

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA FIBRA DE VIDRO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UMA MASSA POLIÉSTER

Isabeli Martins Longaretti¹

Josiane da Rocha Silvano das Neves²

Resumo: A repintura automotiva possui várias etapas e uma delas é a de correção de imperfeição, onde se utilizam massas poliésteres para realizar os reparos. O mercado está cada vez mais competitivo, então uma estratégia para melhorar ou modificar as propriedades de uma massa, é a formação do compósito com fibra de vidro. Este trabalho tem como objetivo, estudar a influência da fibra de vidro em uma massa poliéster. Sendo assim formulou-se cinco amostras, sendo uma delas sem fibra de vidro para comparação. As cinco formulações foram submetidas a teste de viscosidade, densidade, *gel time*, mandril cônico, impacto e flexão. Os resultados obtidos foram satisfatórios, onde se comprovou que a fibra de vidro promove uma maior resistência e rigidez ao produto final. No teste de viscosidade, quanto maior a porcentagem de fibra, mais viscosa fica a massa poliéster, onde o padrão obteve um resultado de $977e^3$ cP e F4 obteve $332e^4$ cP. A densidade houve um aumento, porém característico do produto. O *gel time* apresentou resultados já esperados, quanto maior a quantidade de fibra, mais rápido a massa endurece, os resultados de padrão e F4 foram 6,30 minutos e 3,48 minutos respectivamente. O mandril cônico para este tipo de compósito termofixo não obteve resultados significativos, houve deslocamento em todas as amostras. No teste de impacto, foram lançados pesos de duas alturas, 50 cm e 100 cm, as amostras F2, F3 e F4 apresentaram maior desempenho, sem ocorrer o deslocamento de massa. O ensaio de flexão foi realizado com apenas três amostras, a padrão, F2 (1,2% de fibra de vidro) e F4 (2,7% de fibra de vidro), onde a F2 obteve melhor resultado, apresentou maior resistência quando comparada ao padrão e menor deformação. Isto porque a fibra promove maior rigidez a massa, e conseqüentemente ela se torna mais frágil. Portando concluiu-se que há uma quantidade máxima de fibra a ser utilizada, para que não interfira negativamente nas outras propriedades.

Palavras-chave: Massa poliéster. Fibra de vidro. Compósito.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o mercado de repintura automotiva está em elevado crescimento. Há uma grande procura por produtos diferenciados e que proporcionam desempenho superior como, por exemplo: cobertura e acabamento, além de secagem mais rápida.

¹ Graduanda em Engenharia Química. E-mail: isamtslongaretti@hotmail.com

² Profa. Dra em Engenharia Química. E-mail: Josiane.neves@satc.edu.br

A repintura automotiva é dividida em várias etapas, ou seja, cada etapa é composta por um procedimento e produto específico. Sendo necessários diversos produtos até chegar ao acabamento. As etapas que compõem uma repintura são: pré-tratamento e limpeza de superfícies, correção de imperfeições, proteção anticorrosiva, preparação da superfície, acabamentos e vernizes.

Dentro de uma linha de repintura automotiva, é produzido, além de tintas, os complementos de tinta, como colas plásticas, primer, massas poliésteres, massa de polir e cera.

Um das etapas que englobam o sistema da repintura automotiva é a fase de correção de imperfeições. Esta etapa é essencial para a reparação de qualquer defeito que possa existir na carroceria. Essa correção pode ser feita com o auxílio de massas poliésteres, cuja sua principal função é preencher qualquer tipo de imperfeição, garantindo total nivelamento da lataria.

A massa poliéster é um produto constituído de resina poliéster, cargas minerais, e aditivos químicos, sua cura acontece pela adição de catalisador. Ela é considerada uma versão mais tecnológica das massas.

Sabe-se que o mercado atual se encontra cada vez mais competitivo, e os consumidores mais exigentes, onde as empresas precisam oferecer o melhor produto com o preço mais acessível. Diante deste cenário, as indústrias buscam inovar e garantir produtos tecnológicos com qualidade.

Uma estratégia para melhorar ou modificar as propriedades é a formação de compósito resina poliéster/ fibra de vidro que influenciam diretamente nas propriedades mecânicas do produto final.

Este projeto busca estudar a influência da fibra de vidro na massa poliéster, mostrar a importância da fibra de vidro como um agente de reforço, ou seja, avaliar o aumento de resistência e flexibilidade no produto final quando submetido a uma força ou impacto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa seção será apresentada a repintura automotiva, bem como uma fundamentação teórica sobre as principais matérias-primas da massa poliéster. Além disso, será comentado sobre fibra de vidro e a formação de compósitos e as propriedades mecânicas.

2.1 REPINTURA AUTOMOTIVA

Algumas décadas após a invenção do automóvel, surgiu a repintura automotiva. Foram criadas as condições básicas para a repintura devido a introdução da linha de montagem e a consequente massificação do automóvel. Mesmo com a introdução da linha, somente após alguns anos as empresas de tinta perceberam que era necessário considerar a repintura automotiva como um segmento independente de produto. Então, nos anos 50, indústrias americanas introduziram sua tecnologia na Europa Ocidental (FAZENDA, 1995b).

A pintura original de um carro e uma repintura não podem ser feitas com o mesmo produto. A pintura original necessita de temperaturas muito elevadas (130 a 180°C), com a lataria ainda sem componentes de plástico e borracha, cujos componentes se deformam com essas temperaturas. A repintura é aplicada com a carroceria já montada. Após montado, pode ser submetido a temperaturas de até 80°C, para que os equipamentos elétricos e as peças plásticas não se danifiquem. As tintas que são desenvolvidas para a repintura possuem a secagem ao ar ou em temperaturas baixas, por volta dos 60 a 70°C, podendo-se utilizar estufas aquecidas (FAZENDA, 2009).

Diante das etapas em que a repintura é dividida, a primeira etapa é a de pré tratamento e limpeza de superfície, onde o funileiro passa o removedor pastoso para retirar resquícios de tinta, em seguida faz o lixamento da peça com lixa de grana 40, e então desengraxa a peça utilizando solução desengraxante. A segunda etapa é a de correção de imperfeições, onde é feito o reparo de furos e trincados existentes nas peças, utilizando massas poliésteres, colas plásticas, fazendo o lixamento e nivelamento da peça. A terceira etapa é a de proteção anticorrosiva, onde é aplicado o Wash Primer, produto para a proteção auto corrosiva, fundamental para um processo de garantia. A quarta etapa trata-se da preparação da superfície, que é feita a aplicação de primer, que tem a função de nivelamento e proteção do substrato preparando a peça para receber o acabamento. A quinta etapa é a de acabamentos, onde é feito a aplicação da tinta, podendo ser lisa, metálica e perolizada. A última etapa é a aplicação dos vernizes, promovendo durabilidade, resistência a luz UV e brilho (FAZENDA, 2009; FAZENDA 1995b).

A repintura automotiva possui várias etapas, uma delas é a correção de imperfeições em superfícies ferrosas e galvanizadas. Um dos produtos utilizados para

fazer esse tipo de reparo é a massa poliéster, considerada um produto mais nobre, pois apresenta em sua composição uma resina diferenciada e carga mineral de baixa granulometria, micronizada, que gera um melhor acabamento superficial da peça após o lixamento. Ela é catalisada com peróxido de benzoila em pastas e possui maior tempo de vida útil quando comparada a uma massa plástica (OLIVEIRA, 2013).

2.2 RESINA

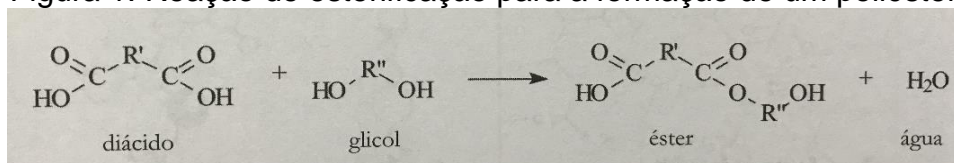
Segundo Fazenda (1995a) a resina serve para aglomerar as partículas de pigmentos, ou seja, ela é a parte não volátil do produto. A formação de filme e o que determina o uso e o desempenho da tinta é função da resina. Hoje existem muitas tecnologias que determinam qual polímero vai ser a base da resina, onde possuem resinas de alto custo e de baixo custo (BARRIOS, 2008).

A resina pode ser termofixa ou termoplástica. A termofixa é quando acontece o aquecimento do plástico, ele amolece e sofre o processo de cura onde se tem uma transformação química irreversível, com a formação de ligações cruzadas, e se torna rígido. Após se tornar rígido, se submetido a um aquecimento novamente, seu estado físico não se altera mais, ou seja, não amolece mais, ele se torna infusível e insolúvel. Já a resina termoplástica, possui uma transformação reversível. Possui a capacidade de amolecer e fluir quando submetidos a temperaturas altas e pressões. Após o aquecimento, o polímero torna-se sólido, porém se submetido novamente a novas temperaturas e pressões, sofrerá o mesmo efeito de amolecimento, ou seja, são fusíveis, solúveis e recicláveis (CASTRO, 2003).

2.2.1 Resina poliéster

As resinas poliésteres contêm grupos ésteres e são obtidas através da reação de condensação com um diálcool e um diácido, como reagentes de partida, e geram como produto um éster e subproduto água (CASTRO, 2003; CANEVALORO JUNIOR, 2013).

Figura 1: Reação de esterificação para a formação de um poliéster.



Fonte: Canevaloro Junior (2013)

A resina poliéster pode ser classificada como saturada e insaturada. Neste trabalho será abordado apenas análises com a resina poliéster insaturada. A resina poliéster insaturada gera os termofixos, que são utilizadas, geralmente, como reforços fibrosos (CANEVALORO JUNIOR, 2013).

O estireno é o monômero mais utilizado para poliéster insaturado, onde ele serve como um solvente e redutor de viscosidade do produto. Ele também é o agente de copolimerização na cura do poliéster insaturado. A cura ocorre na copolimerização do monômero, com a dupla ligação do poliéster e forma uma rede tridimensional (REIS, 2016).

As características de uma resina termofixa confere ao polímero boa resistência à temperatura, boa resistência química e alto módulo de flexão (LIBA, 2004).

2.3 CARGA MINERAL

São substâncias orgânicas ou inorgânicas, que aumentam a resistência mecânica, a rigidez e a densidade do produto, ao serem adicionadas aos polímeros. Elas são adicionadas com o intuito de diminuir o custo do produto, e também alterar suas características físicas e mecânicas (ALMEIDA; SOUZA, 2015). Possuem características que são consideradas principais para o desempenho na produção de um compósito, como propriedades mineralógicas, onde é avaliada a composição química, a estrutura cristalina, as propriedades ópticas, clivagem e dureza, a densidade, o brilho, e a cor. São características também, a granulometria, área de superfície específica e relação de aspecto (LIMA, 2007).

As principais cargas minerais usadas são: talco, caulim, mica, barita, bentonita, quartzo, diatomito e carbonato de cálcio. As cargas minerais atuam na resistência mecânica do filme, porosidade, permeabilidade e poder de preenchimento (CONCEIÇÃO, 2006).

2.4 ADITIVOS

De acordo com Castro (2003), o aditivo é usado para denotar um reagente que está presente em pequena quantidade de maneira que modifique as propriedades da resina. Produtos que possuem pigmentos e/ou cargas minerais em sua composição, é essencial que a dispersão destes insumos ocorra de forma homogênea. Se esta fase não for perfeita, pode ocasionar diversos problemas como a perda de propriedades do produto, como por exemplo, nivelamento ou reologia.

Raramente, em uma formulação, o total de aditivos excede a 5% da composição, e normalmente são divididos por função. Eles são divididos em quatro grupos: aditivos de cinética, que são os secantes, catalisadores e antipeles; aditivos de reologia, que são espessantes, niveladores e antiescorrimento; aditivos de processo, que são os surfactantes; e os aditivos de preservação, que são os biocidas e estabilizantes de ultravioleta (FAZENDA, 1995a).

2.5 CARGAS DE REFORÇO

O reforço é o material que combinado a uma matriz polimérica, forma um compósito, e determina propriedades do produto, como aumento da resistência e rigidez das estruturas. Existem vários tipos de reforços, sendo que a fibra de vidro é a mais empregada (JAIGOBIND; AMARAL; JAISINGH, 2007).

2.5.1 Fibra de vidro

Atualmente a fibra de vidro é o reforço mais utilizado na formação de compósitos. Foi no decorrer da 2ª Guerra Mundial que a fibra de vidro começou a ser comercializada, fornecendo rigidez e leveza aos equipamentos militares (KEMERICH et al., 2013).

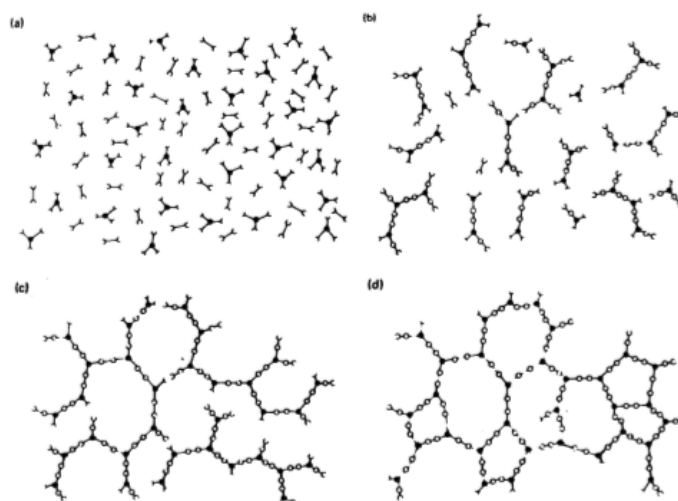
As fibras de vidro são utilizadas aproximadamente 90% em resinas termofixas, por obter atributos como reforço, melhorando suas propriedades mecânicas, e principalmente a resistência ao impacto (JAIGOBIND; AMARAL; JAISINGH, 2007). Materiais rígidos e sensíveis a fratura, e quando combinada com a resina, produz um compósito que possui características de mais resistência (LIBA, 2004).

De acordo com Reis (2016), a fibra de vidro é extensivamente utilizada por diversas razões, pela facilidade de fabricação, alta resistência a partir do estado fundido, devido a obtenção a partir de uma grande variedade de técnicas industriais economicamente viáveis, são relativamente resistentes e quando embutidas a uma matriz de plástico, produzem compósitos com elevada resistência à tração e por sua inércia química. Além de possuírem grande resistência a altas temperaturas (até 200°C), as fibras de vidro apresentam elevada resistência química e mecânica. Este material é muito aplicado em construções de tanques de armazenamento de produtos químicos, construção de embarcações e de estruturas, peças automotivas, construção civil, entre outras (FAZENDA, 1995b).

2.6 CURA DA RESINA POLIÉSTER INSATURADA

O mecanismo que ocorre na cura ou solidificação de resinas líquidas que são termofixas envolve mecanismos de polimerização radicalar, catiônica ou híbrida com formação de uma estrutura polimérica que é altamente reticulada. A formação desta estrutura tem início mediante fornecimento de energia, que pode ser calor, luz ou potencial elétrico (REIS, 2016).

Figura 2: Processo de cura.



Fonte: Reis (2016)

A Fig. 2 apresenta etapas de cura de uma resina termofixa, onde em (a) acontece o crescimento das cadeias lineares, quando submetido a ação de calor, começam a se ramificar simultaneamente, chegando na etapa (b) que é o momento

prévio ao ponto gel ou gelificação, onde conforme a reação acontece, a massa molecular aumenta e se produz um entrecruzamento completo determinando o ponto de gelificação que é a etapa (c) do processo. A gelificação é quando acontece a transição entre estado líquido e a fase gel. A etapa (d) é quando a estrutura polimérica está altamente reticulada, na qual se forma um sólido insolúvel, sem possibilidade de fusão, constituída de uma rede tridimensional infinita (REIS, 2016).

A forma de cura de uma resina poliéster é através da adição de um peróxido adequado no momento da utilização do poliéster. Para que ocorra a decomposição do peróxido em radicais livres, é necessário que esteja incorporada no poliéster uma substância capaz de provocar tal decomposição na temperatura ambiente. Peróxidos, como peróxido de benzoíla utilizado neste trabalho, ativam as moléculas monoméricas e iniciam a polimerização em cadeia onde há a combinação com um radical livre (CASTRO, 2003).

2.7 COMPÓSITO RESINA POLIÉSTER INSATURADA E FIBRA DE VIDRO

Uma das definições de compósitos, é que são materiais estruturais de duas ou mais fases macroscópicas, onde essas fases fazem com que as propriedades mecânicas sejam melhores. Dentro dessas duas fases macroscópicas, uma delas é fibrosa ou particulada, e deve ser despejada em uma fase contínua, no caso uma matriz (ligante) (REIS, 2016). As fibras são os componentes que, quando incorporadas em uma matriz, aumentam a força suportada pelo material, reduzindo a propagação de rachaduras e prevenindo fraturas. Elas reduzem a deformação da matriz, enquanto a matriz transfere forças externas para as fibras (CASTRO, 2003).

As propriedades mecânicas da resina, quando pura, são insuficientes para a aplicação no ramo da engenharia. E as fibras não possuem, quando puras propriedades mecânicas suficientes para aplicações estruturais, além de apresentarem um alto desgaste por abrasão. Ao unir a resina com a fibra, é possível obter características excepcionais para aplicações, como por exemplo: elevada relação entre resistência e peso; elasticidade; propriedades térmicas atrativas; não absorvem umidade; excelente resistência à corrosão. Os plásticos reforçados com fibra de vidro, devido à essas características, estão sendo utilizados em diversas áreas como automobilístico, construção civil, naval, peças industriais, entre outros.

Neste trabalho será abordado a parte de correção de imperfeições em peças automobilísticas utilizando uma massa poliéster de fibra de vidro (VOGEL, 2002).

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Este item irá abordar a preparação da massa poliéster com fibra de vidro, seguindo dos testes de caracterização para avaliar a influência que a fibra promove sobre a massa.

3.1 PREPARAÇÕES DA MASSA

Foram formuladas cinco amostras com percentuais de fibra aleatórios, baseado em massas poliésteres produzidas pela empresa e massas poliésteres com fibra de vidro de alguns concorrentes, como apresenta a Tab. 1.

Tabela 1: Formulações das massas poliésteres

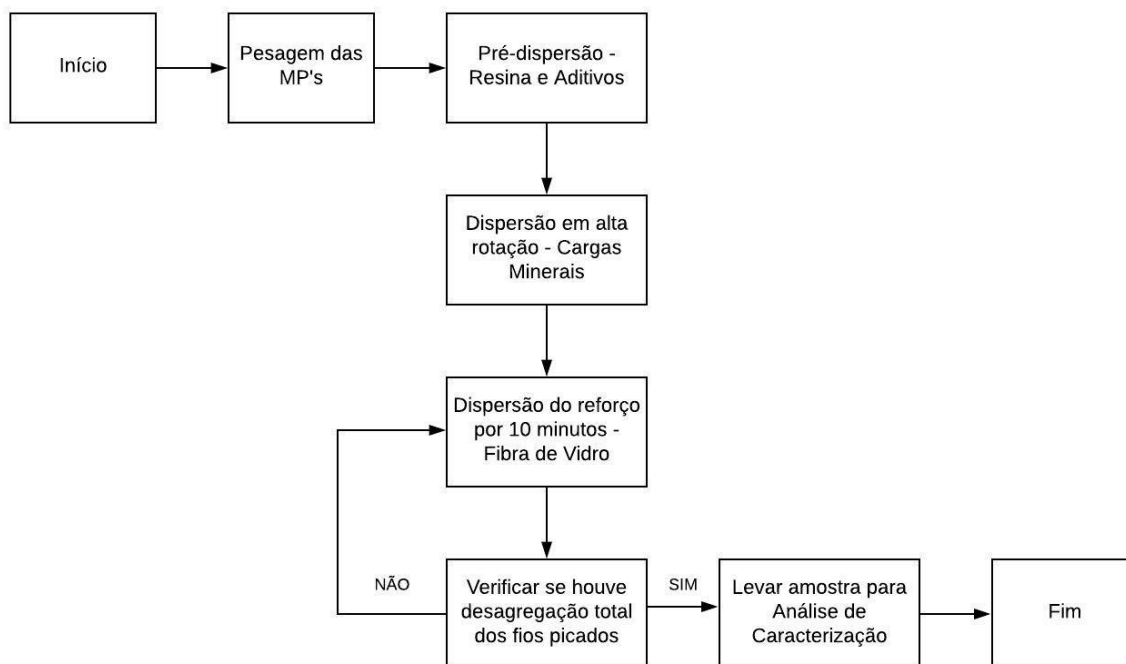
Matéria-prima	Padrão	F1	F2	F3	F4
Resina	41,5	42,5	42,5	42,5	41
Aditivo	3,05	3,35	3,35	3,35	3,35
Carga Mineral	55,45	53,65	52,95	52,15	52,95
Carga de Reforço	-	0,5	1,2	2	2,7

Fonte: Do autor (2019)

Percebe-se na Tab. 1 que a amostra padrão não possui a adição da carga de reforço (fibra de vidro), isto porque foi feito um comparativo entre a massa sem fibra e a massa com fibra.

O processo de fabricação da massa está representado na Fig. 3 na forma de um fluxograma. A formulação da massa foi feita em um dispersor, que possui o sistema de resfriamento acionado desde o início da formulação.

Figura 3: Fluxograma do processo de fabricação da massa poliéster.



Fonte: Do autor (2019)

Primeiramente foi feito a pesagem das matérias-primas, resina, aditivos, cargas minerais e carga de reforço, separadamente. Em seguida adicionou-se ao tacho a resina e os aditivos para uma pré-dispersão, para que houvesse uma melhor umectação do restante das matérias-primas. Então foram adicionadas as cargas minerais e colocadas em dispersão com uma rotação alta. Após a dispersão das devidas cargas minerais, adicionou-se a carga de reforço, a fibra de vidro, dispersando por 15 minutos. Para finalizar retirou-se uma amostra para verificar se houve a desagregação da fibra por completo, não havendo necessidade de dispersar por mais tempo.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA MASSA

Para avaliar a influência da fibra de vidro, faz-se necessário determinar suas propriedades, características físicas e químicas do produto, e delimitar os ensaios para aplicação do material.

Foram utilizados diferentes métodos de análise e ensaio, sendo que viscosidade, densidade, gel time, mandril cônico e impacto foram feitos na Empresa Anjo Química do Brasil Ltda., e o ensaio de flexão foi feito pelo LACAMI – Laboratório

de Caracterização Microestrutural, estabelecido na SATC – Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina, localizada em Criciúma/SC.

3.3 VISCOSIDADE

A viscosidade é um parâmetro crucial para definir o aspecto final do produto, principalmente sua consistência. Deve estar em uma faixa adequada para não prejudicar a aplicação do produto.

Foi medido com um viscosímetro de modelo RVDV-II, fabricado por *Brookfield Engineering Laboratories*, onde é selecionado um *spindle* e a rotação em rpm (rotação por minuto). A unidade de medida em que o resultado é obtido, é em centipoise (cP).

3.4 DENSIDADE

Segundo a norma ASTM D1475 (1968), densidade é uma característica da substância que constitui um corpo, obtida pelo quociente entre a massa e o volume, onde sua unidade é representada em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

A densidade foi medida com um picnômetro de 50 ml. Foi feita a tara do picnômetro, colocado massa até transbordar, então retirou-se o excesso e pesou-se. O resultado que foi obtido na balança, foi dividido por 50. A densidade é um parâmetro fundamental, uma vez que propicia o aumento do volume e eleva o rendimento da massa.

3.5 GEL TIME

O *gel time* (tempo de gel), é quando ocorre a cura, ou seja, a polimerização da resina poliéster insaturada. A resina após um período, transforma-se em um material gelatinoso, no qual não poderá mais ser manuseada. Após essa reação de cura, ocorre o endurecimento, com grande dissipação de calor, conhecida como reação exotérmica.

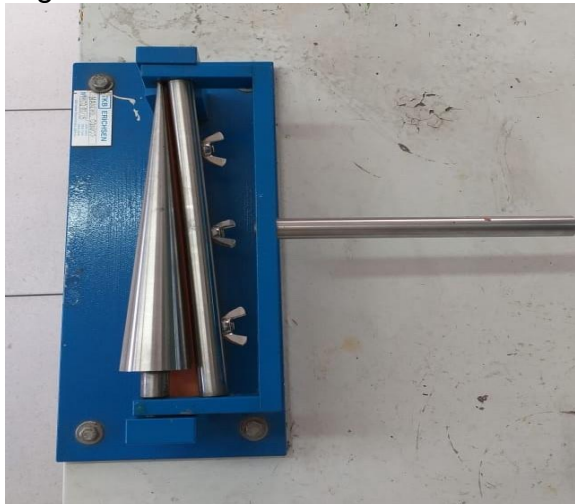
Para o *gel time*, fez-se a preparação da massa como se fosse aplicá-la. Pesou-se 100 gramas de massa, 1,5 gramas de catalisador, e misturou-se. Após misturar a massa com o catalisador, foi acionado um cronômetro. O cronômetro foi

pausado quando se percebeu que não era mais possível manusear a massa, ou seja, ocorreu a gelificação.

3.6 MANDRIL CÔNICO

Segundo a norma ASTM D522 (2001), este método de ensaio abrange a determinação da resistência à fissuração (flexibilidade) de revestimentos fixados em substratos de folha de metal ou materiais do tipo borracha, através de dobraduras sobre mandris. Foi feita uma aplicação do produto em uma chapa metálica e inserida no mandril e então a dobradura foi realizada manualmente. A Fig. 4 apresenta a foto do equipamento mandril cônico, fabricado pela TKB Erichsen, que será utilizado para análises.

Figura 4: Mandril cônico visto de cima.



Fonte: Do autor (2019)

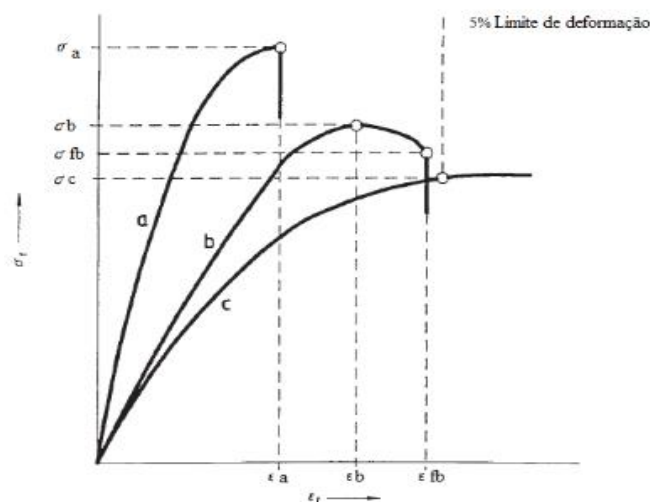
3.7 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Para determinar as propriedades mecânicas de um material, são feitos ensaios que provocam a ruptura do material, chamados de ensaios destrutivos (SOUZA, 1936). No presente trabalho foram realizados os ensaios de flexão e impacto.

a) Ensaio de Flexão

No ensaio de flexão é possível medir o valor da carga *versus* a deformação máxima, onde é aplicado uma carga crescente em determinados pontos de uma barra. Tensão de ruptura em flexão e módulo de elasticidade em flexão são as principais propriedades obtidas neste ensaio. O ensaio de flexão em três pontos gera um gráfico que é possível classificar o material (GAMA, 2017).

Figura 5: Curvas típicas de ensaio de flexão.



Fonte: Gama (2017)

Quando a ruptura do corpo de prova ocorre antes da fibra deformar, é do tipo 'a'. Para ser do tipo 'b', há deformação das fibras e a ruptura 5% de deformação após esse ponto. E para ser do tipo 'c', não há deformação das fibras e nem ruptura, assim, o ensaio deve ser interrompido e anotado o valor máximo (GAMA, 2017).

Foi realizado no equipamento EMIC-Instron, onde o corpo de prova foi colocado entre os dois pontos do equipamento que foi programado para exercer a força desejada a uma velocidade de 5 mm/min.

b) Ensaio de Impacto

Segundo a norma ASTM D2794, o método de ensaio de impacto abrange um procedimento para deformar rapidamente uma película de revestimento e o seu substrato e para avaliar o efeito de tal deformação.

O produto foi aplicado em uma chapa metálica adequada, e então foram colocados três pesos, um com ponta fina, outro com ponta média e outro com ponta grossa, todos com 1 kg, a uma certa distância, de modo a atingir um penetrador que deforma o revestimento e o substrato.

Os pesos foram lançados da altura máxima de 100 cm e da altura média de 50 cm.

Figura 6: Equipamento impacto.



Fonte: Do autor (2019)

A Fig. 6 acima apresenta o equipamento que foi utilizado no ensaio de impacto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme descrito na seção 3, a Tab. 2 apresenta os resultados obtidos de viscosidade, densidade e gel time.

Tabela 2: Resultados obtidos.

Análise	Padrão	F1	F2	F3	F4
Viscosidade (cP)	977e ³	117e ⁴	163e ⁴	211e ⁴	332e ⁴
Densidade (g/cm ³)	1,3748	1,6532	1,6578	1,6230	1,6622
Gel time (min)	6,30	5,59	4,48	4,15	3,48

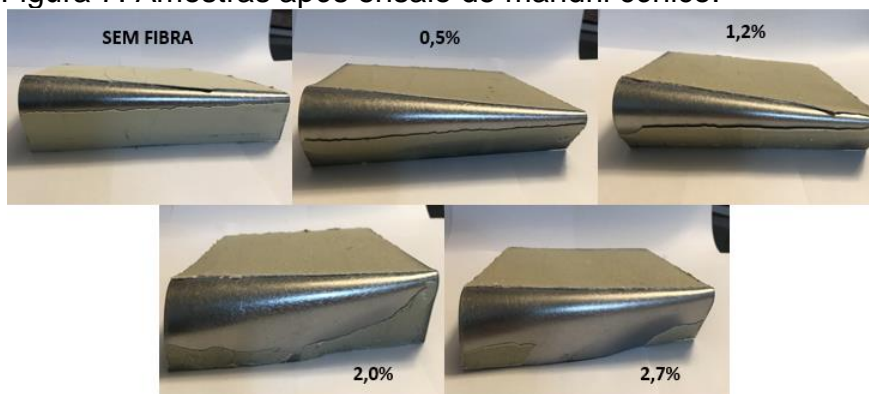
Fonte: Do autor (2019)

De acordo com os resultados de viscosidade é possível verificar que a viscosidade da amostra padrão apresentou um valor de 977e³ e observa-se que conforme foi sendo adicionada a fibra de vidro, a viscosidade foi aumentando apresentando valores de 117e⁴, 163e⁴, 211e⁴ e 332e⁴ respectivamente, resultado esse já esperado devido a incorporação da fibra. Na análise de densidade, em relação ao padrão apresentou-se um aumento, devido a característica do produto.

Ao realizar o teste de *gel time*, percebeu-se uma redução no tempo de gel à medida que o percentual de fibra de vidro foi aumentando. Para a amostra de massa poliéster padrão o tempo foi de 6 minutos enquanto a massa F5 com 2,7% de fibra de vidro, por exemplo, apresentou um tempo de 3,48 minutos. Pode-se dizer que quanto mais rápido for o tempo de gel mais rápido a massa endurece. Estudos mostram que a carga diminui a tempo de reatividade da massa, justificando a redução do *gel time* das amostras em estudo (CHERMISINOFF; CHERMISINOFF,1995).

A Fig. 7 apresenta os resultados do ensaio de mandril cônico. Nota-se que houve trincas e deslocamento de todas as amostras, inclusive a amostra padrão.

Figura 7: Amostras após ensaio de mandril cônico.



Fonte: Do autor (2019)

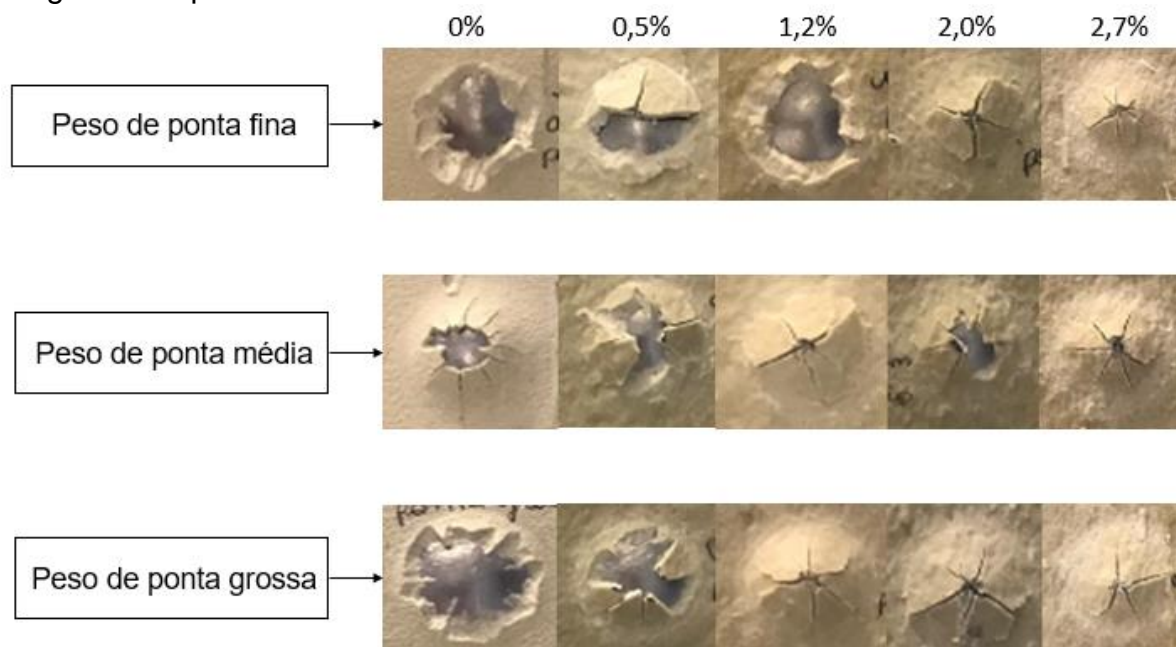
Portando pode-se dizer que nesse ensaio de mandril cônico não foi possível atingir um resultado significativo, pois a massa apresentou uma dureza alta,

influenciando no deslocamento de todas as amostras, inclusive da amostra padrão sem fibra de vidro.

Apresenta-se nas Figuras 8 e 9 o resultado dos ensaios de impacto realizados na altura máxima e média respectivamente. A Fig. 8 apresenta o resultado do lançamento da altura máxima (100 cm). Nota-se a influência da fibra de vidro conforme a quantidade de fibra é adicionada. De acordo com a imagem a massa sem fibra, houve um deslocamento de uma área maior quando comparadas com as outras amostras que contém fibra em sua composição.

Outro ponto a ser destacado são com as amostras que apresentam valores de 1,2%, 2,0% e 2,7% de fibra de vidro em sua composição, é possível verificar que houve apenas rachaduras (trincas) não apresentando deslocamento, indicando que quanto maior o percentual de fibra de vidro, mais resistente será a massa poliéster. Esse comportamento também foi observado por Monteiro et al., (2006a) e Leão et al., (1997), nos quais o reforço com fibras aumentam a tenacidade ao impacto de compósitos com matriz polimérica.

Figura 8: Impacto altura máxima.

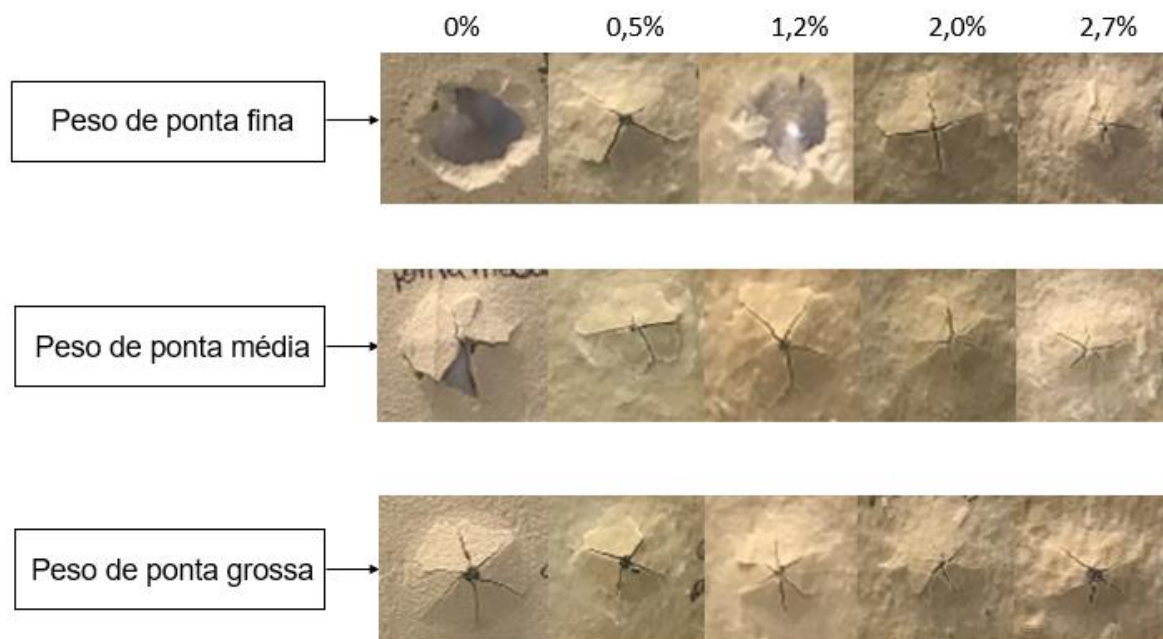


Fonte: Do autor (2019)

A Fig. 9 mostra os resultados dos pesos lançados da altura média (50 cm), onde pode-se dizer que obtiveram um resultado melhor de resistência ao impacto. Como discutido anteriormente, conforme a adição da fibra a massa apresenta-se mais tenaz, ou seja, está absorvendo mais energia antes de sua ruptura. Apenas o peso

com ponta fina fez com que houvesse deslocamento com a amostra de 1,2% de fibra de vidro, isto pode ser explicado pela área de contato ser menor, assim apresenta um impacto mais agressivo na superfície por apresentar na ponta fina uma maior quantidade de energia comparadas com as pontas média e grossa.

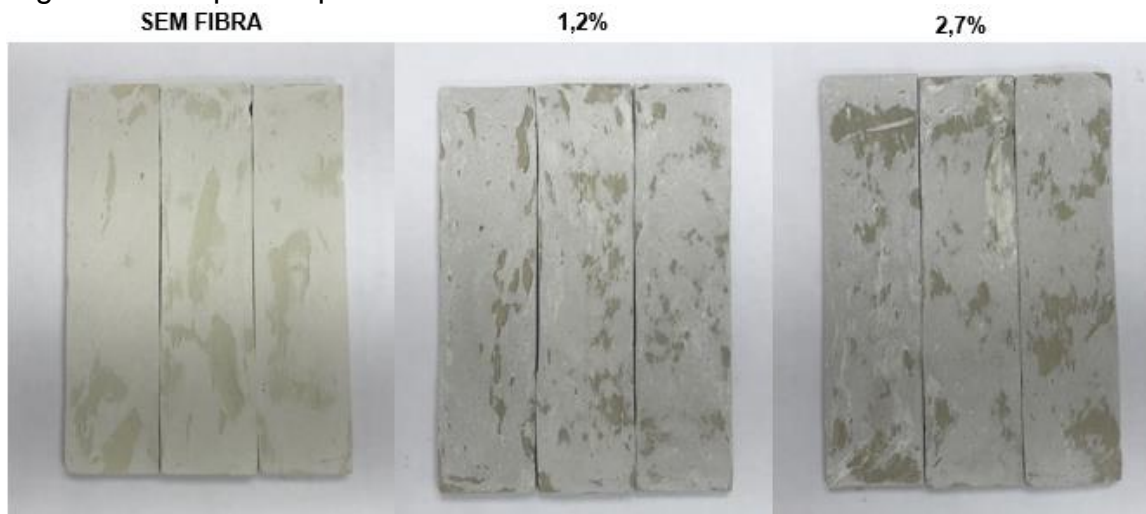
Figura 9: Impacto altura média.



Fonte: Do autor (2019)

Por fim foi realizado o ensaio de flexão, com as amostras de massa poliéster sem fibra de vidro, com 1,2% de fibra de vidro e com a amostra de 2,7% de fibra de vidro. Vale ressaltar que foi produzido três corpos de prova para cada amostra para realizar o teste em triplicata. A Fig. 10 apresenta os corpos de prova de cada amostra.

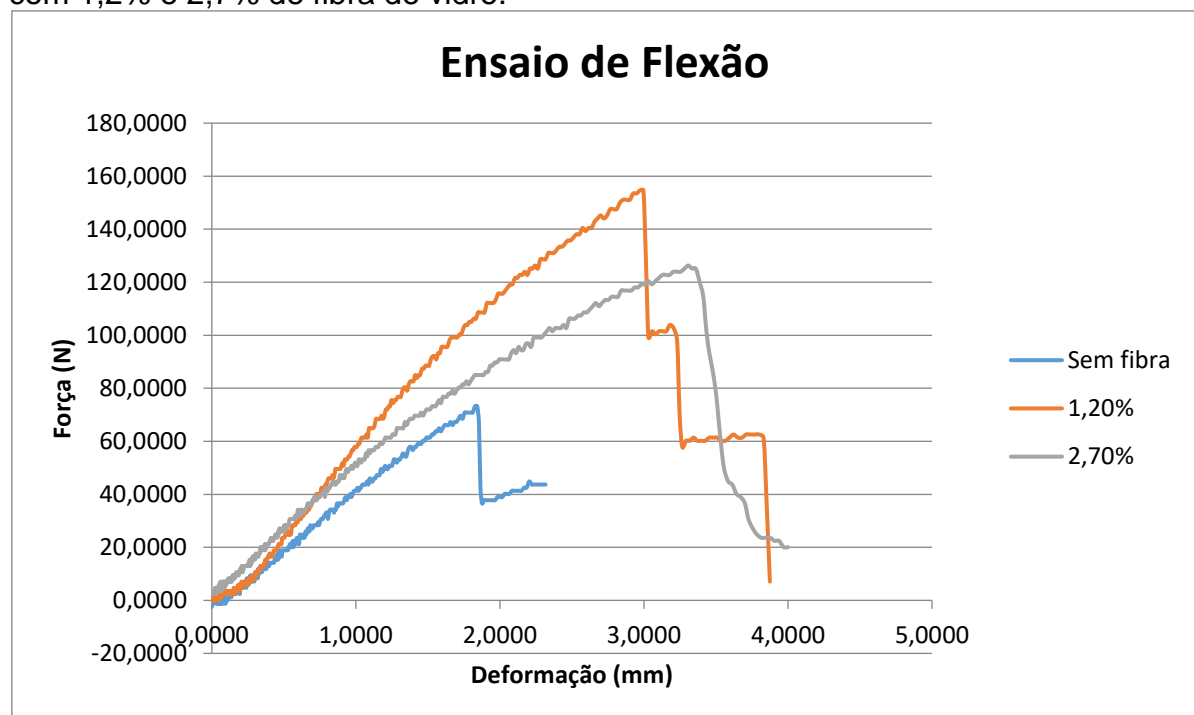
Figura 10: Corpos de prova antes do ensaio de flexão.



Fonte: Do autor (2019)

Ao realizar o ensaio de flexão verificou-se que a quantidade de fibra não precisa ser muito elevada para um bom desenvolvimento. A Fig. 11 apresenta o gráfico de força versus deformação realizados nos corpos de provas das amostras sem fibra, com 1,2% e 2,7 % de fibra de vidro.

Figura 11: Gráfico força x deformação nas amostras de massa poliéster sem fibra e com 1,2% e 2,7% de fibra de vidro.



Fonte: Do autor (2019)

Conforme a Fig. 11, o corpo de prova com 1,20% de fibra foi o que mais resistiu ao ensaio de flexão, apresentando uma força de 154N com aproximadamente

3 mm de deformação, enquanto para a massa padrão a força máxima foi de 73 N e 1,84 mm de deformação. Já para a amostra com 2,7% de fibra de vidro a força foi de 125N e 3,3 mm de deformação. Observa-se uma redução da força quando comparada a amostra com 1,2%. Conclui-se que há uma quantidade máxima de fibra a ser adicionada para se obter uma força máxima, pois caso contrário a fibra reduz a força máxima e aumenta a deformação. Vale ressaltar que os resultados de flexão confirmaram os resultados obtidos anteriormente de impacto, quanto maior a quantidade de fibra mais rígida é a massa, e conseqüentemente mais frágil, como mostra a trajetória do corpo de prova com 2,70% de fibra de vidro. A Fig. 12 mostra os corpos de prova rompidos após o ensaio.

Figura 12: Corpos de prova rompidos após ensaio de flexão.



Fonte: Do autor (2019)

Pode ser observado na Fig. 12, o comportamento frágil que a massa poliéster desempenha, uma vez que a trinca se propaga transversalmente ao corpo de prova, não sofrendo nenhum desvio que pudesse ser capaz de aumentar a resistência ao impacto no mesmo. Quando se observa a massa com fibra tanto com 1,2% quanto 2,7 % é possível verificar que ocorreu pequenos desvios da propagação das trincas na interface entre a fibra e a matriz polimérica influenciando no aumento da resistência ao impacto como mostrado anteriormente.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise feita sob a influência que a fibra de vidro promove em uma massa poliéster. Além disso, permitiu fazer um comparativo com uma massa poliéster sem fibra de vidro. No teste de viscosidade, concluiu-se que quanto maior a quantidade de fibra, mais viscosa a massa poliéster fica, isto comprova que a fibra de vidro promove maior rigidez no produto. Na análise da densidade, a fibra promoveu um aumento no resultado, porém

este aumento é devido a característica do produto e também da incorporação da fibra de vidro na massa poliéster.

O *gel time* obteve resultados positivos em relação ao estudo, conforme aumenta a quantidade de fibras, o tempo de gel diminui, onde o padrão sem fibra de vidro ficou 6,30 minutos e a amostra F5 (2,7% de fibra de vidro) ficou 3,48 minutos, isto devido a carga diminuir o tempo de reatividade da massa. O ensaio de mandril cônico não atingiu resultados significativos, todas as amostras obtiveram o mesmo resultado, houve o deslocamento, provando a alta dureza que a fibra de vidro promove na massa poliéster.

No ensaio de impacto percebeu-se a influência que a fibra de vidro promove na resistência do produto quando adicionada. Comparando com a amostra padrão (sem fibra de vidro), a amostra que apresentou mais resistência foi a F5 com 2,7% de fibra de vidro, isto porque a fibra deixa a massa mais tenaz e faz com que ela absorva energia antes mesmo da sua ruptura.

Evidenciou-se no ensaio de flexão que quanto maior o percentual de fibra de vidro, mais rígida a massa poliéster fica e mais frágil, ou seja, aumento na deformação. A amostra com 1,2% de fibra de vidro obteve resultados ótimos quando comparado ao padrão, sem fibra de vidro, e ao corpo de prova com maior percentual de fibra de vidro.

Comprovou-se que quanto maior o percentual de fibra de vidro, mais resistente a massa poliéster fica, porém, sua alta viscosidade é um ponto negativo para a aplicação do produto em uma peça de carro, pois a massa acaba ficando com uma dureza muito alta dificultando a aplicação. Portando conclui-se que há uma quantidade máxima de fibra a ser utilizada, para que não interfira negativamente nas outras propriedades.

Para sugestão de trabalhos futuros, seria necessário fazer outro estudo mais específico para analisar a questão de quantidade de resina, carga mineral e carga de reforço (fibra de vidro), e resultar um equilíbrio para melhor aplicação do produto.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Gustavo Spina Gaudêncio de; SOUZA, Wander Burielo de. **Engenharia dos Polímeros: Tipos de Aditivos, Propriedades e Aplicações**. São Paulo: Editora Érika Ltda., 2015.

ASTM D1475. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: Density of paint, varnish, lacquer, and related products. Washington, D.c., 1968

ASTM D2794. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: Standard test methods for resistance of organic coatings to the effects of rapid deformation (impact). Washington, D.c., 2010.

ASTM D522. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: Standard teste methods for mandrel bend of attached organic coatings. Washington, D.c., 2001.

BARRIOS, Silmar Balsamo. **Síntese de resinas alquídicas via catálise enzimática.** 2008. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18406/000725112.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 14 mar. 2019.

CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião V.. **Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros.** 3. ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2013. 106 p.

CASTRO, Alessandro Justino de. **Resina Poliéster: caracterização e estudo das condições de cura e propriedades mecânicas.** 2003. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/37487996-Resina-poliester-caracterizacao-e-estudo-das-condicoes-de-cura-e-propriedades-mecanicas.html>>. Acesso em: 12 mar. 2019.

CHEREMISINOFF, N. P.; CHEREMISINOFF; P. N. **Fiberglass Reinforced Plastics.** New Jersey: Noyes Publications, 1995.

CONCEIÇÃO, Paulo Ricardo Nunes da. **Utilização de análise multivariada de dados na otimização de misturas de minerais industriais para a formulação de tintas.** 2006. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10427/000598011.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

FAZENDA, Jorge M. R.. **Tintas e Vernizes: Ciência e Tecnologia.** 2. Ed. São Paulo: Textonovo Editora e Serviços Editoriais Ltda., 1995a. 692 p. (Volume 1)

FAZENDA, Jorge M. R.. **Tintas e Vernizes: Ciência e Tecnologia**. 2. Ed. São Paulo: Textonovo Editora e Serviços Editoriais Ltda., 1995b. 558 p. (Volume 2).

FAZENDA, Jorge M. R.. **Tintas: Ciência e Tecnologia**. 4. Ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2009. 1124 p.

GAMA, Daniel Pereira Nunes. **Análise das propriedades de tensão e flexão de compósitos sanduíche**. 2017. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. Disponível em: <<http://www.mec.uff.br/pdfteses/DanielPereiraNunesGama2017.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2019.

JAIGOBIND, Allan George A.; AMARAL, Lucia do; JAISINGH, Sammay. **Fabricação de peças em fibra de vidro (compósitos)**. Rio de Janeiro: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2007. 46 p. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTE4>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha; PIOVESAN, Maurício; BERTOLETTI, Luísa Lima; ALTMAYER, Sabrina; HOHMVORPAGEL, Tatiane. **Fibras de Vidro: Caracterização, Disposição final e Impactos Ambientais Gerados**. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. Rio Grande do Sul, v (10) p. 2112-2121, Jan./Abr., 2013.

LEÃO, A.L., CARASCHI, J.C., TAN, I.G., "**Curaua fiber – A Tropical Natural Fibers from Amazon - Potential and Application in Composites**", *Natural Polymers and Agro Fibers Composites*, pp. 257-272, São Paulo, Brasil, USP & UNESP, 2000.

LIBA, Ademir Donizeti. **Controle da Finalização da Reação de Resina de Poliéster Insaturado via NIR**. 2004. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Ciência e Tecnologia dos Materiais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/267690/1/Liba_AdemirDonizeti_M.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2019.

LIMA, Antônio Bastos Torres. **Aplicações de Cargas Minerais em Polímeros**. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Minas, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://coopmaco.com.br/wp-content/uploads/2014/03/APLICA%C3%87%C3%83O-DE-CARGAS-MINERAIS-EM-POLIMEROS.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2019.

MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P.; LOPES, F.P.D.; CARVALHO, E.A.; D'ALMEIDA, J.R.M. (2006) **Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá**. Revista Matéria, v. 11, n. 3, p. 197-203.

OLIVEIRA, André. Resina poliéster na formulação de massa plástica e massa poliéster – complementos de reparo para repintura automotiva. **Paint & Pintura**. São Paulo, edição 181 p. 217-218, set., 2013.

REIS, Ligia Reghin. **Obtenção e Caracterização de Compósitos de Resina Poliéster Insaturada Moldados pelos Processos de Infusão**. 2016. 104 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016. Disponível em:

<https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/472/dissertacao_reis_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 abr. 2019.

VOGEL, Gilmar Fernando. **Projeto e desenvolvimento de máquina para o corte de fios de fibra de vidro (Roving), utilizada para a laminação de peças em plástico reforçado com fibras de vidro (Fiberglass)**. 2002. 190 f. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8331/GILMAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 mar. 2019.