



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE MATERIAIS



ENG 02298 TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

**Influência da incorporação de resíduos de policarbonato em
compósitos fibra de vidro/poliéster**

Charles Milani
130004

Orientador: Prof. Dr. Sandro Campos Amico
Co-orientadora: Clarissa Angrizani, M.Sc.

Porto Alegre, Julho de 2015

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Sandro Campos Amico, pela orientação deste trabalho.

Ao pessoal do LAPOL (Laboratório de Materiais Poliméricos) e GCOMP (Grupo de Materiais Compósitos e Nanocompósitos) da UFRGS, por toda ajuda prestada, em especial à Clarissa, que participou ativamente de todas as etapas da elaboração deste trabalho.

Ao LDSM (Laboratório de Design e Seleção de Materiais), pelo corte de alguns corpos de prova.

À empresa Elekeiroz, pelo fornecimento da resina poliéster.

À Universidade de Caxias do Sul, pela realização do ensaio de dureza.

À minha família, pelo apoio incondicional.

Às minhas amigas: Flávia, Jessica, Tainá, Tainara, Jacqueline e Laura, pelo incentivo, apoio e companheirismo durante todo o período de realização deste trabalho.

RESUMO

Muitas empresas geram resíduos poliméricos que são descartados na natureza. Muitos desses resíduos, como o policarbonato, são recicláveis ou reaproveitáveis. Uma forma eficiente e simples de reaproveitamento é a incorporação como carga em materiais compósitos. Neste trabalho o intuito foi encontrar uma aplicação para o policarbonato descartado por uma empresa incorporando-o em percentuais de 5% e 10% em compósitos de resina poliéster reforçados com fibra de vidro. O policarbonato foi moído várias vezes até atingir uma granulometria inferior a 1mm e misturado com a resina. Foram confeccionadas 7 placas com diferentes composições e destas foram feitos os corpos de prova para ensaios mecânicos com o intuito de avaliar a influência do policarbonato. Os resultados do ensaio de dureza mostraram uma diminuição desta propriedade com a adição do policarbonato em sua composição. Já no ensaio de resistência à tração mostraram um aumento do módulo de Young e diminuição da tensão de ruptura. A resistência ao impacto diminuiu com 5% e recuperou-se com 10% de policarbonato adicionado. No ensaio de absorção de água não se observou nenhuma alteração. Pode-se dizer que o policarbonato poderia ser usado em aplicações que não exigem boa resistência à tração do compósito, o que traria uma diminuição dos custos da fabricação.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	2
RESUMO.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. OBJETIVO.....	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS.....	7
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS	8
3.2.1 COMPÓSITOS REFORÇADOS COM PARTÍCULAS	9
3.2.2 COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS.....	9
3.3 COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA.....	10
3.3.1 RESINA POLIÉSTER.....	10
3.4 FIBRA DE VIDRO	12
3.4.1 TIPOS DE REFORÇOS EM FIBRAS DE VIDRO.....	13
3.4.1.1 MANTA.....	13
3.4.1.2 ROVING	14
3.4.1.3 TECIDO.....	14
3.4.1.4 FIBRA MOÍDA.....	15
3.4.1.5 COMBINAÇÃO MANTA-TECIDO	16
3.5 PROCESSAMENTO DE COMPÓSITOS.....	16
3.5.1 COMPRESSÃO À QUENTE	17
3.6 POLICARBONATO	18
3.7 RESÍDUOS POLIMÉRICOS VERSUS MEIO AMBIENTE	20
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	22
4.1 MATERIAIS UTILIZADOS	22
4.2 MOAGEM DO POLICARBONATO.....	23
4.3 MOLDAGEM DOS MATERIAIS COMPÓSITOS	24
4.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5.1 DUREZA.....	31
5.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	32
5.3 RESISTÊNCIA AO IMPACTO.....	35
5.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	37
6. CONCLUSÕES.....	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

Muitas indústrias após utilizarem suas matérias-primas e fabricarem seus produtos descartam parte do que não pode ser mais utilizado em seus meios de produção. Esses resíduos muitas vezes podem ser recicláveis ou reaproveitáveis em outras indústrias ou outros produtos e/ou processos de fabricação da empresa geradora do resíduo.

O policarbonato é um polímero que está sendo cada vez mais usado na indústria, devido à sua vasta gama de aplicações, podendo servir em muitos casos como substituto do vidro. Embora o principal mercado consumidor de policarbonato seja o eletroeletrônico (38%), a construção civil representa, em 2014, 20% do consumo (<http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Plasticos-Da-Engenharia/51586706.html>).

Somente uma pequena empresa fabricante de containers em Esteio/RS, de onde foi coletado o policarbonato para a realização deste trabalho, chega a descartar cerca de 10 a 20 Kg por mês. Este volume descartado, acaba indo para um aterro sanitário comum por falta de uma parceria com empresas de reciclagem e/ou reaproveitamento. Surge então, a necessidade de novas soluções para destinação correta deste material.

Uma das formas de reaproveitamento é a utilização como carga em um material compósito, em forma de pó ou pequenas partículas misturadas a uma matriz polimérica podendo aumentar a resistência ao impacto do material ou simplesmente reduzir o custo de produção de um produto.

É comum o uso de cargas minerais em compósitos de matriz termofixa, foram feitos muitos estudos nesse sentido (Pereira, 2012; Garay, et al, 2011; Barros, 2009). Embora não tenha sido encontrado nenhum estudo sobre a incorporação de cargas termoplásticas, como será feito neste trabalho.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é reaproveitar resíduos de policarbonato descartado por indústrias utilizando-os como carga em compósitos de resina poliéster com fibra de vidro para testar as propriedades mecânicas do material resultante através de ensaios mecânicos de tração, dureza, resistência ao impacto e absorção de água, assim avaliando a influência da adição de 5% e 10% do policarbonato misturado com a resina em compósitos com um percentual volumétrico de fibra de vidro de 25 e 30%.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

A exigência de desempenho em estruturas modernas vem propiciando o desenvolvimento de novos materiais, bem como de novas técnicas de fabricação. Normalmente elevados valores de resistência e rigidez específicas são procurados, obtendo-se frequentemente soluções por meio da utilização de materiais compósitos, particularmente polímeros termofixos e reforços fibrosos.

Denominam-se compósitos os materiais que possuem dois ou mais constituintes diferentes que estejam em proporções razoáveis (pelo menos 5% em volume), devem possuir diferentes propriedades químicas e físicas (Matthews e Rawlings, 1999). O material resultante deve ter propriedades ímpares, as quais não são atingidas individualmente, ou seja, os materiais devem agir em sinergia. Um exemplo típico é o compósito de fibra de vidro em resina polimérica. A fibra de vidro confere resistência mecânica enquanto a matriz polimérica, muitas vezes composta de resina poliéster, é responsável pela flexibilidade do compósito (Padilha, 2007).

Os constituintes do reforço proporcionam resistência e rigidez, mas também aumentam a resistência ao calor, corrosão e condutividade. Para o reforço representar uma vantagem para o compósito este deve ser mais resistente e rígido que a matriz. Deste modo a boa interação entre matriz e reforço pode ser garantida pela criação de uma interface entre ambos que possa adequar a rigidez do reforço com a ductilidade da matriz (Ventura, 2009).

Devido às reduzidas dimensões da seção transversal, as fibras não são empregadas diretamente na fabricação de peças e componentes de engenharia. Para formar o compósito, há necessidade ainda da matriz. Assim, nos compósitos, esses elementos aparecem envoltos em um material homogêneo que mantém seu posicionamento relativo e serve como elemento de conformação básica, ou seja, define as dimensões e o formato da peça, tendo também a função de atuar como meio de distribuição das tensões entre os filamentos, bem como criar uma proteção contra ações externas e facilitar o manuseio. Esse material, comumente denominado matriz, tem como exemplos mais usuais os polímeros termofixos, sendo, entretanto, utilizados também em

aplicações mais específicas os cerâmicos e os metálicos, constituindo-se assim as matrizes cerâmicas e metálicas (Marinucci, 2011).

3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Em um contexto bem amplo, os compósitos podem ser classificados em naturais e sintéticos. Entre os compósitos sintéticos, que são o objetivo deste estudo, e considerando as diferentes classes relacionadas com as várias opções de matriz, pode-se enumerar uma série de outras classificações decorrentes dos tipos e arranjos dos reforços existentes, conforme mostra a figura 1. Observa-se que os reforços em um compósito podem consistir-se de fibras ou partículas, caso o reforço seja na forma de fibras, pode-se dispô-las em feixes paralelos entre si, de modo a formar e orientar o reforço em multidireções, multicamadas ou na forma de camadas isoladas ou lâminas. Os compósitos obtidos com reforço multidirecional tem como ponto de partida as preformas têxteis e se constituem em um salto tecnológico no sentido de se obter estruturas maciças de grande volume e com propriedades ajustadas à aplicação a que se destinam (Neto e Pardini, 2006).

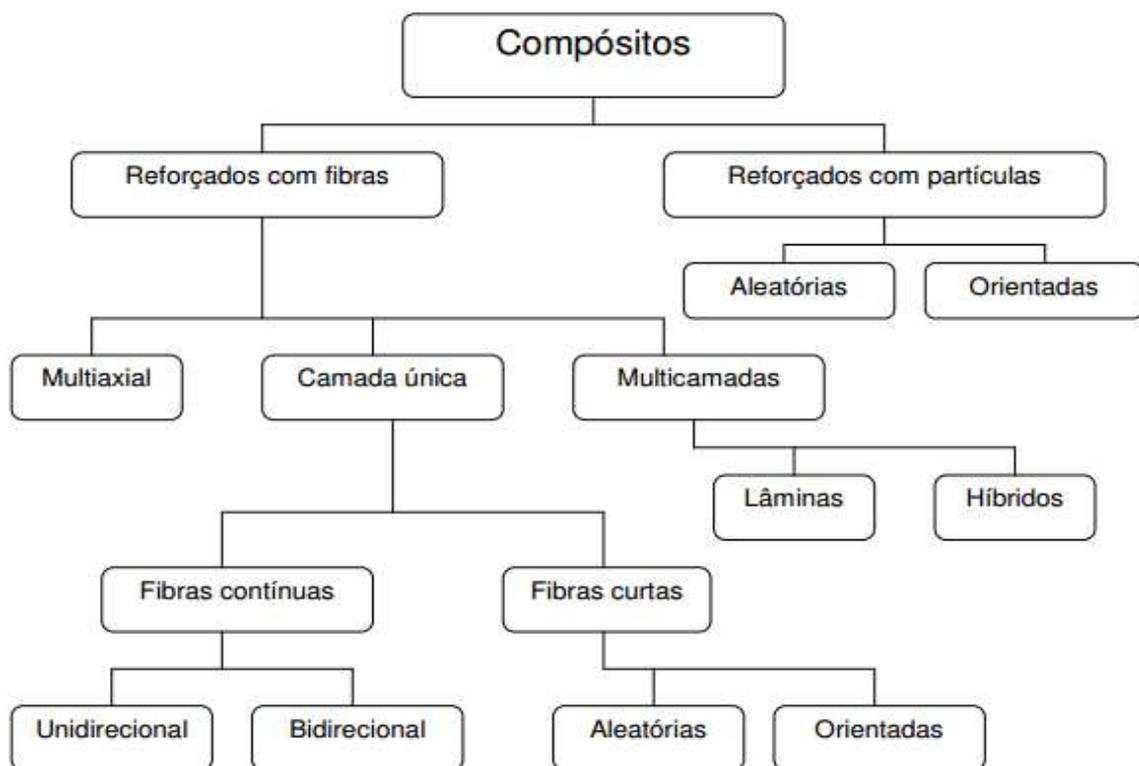


Figura 1 - Classificação dos compósitos sintéticos (Neto e Pardini, 2006)

3.2.1 COMPÓSITOS REFORÇADOS COM PARTÍCULAS

Consistem de partículas imersas em matrizes como ligas metálicas, cerâmicas, polímeros termorrígidos e elastômeros. Estas partículas sempre estarão dispostas de maneira aleatória, o que resulta num compósito isotrópico (mesmas propriedades em todas as direções). Os compósitos reforçados com partículas possuem vantagens como resistência mecânica melhorada, maior temperatura de operação, resistência à corrosão, etc quando comparado ao material da matriz isolado. Exemplos típicos incluem o uso de partículas de alumínio em matriz de borracha e partículas de carbeto de silício em matriz de alumínio (Kaw, 2006).

3.2.2 COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS

Os compósitos com lâminas (camadas) isoladas podem ser subdivididos em compósitos com fibras contínuas ou fibras curtas. Já os compósitos multicamadas podem ser subdivididos em: (i) compósitos laminados, onde um único tipo de fibra é utilizado na manufatura do compósito, mas que podem apresentar orientações definidas e distintas entre as lâminas; e (ii) os compósitos híbridos, onde dois ou mais tipos de fibras de reforço são utilizados, ou o compósito é constituído de lâminas metálicas intercaladas com lâminas de compósito.

Os compósitos obtidos com fibras contínuas podem apresentar reforço unidirecional ou reforço bidirecional (tecidos). Nestes casos, o material é moldado de forma que, em cada camada do compósito, a fase de reforço é contínua e dotada de uma orientação preferencial. Casos particulares de lâminas com reforço fibroso são ilustrados esquematicamente na figura 2.

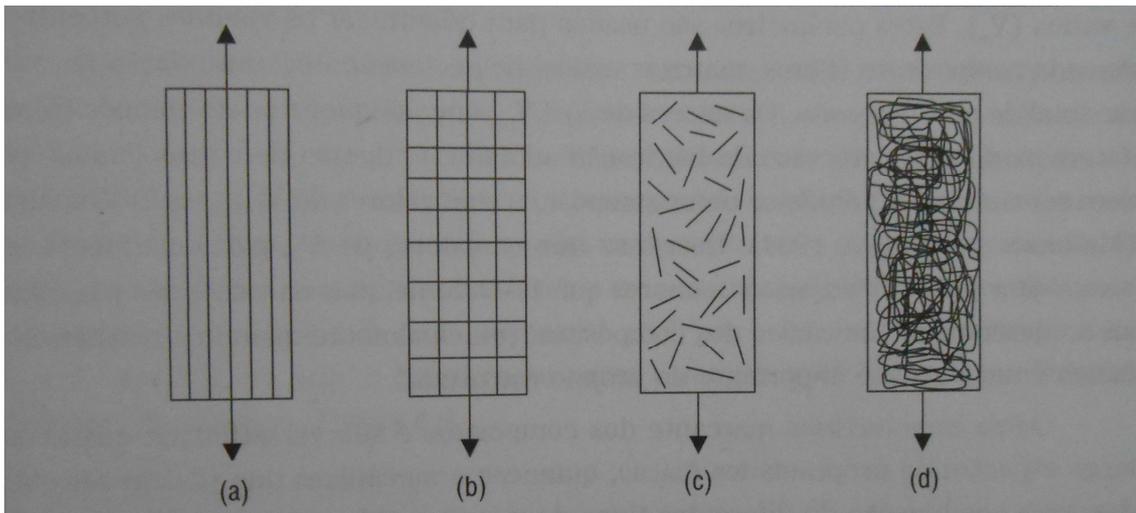


Figura 2 - Lâminas com reforço tipo: (a) unidirecional; (b) tecido bidirecional balanceado; (c) fibras picadas; e (d) manta contínua, submetida a esforços de tração uniaxial longitudinal (Neto e Pardini, 2006)

3.3 COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA

Os compósitos mais comuns são os de matriz polimérica (epóxi, poliéster, poliuretano, etc.) reforçados com fibras (vidro, carbono, aramida, boro, etc.). Os motivos de serem os mais utilizados incluem seu baixo custo, boas propriedades específicas e fácil processamento.

Entre os mais variados tipos de compósitos, pode-se citar a resina termofixa de poliéster insaturada, reforçada com fibra de vidro. Há vários tipos de resinas termofixas, entre as quais se destacam a resina poliéster ortoftálicas e isoftálicas insaturadas, bisfenólicas e éster-vinílicas (Musetti Neto, 1999). Os principais processos de fabricação industriais de compósitos para este tipo de reforço e resina são: pultrusão, moldagem por compressão, prepregs, RTM, laminação contínua ou manual, filament winding, hand lay-up e spray up (Cerchiaro, 2010).

3.3.1 RESINA POLIÉSTER

As resinas de poliéster são uma família de polímeros formados da reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos (anidrido maléico ou ftálico) e glicóis, que, quando reagidos, dão origem a moléculas de cadeias longas lineares. O tipo de ácido influencia as propriedades finais da resina, e poliésteres ortoftálicas, isoftálicas e tereftálicas podem ser produzidas. Se um ou ambos constituintes

principais são insaturados, ou seja, contêm uma ligação dupla reativa entre átomos de carbono, a resina resultante é insaturada (Silva, 2010).

A tabela 1 apresenta os diferentes tipos de resina poliéster.

Tabela 1: Diferentes tipos de resina poliéster
(<http://www.silaex.com.br/poli%E9ster.htm>)

Tipos	Descrição
Ortoftálica	Resina mais comum, de menor custo, para uso básico.
Tereftálica	Possui resistência física um pouco superior à ortoftálica, porém baixa resistência à UV.
Isoftálica	Melhores características mecânicas, químicas e térmicas que as anteriores.
Isoftálica com NPG	O NPG melhora a resistência à hidrólise.
Bisfenólica	Possui melhores características químicas e térmicas.

A reação de síntese da resina poliéster é uma reação de polimerização por condensação em etapas, ou seja, a reação de um álcool (base orgânica) com um ácido, resultando em uma reação de esterificação, formando um éster e água. O grupo funcional (-COO-) é o grupo éster. A reação é reversível e, na prática, o equilíbrio é deslocado na direção da esterificação, com eliminação de água no meio reacional. Se a reação se processar com um diálcool e um diácido, o produto resultante contará com diversos grupos éster, dando origem a um poliéster, cujas unidades são unidas entre si por ligações éster (Neto e Pardini, 2006).

A reação de cura de resinas poliéster insaturadas é realizada com iniciadores do tipo peróxido, que se dissociam formando um radical livre, para então se combinar a uma molécula de monômero, geralmente dissolvido em diluente reativo, como o estireno, formando assim a cadeia polimérica (Ferreira, et al, 2006).

Neste trabalho, será utilizada uma resina ortoftálica, devido ao seu menor custo. Essas resinas são utilizadas para produção de reservatórios de água, peças para automóveis, telhas, cascos de embarcações, orelhões e qualquer outro produto onde não será necessário alta resistência química (<http://www.abcol.com.br/ortoftalica.asp>). Resinas ortoftálicas são aquelas em que na sua composição são utilizados como ácidos modificadores, o ftálico ou

o seu anidrido. Suas propriedades mecânicas e químicas são inferiores às demais, devido à dificuldade de se obter polímeros de alto peso molecular. O anidrido ftálico tem forte tendência de se regenerar a partir dos meios ésteres do ácido ftálico (reação reversível), fato que incrementa a presença de espécies de baixo peso molecular, altamente sensíveis ao ataque químico (<http://www.silaex.com.br/poli%E9ster.htm>). A figura 3 mostra sua estrutura química.

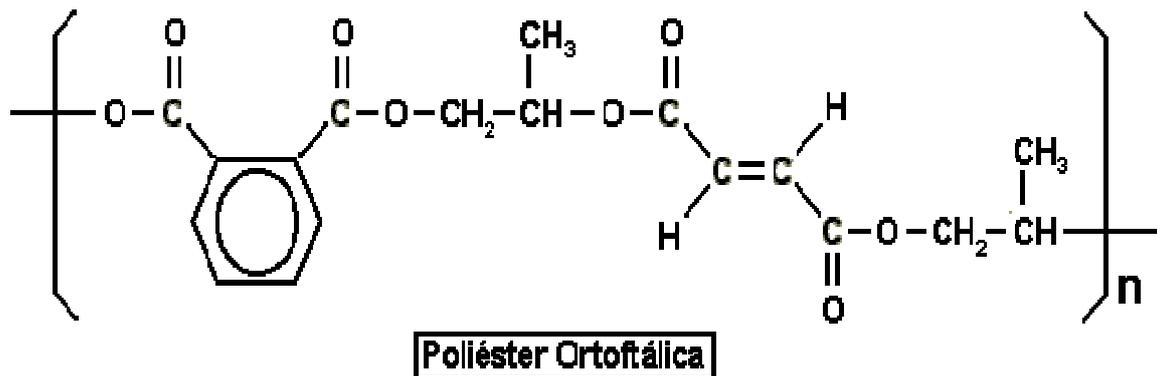


Figura 3 - Resina poliéster ortoftálica insaturada
(<http://www.abcol.com.br/ortoftalica.asp>)

3.4 FIBRA DE VIDRO

Os materiais mais utilizados como reforço na composição de materiais compósitos são as fibras de vidro, somando mais ou menos 90% do uso em resinas termofixas. Devido aos seus atributos favoráveis, são usadas em praticamente todos os segmentos industriais, como indústrias civil, elétrica, automobilística, aeronáutica, etc.

Obtidas através da fusão e fiberização (passagem do líquido por uma fieira e resfriado rapidamente para ganhar a forma de um fio) de diversos óxidos metálicos, é a proporção e natureza deste que define o tipo de fibra de vidro produzido. A diferenciação das fibras de vidro se dá por uma letra, sendo as principais a fibra de vidro E (composta a partir de alumínio, cálcio e silicatos de boro), destinada a produtos que necessitem de alta resistência mecânica e elétrica, e a fibra de vidro S (composta de magnésio e silicatos de alumínio) empregada quando se requer alta resistência mecânica (Jaigobind, et al, 2007).

As fibras de vidro em geral são os reforços mais utilizados porque elas apresentam uma série de características favoráveis que fazem com que se opte por elas. Tais propriedades são:

- alta resistência mecânica;
- resistência à tração superior a quase todos os metais;
- boa resistência ao impacto;
- baixa absorção de água;
- resistência química à maioria dos microorganismos;
- baixo coeficiente de dilatação térmica;
- excelentes propriedades elétricas;
- fácil moldagem das peças;
- baixo custo;
- incombustibilidade;
- permite a obtenção de materiais translúcidos.

3.4.1 TIPOS DE REFORÇOS EM FIBRAS DE VIDRO

As fibras de vidro usadas como reforço da resina podem se apresentar com diferentes configurações. Tais diferenças variam de acordo com o processo de fabricação e com as características desejadas no produto final. As principais formas e arranjos das fibras de vidro no mercado são descritas a seguir.

3.4.1.1 MANTA

No mercado de compósitos existem dois tipos de manta de fibra de vidro: a manta de fios cortados e a manta de fios contínuos.

A manta de fios cortados é feita de fios talhados em determinados comprimentos e aglomerados por um ligante químico. Existem vários tipos, diferenciando-se de acordo com o diâmetro, fio base, tipo de vidro, ensimagem (aplicação de um lubrificante na superfície do fio com o objetivo de diminuir o atrito entre os fios e melhorar a maleabilidade e compatibilidade com a resina) aplicada e tipo de elemento ligante. A apresentação do produto se dá em rolos

bobinados. É a forma mais comum e mais aplicada em compósitos (Jaigobind, et al, 2007).

A manta de fios contínuos é semelhante à de fios cortados no seu processo de fabricação, diferindo apenas que neste caso os fios contínuos são associados à manta. Do ponto de vista da aplicação, a diferença essencial está em seu nível de deformabilidade, que permite realizar pré-formas profundas com um alargamento regular da manta em todas as direções (Jaigobind, et al, 2007).

3.4.1.2 ROVING

Existem três tipos: roving para enrolamento, spun roving e roving de laminação por injeção.

Os rovings para enrolamento são filamentos paralelos unidos em uma mecha. Devem receber tratamento químico para que se tornem compatíveis com as resinas a serem empregadas no processo. Este tipo de roving é apresentado no mercado em diversas gramaturas (Jaigobind, et al, 2007).

O spun roving ou roving frisado possui frisos constituintes de um reforço perpendicular à direção principal dos materiais compósitos unidirecionais, que são moldados por pultrusão. O spun roving aumenta a resistência contra o cisalhamento interlaminar, que ocorre em função da tendência de deslizamento entre o vidro e a resina (Jaigobind, et al, 2007).

Os rovings de laminação por injeção são fabricados com o argumento dos filamentos, e possuem como característica principal a grande facilidade de abertura ao corte (Jaigobind, et al, 2007).

3.4.1.3 TECIDO

A fabricação dos tecidos é feita tecendo-se os rovings de diferente ou igual gramatura diretamente conforme a direção desejada e o tipo de tecido que se deseja obter. Existem várias distinções quanto aos tipos de tecidos, sendo elas: bidirecional, telas, sarja e unidirecional.

No caso dos bidirecionais, os fios ficam dispostos a 90° uns sobre os outros, ligados por um fio que representa menos de 10% do volume. Nos

tecidos de tela, os fios de trama e urdume ficam entrecruzados alternadamente. Os tecidos de sarja, a fim de se conseguir linhas diagonais que caracterizam este produto, tem os fios de urdume e trama entrecruzados em ordem e frequência programadas, como mostra a figura 4.

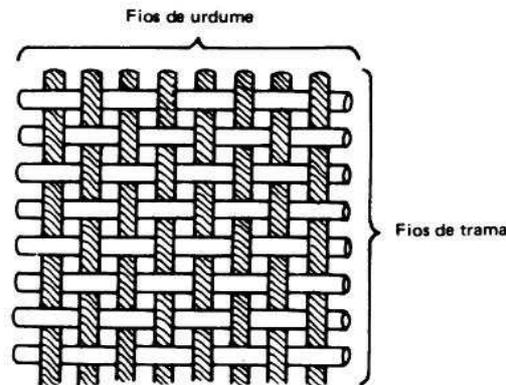


Figura 4: fios de urdume e fios de trama
(<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgtYAK/textil-conceitos-basicos-producao-textil-tecidos#comments>).

Nos tecidos unidirecionais, os fios são mais elevados em uma direção do que em outra, sendo esta direção definida de acordo com as solicitações mecânicas. No caso deste produto, os fios são dispostos em paralelo ou unidos por elos (Jaigobind, et al, 2007).

3.4.1.4 FIBRA MOÍDA

As fibras são reduzidas em tamanhos entre 0,1 a 0,02 milímetros, com diâmetros entre 1 e 7 μm , por uma operação de trituração. As fibras de vidro moídas geralmente são usadas como reforço de resina termoplástica e de poliuretano, na maioria das vezes, sem ensimagem (Jaigobind, et al, 2007).

Fibras moídas podem ser adicionadas também como carga (caso em que o objetivo da mesma não é aumentar as propriedades mecânicas e sim reduzir o custo de fabricação do produto polimérico) em compósitos, embora geralmente apresentem comprimento inferior ao comprimento crítico (necessário para que a carga seja transferida da matriz para a fibra), costumam prejudicar a resistência à tração, mas não tem grande influência no módulo de Young e na dureza do compósito (Castro e Amico, 2009).

3.4.1.5 COMBINAÇÃO MANTA-TECIDO

Com deformabilidade bastante baixa, os combinados manta-tecido podem ser usados somente em peças planas ou com grandes raios de curvatura, sendo bastante usada quando se objetiva economizar tempos de moldagem e laminação.

Este tipo de reforço consiste na associação de mantas de fios contínuos, cortados ou de superfície com tecidos, mediante um meio mecânico ou um ligante químico (Jaigobind, et al, 2007).

3.5 PROCESSAMENTO DE COMPÓSITOS

O conceito de processamento de compósitos estruturais é impregnar o reforço com uma determinada matriz, de forma que ao final do processo, o compósito, com geometria definida, esteja praticamente em condições de uso, ou seja, na fabricação de compósitos a necessidade de usinagem é mínima (Rezende, et al, 2011).

A escolha do processo mais adequado para cada tipo de compósito é determinada pelo tipo de matéria prima, tipo de reforço (particulado, fibra longa ou curta), matriz (cerâmica, polimérica ou metálica), tipo de geometria do componente a ser obtido e principalmente para qual aplicação e esforço o material será exigido (Botelho e Rezende, 2006; Phillips, et al, 1997).

A figura 5 apresenta os processos de fabricação mais utilizados para materiais compósitos.

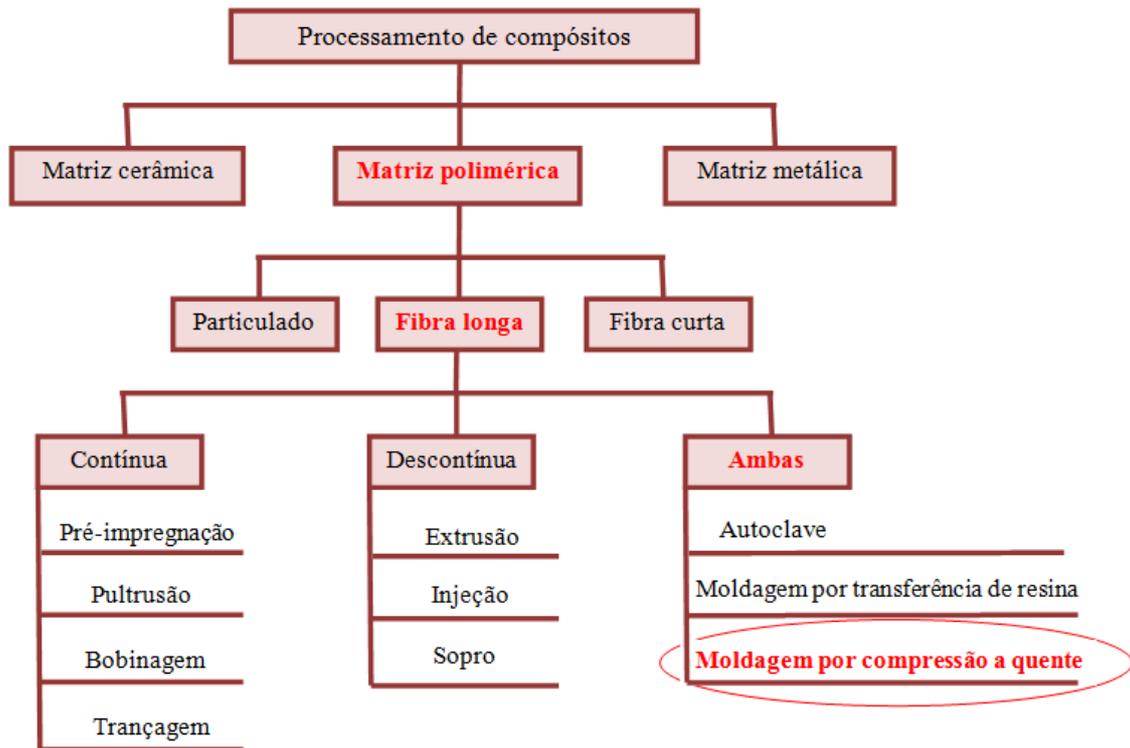


Figura 5: diagrama dos diferentes tipos de processamento de compósitos (Fogaça, 2015)

Neste trabalho será abordado apenas o método de compressão à quente visto que o mesmo foi selecionado para confecção dos materiais compósitos deste estudo.

3.5.1 COMPRESSÃO À QUENTE

Os compósitos obtidos via moldagem por compressão à quente podem ser processados a partir do empilhamento das camadas de reforço intercalado com pequenas quantidades de resina entre as camadas (com orientação definida ou não), dentro de um molde metálico previamente preparado com desmoldante. Em seguida, faz-se o fechamento do molde pelo abaixamento da parte superior da prensa resultando na consolidação do material pela pressão aplicada. A espessura do material resultante é previamente calculada, levando-se em consideração o número de camadas empilhadas (Nogueira, 2004; Neto e Pardini, 2006).

Durante a moldagem a aplicação de um valor de pressão adequado é necessária, de forma a garantir a penetração da matriz através do reforço, favorecendo sua impregnação homogênea, pois impregnações heterogêneas podem resultar em compósitos com propriedades finais reduzidas devido ao aumento do teor de vazios (Lorusso, 2010; Gao e Kim, 2001).

O processo de moldagem por compressão à quente encontra-se dividido, basicamente, em três etapas: aquecimento, consolidação e resfriamento. Na primeira etapa, a temperatura do sistema é elevada até o valor desejado (suficiente para acelerar o processo de cura em tempo razoável) e ocorre o encontro das cavidades do molde, que força a penetração da resina entre as camadas de fibra, e expulsa o excesso de resina pelas áreas laterais do molde. Logo após esse período, na segunda etapa, ocorre a consolidação, onde a temperatura permanece constante por um determinado período de tempo, denominado tempo de residência, esse tempo é necessário para que ocorra a cura da resina. Na terceira etapa, ocorre a desmoldagem da peça e o resfriamento natural.

3.6 POLICARBONATO

O policarbonato é um material termoplástico amorfo que começou a ser fabricado industrialmente em 1953 pela Bayer e General Electric independentemente (Dumont, 2007).

A capacidade total mundial de produção em 2012 foi estimada em 4,7 milhões de toneladas (Pardos, 2012).

Mais comumente é sintetizado pela reação do bisfenol A (BPA) e fosgênio (COCl_2) solubilizado em solvente orgânico, diclorometano, por reação de policondensação interfacial. Neste processo, o policarbonato é formado na interface de uma solução aquosa de alcóxido bisfenol A de sódio e solução de fosgênio em diclorometano. Torna-se solúvel na fase orgânica à medida que este se forma. Após sua síntese a resina passa por processos de extração, concentração, precipitação e secagem (Defferrari, 2013; Dumont, 2007; LeGrand, 2000).

A representação do mero do policarbonato pode ser vista na figura 6.

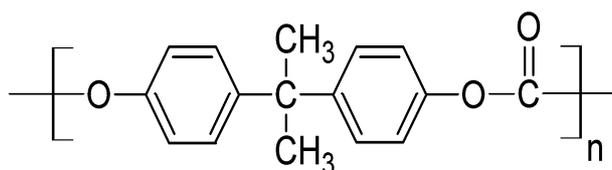


Figura 6: Representação da estrutura química do mero do policarbonato (Canevarolo, 2002)

Essa rota de produção tem sofrido variações e estudos alternativos em função da toxicidade do fosgênio visando suprimi-lo, pois além de tóxico, é corrosivo e extremamente poluente, tendo já sido utilizado como arma química na primeira guerra mundial.

As vantagens do policarbonato são a transparência, que confere uma excelente estética, alta resistência ao choque, alta resistência térmica, que permite sua utilização até 120°C, boas propriedades elétricas, estabilidade dimensional, alto índice de refração, facilidade de colorir e misturar, resistência à chama sem halogênios e propriedades estruturais ajustáveis para aplicações de engenharia e bens de aplicações duráveis (LeGrand, 2000; Dumont, 2007).

Algumas propriedades do policarbonato são: módulo de Young de 2,3 a 2,4 GPa, resistência à tração de 65 a 75 MPa, dureza 78 shore D, e resistência ao impacto de 12kJ/m² (Dumont, 2007).

As propriedades que causam desvantagem na aplicação do policarbonato são a baixa resistência a agentes químicos, baixa resistência à abrasão, necessidade de secagem antes do emprego e necessidade de aditivos para resistir à radiação UV. Além da toxicidade dos fosgênio, precursor da formulação na rota de síntese por policondensação, e o bisfenol A (Pardos, 2012; Dumont, 2007).

O policarbonato é muito empregado, possuindo diversas formulações ("grades"). Ele é aplicado também em diversas blendas, que por definição é a mistura física de dois ou mais polímeros ou copolímeros, que não estão ligados por ligações covalentes (Stevens, 1999) as mais importantes são PC/ABS e PC/PBT, sendo usado também em blendas com PET e outros estirenos (Pardos, 2012).

Em função da tamanha diversidade de grades e consequentes propriedades surgem aplicações diversas. As mais conhecidas são as mídias

ópticas (CD e DVD), mas atualmente em declínio em função das novas tecnologias de armazenamento de informações. Atualmente o setor que mais emprega este material é o da construção civil, em vidraças, caixas de ar-condicionado, telhas e substituição de vidros em geral. Outros campos de atuação são o automobilismo, como faróis de carros, o setor de embalagens, como garrafas reutilizáveis, equipamentos eletrodomésticos, aplicações médicas, entre outras (Dumont, 2007; Pardos, 2012)

Devido a tantas aplicações modernas, muitas indústrias utilizam em grandes quantidades e acabam descartando pequenos pedaços de policarbonato.

3.7 RESÍDUOS POLIMÉRICOS VERSUS MEIO AMBIENTE

Com a crescente degradação do meio ambiente, é imprescindível e urgente o repensar relacionado ao desenvolvimento de novos métodos de produção e obtenção de matérias-primas. Isso torna muito importante a redução do consumo de matéria prima virgem, principalmente no que tange à indústria de produtos poliméricos (vidales, 2011)

Até a década de 60, a indústria de polímeros era associada apenas com problemas ambientais relacionados ao processo de produção, que em princípio podem ser controlados com manutenção eficiente e tecnologias adequadas. Entretanto, o grande crescimento do consumo de polímeros, acelerado pelo seu crescente uso em produtos de curta duração, acabou por transformar os próprios produtos plásticos num problema ambiental, ao gerar enormes volumes de lixo que se degradam muito lentamente, têm um impacto visual muito negativo e cuja gradual decomposição, em certos casos, origina substâncias nocivas e muito duradouras. Em países como os Estados Unidos o consumo de polímeros chega aos 85 kg por habitante e no Japão onde esse consumo chega aos 100 kg se torna ainda mais preocupante (<http://polimeros.no.sapo.pt/ambiente.html>).

O consumo mundial de resinas poliméricas dá uma dimensão da produção e do mercado mundial, cuja demanda apresenta crescimento exponencial. Do modesto volume de 1,5 milhões de toneladas na década de

1950, saltou para 50 milhões de toneladas, em 1976, até 245 milhões de toneladas, em 2008 (BNDES setorial 31, 2010).

A reciclagem em geral é complexa. Os polímeros possuem ciclos e interações com grau de complexidade mais elevado do que a população em geral imagina, envolvendo diferentes etapas de reciclagem e tipos de profissionais distintos (Zanin, 2004)

Sendo assim, parece ser mais viável o reaproveitamento dos polímeros utilizando-os como carga ou outras formas do que a reciclagem em si.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho encontram-se listados abaixo:

→ Policarbonato moído (resíduo da linha de produção de placas de uma empresa) com dimensões na faixa de 10 a 30 cm;

→ Resina poliéster insaturada ortoftálica (OC-5518M) fabricada pela Elekeiroz;

→ Manta de fibra de vidro-E (gramatura 300g/m²) fabricada pela Owens Corning;

→ Iniciador Butanox 50 da empresa fornecedora Fiberglass,

→ Cera de carnaúba da empresa fornecedora Tecglaze - N

Primeiramente, foram coletadas algumas placas de policarbonato que seriam descartadas de uma empresa em Esteio, região metropolitana de Porto Alegre. Esta empresa fabrica containers habitáveis para venda e locação. Devido ao transporte constante, os containers para locação contêm janelas com policarbonato ao invés de vidro, para evitar que se quebrem durante o deslocamento na ida e volta até os locais solicitados pelos clientes. Sendo assim, uma quantidade considerável de policarbonato é descartada todos os meses gerando um problema ambiental, sendo que, como a maioria dos polímeros, o policarbonato leva séculos para se degradar na natureza. A figura 7 mostra o material descartado pela empresa.



Figura 7: Sobras de policarbonato para descarte em uma empresa

4.2 MOAGEM DO POLICARBONATO

As placas de policarbonato foram moídas primeiramente no moinho Rone SRB2305 localizado no Laboratório de Caracterização de Materiais (LACAR) da UFRGS com peneira de 0,5cm, após peneirado utilizando o sistema de peneiras Bertel Aaker, localizada no Laboratório de Materiais Poliméricos (LAPOL) da UFRGS, foram utilizadas as peneiras de 1mm e 500 μm , mas a quantidade de partículas menores mesmo com menos de 1mm foi de apenas alguns gramas, muito aquém do necessário para a confecção das placas de compósito. O próximo moinho utilizado foi o Retsch SM 2000, localizado no mesmo laboratório do anterior, com peneira de 1mm, esta tentativa não foi bem sucedida, pois muito pouco do material passou pela peneira, além disso, o moinho travou muitas vezes durante a moagem.

Também foi feita uma tentativa com um moinho IKA Labortechnik M20 utilizando nitrogênio líquido, este processo foi muito demorado, pois o moinho é pequeno e o material precisou ser adicionado em pequenas quantidades com adição de um pouco do nitrogênio líquido de cada vez. Esta tentativa também não surtiu efeito, visto que, após o peneiramento, apenas mais alguns gramas do policarbonato já moído várias vezes passou pela peneira de 1mm.

Diante dos relatos anteriores, optou-se utilizar para finalização deste trabalho o moinho Retsch SM 300, também localizado no mesmo laboratório dos demais anteriores, com este foi obtido após o peneiramento cerca de 200g de polycarbonato abaixo de 1mm, quantidade suficiente para confecção das placas de material compósito necessárias para obtenção dos corpos de prova para realização dos ensaios mecânicos.

A figura 8 mostra imagens dos moinhos utilizados.

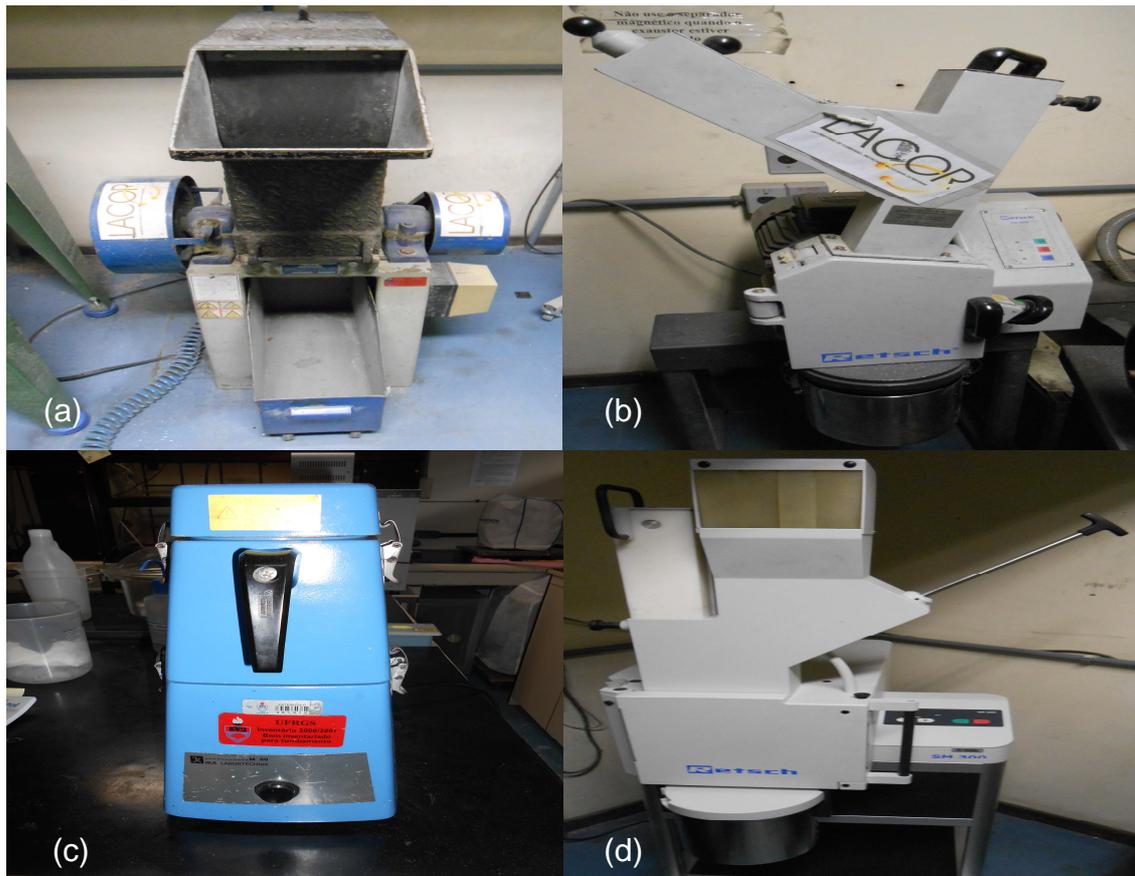


Figura 8: Moinhos utilizados: (a) Rone SBR2305, (b) Retsch SM2000, (c) IKA Labortechnik M20, (d) Retsch SM300

4.3 MOLDAGEM DOS MATERIAIS COMPÓSITOS

Foram confeccionadas placas de compósitos nas formulações conforme a Tabela 2. Foi moldada uma placa para cada formulação, para a confecção das mesmas foi utilizado um molde em aço inox 304 com dimensões de 17 x 27 x 0,4 cm conforme a Figura 9,

Tabela 2: Composição das placas produzidas

Nomenclatura	Poliéster (%V) - Po	Fibra de Vidro (%V) - Fv	Policarbonato (%W/ W Po) - Pc
75Po/25Fv/0Pc	75	25	-
75Po/25Fv/5Pc	75	25	5
75Po/25Fv/10Pc	75	25	10
70Po/30Fv/10Pc	70	30	10
100Po/0Fv/0Pc	100	-	-
100Po/0Fv/5Pc	100	-	5
100Po/0Fv/10Pc	100	-	10

%V – Fração volumétrica

%W – Fração mássica



Figura 9 –Imagem do molde utilizado neste trabalho.

As placas tiveram 3 procedimentos distintos de fabricação devido à natureza física e quantidade/tipo dos constituintes. No entanto isto teoricamente não influenciou nas propriedades do compósito final.

Para as três primeiras composições foram colocadas 8 mantas de fibra de vidro, o que representa 25% em volume de fibras, e a resina poliéster previamente misturada com o PC (se presente) e o iniciador a uma proporção mássica de 1,3% foi inserida entre as camadas, com uma pressão de 3 bar/temperatura 90°C durante a moldagem por compressão. O molde permaneceu na prensa hidráulica durante 75 minutos para cura da resina e posterior desmoldagem. A quarta composição, com 30% de fibra de vidro, o

procedimento foi o mesmo das três primeiras, mas com 10 camadas de fibra ao invés de 8, resultando em 30% em volume de fibra de vidro.

Para as placas sem fibra de vidro, o molde foi preenchido totalmente com a resina poliéster pura/ ou a mistura poliéster com policarbonato dependendo da composição. Nestes casos foi aplicada uma pressão mínima suficiente para travar os espaçadores de 0,4 cm garantindo a espessura da placa similar as demais, com temperatura e tempo de cura igual as anteriores. Para todos os compósitos foi realizado pós-cura para garantir a que cura do compósito foi completa. A figura 10 mostra imagens das placas confeccionadas, através destas imagens é possível verificar a dificuldade de dispersão da resina com policarbonato moído (resultante da alta viscosidade da mistura, o que limitou-nos de inserir um percentual mássico de policarbonato maior) entre as mantas de fibra de vidro o que originou distribuição não uniforme da mistura poliéster/policarbonato no compósito.

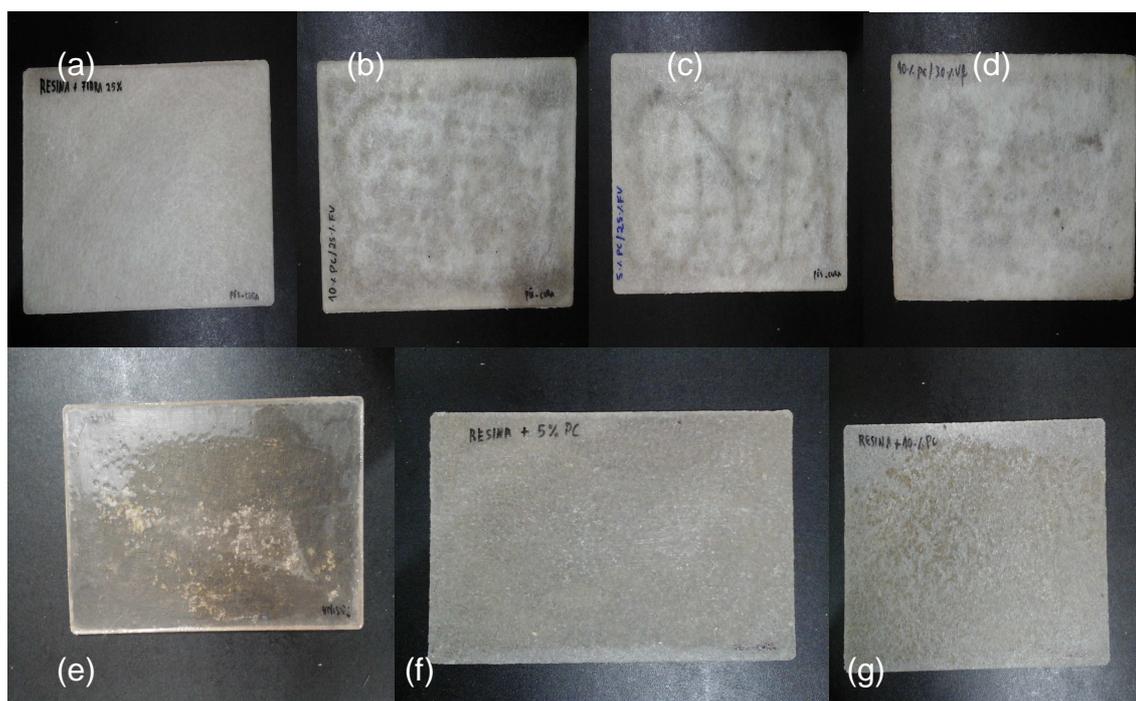


Figura 10: Imagens das 7 placas confeccionadas: (a) 75Po/25Fv/0Pc, (b) 75Po/25Fv/5Pc, (c) 75Po/25Fv/10Pc, (d) 70Po/30Fv/10Pc, (e) 100Po/0Fv/0Pc, (f) 100Po/0Fv/5Pc, (g) 100Po/0Fv/10Pc.

4.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para cada formulação, foram confeccionados 5 corpos de prova para ensaios de tração (conforme a ASTM D3039), 7 para resistência ao impacto (conforme a ASTM D256) e 4 para absorção de água (conforme a ASTM D5229). As amostras foram cortadas na serra de disco circular (marca Norton modelo TT 200 EM). Após, os corpos de prova foram lixados (Polidriz Pantec modelo Polipan U) e medidos (largura e espessura no caso de tração e impacto).

4.5 PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS

Os ensaios de dureza realizado foi o Shore D, devido ao fato deste ensaio não exigir dimensões específicas da amostra exceto espessura, e o mesmo não causar deformações sérias no corpo-de-prova visto que o ensaio é realizado nas camadas mais próximas da superfície do corpo-de-prova, o ensaio foi realizado nas amostras de tração antes do ensaio. Foram realizadas sete medidas obedecendo as exigências da ASTM 2240. Este ensaio foi realizado na Universidade de Caxias do Sul (UCS) no durômetro digital da marca Mainard modelo M-702.

Para o ensaio de impacto, foi utilizada uma máquina da marca CEAST modelo IMPACTOR II. Para a realização deste ensaio primeiramente foram realizados entalhes nos corpos-de-prova conforme a ASTM D256 para o ensaio tipo Izod na entalhadeira da marca CEAST modelo NOTCHVIS, localizada no Laboratório de Materiais Poliméricos - LAPOL da UFRGS.

O teste foi realizado em 7 corpos de prova de cada composição,, sendo que nas amostras com fibra de vidro (1, 2, 3 e 4) foi utilizado um martelo de 11J e nos corpos de prova sem fibra (5, 6 e 7) foi utilizado um martelo de 0,5J. O uso destes dois martelos foi necessário porque a energia de absorção do material deve estar entre 20 e 80% da energia do martelo. A norma utilizada foi a ASTM D256.

A figura 11 apresenta mostra uma imagem da máquina utilizada.



Figura 11: Máquina de ensaios de impacto CEAST IMPACTOR II.

Para o ensaio de tração foi utilizada uma máquina universal de ensaios INSTRON 3382 (figura 12) com vídeo extensômetro (dispositivo utilizado para obter o módulo de elasticidade) e célula de carga de 100 KN. A velocidade utilizada foi de 2 mm/min, e para as amostras sem fibra de vidro pelo fato de serem mais sensíveis ao aperto da garra pneumática foram utilizados tabs (conforme a ASTM D3039). Para cada composição foram testados 5 corpos de prova segundo a norma e para medir a resistência a tração dos compósitos com fibra de vidro foi necessário utilizar a garra mecânica devido às limitações da garra pneumática quanto a carga máxima.

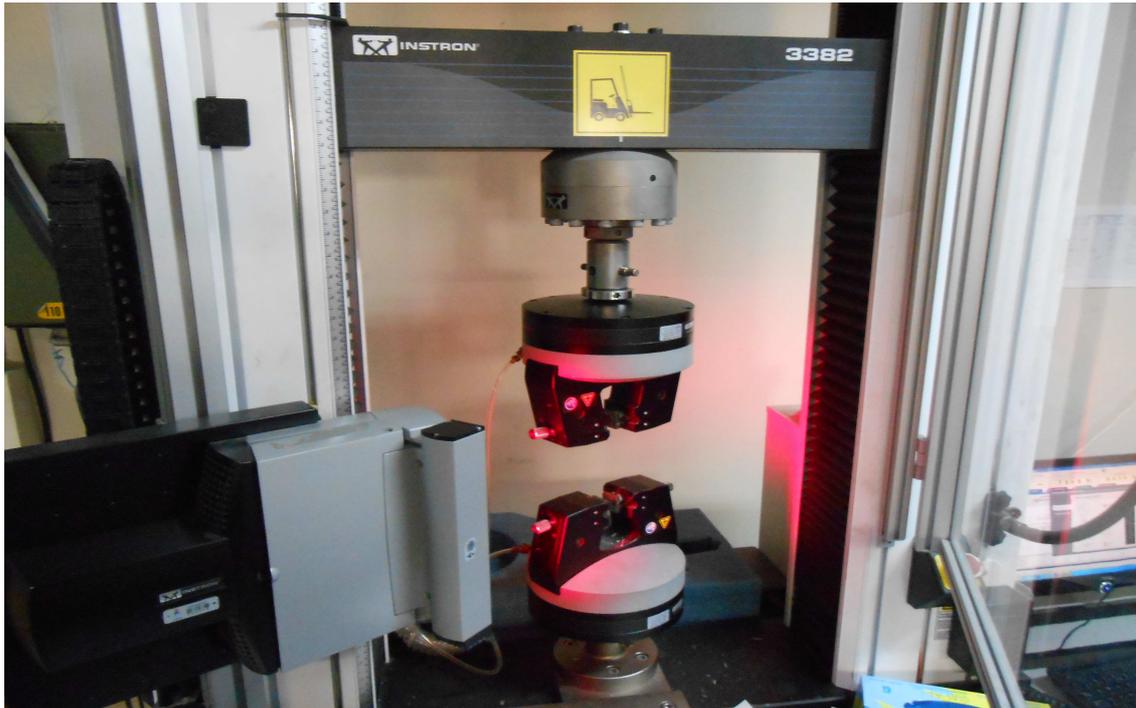


Figura 12: máquina universal de ensaios INSTRON 3382 com vídeo extensômetro e célula de carga de 100 KN.

Para os ensaios de absorção de água previamente as amostras antes da imersão receberam uma espécie de selagem na região da parte seccionada durante a confecção dos corpos de prova. O procedimento foi realizado de acordo com a norma ASTM D5229, e foram feitos 4 corpos de prova para cada composição com dimensões 100 x 25 x 4 mm. As amostras foram pesadas inicialmente antes de serem inseridas na água destilada a temperatura ambiente, após períodos pré-determinados as amostras foram retiradas da água com posterior secagem das superfícies com papel toalha e pesadas novamente, sendo inseridas na água novamente. A figura 13 mostra todos os corpos de prova imersos em água destilada no início do teste.



Figura 13: corpos de prova para ensaio de absorção de água.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DUREZA

Através da tabela 3 pode-se observar que nos compósitos com 25% de fibra de vidro, a adição de 5% e 10% de policarbonato causou uma diminuição significativa da dureza, o que pode ser explicado pelo fato de que o policarbonato possui uma dureza muito menor (devido à fragilização pelas sucessivas moagens pelas quais este material foi submetido) que a resina poliéster, logo, quanto mais policarbonato na mistura, menor deverá ser a dureza. Outro fato que pode contribuir é a granulometria relativamente grosseira do policarbonato, com partículas da ordem de 1mm, o que deve ocasionar um afastamento maior entre as camadas de fibra de vidro no compósito, o que pode prejudicar a dureza visto que a mesma é medida nas camadas mais próximas da superfície na qual é realizada o ensaio. É observado novamente na tabela 3 uma redução na dureza com a presença de policarbonato em matriz poliéster na ausência de fibra de vidro devido a maior flexibilidade do policarbonato quando comparado a matriz poliéster.

Na comparação dos compósitos com diferente teor de fibra de vidro e a mesma quantidade de policarbonato (10%), a dureza é praticamente a mesma (estatisticamente insignificante, variação menor que 3%) nos dois casos. Portanto, uma quantidade 5% maior (ou seja, duas camadas a mais) não interferiu significativamente nas medidas de dureza, visto que esta é uma propriedade medida na superfície do material.

Tabela 3: Média e desvio padrão das medidas de dureza

Amostra	100Po/ 0Fv/ 0Pc	100Po/ 0Fv/ 5Pc	100Po/ 0Fv/ 10Pc	75Po/ 25Fv/ 0Pc	75Po/ 25Fv/ 5Pc	75Po/ 25Fv/ 10Pc	70Po/ 30Fv/ 10Pc
Dureza (Shore D)	11 ± 1	9 ± 1	9 ± 1	22 ± 1	17 ± 1	15 ± 2	14 ± 1

5.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Com o ensaio de resistência à tração foi possível obter o módulo de Young e a tensão de ruptura das amostras conforme a figura 14. Com relação ao módulo de Young pode-se observar que, nos compósitos com 25% de fibra de vidro houve um pequeno aumento ($\approx 8\%$) com a adição de 5% de policarbonato, enquanto que com adição de 10%, o módulo diminuiu ($\approx 7\%$), o que pode ser devido a não homogeneidade da composição dos compósitos policarbonato/poliéster em toda sua extensão como é possível observar na figura 10. Juntamente com irregularidades na superfície que podem ser influenciadas pela alta granulometria do policarbonato. Estes efeitos podem ser minimizados com a utilização de um extensômetro ao invés de um vídeo extensômetro.

No caso dos compósitos com 10% de PC, o aumento do teor de fibra de 25% para 30% aumentou consideravelmente o módulo, já que a fibra de vidro proporciona rigidez ao compósito.

Nas placas de poliéster sem fibra de vidro o policarbonato adicionado passa a atuar como reforço particulado, tornando a placa uma espécie de compósito reforçado por partículas, aumentando muito a sua rigidez, e consequentemente o módulo de Young.

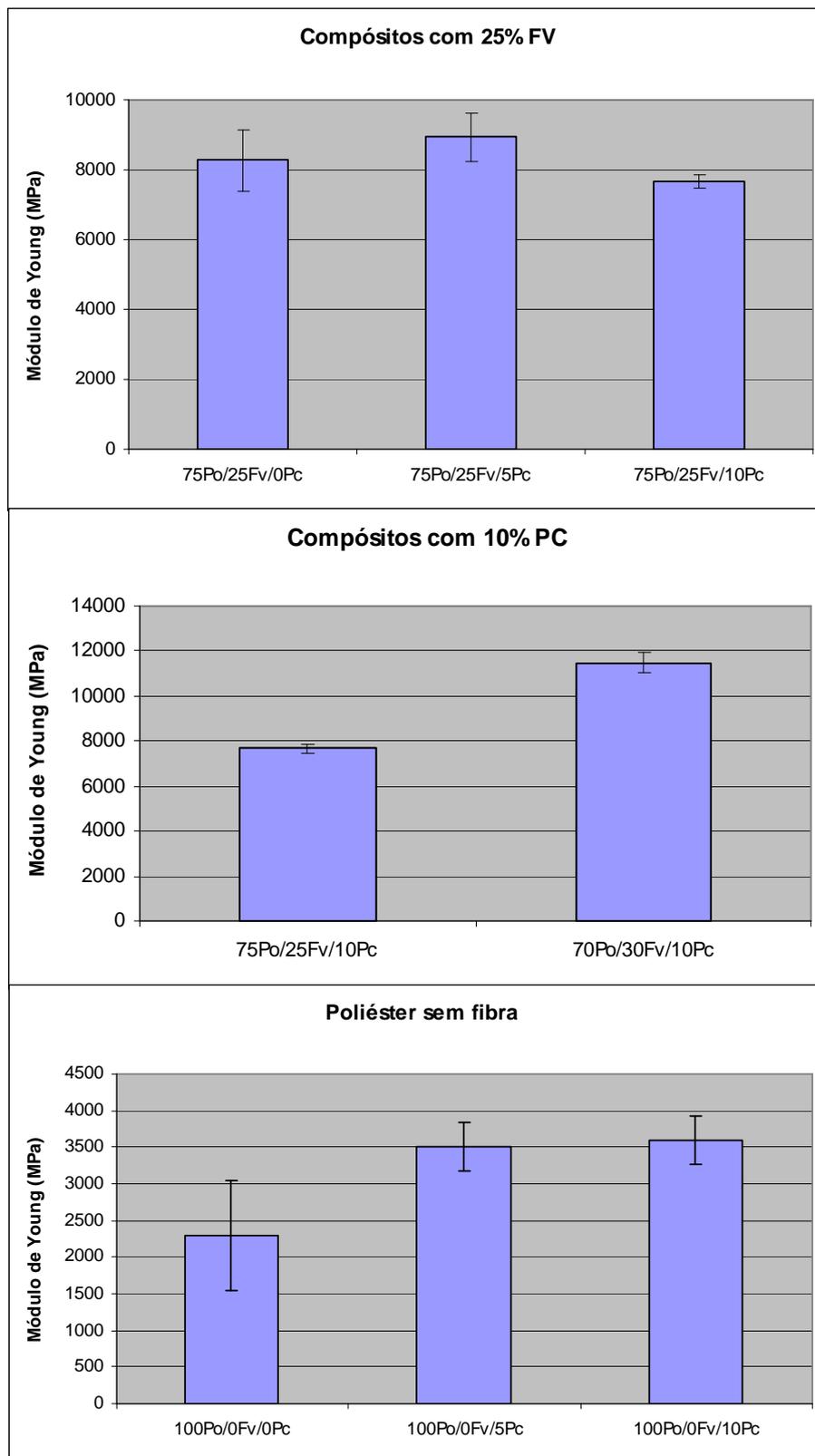


Figura 14: Módulo de Young para cada composição medido no ensaio de tração

Com relação à tensão de ruptura, como pode-se observar nos gráficos da figura 15 para os compósitos com 25% de fibra de vidro, a adição de 5% e 10% de policarbonato causou uma diminuição da resistência à tração, isto pode ser

explicado pelo fato de o policarbonato atuar como concentrador de tensões, assim prejudicando o desempenho mecânico em tração dos compósitos (Garay, 2010).

No caso dos compósitos com 10% de PC, a tensão de ruptura é maior no compósito com 30% de fibra de vidro, este resultado já é esperado, pois uma quantidade maior de reforço tende a melhorar o desempenho mecânico em tração do compósito.

Nas placas de poliéster sem fibra, a adição de 5% de policarbonato causou uma diminuição significativa (cerca de 30%) na tensão de ruptura, pois o policarbonato em baixas concentrações atua apenas como uma impureza na resina termofixa, concentrando tensões e prejudicando o desempenho mecânico. Já em concentração de 10%, o policarbonato passa a atuar como se fosse um reforço particulado na resina, tornando-a um compósito reforçado por partículas, assim, recuperando o desempenho mecânico.

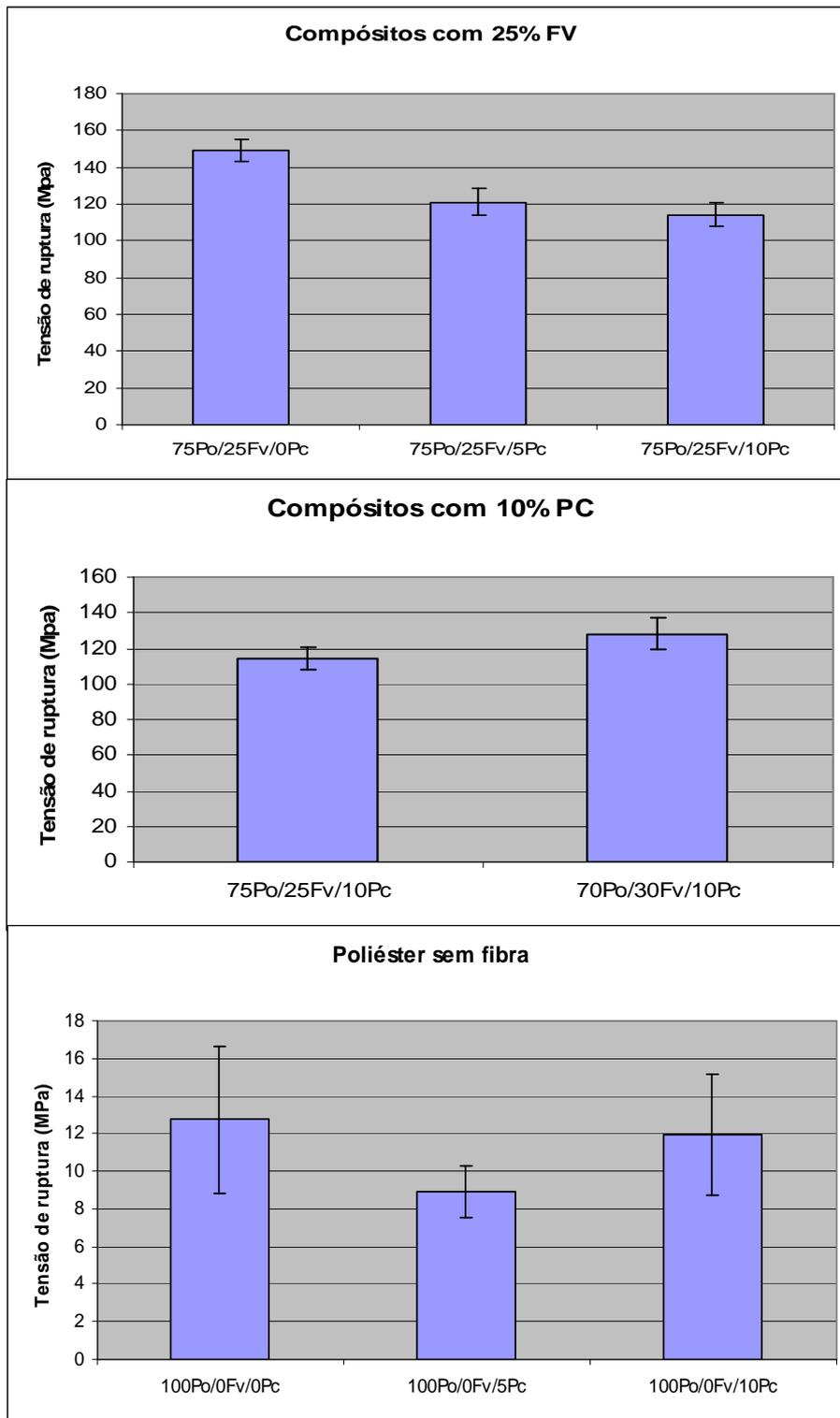


Figura 15: tensão de ruptura das amostras, obtida no ensaio de tração

5.3 RESISTÊNCIA AO IMPACTO

Os resultados do ensaio de resistência ao impacto são mostrados na figura 16.

Pode-se observar que nos compósitos com 25% de fibra de vidro, a adição de 5% de policarbonato causou uma diminuição da resistência ao impacto, sendo assim, provavelmente as partículas de PC atuaram como concentradoras de carga facilitando propagação das trincas e o rompimento do corpo de prova.

No compósito com 10% de PC, a diminuição da resistência foi menor, pois essa concentração maior faz com que mais partículas de PC estejam próximas da superfície do corpo de prova, ajudando a absorver mais energia no impacto e melhorando um pouco a resistência em comparação com o caso anterior.

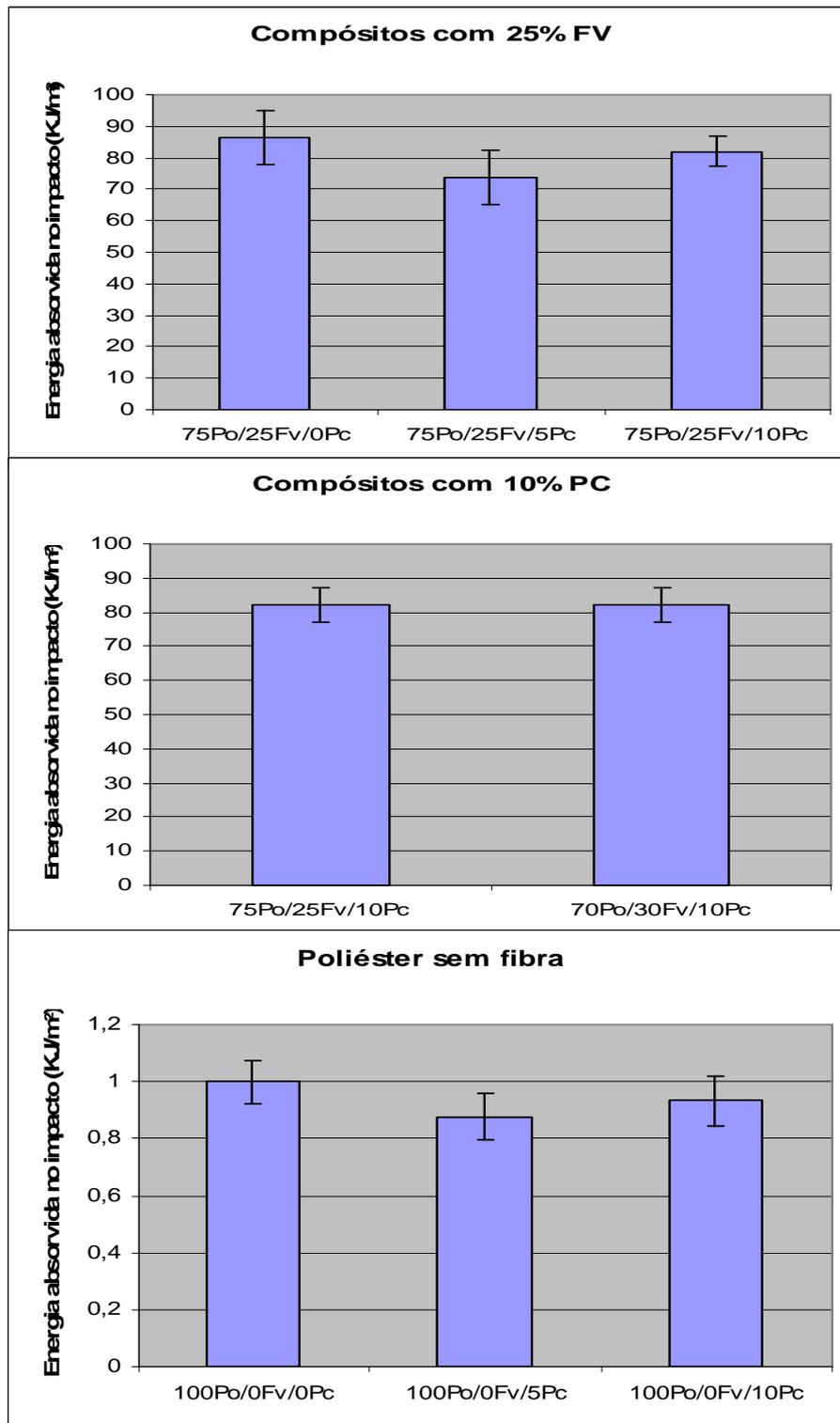


Figura 16: Energia absorvida pelos corpos de prova no ensaio de resistência ao impacto

5.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A tabela 4 mostra a variação média de massa das amostras (que é a medida de absorção de água segundo a norma ASTM D5229) de todas as

composições durante 5 dias de ensaio. Sendo que nenhuma das amostras apresentou variação de massa superior a 1%, pode-se concluir que estas composições não absorvem quantidade significativa de água a temperatura ambiente e o policarbonato não exerce qualquer influência sobre esta propriedade.

Tabela 4: Absorção de água

Composição	Absorção de água (%)
100Po/0Fv/0Pc	0,45%
100Po/0Fv/5Pc	0,36%
100Po/0Fv/10Pc	0,46%
75Po/25Fv/0Pc	0,79%
75Po/25Fv/5Pc	0,59%
75Po/25Fv/10Pc	0,55%
70Po/30Fv/10Pc	0,47%

6. CONCLUSÕES

A partir dos estudos e processos realizados neste trabalho, pode-se constatar que o policarbonato é um material de difícil moagem. A granulometria obtida foi menor que 1mm. Caso fosse possível obter partículas bem menores em quantidade suficiente, teria facilitado a moldagem das placas, a mistura com a resina poliéster e possibilitado a adição de uma quantidade maior e uma melhor dispersão do policarbonato nas placas produzidas, o que resultaria em um material mais homogêneo e provavelmente com melhores propriedades mecânicas.

Os ensaios de dureza mostraram que a incorporação de policarbonato à resina poliéster ocasionou uma diminuição da dureza, tanto na presença quanto na ausência de fibra de vidro, o que já era esperado, visto que o policarbonato moído é uma carga termoplástica muito mais flexível que a matriz termorrígida de poliéster.

No ensaio de resistência à tração, foi determinado o módulo de Young e a tensão de ruptura das amostras, o comportamento do módulo foi inesperado, visto que, nos compósitos com 25% de fibra de vidro, com a adição de 5% de policarbonato houve um aumento de 8% desta propriedade e com 10% de policarbonato houve uma diminuição de 7%, fruto da heterogeneidade das placas produzidas, foi visível que a resina misturada com o policarbonato se tornou muito viscosa (motivo pelo qual não foi possível incorporar uma quantidade maior) prejudicando a infiltração desta entre as camadas de fibra de vidro.

A tensão de ruptura nos compósitos com 25% de fibra de vidro diminuiu com a adição de policarbonato, atuando apenas como impureza, o que também ocorre nas placas de poliéster com 5% dessa carga, já com 10%, ocorre uma recuperação da resistência, o que indica que há uma concentração crítica entre 5% e 10% em que o policarbonato começa a atuar como reforço particulado nessas placas.

O ensaio de resistência ao impacto mostrou que, assim como no caso anterior, a resistência diminuiu com 5% de policarbonato, e recuperou-se com 10%, tanto nos compósitos quanto nas placas de poliéster sem fibra de vidro.

O ensaio de absorção de água mostrou que o policarbonato não exerce qualquer influência nessa propriedade e nenhuma das amostras absorveu mais que 1% de umidade.

Conclui-se, portanto, que o policarbonato prejudicou a maioria das propriedades medidas, embora não tão significativamente. Em aplicações onde não é exigida resistência à tração, por exemplo em caixas d'água, piscinas e telhas, a incorporação dessa carga termoplástica pode ser viável quando o objetivo é redução de custos e/ou simplesmente o reaproveitamento de um material que seria descartado, o que contribuiria para diminuir a quantidade de polímeros jogados em aterros.

Obviamente, com o desenvolvimento de um processo mais eficiente de moagem do policarbonato, no qual fosse possível obter uma granulometria menor, pode-se melhorar muito essas propriedades.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.[online] <http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Plasticos-Da-Engenharia/51586706.html> (acessado em 24 de julho de 2015).
- 2.[online] Relatório do BNDES: Área de operações industriais 1. Informe setorial nº 8 - Policarbonato http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/setorial/pc2.pdf. (acessado em 24 de julho de 2015).
3. Pereira, N. C. Caracterização de compósitos de resina poliéster, fibra de vidro e wollastonita moldados pelo processo RTM light, 2012.
4. Garay, A. C.; Heck, V.; Zattera, A. J.; Souza, J. A.; Amico, S. C. Influence of calcium carbonate on RTM and RTM light processing and properties of molded composites. *Journal of reinforced plastics and composites*, 2011.
5. Barros, F. S. Utilização de resíduo de chumbo em forma de pó em compósitos poliméricos e como revestimento em superfícies metálicas para serem aplicados em instalações radiológicas. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, 2009.
6. Matthews, F. L.; Rawlings, R. D. *Composite Materials: Engineering and Science*. Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC. 1999.
7. Padilha, A. F. *Materiais de Engenharia: microestrutura e propriedades*. Editora Hemus. 2007.
8. Ventura, A. M. F. M. *Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas*. 2009. Instituto Superior Técnico, Universidade técnica de Lisboa, Portugal.
9. Marinucci, G. *Materiais Compósitos Poliméricos: fundamentos e tecnologia*. Editora Artliber. 2011.

10. Neto, F. L.; Pardini, L. C., Compósitos estruturais: Ciência e Tecnologia. Editora Edgard Blücher, 2006.
11. Kaw, A. K. Mechanics of Composite Materials, 2ª Edição, Broken Sound Parkway. CRC Press: 2006.
12. Musetti Neto, E. Resinas, gel-coats e iniciadores de reação: curso técnico sobre plástico reforçado. São Paulo: Asplar, 1999.
13. Cerchiaro, J. R. Comportamento mecânico de compósitos com poliéster e tecidos de sisal por moldagem manual. Dissertação de mestrado. UFBA, 2010,
14. Silva, H. S. P. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibra de vidro. Dissertação de mestrado. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2010.
15. Silaex [online] <http://www.silaex.com.br/poli%E9ster.htm> (acessado em 10 de junho de 2015).
16. Ferreira, C. A.; Borges, S. G.; Carneiro, P. S.; Trindade, R. S.; Leite, P. A. M., Avaliação da influência de diferentes cargas no tempo de cura e temperatura de cura de resinas poliéster insaturadas por intermédio de curvas exotérmicas. 17º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, pp. 3833-3842, 2006.
17. ABCol [online] <http://www.abcol.com.br/ortoftalica.asp> (acessado em 10 de junho de 2015).
18. Jaigobind, A. G. A.; Amaral, L.; Jaisingh, S., Dossiê técnico de fabricação de peças em fibra de vidro (compósitos). Instituto de tecnologia do Paraná, 2007.

19. [online] <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgctYAK/textil-conceitos-basicos-producao-textil-tecidos#comments> (acessado em 26 de junho de 2015).
20. Castro, A. F. D.; Amico, S. C. Utilização de fibras de vidro picadas oriundas de resíduos na substituição parcial de mantas de fibra de vidro em compósitos. 10º CBPol Congresso Brasileiro de Polímeros, 2009.
21. Nogueira, C. L. Obtenção e caracterização de compósitos termoplásticos avançados à base de matrizes de polipropileno reforçados com fibra de carbono. Tese de doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2004.
22. Rezende, M. C.; Costa, M. L.; Botelho, E. C. Compósitos estruturais: tecnologia e prática. São paulo, Artliber Editora, 2011.
23. Botelho, E. C.; Rezende, M. C. Structural Carbon/Epoxy prepregs properties comparison by thermal and rheological analyses. Polymer-Plastics Technology and Engineering, v.45, p.61, 2006.
24. Phillips, R.; Glauser, T.; Manson, J. A. E. Polymer Composites. v.18, p.50, 1997.
25. Fogaça, K. O. Avaliação dos efeitos ambientais nas propriedades do compósito de poliamida 6,6/fibras de carbono. Trabalho de conclusão de curso, Engenharia de materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015
26. Lorusso, L. A. Estudo sobre a incorporação da fibra de carbono como reforço em matrizes de policarbonato. Faculdade de Tecnologia da Zona Leste. São Paulo, 2010.
27. Gao, S. L.; Kim, J. K. Composites: Part A. v.32, p.775, 2001.
28. Dumont, J.-m. Polycarbonates. Techniques de l'ingénieur, 2007

29. Defferrari, C. Reciclabilidade do policarbonato: avaliação da degradação do material decorrente de reprocessamento por extrusão e injeção. 12º CBPol. Florianópolis, 2013.
30. LeGrand, D. G. Handbook of polycarbonate Science and technology. New York: Marcel Dekker Inc, 2000.
31. Canevarolo, S. V. Jr, Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. Editora Artliber, 2002.
32. Pardos, F. Polycarbonates - Aspects économiques. Techniques de l'ingénieur, 2012.
33. Stevens, M. P. Polymer chemistry: An introduction. New York: Oxford University Press, 1999.
34. Vidales, L. T. Design para reciclagem: importância a partir da análise de óculos de sol. Trabalho de diplomação em engenharia química, UFRGS, 2011.
35. [online] <http://polimeros.no.sapo.pt/ambiente.html> (acessado em 30 de junho de 2015).
36. BNDES setorial 31, O apoio do BNDES ao setor de transformados plásticos p 99-146, 2010.
37. Zanin, M. Resíduos plásticos e reciclagem - Aspectos gerais e tecnologia. EduFSCcar, São Paulo, 2004.
38. Garay, A. C. Efeito da adição de carbonato de cálcio em compósitos poliméricos moldados por RTM e RTM-light. Dissertação de mestrado, UFRGS, 2010.

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

40. ASTM D256 Standard test methods for determining the izod pendulum impact resistance of plastics.

41. ASTM D5229 Standard test method for moisture absorption properties and equilibrium conditioning of polymer matrix composite materials.

41. ASTM D2240 Standard test method for rubber property - Durometer Hardness.