

# CAPÍTULO III - CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO DE MATRIZ POLIMÉRICA COM REFORÇO DE FIBRA DE VIDRO: ANÁLISE DO PROCESSO DE FURAÇÃO DE PLACAS ISOLANTES

<IVAN MAGRE><sup>1</sup>  
<ADRIANA GISELI LEITE CARVALHO><sup>2</sup>  
<ANTONIO CARLOS RODRIGUES><sup>3</sup>

**Resumo:** especificamente sobre matriz polimérica com reforço de fibra de vidro, no formato de placas laminadas e as características em seu processo de perfuração com brocas. O objetivo do estudo é executar diversos furos em uma placa de fibra de vidro, anotando o tempo gasto durante o processo e registrando aspectos de acabamento dos furos e ocorrência de danificação da placa isolante e também da broca de aço-rápido, através de imagens fotográficas comuns. A metodologia aplicada consiste em construir um corpo de prova em placa de fibra de vidro comercial, utilizada para serviços industriais e executar nesta placa uma sequência de furos com uma broca de aço-rápido. Os resultados obtidos demonstram que embora a obtenção de brocas de aço-rápido seja fácil e de baixo custo, a sua aplicação em processos produtivos precisa ser repensada para o uso de ferramentas obsoletas e que é necessário modernizar tanto quanto possível a aplicação de ferramentas de usinagem com melhor nível tecnológico, sob o risco de se perder produtividade e lucratividade nos processos de fabricação.

**Palavras-chave:** Usinagem. Compósito. Fibra de Vidro.

**Abstract:** This study presents the general characteristics of composite materials, more specifically about polymeric matrix with glass fiber reinforcement, where the commercial format investigated was in fiberglass laminated plates and the implications in its process of machining by drills. The objective of the study is to drill several holes in a fiberglass board, noting the time spent during the process and recording aspects of finishing of the holes and occurrence of damage of the insulation board and also of the

---

<sup>1</sup> Graduação – Tecnólogo em Fabricação Mecânica, da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: [ivan.magre@gmail.com](mailto:ivan.magre@gmail.com)

<sup>2</sup> Mestranda em Engenharia Mecânica – Docente da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: [adriana.carvalho@pr.senai.br](mailto:adriana.carvalho@pr.senai.br)

<sup>3</sup> Especialista em Engenharia da Manutenção – Docente da Faculdade de Tecnologia do Senai londrina E-mail: [antonio.rodrigues1@sistemafiep.org.br](mailto:antonio.rodrigues1@sistemafiep.org.br)

fast steel drill, through photographic images Common. The methodology used is to construct a commercially available normalized glass fiberglass test piece used for industrial services and to perform a sequence of holes with a fast steel drill using two different cutting speeds in this plate and collect The possible information, to compare with authors who performed the same type of test with modern material drills as coated metal-hard and industrial diamond. The results obtained demonstrate that although fast steel drills are easy and inexpensive, their application in productive processes needs to be rethought by breaking paradigms of obsolete tools and that it is necessary to modernize as much as possible the application of Machining with a better technological level, at the risk of losing productivity and profitability in the manufacturing processes.

**Keywords: Machining. Composite. Fiberglass**

## **1. INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento tecnológico vem resultando cada vez mais na inovação de materiais, muitos produtos modernos exigem combinações de incomuns propriedades, em que um material comum não pode atender. Ao encontro desta necessidade, os materiais compósitos permitem criar novas possibilidades de combinações para estruturas de alto desempenho. De acordo com Callister; Rethwisch (2013), as técnicas de mistura de materiais com o objetivo de se conseguir um material com propriedades melhoradas, diferentes das originais foram observadas desde o início da civilização. O advento dos compósitos como uma classe de materiais distinta deu-se na metade do século XX, com a fabricação de compósitos multifásicos deliberadamente projetados e engenheirados, tais como os polímeros reforçados com fibras de vidro. Não há limites para o desenvolvimento desta classe de materiais, utilizando-se os conhecimentos de engenharia, estas combinações podem ser desenvolvidas em diversos tipos de materiais; entre eles os polímeros, cerâmicas e metais.

Os materiais compósitos são produzidos através da mistura de fases. A combinação básica do compósito ocorre a partir de dois materiais, chamados fases. Uma dessas fases é chamada de matriz e tem a característica de ser contínua dentro do composto, e envolve o outromaterial. A outra fase básica é chamada de reforço ou dispersa. A idéia central é que o reforço esteja envolvido pela matriz, que no caso do presente estudo, é uma resina polimérica.

Normalmente são formados a partir de resinas fenólicas. São classificadas como termorrígidas e consistem em uma reação química entre o fenol, formaldeído e outros tipos de derivados, que apresentam deformações muito pequenas. Diante de tantas possibilidades, para aplicação de materiais de fricção nos quais os requisitos de aplicação envolvem desde excelente resistência mecânica, resistência a vibração e ruído, resistência térmica, o grupo dos materiais compósitos enquadram-se muito bem, visto que eles podem ser constituídos com reforços em forma de partículas e fibras curtas.

Quando se fala em fibras curtas, o valor de 1 mm serve como medida de referência. Esse valor é chamado de comprimento crítico ( $l_c$ ). Segundo Callister; Rethwisch(2013), os compósitos que tem fase dispersa igual ou menor que o comprimento crítico não adquire reforço significativo com essa fase reforço. Conforme aumenta o comprimento da fibra, acima do valor crítico, o reforço do compósito se torna mais efetivo e alcança grande proporção de resistência.

Na figura 1 apresenta-se a fabricação de um tubo utilizando fibra de vidro, fibra de carbono e resina polimérica.

Figura 1 - Tubo de compósito de fibras de carbono e vidro



Disponível: [www.metalmat.ufrj.br](http://www.metalmat.ufrj.br)-Acessado em 09/10/2016.

Pode-se observar que é uma forma de fabricação industrial, onde há uma estrutura sobre trilho que carrega um suporte com diversos filamentos de fibra sendo aplicados em camadas alternadas e cruzadas, ao mesmo tempo em que a fase matriz polimérica é aplicada na base do tubo.

Apesar de possuir diversas vantagens de aplicação, quanto submetidos a processos de fabricação, podem ocorrer danos, sendo estes por manuseio, transporte, processos de usinagem, entre outros.

Usinagem é um processo de fabricação que remove material da peça processada. Esse material removido é chamado de cavaco, limalha ou aparas.

Furação é um processo de usinagem onde a ferramenta mais empregada para a produção de furos cilíndricos é a broca helicoidal. A execução de furos com brocas é uma operação de desbaste. Segundo Silveira (2016), após esta etapa devem ocorrer outras operações para conferir as características de acabamento final. Quando se aplica o processo de perfuração de peças em materiais compósitos, as características são muito diferentes das que ocorrem com os metais comuns. O material compósito, placa de fibra de vidro tem características muito fortes de abrasividade, que influenciam na vida útil da broca.

Este grupo de materiais permite melhorar propriedades como rigidez dielétrica, resistência mecânica, tenacidade em condições ambiente ou sob variação de temperaturas entre outras. Conforme Callister e Rethwisch (2013), com relação às propriedades físicas, uma consequência é a resistência à usinagem pela alta abrasão do compósito, tornando o processo difícil. Para exemplificar o nível de abrasividade da placa de fibra de vidro, é como se fosse usinar uma pedra de esmeril, tal é o efeito de desgaste e aquecimento que a fibra de vidro provoca nas ferramentas de corte pelo processo de usinagem.

Existe uma diferença importante a ser considerada em empresas que trabalham com usinagem: as que possuem uma estrutura operacional determinada, onde se prepara um ferramental específico para executar as operações do produto fabricado. Outras por sua vez, trabalham com manutenção e recuperação. Comumente se deparam com peças e situações diferentes, que demandam ferramentas e estratégias operacionais diversas. Isso faz com que em grande parte das vezes, não se tenha um ferramental específico, que seria mais adequado ao processo, devido a essa rotatividade de tipos de serviços executados.

Analisando pelo ponto de vista de pequenas empresas de usinagem, manutenção e recuperação; é necessário utilizar recursos de criatividade e inovação de processos fabris dedicados e passageiros, para se executar maior gama de serviços, utilizando uma quantidade menor de tipos de ferramentas. A classe de ferramentas de aço rápido é uma das mais comuns que se dispõe em pequenas oficinas de usinagem para executar a fabricação de peças em fibra de vidro.

As brocas de aço-rápido têm preço bastante acessível quando comparado com as ferramentas mais modernas. Porém, sua limitação operacional em diversos tipos de tarefas acaba por tornar os processos de usinagem improdutivos ou ineficientes.

Outra opção de executar furos em peças são as brocas de metal-duro. O custo de uma broca de metal-duro alcança um valor de 10 a 30 vezes mais alto que uma broca em aço-rápido e não é encontrada em lojas de ferramentas com tanta facilidade.

Têm-se ainda as brocas que utilizam pastilhas de metal-duro intercambiáveis que são fixadas através de parafusos em um suporte. Essa broca tem a vantagem de poder trocar as pastilhas de corte quando ocorre o desgaste das arestas. A broca com pastilhas intercambiáveis é uma ferramenta especial e só é comprada em fornecedores especializados, muitas vezes sendo fabricadas sob medida para uma tarefa produtiva. Seu valor de compra pode chegar de 50 a 150 vezes o custo de uma equivalente de aço-rápido.

Na sequência tecnológica, existem as ferramentas fabricadas em material moderno, que envolvem revestimentos superficiais em brocas de aço-rápido ou de metal-duro.

Tem brocas que utilizam pastilhas que são feitas de cerâmica e tem propriedades de corte para materiais especiais

Existem as ferramentas que utilizam pastilhas de diamante industrial. Cada classe destas tem seu valor de compra proporcional ao nível de tecnologia envolvida em sua fabricação e especificação. Essas classes de ferramentas ainda têm diversas variantes de tipos de materiais e revestimentos superficiais.

Considerando a constante evolução nas diversas áreas industriais, conforme cresce o uso dos materiais compósitos na indústria, Para Milatias (2014), crescem também os desafios que os fabricantes de máquinas e ferramentas enfrentam para usiná-los, por vários motivos, entre eles: a natureza abrasiva dos materiais constituintes, principalmente do reforço; a infinidade de possibilidades de combinações de materiais e a possível<sup>1</sup> anisotropia do compósito em questão.

Levando em consideração que os compósitos possuem estrutura heterogênea e são formados por fibras dispersas alinhadas ou não, e a utilização de máquinas e ferramentas convencionais utilizadas no processo de

---

<sup>1</sup>ANISOTROPIA diz respeito à forma irregular da composição das fibras durante o processo de fabricação da placa de fibra de vidro. (MILATIAS, 2014).

fabricação, o presente estudo tem por objetivo fazer uma análise do processo de furação de placas de fibra de vidro. Este material é muito utilizado na isolamento de máquinas elétricas industriais e na fabricação de geradores de eletricidade, esta análise visa abranger o desempenho da vida útil da broca, melhor acabamento dos furos e melhor produtividade para esse tipo de serviço, utilizando ferramentas de aço-rápido.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Materiais Compósitos**

A necessidade de avançar no desenvolvimento de produtos e tecnologias exige dos pesquisadores uma busca constante de novos materiais com características cada vez mais exigentes e específicas. Nesse contexto surge cada vez mais presente a aplicação dos materiais compósitos. Para Milatias (2014), uma definição básica que é bem aceita pelos estudiosos e comumente citada, é que compósitos são materiais compostos por duas fases, sendo uma matriz e um reforço, que podem ser ambos de natureza polimérica, metálica ou cerâmica, mas não se misturando a isto o conceito das ligas metálicas, que têm um procedimento próprio já muito bem definido.

Sendo a família dos materiais compósitos diferenciada pelas propriedades físico-químicas que possuem, uma parte que influencia diretamente na possibilidade de sua fabricação em escala comercial é a usinabilidade. Segundo Milátias (2014), se os pesquisadores conseguem um produtocompósito com características excelentes relativamente às propriedades de resistência térmica e ao desgaste; mas o material é de tal forma especial, que não oferece condições que permitam sua usinagem e beneficiamento, então não haverá condições de aplicação industrial para esse material.

Por especial que seja o material e a tecnologia de compósitos, não há uma condição de contemplar todas as situações que existem envolvendo determinada aplicação. Assim sendo, uma vez conseguida a junção compósita que atenda as condições de trabalho do projeto em estudo, fica o desafio aos pesquisadores, de montarem um processo de fabricação em torno do material de engenharia desenvolvido, para que respeite as restrições de usinagem que este material apresente. Entre estas, a se destacar como principais, a condição de equilibrar a usinagem das peças sem que ocorra a degradação ou destruição das propriedades compósitas conseguidas nesta junção.

## 2.2 Matriz Polimérica: Termoplástica e Termofixo

De acordo com Morassi (2013), a palavra polímero é originada do grego, cujo significado é "muitas partes", (poli: muitas, mero: partes). As unidades simples foram definidas como monômeros. A junção de muitos monômeros caracteriza o polímero.

### 2.2.1 Termofixos (termorrígidos)

Geralmente são líquidos e apresenta uma reação definitiva. Se for submetido a níveis de temperatura, seu próximo estado é queima deixando resíduos em forma de cinza ou carvão.

Exemplo de Termofixos:

- Poliéster Insaturado – Plástico reforçado com fibra de vidro
- Epóxi – Plástico reforçado com fibra de vidro
- Fenólicas – Adesivos para abrasivos e rebolos, resinas para fundição, espumaisolante antichama, Baquelite, Fenolite, Celeron.
- Melamínicas– Laminados decorativos, Tintas de alta resistência.
- Poliuretanos – Espuma isolante, revestimentos anti-corrosivos.
- Poli-isocianurato– Espumas isolantes

Os materiais polímeros termofixos são aplicados em produtos onde existe a necessidade da característica de resistir à elevação de temperatura sem se deformar, bem como de manter as propriedades de isolamento elétrica quando ocorre o aquecimento.

### 2.2.2 Termoplásticos

Fundem-se e solidificam várias vezes. Esta é a principal característica dos populares plásticos recicláveis.

Exemplo de Termoplásticos:

- PET – Poliéster saturado – Embalagens, carpetes, monofilamento etc.

- PVC – Policloreto de Viníla – Tubos, Isolação de cabos elétricos, filmes de revestimento.
- PE – Polietileno – Filmes para Embalagens, artigos domésticos.
- PP – Polipropileno – Filmes para Embalagens, artigos domésticos, indústria automobilística.
- ABS – AcriloButadieno Estireno - Eletrodomésticos, indústria automobilística
- PMMA – Polimetil metacrilato ou Acrílico – Polímero cristalino usado em várias aplicações.
- PC – Policarbonato – Vidros blindados, faróis de automóveis, indústria aeronáutica.
- PA – Poliamidas – “Nylon” – Plástico de engenharia – alta resistência mecânica e a temperatura.
- POM – Poliacetal – “Delrin” – Plástico de engenharia – características lubrificantes.
- PTFE – Politetrafluoretileno – “Teflon” – Baixas características mecânicas, elevada resistência térmica e características lubrificantes.

Materiais polímeros termoplásticos são versáteis, tem grande gama de aplicabilidade em produtos industrializados, e por isso mesmo, demandam estudo aprofundado para fazer um ciclo de reaproveitamento através de novas ligas plásticas.

### **2.3 Elementos de Reforço: Fibra de Vidro**

Os compósitos com matriz polimérica (PMC – *polymer-matrixcomposites*) basicamente são formados por uma matriz e um reforço. A matriz é o elemento envolvente em torno do reforço, comumente em aspecto inicial líquido, com posterior cura e enrijecimento. A fase reforço ou dispersa, é formada por inúmeros tipos de materiais. No caso do reforço fibra

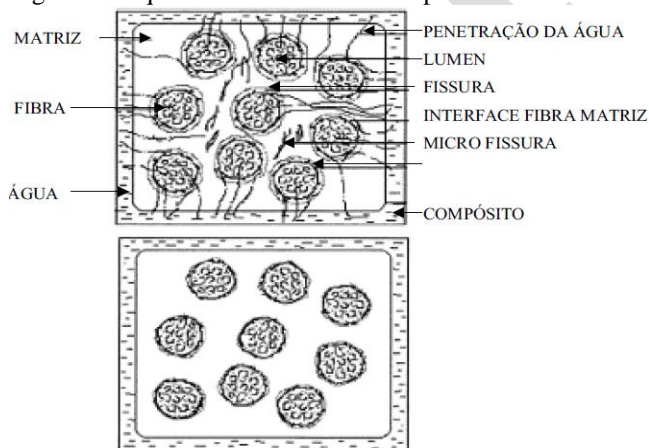
de vidro, o compósito adquire o nome de Compósito Polimérico Reforçado com Fibras de Vidro (GFRP – *Glass Fiber-Reinforced Polymer*). Conforme Callister; Rethwisch (2013). Quando se utiliza o nome *fiberglass*, isto indica apenas que o compósito foi fabricado com fibras de vidro sem, no entanto, definir características mais aprofundadas da constituição da fibra.

## 2.4 Interface Matriz e Reforço

O desenvolvimento de produtos cada vez mais exigentes em termos de tecnologia aplicada faz com que a mistura de materiais diferentes formando um terceiro material, aproveitando as melhores características desses materiais básicos se torne cada vez mais objeto de estudo de pesquisadores. Nos dizeres de Haje (1989), apud Oliveira (2007), para que essa mistura alcance características desejadas de resistência mecânica, térmica, elétrica, lubrificante ou inúmeras outras, deve-se ter especial cuidado com o elo entre a matriz e o reforço. Interface é a região de contato entre a matriz e o reforço do material compósito, na figura 2 pode-se ver uma representação esquemática de um recorte do compósito.

A interface é um dos parâmetros mais importantes a se considerar na junção compósita para que o resultado do material seja satisfatório.

Figura 2: Esquema construtivo do compósito



Fonte: (SREEKALA et al. 2002). Adaptado de (OLIVEIRA, 2007)

Os tipos de matriz e reforço são os mais diversos para características especiais e é necessário fazê-las combinar. Observa-se na figura 2, uma construção esquemática do material compósito, demonstrando problemas de

interface mal acoplada, tendo como consequência a perda de características mecânicas. Essa preocupação fez com que pesquisadores desenvolvessem processos ou produtos que auxiliassem na melhor acoplagem na interface entre a matriz e o reforço do compósito.

## 2.5 Processo de Usinagem de Compósitos

Os métodos mais comuns de usinagem, utilizando ferramental popular como Aço-rápido e Metal-duro, podem ser utilizados, mas de acordo com Durão et al.(2003), apud Santos(2010), deve-se ter o cuidado de reduzir a geração de danos por meios térmicos ou esforços mecânicos. Em muitos casos de aplicação prática, no momento de se executar o serviço proposto, a peça a ser fabricada pode exigir uma ação imediata para se conseguir um ferramental que possa executar o serviço proposto. Nesse momento precisa haver do profissional uma habilidade de superar a condição de não ter a ferramenta ideal para executar a usinagem e encontrar uma alternativa que possa dar continuidade ao processo de fabricação especial com as condições técnicas aceitáveis.

Observam-se como fundamentais, a preservação do limite térmico, o acabamento de superfície, a integridade das fronteiras de junção e a vida útil do ferramental empregado. Seguindo Takeshita (1985), apud Ferreira (1992), através de estudos efetuados a respeito da usinabilidade das placas de fibra de vidro, chegou-se a uma conclusão de que a relação entre o ângulo de incidência da ferramenta de usinagem, na unidade pontual da fibra é de extrema importância para determinar as forças de corte envolvidas. Isso conseqüentemente influi diretamente no acabamento de superfície do material usinado, o ângulo que favorece mais a usinagem para não ocorrer delaminação e lascamento são de 135 graus de relação entre a ferramenta e a unidade pontual da fibra em escala micrométrica. Ainda segundo o estudo, essa relação, ainda que ideal, é impossível de ser conseguida plenamente, por conta da condição de irregularidade da disposição das fibras na fabricação do material.

Um dos motivos que justificam a afirmação de Milatias (2014), referente às dificuldades de se conseguir homogeneidade no ângulo de ataque de corte das fibras compósitas é a disposição característica própria da matéria prima, que é fabricada em forma de feixe de fios de fibra de vidro e também com formato de tela quadriculada.

## 2.6 Ferramentas de Corte

No processamento das placas de fibra de vidro, ocorre a descamação das fibras, principalmente na entrada e saída das ferramentas de usinagem. Um dos métodos para diminuir essa ocorrência é a preparação da geometria das ferramentas de corte, para que exerçam menor pressão de corte nas fronteiras da usinagem executada. Na figura 3(a) pode-se observar uma solução de engenharia na fabricação de brocas com geometrias especiais, com a finalidade de perfurar as placas de fibra de vidro causando menores estragos na estrutura da placa ao redor do furo e também visando uma maior vida útil das brocas durante o trabalho. Já na figura 3 (b) demonstra-se um conjunto de ferramentas desenvolvidas pela empresa OSG especialmente para usinagem de materiais compósitos, chamadas de “Fresa Dupla Hélice”. A geometria especial OSG desenvolvida para fresas de dupla hélice, desvia os esforços de corte, o que elimina a delaminação ou lascamento na usinagem de materiais compostos.

Figura 3 (a): Brocas Sandvik Corodril 854



Fonte: Milátias, 2015.

Figura 3 (b): Fresas OSG de dupla hélice



Fonte: [www.osg.com.br](http://www.osg.com.br)-Acessado 02/10/2016

Observa-se nas duas imagens acima dois tipos de tecnologia. Na figura 3(a), tem-se uma ferramenta especial, em metal-duro com tecnologia de revestimento superficial, porém, com a ferramenta no formato convencional de broca helicoidal. A principal característica desse tipo de ferramenta é o desbaste em forma de furo, sem permitir corte axial, sob o risco de quebra da broca pelo esforço desproporcional. Segundo Santos (2010), a geometria dessa ferramenta indica uma aplicação em operações que

necessitam de furos, mas que tenham a característica do compósito abrasivo ou sanduíche como o composto chapa de alumínio e polímero.

Na figura 3(b) temos um conjunto de ferramentas modernas chamadas de fresas dupla hélice, onde a característica principal é o desbaste e acabamento no sentido axial, adequadas para se utilizar em centros de usinagem CNC ou fresadoras convencionais. São ferramentas de diâmetros pequenos, em torno de 6 mm, com capacidade para altíssimas velocidades de corte. Para suportar a abrasividade do compósito fibra de vidro, estas fresas recebem um revestimento de superfície à base de diamante. Disponível em: <[www.osg.com.br](http://www.osg.com.br)> acessado 02/10/2016.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

De acordo com Santos (2010), quando se processa os materiais compósitos, em especial nesse caso, a fibra de vidro; as técnicas de usinagem convencional quando utilizadas, devem ser adaptadas de forma a reduzir a geração de danos por meios térmicos ou mecânicos, tanto nas brocas quanto nas placas. A metodologia utilizada é experimental, corpos de prova foram construídos em compósito de fibra de vidro na forma de placas.

#### **3.1 Material**

Trata-se de uma placa de fibra de vidro TVE (placa de tecido de vidro e resina epóxi), muito utilizado em fabricação de peças de engenharia, especialmente aquelas voltadas para recuperação de máquinas elétricas diversas, como motores, geradores, transformadores e diversos tipos de isoladores para eletricidade. Apresentam-se algumas características de fabricação deste material conforme especificação internacional regulamentada, demonstradas nas tabelas 1, 2 e 3.

Para atender às mais diversas aplicações na área industrial os fabricantes fornecem materiais com dimensões padronizadas, bastando conformar o material às dimensões exigidas pelo projeto em execução.

Tabela 1 Propriedades Elétricas da Placa.

Norma N.E.M.A.	Rigidez Dielétrica		Constante	Resist. superf.
	Paral. KV	Perp. KV/mm	Dielétrica mc/s	96/25/90 mΩ
<b>G10</b>	35	30	5,1	10
<b>FR-4</b>	35	30	5,1	10

Tabela 2 – Propriedades Mecânicas da Placa.

Norma N.E.M.A.	Comp. Perp.	Flexão Long.	Tensão	Impacto	Delaminação
	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Long. Kgf/cm <sup>2</sup>	Long. Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf
<b>G10</b>	4300	4100	2500	15	700
<b>FR-4</b>	4300	4100	2500	15	700

Tabela 3 – Propriedades Físicas da Placa.

Norma N.E.M.A.	Absorção	de	Peso Esp. g/cm <sup>3</sup>	Dureza RockWell	Temp.
	Água %			M	Trabalho °C
<b>G10</b>	0,20		1,70	111	130
<b>FR-4</b>	0,20		1,70	111	130

Fonte: Imcoplast (2016).

Formato disponível para aplicação comercial em laminado isolante a base de tecido de vidro impregnado com resina epóxi de alto poder aderente, tem como principais características seu excelente poder de isolamento, aliado a uma alta resistência mecânica e baixa absorção de água. Fabricado com resina do tipo “Flame resistant” (não propaga chamas), pode ser utilizado em alta e baixa tensão, em locais e condições desfavoráveis, no aspecto climático.

### 3.2 Corpo de prova

A fabricação de uma placa de fibra de vidro consiste em colocar sobre uma forma que pode chegar a 2 x 1 metros de comprimento e largura, camadas sucessivas de tecido de fibra de vidro em forma de manta quadriculada e resina polimérica, de forma a alcançar a espessura desejada após o processo de prensagem e cura sob temperatura. Esse processo de fabricação faz com que a disposição dos micro-fios da fibra de vidro estejam cruzados em todas as direções, de forma que quando se usina ou perfura essa placa, não se consiga definir posição angular entre a aresta da ferramenta de corte e os fios da fibra de vidro que estão prensados na placa.

A construção do corpo de prova utiliza uma placa de fibra de vidro com as dimensões de 500 x 80 x 8 milímetros. Pode-se observar na figura 4, a utilização de uma serra diamantada para executar os cortes dimensionais da placa de fibra de vidro. O tamanho comercial da placa é de 2 x 1 metro. Conforme a necessidade do projeto, a placa deve ser segmentada para adquirir as dimensões adequadas para construção da peça.

Figura –4: Corte da placa de fibra de vidro



Fonte: do autor

Observa-se na figura 4 a execução de corte de compósito de fibra de vidro com 22000 RPM. Isto é possível pela constituição do corte da serra ser composta por granulados de diamante industrial, o que possibilita altas rotações e altas velocidades de corte. Nesse caso, como se trata de uma ferramenta rudimentar, é adequada apenas para operações de desbaste.

### 3.3 Máquina

Para fazer o ensaio de furação foi utilizada uma fresadora ferramenta da marca Diplomat 3001, modelo FVF-2500, figura 5, cujas características principais são: Mesa com 1244 mm x 230 mm; Curso longitudinal 850 mm; Curso transversal 305 mm e Curso vertical 406 mm.

Como se pode observar pela figura 5, trata-se de uma máquina do tipo convencional, onde para que uma operação seja executada, o operador da fresadora precisa manipular a posição de cada furo conforme a medida especificada para a construção do corpo de prova. Essa forma de fabricar peças já se torna obsoleta, pois o tempo de operação se torna improdutivo.

Nas empresas voltadas a fabricação de peças industriais utiliza-se máquinas que trabalham de forma automática, controladas por programas de computador.

Figura –5: Fresadora Ferramenteira



Fonte: do autor

Observam-se as placas cortadas para iniciar a fixação sobre a mesa da fresadora e iniciar os procedimentos de furação da placa de fibra de vidro.

### **3.4 Ferramentas de Corte para Compósitos**

A figura 6 demonstra o exemplo de uma ferramenta de corte com geometria especial, fabricada de forma manual para permitir executar na placa de fibra de vidro a usinagem do perfil da peça original a ser produzida.

Figura 6 – Ferramenta com geometria especial



Fonte: Autor

O exemplo da figura 6 é típico de uma aplicação especial, onde surgiu uma peça que precisou ser fabricada uma única vez, com desenho e geometria exclusiva. A solução de criatividade foi fabricar uma ferramenta em aço-rápido e executar uma afiação de perfil em modo manual. A operação embora lenta obteve sucesso na entrega ao cliente.

### 3.5 Parâmetros de Corte

Para executar os procedimentos de perfuração do corpo de prova foram utilizados os parâmetros de corte indicados na tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros de corte para brocas

MATERIAIS NÃO METÁLICOS			
Material a ser Usinado	Tipo de Aplicação	Velocidade de Corte (m/min.)	Lubrificação
Termoplásticos	Nylon, Teflon, Acrílico, PVC, Borracha	25 - 40	Água, ar comprimido.
<i>Termofixos</i>	<i>Baquelite com Fibra de Vidro</i>	<i>16 - 25</i>	<i>Água, ar comprimido.</i>
Borracha Sintética	Ebonite, Vulcanite	18 - 30	Ar comprimido

FÓRMULA PARA CALCULAR O RPM DA MÁQUINA

$$RPM = \frac{V_c * 1000}{\pi * D}$$

$V_c =$  Velocidade de corte (m/min )  
 $D =$  Diâmetro da broca(mm)

TABELA DE AVANÇO DE CORTE NA FURADEIRA

da broca em mm									0	2	4	
vanço em mm/v *	,06	,08	,10	,11	,13	,14	,16	,18	,19	,20	,24	,26
da broca em mm	6	8	0	2	4	6	8	0	5	0	5	0
vanço em mm/v *	,28	,29	,30	,33	,34	,36	,38	,38	,38	,38	,38	,38

\*Milímetro por volta

Fonte: Amatools (2016)

Esses parâmetros são fornecidos por fabricantes de ferramentas, nesse caso, a empresa Amatools, que responde pela fabricação e comercialização das brocas de Aço-Rápido, indicam as melhores condições de corte para diversos tipos de aplicação.

#### 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Tomando-se como referência de trabalho os dados obtidos na tabela 4, fornecida pelo fabricante de brocas de aço-rápido, optou-se por utilizar dois valores de velocidade de corte para realizar o ensaio de furação, VC1 de 20 metros por minuto e VC2 de 30 metros por minuto. Esses valores são apresentados na tabela 5.

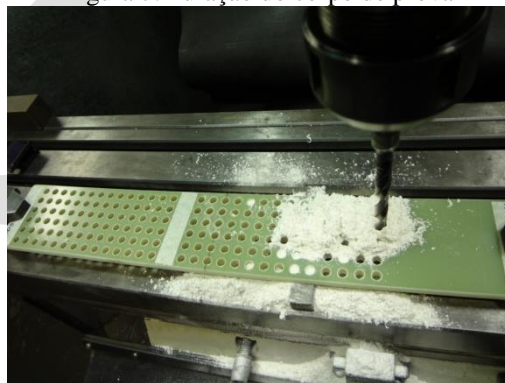
Tabela 5 – Parâmetros de corte

Corpo de Prova 1:	
Velocidade de corte 1: 20m/min	Broca: 8,0 mm em material Aço-Rápido
	Cálculo da Rotação da Broca:
	$RPM_1 = \frac{V_{C1} * 1000}{\pi * D} \quad RPM_1 = \frac{20 \text{ m/min} * 1000}{\pi * 8 \text{ mm}} \quad RPM_1$ $= 795 \text{ rpm} \sim 800 \text{ rpm}$
	Avanço da broca: 0,15 mm/volta
Corpo de Prova 2:	
Velocidade de corte 2: 30m/min	Broca: 8,0 mm em material Aço-Rápido
	Cálculo da Rotação da Broca:
	$RPM_2 = \frac{V_{C2} * 1000}{\pi * D} \quad RPM_2 = \frac{30 \text{ m/min} * 1000}{\pi * 8 \text{ mm}} \quad RPM_2$ $= 1193 \text{ rpm} \sim 1200 \text{ rpm}$
	Avanço da broca: 0,15 mm/volta

Fonte: Do autor.

Utilizando-se os valores de 20 e 30 metros por minuto e aplicando os mesmos na fórmula de cálculo de RPM da máquina, chegou-se a um valor de 800 rotações por minuto em VC1 e de 1200 rotações por minuto em VC2. Pode-se observar na figura 7 a execução dos furos na placa de fibra de vidro.

Figura 7: Furação do corpo de prova



Fonte: do autor

Na figura 7, a execução dos furos em VC1 já executados e VC2 em andamento. Importante destacar-se a remoção de cavaco em formato de pó. O

procedimento de resfriamento da broca é atmosférico e a remoção do resíduo de usinagem se faz utilizando um aspirador de pó.

Observam-se na tabela 6 as anotações de tempos de trabalho por número de furos executados. Na figura 8(a) pode-se verificar o estado de desgaste das arestas de corte da broca de aço-rápido utilizada em VC1. Na figura 8(b), o desgaste da aresta em VC2, onde a velocidade de corte foi maior.

Figura 8(a): VC1 de 20 m/min.



Fonte: do autor

Figura 8(b): VC2 de 30 m/min.



Fonte: do autor

Verifica-se nas imagens o acentuado desgaste das arestas de corte, para execução de tão poucos furos executados no corpo de prova. Em VC2, além do desgaste, observa-se a grande alteração de temperatura, demonstrada pela coloração azul escuro na ponta da broca.

Tabela 6 – Resultados

Dados obtidos na perfuração de corpo de prova 1 e corpo de prova 2					
Placa de fibra de vidro Espessura 8mm					
	Vel. de corte (Vc)	Quantidade executada	Tempo gasto total	Tempo gasto por furo	Variação dimensional
Corpo de prova 1	20 m/min	84 furos	196 min	2,33 min	8,0 a 7,96 mm
Corpo de prova 2	30 m/min	84 furos	149 min	1,77 min	8,0 a 7,94 mm

Fonte: Do autor.

Na tabela 6 observa-se um referencial de tempo para execução dos furos no corpo de prova, utilizando-se as duas velocidades de corte escolhidas. Na figura 9(a) e 9(b), a disposição final da furação do corpo de prova.

Figura 9(a): furação em VC1

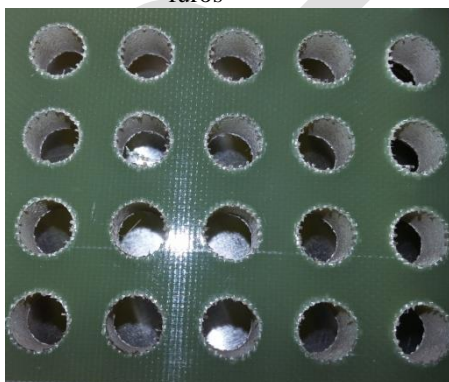
Figura 9(b): furação em VC2



Fonte: do autor

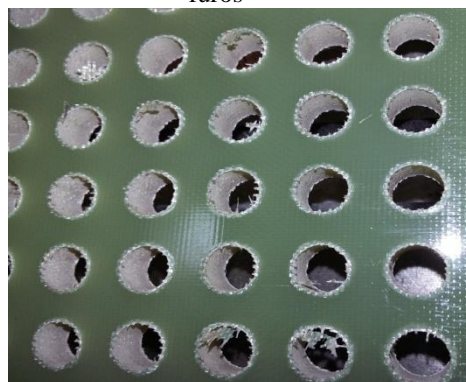
Mesmo em imagem de pouca resolução como mostrado na figura 9, observa-se irregularidade nas bordas dos furos. Nas figuras 10(a) e 10(b) abaixo, imagem em detalhe das bordas dos furos e o aspecto rugoso nas faces internas da parede do furo.

Figura 10(a): VC1 – Defeitos nos furos



Fonte: do autor

Figura 10(b): VC2 – Defeitos nos furos



Fonte: do autor

Visivelmente se constata os danos causados pela utilização da broca de aço rápido, em VC1, figura 10(a). Em VC2, figura 10(b) ainda mais grave no aspecto dos furos e nas arestas da broca figura 8(b). Quando a broca inicia a furação na superfície da placa de fibra de vidro, ocorre um efeito de puxar as fibras para cima, devido ao formato helicoidal da broca e também pelo próprio efeito da aresta de corte da broca, exercendo esforço para retirada do cavaco da peça. Isso faz com que as bordas do furo, quando a broca entra, fiquem danificadas, provocando uma rebarba cortante, que vai necessitar de um retrabalho posterior para regularizar. Passado essa fase, onde a broca já entrou e começa a vazar o furo que está sendo feito, surge um efeito de pressão de corte nas bordas do furo de saída, que vai provocar rebarbas e o lascamento das bordas, tecnicamente indicado como delaminação, por se tratar de placas laminadas de fibra de vidro.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os ensaios efetuados, ainda que sem a utilização de instrumentação científica adequada para monitoramento e coleta de dados demonstra a ineficiência das ferramentas de aço-rápido para a execução de serviços em compósito de matriz polimérica com reforço de fibra de vidro.

A análise do processo de furação de placas isolantes, nesse momento, mesmo que seja pelo crivo visual, deixa claro que é necessário preparar recursos de ferramental mais adequados para materiais modernos, com índices elevados de abrasividade em sua composição.

O estudo indica que as ferramentas mais simples para se trabalhar com compósitos de fibra de vidro sejam as de metal-duro, e, sempre que possível, subir um nível tecnológico na aquisição de ferramentas mais modernas, que possam apresentar uma característica de multi-tarefa, auxiliando assim na customização do investimento em seu valor de compra.

Como contribuição para continuidade desta pesquisa, sugere-se a aquisição de 1 exemplar de ferramenta em metal-duro e 1 exemplar de ferramenta com revestimento à base de diamante, e se proceda novos ensaios, utilizando instrumentação científica e equipamentos de usinagem CNC.

## REFERÊNCIAS

CALLISTER, William D. & RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares. Revisão técnica de José Roberto Moraes d’Almeida. 8. ed. Rio de Janeiro. LTC, 2013.

### **Citações e referências bibliográficas –Citação o método –Anpad.**

Disponível

em:<[http://www.anpad.org.br/diversos/apa/apa\\_citacoes\\_referencias.pdf](http://www.anpad.org.br/diversos/apa/apa_citacoes_referencias.pdf)>.Pequisado em 23/08/2015.

FERREIRA, João Roberto. **Características da usinagem de um compósito de resina fenólica reforçada com fibras de vidro e carbono**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. Tese de Mestrado. Campinas, 1992.

JESUS, Edilson Rosa Barbosa de. **Obtenção, Usinagem e Desgaste de Materiais Compósitos de Matriz Metálica Processados via Metalurgia do Pó**. Instituto de pesquisas energéticas e nucleares. Autarquia associada à Universidade de São Paulo. Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Tecnologia Nuclear – Materiais. São Paulo 1998.

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha. Piovesan, Maurício. Bertoletti, Luísa Lima. Altmeyer, Sabrina. Vorpapel, Tatiane Hohm. **Fibras de vidro: caracterização, disposição final e impactos ambientais gerados**. REGET/UFMS Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170). Janeiro-Abril 2013.

MILATIAS, Guilherme. **Introdução aos materiais compósitos**. Analista de processos – SandvikCoromant do Brasil Graduando em engenharia de materiais, Fundação Universidade Federal do ABC (UFABC). Disponível em <<http://www.omundodausinagem.com.br-Introdução aos materiais compósitos>>. Acessado em: 23/08/2015.

SANTOS, Carlos Eduardo Figueiredo dos. **Estudo e caracterização do processo de usinagem do compósito GLARE**. UNESP Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá.Guaratinguetá, 2010.

SEVERINO, Antonio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 22. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cortez, 2002. POPPER, K.R. **Conhecimento objetivo**. São Paulo: EDUSP, 1975.

**Usinagem de compósito dá mais um passo a frente**. Disponível em <[http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir\\_noticia/7112-usinagem-de-composito-da-mais-um-passo-a-frente](http://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7112-usinagem-de-composito-da-mais-um-passo-a-frente)> (Por MyYellowCoat, traduzido por CIMM 16/07/2010). Pesquisado em 02/11/2015.

SILVEIRA, José Luis. **Notas de Aula de Usinagem**. Departamento de Engenharia Mecânica  
Escola de Engenharia/UFRJ.  
Disponível em:<[http://www.mecanica.ufrj.br/util/b2evolution/media/blogs/joseluis/usinagem .pdf](http://www.mecanica.ufrj.br/util/b2evolution/media/blogs/joseluis/usinagem.pdf)>Acessado em 02/11/2016.

MORASSI, Odair José. **Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros**. São Paulo - 09 e 10 de agosto de 2013. Disponível em: <[http://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila\\_pol% C3% ADmeros 0910082013site](http://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila_pol%C3%ADmeros_0910082013site.pdf)>. pdf - Acessado em 17/11/2016.

OSG Sulamericana. Disponível em:  
<[http://www.osg.com.br/v4/fotos/download/HIGHTECH\\_COMPOSTO.pdf](http://www.osg.com.br/v4/fotos/download/HIGHTECH_COMPOSTO.pdf)>  
-  
<[http://www.osg.com.br/v4/paginas/produtos.asp?lang=pt&tipo=Ferramentas Especiais](http://www.osg.com.br/v4/paginas/produtos.asp?lang=pt&tipo=FerramentasEspeciais)>-acessado em 02/10/2016.

OLIVEIRA, Jorge Fernando de Souza. **Estudos da influência da configuração em compósitos poliméricos híbridos**.Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM – da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15562/1/FernandoBMS.pdf>>Acessado em:29/11/2016.