



Avaliação do custo e desempenho de um gel coat, baseada na avaliação de suas cargas minerais

Eduardo Ziglioli¹, Daniela De Conto¹, Tomás Augusto Polidoro¹

¹ Universidade de Caxias do Sul, Rua Francisco Getúlio Vargas 1130, 95070-560, Caxias do Sul-RS, Brasil (tapolido@ucs.br)

Resumo

O *gel coat* é um material polimérico produzido com resinas de poliéster, e sua principal finalidade é a criação de uma barreira química e acabamento em peças de fibra de vidro, proporcionando as peças uma superfície lisa e brilhante, além de facilitar a sua conservação. Para este trabalho foram produzidas cinco amostras, todas foram preparadas a partir de uma fórmula genérica para um *gel coat* do tipo *primer*, variando apenas o componente da carga, todas as amostras tiveram talco adicionado como carga principal e foram complementadas com cargas como o carbonato de cálcio, almagamatolito, microesferas ocas de vidro e resíduo de polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV) moído, que foi utilizado em substituição parcial às cargas. As amostras foram submetidas a análises de curva exotérmica, análise de cobertura, massa específica, análise termogravimétrica e viabilidade financeira. As amostras contendo apenas talco, principal carga mineral utilizada na fabricação do *gel coat*, possui características aceitas pelo mercado, visto que dentre todas as avaliações, apresentou resultados que correspondem ao nível de exigência das empresas do ramo. O poder de cobertura da amostra produzida com resíduos moídos de PRFV foi considerado satisfatório para um gel do tipo *primer*.

Palavras-chave: *Gel coat*, Resina poliéster, Cargas minerais, Reciclagem, Fibra de vidro.

Área Temática: 12 - Resíduos Sólidos.

Cost evaluation and performance of a gel coat based on evaluation of its mineral fillers

Abstract

The gel coat is produced with polyester resins and their main purpose is to create a chemical barrier and finishing fiberglass parts, the part providing a smooth and glossy surface, besides facilitating their storage. For this work were produced five samples were all prepared from a generic formula for a gel coat type primer, varying only the load components, all samples had talc added as master batch and were supplemented with fillers such as carbonate calcium, almagamatolita, hollow glass microsphere and residual polymer reinforced with glass fiber (PRGF) milled, which was used in substitution for part loads. The samples were subjected to exothermic curve analysis, coverage analysis, density, thermal analysis and economic feasibility. Samples containing only talc, the main mineral filler used in the manufacture of the gel coat, has characteristics accepted by the market, since among all the evaluations, presented results that correspond to the demand level of the branch companies. The hiding power of the sample produced with waste ground PRGF was satisfactory to a gel-type primer.

Keywords: *Gel coat*, polyester resins, mineral charges, Recycling, Fiberglass.

Theme Area: 12 - Solid Waste.



1 Introdução

A mistura de um reforço (fibra de vidro) a uma matriz polimérica (resina poliéster ou outro tipo de resina) e a uma substância catalisadora de polimerização forma um compósito denominado Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), cuja técnica permite a produção de peças com grande variedade de formatos e tamanhos: piscinas, caixas d'água, cascos e hélices de barcos, carrocerias de veículos e outras. Porém, no processo de fabricação de compósitos, são geradas grandes quantidades de rejeitos ou sobras, prejudicando o meio ambiente (ORTH et al., 2012).

Os veículos brasileiros, conforme destacam fornecedores de peças e acessórios, levam de 100 a 150 quilos de material plástico, enquanto que na Europa chegam a 200 quilos (SILVA, 2010). Na região da serra gaúcha cresce o acúmulo de resina poliéster reforçada com fibra de vidro gerando grande transtorno quanto ao depósito em aterros locais e inutilização de matéria prima. A facilidade em obter estes compósitos tem gerado problemas ambientais, pois há a geração de grandes quantidades de rebarbas na fabricação das mantas de fibra de vidro (FONTAN, 2009).

O *gel coat* pode ser definido como um produto de formulação complexa, utilizado como revestimento superficial para partes de compósitos produzidos com resina poliéster, não necessariamente reforçados com fibra de vidro. Este produto não apresenta modernos processos de fabricação, bem como não possui alta tecnologia de utilização. Desta forma, o que garante um produto avançado é a evolução no que diz respeito à formulação, sobretudo na aditivação e pigmentação do produto.

O *gel coat* possui em sua fórmula basicamente: pigmentos, aditivos e cargas minerais dispersados em resinas éster-vinílicas ou resinas poliéster, variando conforme a aplicação. Normalmente as etapas de produção são: dispersão de pigmentos e cargas minerais na resina utilizada, aditivação e controle de cor (ABMACO, 2008).

Este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho e custo de fabricação de um *gel coat* através da alteração do teor ou substituição do tipo de carga mineral utilizada, relacionar as características conferidas ao *gel coat* pela adição de diferentes cargas minerais e comparar seus desempenhos baseado em propriedades físicas como massa específica, viscosidade e tixotropia, dureza *barcol*, além de ensaios de curva exotérmica, termogravimétrica (TGA), poder de cobertura.

2 Metodologia

2.1 Materiais

Foram utilizadas na preparação, análise e caracterização das amostras, matérias primas usuais, de baixa complexidade. As amostras são de um gel do tipo *primer*.

Utilizou-se na produção do *gel coat*, uma resina Poliéster Ortoftálica Insaturada (*Polydyne 5000*), como base e a resina *Polydyne 5062 P*, os pigmentos foram a *Armorpaste* PLP Azul Ftaló BL9005 e a *Armorpaste* PLP Branco W2000. Produtos fornecidos pela empresa CCP *Composites* e Resinas do Brasil. O talco da Mineradora São Judas, comercializado como SJ3, o carbonato de cálcio da empresa EDK Mineração S/A, comercializado sob a referência EDK 325 R50, a algamatolita da mineradora Matheus Leme LTDA, comercializada sob a referência Talco Branco M4, microesfera de vidro da marca *Silbrico Corporation*, comercializada sob a referência *Sil-cell*, sílica pirogênica da marca *Evonick Industries*, comercializado sob a referência Aerosil 200, monômero de estireno da



marca Companhia Brasileira de Estireno (CBE), catalisador (peróxido de metil etil cetona em dimetilftalato) marca Polinox do Brasil, comercializado sob a referência Brasnox DM50.

Na produção da amostra E, utilizaram-se parte de resíduos de laminados de fibra de vidro gerados na empresa CCP *Composites* e resinas do Brasil, em sua unidade de Caxias do Sul. Estes resíduos apresentavam diferentes tipos de resina e de *gel coat*. Os laminados continham resinas do tipo DCPD e do tipo ortoftálica, além de *gel coat* dos tipos ortoftálico, *primer*, ISO e ISO/NPG de cores variadas.

2.2 Identificação das amostras

Todas as amostras continham o mesmo percentual de resina ortoftálica de 37%, resina flexível de 5%, pigmento de 6% e solvente de 10%, variando apenas os percentuais das cargas minerais, conforme apresentado na Tabela 1. Desta forma puderam-se observar as características que cada carga proporcionou a amostra.

Tabela 1 – Distribuição do teor de carga nas amostras testadas.

Amostra	Carga
A	41,00 % Talco / 1% Sílica
B	20,00% Talco / 21,00% Carbonato de Cálcio / 1% Sílica
C	20,00% Talco / 21,00% Algamatolita / 1% Sílica
D	33,00% Talco / 8,00% Microesfera / 1% Sílica
E	26,00% Talco / 15 % Fibra Moída / 1 % Sílica

Fonte: o autor.

Nota: os pigmentos foram utilizados na proporção de 5% da cor azul e 1% da cor branca.

O *gel coat* foi produzido levando-se em conta os procedimentos utilizados pela CCP *Composites* e Resinas do Brasil para um *gel coat* genérico. Neste processo, utilizou-se o misturador com controle de rotações digital, da marca Marconi e uma hélice do tipo disco dispersor. A rotação utilizada no misturador foi de 1000 rpm.

2.3 Análise Termogravimétrica – TGA

As análises de TGA, foram realizadas no Laboratório de Polímeros (LPOL) da UCS, com uma variação de temperatura de 25 a 500 °C em atmosfera inerte de N₂, e de 500 a 800 °C em atmosfera de ar sintético, a taxa de 10°C.min⁻¹ e vazão de 50 mL.min⁻¹ de N₂. O equipamento utilizado foi o SHIMADZU TGA-50.

2.4 Poder de cobertura, curva exotérmica e massa específica

As análises de poder de cobertura, curva exotérmica e massa específica, foram realizadas na empresa CCP *Composites* e Resinas do Brasil, unidade de Caxias do Sul, conforme o procedimento da mesma, que baseia-se no ensaio padronizado pela American Society for Testing and Materials (ASTM) (2011).

O poder de cobertura foi executado conforme sua norma ASTM D – 2805. Os ensaios foram realizados no equipamento da marca *Erichsen* com o auxílio de um extensor do mesmo fornecedor, o qual proporciona uma aplicação de espessuras diferentes e crescentes. A análise da curva exotérmica foi realizada conforme o procedimento da mesma, que se baseia na norma ASTM D - 2471. O intervalo de reação e o pico exotérmico são coletados por um equipamento digital da marca *Picotech*, modelo TC-08, que gera uma curva exotérmica através de um *software*. A análise de massa específica foi realizada conforme o procedimento

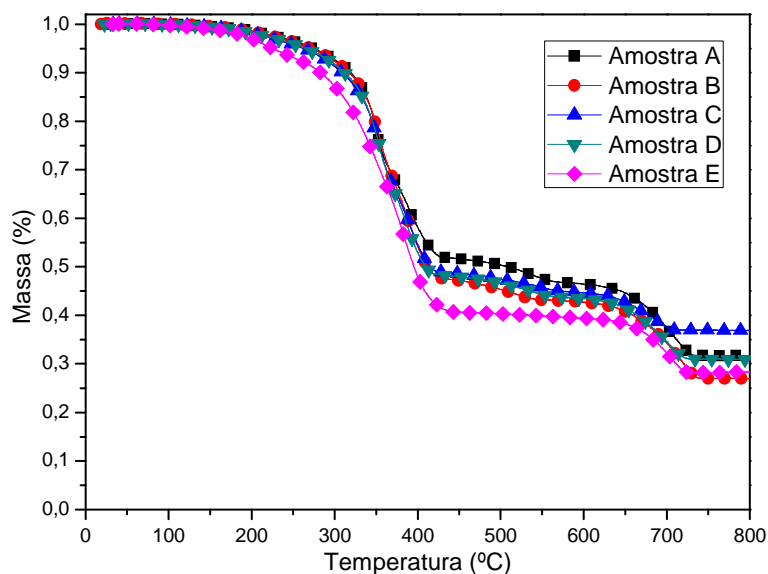


da mesma, que se baseia na norma ASTM D - 1475. Neste experimento, um volume conhecido de 100 mL é acondicionado a um densímetro picnômetro de aço inoxidável, para após ser pesado em balança analítica.

3 Resultados e discussão

Os resultados da evolução termogravimétrica das amostras testadas neste trabalho podem ser visualizados na Figura 1.

Figura 1 - Curvas de análises termogravimétricas



Fonte: o autor

Do gráfico representado na Figura 1 foram extraídos dados para compor a Tabela 2, onde se pode verificar que o início da perda de massa para todas as amostras com adição de cargas minerais situou-se na faixa compreendida entre 174 e 184°C. Estes valores são similares aos encontrados na literatura para compósitos contendo resinas poliéster e fibra de vidro (FERREIRA; ERRAJHI; RICHARDSON, 2006). Para a amostra contendo resíduos de compósitos de fibra de vidro moída, a temperatura de início de degradação térmica medida foi de 150,9°C, isto pode ser devido ao fato de a amostra de fibra moída possuir compostos voláteis em sua composição. Pela análise comparativa das temperaturas para as diferentes amostras, pode-se afirmar que as cargas minerais experimentadas não interferiram na estabilidade térmica da resina e que a adição de compósito de fibra de vidro moída reduz a temperatura de início de degradação térmica do *gel coat*.

Tabela 2 - Temperaturas características da perda de massa obtidas por termogravimetria

Amostra	T _{início} (°C)	T _{10%} (°C)	T _{25%} (°C)	M _{resíduo} (%)	T _{máx} (°C)	V _{máx} (mg/min)
A	183,15	319,1	354,6	32,7	350,7	0,88
B	183,3	317,3	356,7	27,0	354,9	0,69
C	174,6	309,0	353,7	36,9	363,7	0,69
D	174,7	312,0	353,6	30,9	354,1	0,77
E	150,90	283,2	342,2	28,2	381,5	0,59

Fonte: o autor

Notas: T_{início} = temperatura de início de degradação térmica; T_{10%} = temperatura de perda de 10% da massa inicial; T_{25%} = temperatura de perda de 25% da massa inicial; M_{resíduo} = massa residual; T_{máx} = temperatura de máxima degradação térmica; V_{máx} = Máxima velocidade de degradação térmica.

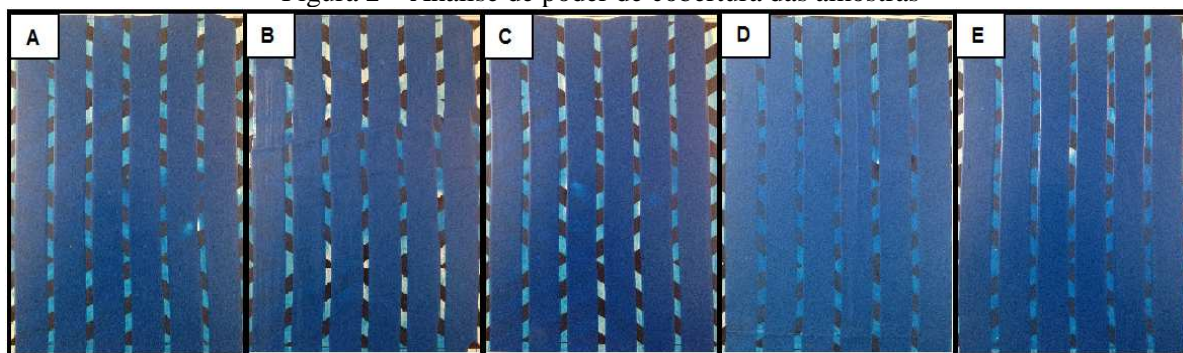


A análise das temperaturas de máxima velocidade de degradação (Tabela 2) foi simulada para todas as amostras testadas, havendo um desvio para o valor da amostra E, que contém resíduos de fibra de vidro. Esta diminuição na máxima velocidade de degradação pode ser devida ao incremento do teor total de resina do compósito proporcionado pela adição da resina presente nos resíduos de fibra (LAOUBI et al., 2013), o mesmo ocorreu com o valor da máxima velocidade de degradação da amostra.

3.1 Poder de cobertura

Os resultados das aplicações do *gel coat* no papel zebado podem ser observados na Figura 2. A análise que apresentou os melhores resultados em relação à cobertura foi à amostra D. Esta apresentou um bom desempenho em todas as espessuras da película de *gel coat*. Observando a coluna de espessura menor, de 12 *mils*, é possível notar uma marcação mínima das faixas pretas, porém para a indústria, este índice de cobertura é suficiente para aplicação de um *gel coat* do tipo *Primer*. Assim, sabe-se que a amostra contendo 8% de microesferas ocas de vidro apresenta uma excelente cobertura.

Figura 2 – Análise de poder de cobertura das amostras



Fonte: o autor

O poder de cobertura pode ser considerado aceitável, a partir de 18 *mils*, que é a espessura mínima indicada pelos fabricantes de *gel coat* para aplicação do mesmo.

A amostra E, formulada com 15 % de laminados de PRFV reaproveitados, apresentou resultados excelentes. Diferente das demais amostras, onde o percentual de cargas minerais adicionado foi de 42 %. Sendo assim, utilizou-se apenas talco na formulação do *gel coat*, na proporção de 27 %. Ainda assim, a amostra obteve o segundo melhor desempenho, em relação às demais. Deve-se considerar que, os laminados reutilizados, possuíam *gel coat* em sua composição, e que, o *gel coat* foi produzido com carga mineral. Ainda assim, o percentual total é inferior ao restante das amostras. Pode-se observar na Tabela 3, a espessura em que as películas de *gel coat* apresentaram espessura mínima, suficiente para sanar as necessidades do mercado em termos de cobertura.

Tabela 3 – Espessura mínima de aplicação de *gel coat* com cobertura aceitável

Amostra	A	B	C	D	E
Espessura	16 <i>mils</i>	16 <i>mils</i>	18 <i>mils</i>	12 <i>mils</i>	14 <i>mils</i>

Fonte: o autor

A cobertura mínima exigida pelo mercado foi obtida apenas na lâmina de 18 *mils*. Ainda assim, este valor seria suficiente no caso de uma aplicação industrial. Portanto, pode-se afirmar que todas as amostras de *gel coat* estariam aptas a serem utilizadas pela indústria dos compósitos, levando-se em conta o poder de cobertura das mesmas.



3.2 Curva exotérmica

Realizaram-se os testes de gel *time*, pico exotérmico e intervalo de reação, que juntos denominam-se curva exotérmica. Os resultados podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados da curva exotérmica das amostras

Amostra	Gel <i>time</i>	Pico Exotérmico	Intervalo de reação
A	8 min 45 seg	105,00°C	21 min 15 seg
B	7 min 55 seg	87,08°C	25 min 40 seg
C	8 min 40 seg	104,55°C	23 min 10 seg
D	8 min 30 seg	101,97°C	26 min 40 seg
E	6 min 10 seg	105,96°C	15 min 50 seg

Fonte: o autor

Conforme os resultados apresentados na Tabela 4 e levando-se em conta que todas as amostras foram formuladas partindo do mesmo princípio, cuja ideia era manter a mesma formulação de todas as amostras, variando apenas as cargas minerais, pode-se concluir que os resíduos utilizados na amostra E, realmente possuíam moléculas de acelerador e/ou catalisador que não haviam reagido quando utilizados pela primeira vez, fazendo com que a amostra se tornasse mais reativa.

3.3 Massa específica

As análises de massa específica apresentaram valores similares nas amostras A, B e C, conforme se pode observar na Tabela 5. Isso ocorre devido à aproximadamente metade da carga mineral utilizada nestas amostras, ser talco, portanto este prevaleceu em relação à densidade.

Tabela 5 – Massa específica das amostras

Amostra	Massa específica (g/cm ³)
A	1,4766
B	1,4694
C	1,4714
D	1,2692
E	1,3738

Fonte: o autor

A amostra E, apresentou uma massa específica inferior às demais, se excluída da análise a amostra composta por microesfera oca de vidro. Isso pode ser atribuído aos resíduos utilizados serem formados em sua maioria por resina poliéster, livre de cargas. O *gel coat* representa menos de 35% de um laminado, enquanto que a resina somada ao fio de vidro e catalisador representam os 65% restantes. A resina, que é maioria no laminado, não possui carga mineral em sua composição, e possui massa específica até 30% menor, se comparada ao *gel coat*. Sendo assim, atribui-se a este fato, a densidade menor da amostra E.

3.4 Custos

Na análise de custos das amostras, consideraram-se apenas os valores das matérias-primas, desconsiderando-se embalagens, mão de obra, entre outros custos secundários. Na tabela 7, podem-se observar os valores calculados.



Tabela 7 - Custos de matérias-primas das amostras

Amostra	Custo (R\$)
A	3.6763
B	3.6823
C	3.6765
D	4.0470
E	4,0972

Fonte: o autor

A amostra E, produzida com os resíduos de PRFV moídos, teve custo aproximado calculado, levando-se em conta os dados coletados na empresa CCP *Composites* e Resinas do Brasil, unidade de Caxias do Sul, cujo valor pago para descarte em aterro sanitário, de 5 m³ de resíduo do tipo perigoso classe I, é de aproximadamente R\$ 1000,00, além do valor do frete, de R\$ 750,00. A massa específica aproximada dos resíduos de fibra de vidro é de 0,6 g.cm³, visto que normalmente o material é composto de retalhos e partes de peças previamente catalisadas, portanto de difícil compressão. Assim, para um volume de 5 m³, pode-se considerar uma massa de aproximadamente 3 toneladas. Portanto, obteve-se um custo para remoção do resíduo de R\$ 0,583 por quilo de resíduo.

Para a moagem dos resíduos de PRFV em moinho de martelos de capacidade de 100 kg/hora, sem que os fragmentos precisem passar antes pelo moinho de facas, estima-se que o custo seja de aproximadamente R\$ 0,80 por quilo. Portanto, levando-se em conta os R\$ 0,583 que deixariam de ser gastos com o descarte do material, o reaproveitamento dos resíduos de PRFV na formulação do *gel coat*, custaria para a empresa aproximadamente R\$ 0,217 a mais que o descarte em aterros sanitários.

Levando-se em conta a Norma Brasileira (NBR), padronizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2004) em sua norma ABNT NBR 10004:2004, que afirma que gerador do resíduo perigoso tipo I será sempre responsável pelo resíduo gerado, o custo para processamento dos fragmentos de PRFV se torna viável, visto que além de não influenciar negativamente sob o ponto de vista econômico, ainda será um benefício ambiental.

4 Conclusão

Baseado nos resultados obtidos nas análises das amostras pode-se concluir que todas as cargas minerais observadas podem ser utilizadas para formulação de *gel coat*. As amostras com resíduos de PRFV moídos e microesfera oca de vidro apresentaram os resultados mais peculiares na maioria das análises. A fórmula produzida a partir de resíduos de PRFV apresentou uma boa cobertura, porém a aplicabilidade da mesma foi comprometida, provavelmente em função da geometria das partículas, ou ainda, devido ao percentual elevado que foi adicionada a amostra. A grande vantagem desta amostra é a contribuição ambiental, visto que esse tipo de resíduo, normalmente enviado a aterro sanitário, pode ser reutilizado. Ainda assim, são necessários estudos mais aprofundados, para obtenção de desempenhos superiores. As formulações que utilizaram cargas mais usuais, como o talco, algamatolita e carbonato de cálcio, apresentaram resultados similares e sem maiores particularidades. Entre eles, o que teve um breve destaque foi o talco, que apresentou uma superfície mais regular, com maior brilho e uma boa cobertura.

Referências

ABMACO (São Paulo) (Ed.). **Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: ABMACO, 2008. 625 p.



FERREIRA, J. M.; ERRAJHI, O. A. Z.; RICHARDSON, M. O. W. Thermogravimetric analysis of aluminised E-glass fibre reinforced unsaturated polyester composites. **Polymer Testing**, Coimbra, v. 25, n. 8, p.1091-1094, 2006.

FONTAN, O. **Aplicação de tramas de fibras de pupunheira (Bactris Gasipaes, H.B.K.) em compósitos híbridos com fibra de vidro em matriz de resina poliéster insaturado**. 75 f. Dissertação Mestrado em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville, Santa Catarina, 2009.

LAOUBI, K.; et al. Thermal behavior of E-glass fiber-reinforced unsaturated polyester composites. **Composites: Part B: Engineering**, Algeria, v. 56, p.520-526, 2013.

ORTH, C. M.; BALDIN, N.; ZANOTELLI, C. T. **Implicações do processo de fabricação do compósito plástico reforçado com fibra de vidro sobre o meio ambiente e a saúde do trabalhador: o caso da indústria automobilística**. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.12, n. 2, p. 537-556, 2012. Disponível em: <<http://www.producaoonline.org.br/rpo/article/download/943/918>> Acesso em: 12 de novembro de 2015.

SILVA, H. S. P. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro**. Dissertação Mestrado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.