volumétrica de vazios	0,73	0,14	0,10	0,48	0,45

Fonte: Autor.

As frações volumétricas de vazios ficaram bem elevadas para este material e processos utilizados, alcançando valores próximos a 0,50.

Um fator que teve influência na grande absorção de água destes CPs é a grande porosidade encontrada em alguns CPs, isso fica evidente com a o corpo de prova laminado a vácuo com epóxi que obteve valores de absorção de água em torno de 30%. Uma imagem ampliada de um corpo de prova confeccionado por LV e resina epóxi é ilustrada na Figura 10. Na imagem, em algumas regiões é possível ver a marcação das fibras.

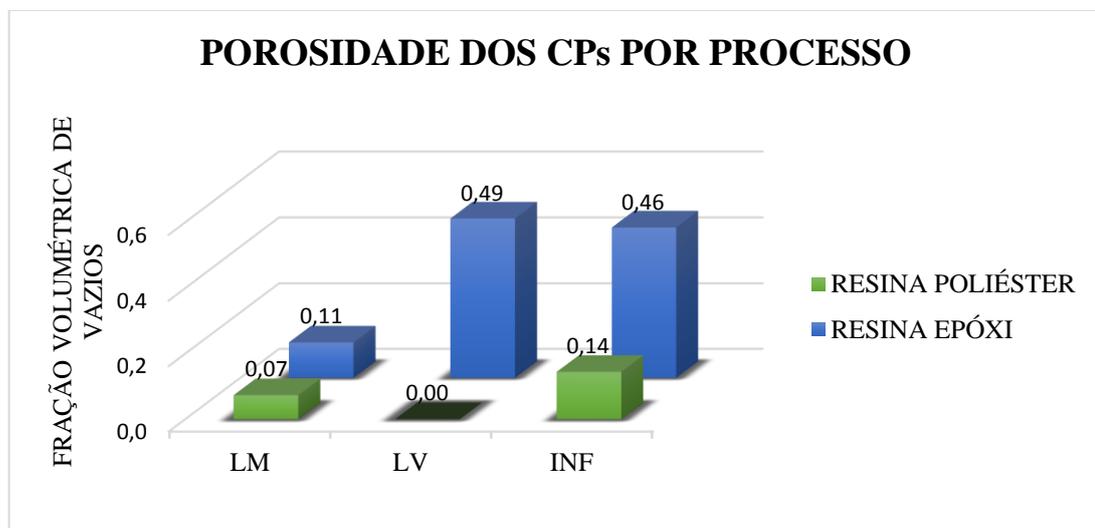
Figura 10 – Sublaminação representada pelas regiões brancas no CP confeccionado por laminação a vácuo com resina epóxi



Fonte: Autor.

A porosidade está relacionada com o volume de vazios presente no laminado, e os resultados de fração volumétrica de vazios dos laminados, reforça os altos valores de absorção de água encontrados para estes CPs, conforme apresentado no Gráfico 9 (note que não foram testadas amostras de poliéster com o método de laminação a vácuo).

Gráfico 9 - Porosidade dos CPs por processo



Fonte: Autor.

Por este gráfico verificamos que os CPs de LV e INF para resina epóxi, que obtiveram as maiores taxas de absorção de água, também são os que têm as maiores frações volumétricas de vazios, chegando em torno de 0,45 a 0,49.

Segundo Woo e Piggott (1988) a difusividade de vazios é cerca de 15 vezes maior que o compósito, o que faz com que os vazios sejam o caminho preferencial da água nos compósitos.

Os processos tiveram grande influência nos resultados obtidos em todos os testes analisados.

8 CONCLUSÕES

Três metodologias de confecção de compósitos foram ensaiadas, via laminação manual, laminação a vácuo e infusão. Os métodos que utilizaram o auxílio de vácuo (laminação a vácuo e infusão) alcançaram os maiores teores de reforços, 31% e 45% respectivamente. Entretanto, o excesso de vácuo causou o surgimento de porosidade nas placas e microfissuras, o que aumentou significativamente a absorção de água das mesmas. Desta forma, é importante encontrar uma relação adequada entre viscosidade da resina utilizada e diferença de pressão imposta durante o processamento, de maneira a garantir a retirada de bolhas e excesso de resina do laminado, sem deixar as fibras expostas ao ambiente.

Duas resinas diferentes foram investigadas, resina poliéster com NPG e epóxi. A influência do processamento dificultou a comparação direta entre as resinas, entretanto a comparação via laminação manual mostrou uma tendência de que a resina epóxi tende a absorver uma quantidade levemente maior de água que a resina de poliéster, 2,51% e 2,06% respectivamente. Entretanto, um trabalho mais aprofundado seria necessário para ratificar tal conclusão.

O trabalho revelou que há uma correlação muito próxima entre a quantidade de porosidade das peças e a quantidade de absorção de água. Assim sendo, todo cuidado ao manufaturar peças laminadas para indústria náutica é necessário, de forma a garantir a integridade das peças, que geralmente se encontram em contato direto com a água. Pois além de acarretar um acréscimo no peso da estrutura, a peça também pode perder propriedades mecânicas.

9 TRABALHOS FUTUROS

As sugestões de continuidade dos estudos relacionados as propriedades das fibras de vidro são:

- Avaliar isoladamente o comportamento de absorção de água de resinas e fibras. Verificar se o compósito segue a regra das misturas também para esta propriedade física.
- Utilizar resinas com a mesma viscosidade e processamento, de forma a investigar a influência da formulação das resinas em termos de absorção de água.
- Testar outras resinas usuais na indústria náutica, como a resina de poliéster ortoftálica e resina estervinílica.
- Avaliar a degradação das propriedades mecânicas de laminados após a absorção de água.

REFERÊNCIAS

ABMACO. **Compósitos 1: materiais, processos, aplicações, desempenhos e tendências.** [s. d.].

ACOBAR. **Indústria Náutica Brasileira: fatos e números 2005.** 2005.

ACOBAR. **Indústria Náutica Brasileira: fatos e números 2012.** 2012.

ÁGUIA QUÍMICA. **Produtos:** resina poliéster isoftálica com NPG não acelerada. Disponível em: <<http://www.aguiaquimica.com/pt/produto/186/aqp-9250---isoftalica-npg-nao-acelerada>>. Acesso em: 14 fev. 2016.

ALMACO. **Compósitos 2: tecnologia de processos.** [s. d.].

ASTM. **D 2584:** Standard Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins. West Conshohocken: Astm International, 2011.

ASTM. **D 570:** Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. West Conshohocken: Astm International, 1998.

BITTENCOURT, A. P. P.. **Estudo Comparativo de Processos de Obtenção de Compósitos Fibra de Vidro/Poliéster.** 2015. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Naval). Centro de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

DUTTA, S. S.. Water Absorption and Dielectric Properties of Epoxy Insulation. **Norwegian University of Science and Technology Department of Electrical Power Engineering,** 2008.

FRAGA, et al.. Relationship Between Dynamic Mechanical Properties and Water Absorption of Unsaturated Polyester and Vinyl Ester Glass Fiber Composites. **Journal of Composite Materials,** v. 37, n. 17, p. 1553-73, 2003.

KIM, Y. et al.. The Effect of Moisture Absorption and Gel-coating Process on the Mechanical Properties of the Basalt Fiber Reinforced Composite. **International Journal of Ocean System Engineering,** v. 1, n. 3, p. 148-54, 2011.

LI, M. **Temperature and Moisture Effects on Composite Materials for Wind Turbine Blades**. 2000. 127f. Tese (Master of Science in Chemical Engineering) - Montana State University-Bozeman, Bozeman-Montana, 2000.

LOMBARD, Z. **Vacuum infusion process testing and development**. Pretoria: Technology Innovation Agency, 2011. Disponível em: <<http://www.amtcomposites.co.za/sites/default/files/media/howto/AMTS-TP-15-2011-vacuum%20infusion.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2015.

MARINUCCI, G.. **Materiais Compósitos Poliméricos: Fundamentos e Tecnologia**. São Paulo: Artliber, 2011.

MAZUMDAR, S. K.. **Composites Manufacturing: materials, product, and process engineering**. Florida: Crc Press Llc, 2002.

NASSEH, J.. **Manual de construção de barcos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Barracuda Advanced Composites, 2011.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C.. **Compósitos Estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2006.

OLIVEIRA, R.. ESTALEIRO INTECH BOATING RECEBE EMPRESÁRIOS DO PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DO POLO NÁUTICO DE SANTA CATARINA. **Revista Náutica**. 13 jul. 2015. Disponível em: <<http://www.nautica.com.br/troca-de-experiencia/>>. Acesso em: 26 out. 2015.

RICHE, L.; PABON, L.; COHEN, M.. Processo de Laminação por Infusão de Barcos de Lazer Como Fonte de Sustentabilidade e Vantagem Competitiva das Empresas do Setor Náutico Brasileiro. In: XXXIII Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração (ANPAD): **XXXIII EnANPAD 2009**, São Paulo, 2009, Anais. p. 01-16. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/GOL3275.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2015.

SILAEX. **Epóxi**. Disponível em: <<http://www.silaex.com.br/epoxi.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

THOMASON, J. L.. The interface region in glass fibre-reinforced epoxy resin composites: 2, Water absorption, voids and the interface. **Composites**, v. 26, n. 7, p. 477-85, 1995.

VENTURA, A. M. F. M.. Os Compósitos e a Sua Aplicação na Reabilitação de Estruturas Metálicas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 21, n. 3/4, 2009.

WEST SYSTEM. **Vacuum Bagging Techniques**. 7 ed. Bay City: Gougeon Brothers, 2010.

WOO, M.; PIGGOTT, M. R.. Water Absorption of Resins and Composites: IV water transport in fiber reinforced plastics, **Journal of Composites Technology & Research**, v. 10, n. 1, p. 20-24, 1988.

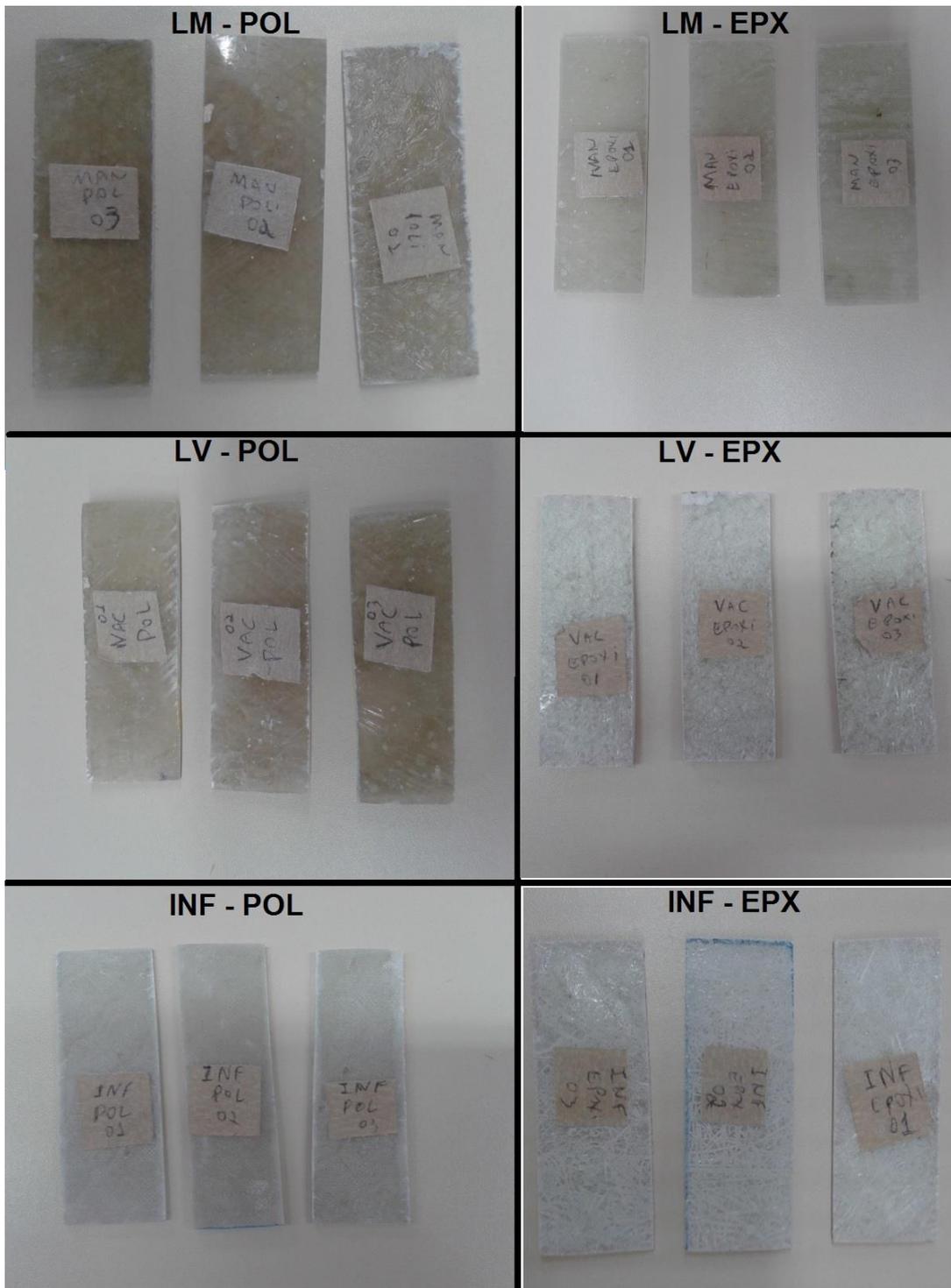
APÊNDICE A – CRONOGRAMA

Atividade	set/15	out/15	nov/15	dez/15	jan/16	fev/16	mar/16	abr/16	mai/16	jun/16
Escolha do tema	█									
Definir tipos de ensaios	█	█								
Conseguir resina epóxi		█								
Realizar um teste de combustão da resina de poliéster				█						
Escrita Planejamento TCC	█	█	█	█						
Confeccionar corpos de prova com resina poliéster por laminação manual				█	█					
Confeccionar corpos de prova com resina poliéster por laminação a vácuo				█	█					
Confeccionar corpos de prova com resina poliéster por infusão				█	█					
Confeccionar corpos de prova com resina epóxi por laminação manual				█	█					
Confeccionar corpos de prova com resina epóxi por laminação a vácuo				█	█					
Confeccionar corpos de prova com resina epóxi (15 x 15 cm) - Infusão				█	█					
Cortar amostras				█	█					
Ensaio combustão					█					
Ensaio absorção de água								█	█	█
Ensaio para encontrar densidade aparente e fração volumétrica de vazios								█	█	█
Escrita TCC	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Defesa do TCC										█

Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

APÊNDICE B – FOTOS CORPOS DE PROVA COM AS ETIQUETAS DE IDENTIFICAÇÕES DO PROCESSO UTILIZADO E DA RESINA

Figura – Foto dos corpos de prova utilizados no ensaio de absorção de água, os CPs foram numerados de 01 a 03 para este teste e com LM, LV e INF para identificar o processo e com POL ou EPX ou EPOXI para identificar o tipo de resina.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

**APÊNDICE C – TABELA COM PESAGENS REALIZADAS NO ENSAIO DE
COMBUSTÃO**

CPs	PESAGEM INICIAL [g]	PESAGEM FINAL [g]	MASSA CADINHO [g]	MASSA CORPO DE PROVA [g]	MASSA DAS FIBRAS [g]	MASSA DA MATRIZ [g]	FRAÇÃO MÁSSICA
LM – POL 04	78,9098	77,2805	76,4198	2,4900	0,8607	1,6293	0,35
LM – POL 05	84,0235	82,1305	81,0574	2,9661	1,0731	1,8930	0,36
LM – POL 06	96,0903	93,9356	92,7946	3,2957	1,1410	2,1547	0,35
LV – POL 04	91,7777	89,5963	88,3947	3,3830	1,2016	2,1814	0,36
LV – POL 05	96,5682	94,9136	93,7508	2,8174	1,1628	1,6546	0,41
LV – POL 06	89,8035	87,8143	86,7090	3,0945	1,1053	1,9892	0,36
INF – POL 04	78,1730	77,5205	76,4365	1,7365	1,0840	0,6525	0,62
INF – POL 05	82,7731	82,1629	81,0702	1,7029	1,0927	0,6102	0,64
INF – POL 06	94,4924	93,9034	92,8075	1,6849	1,0959	0,5890	0,65
LM – EPX 04	90,4953	88,7626	87,6702	2,8251	1,0924	1,7327	0,39
LM – EPX 05	81,5986	80,1492	79,2554	2,3432	0,8938	1,4494	0,38
LM – EPX 06	91,0185	89,1009	88,0261	2,9924	1,0748	1,9176	0,36
LV – EPX 04	96,6202	95,9469	94,8390	1,7812	1,1079	0,6733	0,62

CPs	PESAGEM INICIAL [g]	PESAGEM FINAL [g]	MASSA CADINHO [g]	MASSA CORPO DE PROVA [g]	MASSA DAS FIBRAS [g]	MASSA DA MATRIZ [g]	FRAÇÃO MÁSSICA
LV – EPX 05	80,1006	79,3860	78,2396	1,8610	1,1464	0,7146	0,62
LV – EPX 06	88,2298	87,5394	86,4216	1,8082	1,1178	0,6904	0,62
INF – EPX 04	90,2957	89,7370	88,5723	1,7234	1,1647	0,5587	0,68
INF – EPX 05	95,5599	94,9589	93,8630	1,6969	1,0959	0,6010	0,65
INF – EPX 06	88,6665	88,0411	86,8196	1,8469	1,2215	0,6254	0,66

**APÊNDICE D – TABELA COM PESAGENS REALIZADAS NO ENSAIO DE
ABSORÇÃO DE ÁGUA**

DIA	HORAS DE TESTE	LM – POL 01 [g]	LM – POL 02 [g]	LM – POL 03 [g]
02/04/2016	0	8,9491	8,8887	8,3256
03/04/2016	24	8,9876	8,9484	8,3690
04/04/2016	48	8,9863	8,9313	8,3660
05/04/2016	72	8,9887	8,9308	8,3679
06/04/2016	96	9,0051	8,9488	8,3757
07/04/2016	120	9,0072	8,9439	8,3866
08/04/2016	144	9,0305	8,9567	8,3872
09/04/2016	168	9,0123	8,9546	8,3906
10/04/2016	192	9,0155	8,9600	8,3952
11/04/2016	216	9,0208	8,9651	8,4071
12/04/2016	240	9,0213	8,9663	8,3993
13/04/2016	264	9,0357	8,9704	8,4073
14/04/2016	288	9,0337	8,9701	8,4054
15/04/2016	312	9,0334	8,9716	8,4222
18/04/2016	384	9,0451	8,9807	8,4232
19/04/2016	408	9,0459	8,9863	8,4338
20/04/2016	432	9,0579	8,9964	8,4252
25/04/2016	552	9,0641	9,0027	8,4418
26/04/2016	576	9,0737	9,0096	8,445
27/04/2016	600	9,0787	9,0092	8,4445
28/04/2016	624	9,0716	9,0242	8,4422
29/04/2016	648	9,0845	9,0135	8,4602
02/05/2016	720	9,0806	9,0087	8,4435
03/05/2016	744	9,0767	9,0210	8,4610
04/05/2016	768	9,0904	9,0261	8,4770
05/05/2016	792	9,0845	9,0226	8,4468
06/05/2016	816	9,0776	9,0161	8,4610
09/05/2016	888	9,0963	9,0342	8,4480
10/05/2016	912	9,0943	9,0148	8,4427
11/05/2016	936	9,0963	9,0182	8,4446
12/05/2016	960	9,0963	9,0202	8,4694
13/05/2016	984	9,1082	9,0227	8,4536
18/05/2016	1104	9,0865	9,0575	8,4591
25/05/2016	1272	9,0838	9,0217	8,4621
01/06/2016	1440	9,0880	9,0285	8,4644
08/06/2016	1608	9,1046	9,0986	8,5001

DIA	HORAS DE TESTE	LV – POL 01 [g]	LV – POL 02 [g]	LV – POL 03 [g]
02/04/2016	0	9,4014	7,7478	9,1403
03/04/2016	24	9,4368	7,7815	9,1883
04/04/2016	48	9,4471	7,7839	9,1943
05/04/2016	72	9,4434	7,7905	9,1850
06/04/2016	96	9,4565	7,7959	9,1970
07/04/2016	120	9,4534	7,7971	9,1993
08/04/2016	144	9,4728	7,7987	9,2134
09/04/2016	168	9,4618	7,7965	9,1883
10/04/2016	192	9,4661	7,8206	9,2112
11/04/2016	216	9,4807	7,8241	9,2081
12/04/2016	240	9,4986	7,8181	9,2131
13/04/2016	264	9,4849	7,8156	9,2094
14/04/2016	288	9,4804	7,8143	9,2229
15/04/2016	312	9,4823	7,8152	9,2106
18/04/2016	384	9,4984	7,8285	9,2106
19/04/2016	408	9,5197	7,8329	9,2501
20/04/2016	432	9,4881	7,8209	9,2246
25/04/2016	552	9,4913	7,8380	9,2626
26/04/2016	576	9,5332	7,8608	9,2603
27/04/2016	600	9,4969	7,8436	9,2440
28/04/2016	624	9,4979	7,8418	9,2398
29/04/2016	648	9,4960	7,8387	9,2328
02/05/2016	720	9,5086	7,8476	9,2844
03/05/2016	744	9,5012	7,8524	9,2599
04/05/2016	768	9,5261	7,8620	9,2600
05/05/2016	792	9,5048	7,8534	9,2855
06/05/2016	816	9,5269	7,8549	9,2664
09/05/2016	888	9,5235	7,8998	9,2726
10/05/2016	912	9,5171	7,8618	9,2567
11/05/2016	936	9,5269	7,8626	9,2688
12/05/2016	960	9,5664	7,8942	9,2902
13/05/2016	984	9,5360	7,8817	9,2815
18/05/2016	1104	9,5284	7,8985	9,3085
25/05/2016	1272	9,5547	7,8990	9,3287
01/06/2016	1440	9,5500	7,8970	9,3492
08/06/2016	1608	9,5944	7,9544	9,3812

DIA	HORAS DE TESTE	INF – POL 01 [g]	INF – POL 02 [g]	INF – POL 03 [g]
02/04/2016	0	5,2328	6,2227	5,4145
03/04/2016	24	5,2702	6,2642	5,4642
04/04/2016	48	5,2717	6,2717	5,4629
05/04/2016	72	5,2772	6,2588	5,4526
06/04/2016	96	5,2969	6,2661	5,4646
07/04/2016	120	5,2827	6,2784	5,4591
08/04/2016	144	5,2719	6,2522	5,4664
09/04/2016	168	5,2606	6,2492	5,4507
10/04/2016	192	5,2585	6,2504	5,4494
11/04/2016	216	5,2754	6,2630	5,4605
12/04/2016	240	5,2799	6,2566	5,4541
13/04/2016	264	5,2770	6,2628	5,4660
14/04/2016	288	5,2682	6,2533	5,4514
15/04/2016	312	5,2675	6,2609	5,4589
18/04/2016	384	5,2566	6,2540	5,4368
19/04/2016	408	5,2878	6,2601	5,4726
20/04/2016	432	5,2808	6,2580	5,4467
25/04/2016	552	5,2824	6,2608	5,4619
26/04/2016	576	5,2857	6,2709	5,4792
27/04/2016	600	5,2846	6,2684	5,4663
28/04/2016	624	5,2713	6,2674	5,4618
29/04/2016	648	5,2800	6,2805	5,4845
02/05/2016	720	5,2874	6,2958	5,4673
03/05/2016	744	5,3112	6,2929	5,4703
04/05/2016	768	5,2879	6,2746	5,5082
05/05/2016	792	5,2802	6,2886	5,4776
06/05/2016	816	5,2797	6,2677	5,4690
09/05/2016	888	5,2991	6,2848	5,5031
10/05/2016	912	5,2922	6,2782	5,5304
11/05/2016	936	5,294	6,2740	5,4797
12/05/2016	960	5,2928	6,2796	5,4882
13/05/2016	984	5,2924	6,3029	5,4937
18/05/2016	1104	5,3414	6,3051	5,5226
25/05/2016	1272	5,3269	6,2957	5,4995
01/06/2016	1440	5,3155	6,2931	5,4986
08/06/2016	1608	5,3789	6,3508	5,5494

DIA	HORAS DE TESTE	LM – EPX 01 [g]	LM – EPX 02 [g]	LM – EPX 03 [g]
02/04/2016	0	7,9307	7,0232	8,2029
03/04/2016	24	7,9890	7,1547	8,2630
04/04/2016	48	7,9900	7,1505	8,2615
05/04/2016	72	7,9856	7,1427	8,2595
06/04/2016	96	7,9936	7,1566	8,2746
07/04/2016	120	8,0025	7,1530	8,2641
08/04/2016	144	7,9965	7,1670	8,3872
09/04/2016	168	7,9998	7,1587	8,2786
10/04/2016	192	8,0041	7,1651	8,2851
11/04/2016	216	8,0174	7,1694	8,2860
12/04/2016	240	8,0218	7,1702	8,2878
13/04/2016	264	8,0328	7,1672	8,2992
14/04/2016	288	8,0090	7,1704	8,2913
15/04/2016	312	8,0177	7,1856	8,2891
18/04/2016	384	8,0104	7,1667	8,2835
19/04/2016	408	8,0402	7,1795	8,3007
20/04/2016	432	8,0284	7,1804	8,3046
25/04/2016	552	8,0342	7,2216	8,3372
26/04/2016	576	8,0436	7,2093	8,3276
27/04/2016	600	8,0465	7,2049	8,3220
28/04/2016	624	8,0421	7,2000	8,3141
29/04/2016	648	8,0710	7,2069	8,3202
02/05/2016	720	8,0495	7,2160	8,3202
03/05/2016	744	8,0473	7,2131	8,3655
04/05/2016	768	8,0715	7,2276	8,3432
05/05/2016	792	8,0685	7,2301	8,3261
06/05/2016	816	8,0590	7,2091	8,3380
09/05/2016	888	8,0583	7,2114	8,3301
10/05/2016	912	8,0755	7,2186	8,3608
11/05/2016	936	8,0844	7,2197	8,3434
12/05/2016	960	8,0715	7,2230	8,3371
13/05/2016	984	8,0655	7,2356	8,3438
18/05/2016	1104	8,1036	7,2380	8,3515
25/05/2016	1272	8,0790	7,2370	8,3654
01/06/2016	1440	8,0753	7,2339	8,3459
08/06/2016	1608	8,1134	7,2642	8,3759

DIA	HORAS DE TESTE	LV – EPX 01 [g]	LV – EPX 02 [g]	LV – EPX 03 [g]
02/04/2016	0	5,5175	5,5629	5,5971
03/04/2016	24	6,4874	7,0304	7,0399
04/04/2016	48	6,8618	6,5173	7,0081
05/04/2016	72	6,3202	6,7293	6,6977
06/04/2016	96	6,7287	6,8279	6,8781
07/04/2016	120	6,3872	6,6133	6,2722
08/04/2016	144	6,3141	6,6647	6,5447
09/04/2016	168	6,1835	6,2521	6,1347
10/04/2016	192	6,1197	6,0900	6,1338
11/04/2016	216	7,0360	6,9267	6,4706
12/04/2016	240	6,3318	6,3414	6,4917
13/04/2016	264	6,4263	6,5140	6,3226
14/04/2016	288	6,2343	6,2085	6,5518
15/04/2016	312	6,3387	6,3619	7,2875
18/04/2016	384	6,1760	6,4960	6,5993
19/04/2016	408	6,7930	6,7709	6,7241
20/04/2016	432	7,1039	6,8059	6,6226
25/04/2016	552	7,2289	6,9483	7,0041
26/04/2016	576	7,3491	7,3063	7,0678
27/04/2016	600	6,7649	7,2264	7,2555
28/04/2016	624	7,2097	7,1382	6,9247
29/04/2016	648	6,8465	6,9950	7,0649
02/05/2016	720	6,9573	7,0773	7,0086
03/05/2016	744	6,8838	7,1740	6,9795
04/05/2016	768	6,9472	7,2728	6,9472
05/05/2016	792	6,7658	7,2640	7,3734
06/05/2016	816	6,6555	6,8193	6,8901
09/05/2016	888	6,9329	7,0205	6,9822
10/05/2016	912	6,9744	7,0350	7,2264
11/05/2016	936	6,9660	7,3749	7,0640
12/05/2016	960	7,0418	7,2287	7,2666
13/05/2016	984	7,1215	7,1892	7,2818
18/05/2016	1104	7,4599	7,6099	7,6339
25/05/2016	1272	7,0050	7,3938	7,3137
01/06/2016	1440	6,8804	7,2030	7,3079
08/06/2016	1608	7,5283	7,6884	7,6823

DIA	HORAS DE TESTE	INF – EPX 01 [g]	INF – EPX 02 [g]	INF – EPX 03 [g]
02/04/2016	0	5,0676	4,8508	4,9092
03/04/2016	24	6,1315	5,4399	5,5302
04/04/2016	48	5,9928	5,6221	5,6497
05/04/2016	72	5,8317	5,4188	5,6354
06/04/2016	96	6,2704	5,5847	5,7404
07/04/2016	120	5,7990	5,4820	5,7103
08/04/2016	144	5,8696	5,4985	5,6741
09/04/2016	168	5,6072	5,3845	5,5256
10/04/2016	192	5,6702	5,4386	5,5556
11/04/2016	216	5,9816	5,5235	5,7963
12/04/2016	240	5,9432	5,6459	5,8770
13/04/2016	264	5,9158	5,5235	5,7844
14/04/2016	288	6,2916	5,5761	5,6539
15/04/2016	312	6,1958	5,5638	5,7075
18/04/2016	384	5,8853	5,7921	5,8546
19/04/2016	408	6,1036	5,7566	5,8911
20/04/2016	432	6,4495	5,6664	5,9978
25/04/2016	552	6,3426	6,0009	6,0938
26/04/2016	576	6,3956	5,9170	6,2072
27/04/2016	600	6,5490	6,0710	6,3241
28/04/2016	624	6,3862	5,9036	6,0971
29/04/2016	648	6,6387	6,0819	6,1399
02/05/2016	720	6,4398	6,1527	6,1504
03/05/2016	744	6,6039	6,0701	6,3022
04/05/2016	768	6,3195	6,0029	6,1113
05/05/2016	792	6,435	5,9667	6,1418
06/05/2016	816	6,7513	5,9525	6,3051
09/05/2016	888	6,3652	6,1010	6,4570
10/05/2016	912	6,3366	6,0249	6,3202
11/05/2016	936	6,5417	6,0327	6,3408
12/05/2016	960	6,5462	6,0832	6,4074
13/05/2016	984	6,5365	6,1757	6,2786
18/05/2016	1104	6,9269	6,4406	6,6718
25/05/2016	1272	6,5025	6,1615	6,5111
01/06/2016	1440	6,4190	6,2974	6,5384
08/06/2016	1608	6,9986	6,6368	6,8601

**APÊNDICE E – TABELA COM AS DIMENSÕES DOS COSPORS DE PROVA DO
TESTE DE DENSIDADE APARENTE E FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE VAZIOS**

MEDIDA	MEDIÇÕES	LM - POL	INF - POL	LM - EPX	LV - EPX	INF - EPX
Largura	Medição 1 [mm]	26,50	25,40	26,20	25,90	25,90
	Medição 2 [mm]	26,80	25,45	26,40	26,10	25,85
	Medição 3 [mm]	26,70	25,45	26,45	26,20	25,75
	Média [mm]	26,67	25,43	26,35	26,07	25,83
Comprimento	Medição 1 [mm]	26,00	26,10	24,85	26,85	26,45
	Medição 2 [mm]	26,10	26,10	24,80	26,90	26,65
	Medição 3 [mm]	26,25	25,60	24,85	26,70	26,90
	Média [mm]	26,12	25,93	24,83	26,82	26,67
Espessura	Medição 1 [mm]	3,45	1,74	3,30	2,49	2,74
	Medição 2 [mm]	3,09	1,68	3,28	2,57	2,69
	Medição 3 [mm]	3,14	1,73	3,36	2,58	2,72
	Média [mm]	3,23	1,72	3,31	2,54	2,72
Volume médio [cm³]		2,25	1,13	2,17	1,78	1,87

**APÊNDICE F – TABELA COM PESAGENS REALIZADAS NO TESTE DE
DENSIDADE APARENTE E FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DE VAZIOS**

CPs	PESAGEM INICIAL [g]	PESAGEM FINAL [g]	MASSA CADINHO [g]	MASSA CORPO DE PROVA [g]	MASSA DAS FIBRAS [g]	MASSA DA MATRIZ [g]	FRAÇÃO MÁSSICA
LM – POL 07	79,3125	77,4528	76,4663	2,8462	0,9865	1,8597	0,35
INF – POL 07	82,8274	82,2373	81,1567	1,6707	1,0806	0,5901	0,65
LM – EPX 07	95,5538	93,8668	92,8260	2,7278	1,0408	1,6870	0,38
LV – EPX 07	90,1528	89,5854	88,5704	1,5824	1,0150	0,5674	0,64
INF – EPX 07	95,6186	95,0222	93,8274	1,7912	1,1948	0,5964	0,67