

Uso de compósito biodegradável no design de carroceria conceitual

Actas de Diseño (2015, marzo),
Vol. 18, pp. 177-180. ISSN 1850-2032
Fecha de recepción: marzo 2011
Fecha de aceptación: julio 2012
Versión final: diciembre 2013

Acir Fortunato Paiva y Jairo José Drummond Câmara (*)

Resumen: Descripción de la metodología de diseño utilizada para desarrollar el concepto de carrocería de vehículo que normalmente utiliza la fibra de vidrio laminado como material básico. El objetivo es sustituir la fibra de vidrio laminado por un material biodegradable compuesto por fibra de yute y resina vegetal, proveniente de las semillas de ricino, que actúa como una alternativa sustentable, ya que es un material sin riesgo de manipulación y completamente biodegradable. Se describen los pasos necesarios para crear el vehículo y las ventajas del nuevo material.

Palabras clave: Diseño - Sustentabilidad - Biodegradable - Compuesto - vehículo automotor.

[Resúmenes en inglés y portugués y currículum en p. 180]

Introdução

Na maioria dos veículos de design conceitual e protótipos utiliza-se o compósito de fibra de vidro e resinas provenientes do petróleo como material base. A produção de carrocerias em fibra de vidro hoje é uma atividade praticamente artesanal e pouco mecanizada, motivo pelo qual não se utiliza este material para a produção de automóveis em linhas de produção devido à exposição dos funcionários a produtos nocivos à saúde e também devido ao longo tempo de cura das resinas utilizadas que podem retardar a velocidade das linhas.

As carrocerias desses veículos não suportam cargas estruturais, nestes casos conta-se com uma estrutura para este fim, variando da tubular, chassi e mista. Nestes casos as peças em fibra têm a função aerodinâmica, visual, vedação e base para adesivos de identificação e marketing. Nessas condições, substituir a fibra de vidro e resina poliéster por fibras e resinas vegetais se torna viável, considerando os conceitos de sustentabilidade. Quanto ao processo de descarte, o menor tempo de deterioração e não gerar poluição ambiental são vertentes de um processo sustentável.

O ambiente insalubre onde se manipula a fibra de vidro e a resina poliéster é fator determinante, pois a fase de manipulação da fibra de vidro gera minúsculas partículas que penetram no sistema respiratório contaminando as mucosas. A resina poliéster gera um forte odor no seu processo de manipulação e cura, também gases que podem provocar câncer. O uso de um material compósito, que não provoque um ambiente insalubre na sua preparação e que complete o seu ciclo de vida em tempo reduzido sem prejudicar o meio ambiente é oportuno e desafiador, ainda com a base de um projeto de design da carroceria para aplicação e divulgação de uma nova alternativa de material.

A definição de materiais compósitos declara que um material compósito contém uma ou mais fases fisicamente distintas distribuídas dentro de uma outra fase contínua aproveitando as propriedades que são diferentes de ambos, gerando novas propriedades.

Historicamente, os materiais compósitos têm sido usados durante séculos de uma forma ou de outra, por exemplo:

palha com tijolos de barro, papel e concreto. Madeira e osso são um exemplo dos compósitos naturais. Os compósitos são especialmente atraentes devido à sua elevada resistência específica e da baixa densidade. Isto levou ao grande interesse em sua pesquisa e desenvolvimento nas últimas décadas, particularmente para aplicações aeroespaciais onde a capacidade de carga suplementar e eficiência do motor são fundamentais. Em tempos mais recentes, a indústria automotiva tem mostrado interesse em materiais estruturais compósitos por razões semelhantes, assim como os efeitos de emissões de gases no meio ambiente tem fornecido o impulso para o veículo leve do futuro.

Compósitos também oferecem inúmeras vantagens sobre muitos materiais tradicionais como metais, excelente resistência à corrosão e maior resistência à temperatura, a exemplo dos usos com fibra de carbono.

Biocompósitos

Biocompositos naturais incluem materiais estruturais, como a madeira, mas também pode incluir compósitos artificiais feitos com resinas sintéticas e reforçados por fibras como a juta, sisal, fibra de banana, fibra de coco e fibras de bambu.

São atraentes por causa do baixo impacto ambiental de seus produtos, podem ser produzidos localmente e não aumentam o nível de emissões na atmosfera, isto porque eles podem ser compostados no final de sua vida útil. No entanto, os materiais biocompósitos proporcionam um impacto comercial limitado devido a um número de fatores, tais como:

- Preocupação sobre a controlabilidade do processo de degradação;
- Incerteza sobre as propriedades das matérias primas do material;
- Previsões teóricas não acertadas das propriedades dos materiais compósitos;
- Previsão econômica incerta;

- Dificuldades em entrar no consolidado mercado de compósitos artificiais.

Podem-se minimizar estes fatores, explorando as possibilidades de substituição de peças não estruturais, o que já auxilia na utilização deste tipo de material em média de 30 a 40% nos materiais de uma carroceria automotiva. A ênfase da pesquisa e desenvolvimento na segunda metade do século passado foi na utilização das fibras e resinas artificiais. Um esforço será necessário para o avanço estrutural dos Biocompósitos para disponibilidade comercial. O direcionamento para esta proposta é atraente, pois em meio aos problemas ambientais atuais, ser capaz de compostar os materiais de uma carroceria automotiva no seu fim de vida é algo de grande utilidade. Considerando os esforços atuais à procura de produtos e processos sustentáveis, o uso de compósitos biodegradáveis pode trazer diversas vantagens como:

- Uso de veículos mais leves, acarretando menor consumo de combustível;
- Biodegradabilidade;
- Ciclo de vida menor dos produtos;
- Uso de partes da estrutura do veículo descartada na compostagem junto à agricultura;
- Diminuição do impacto ambiental causado pela indústria do aço e plásticos.

Fibras vegetais

As fibras vegetais apresentam uma série de vantagens sobre as fibras sintéticas justificando assim o seu uso como reforço em matrizes. Algumas vantagens e desvantagens da fibra vegetal em relação à sintética podem ser observadas:

Vantagens:

- Conservação de energia
- Grande abundância;
- Baixo custo;
- Não é prejudicial à saúde;
- Possibilidade de incremento na economia agrícola;
- Prevenção de erosão;
- Baixa densidade;
- Biodegradáveis.

Desvantagens:

- Baixa durabilidade quando usada como reforço em matriz cimentícia;
- Variabilidade de propriedades;
- Fraca adesão em seu estado natural a inúmeras matrizes.

Antes de se estudar o comportamento das fibras vegetais como reforço em uma matriz, seja ela frágil ou dúctil, se faz necessário o estudo e a análise das propriedades destas fibras.

Fibra de juta

As fibras vegetais estão disponíveis no mercado brasileiro em variadas formas de comercialização, fios, telas, algu-

mas em rolos e fardos. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de fibras de sisal e outras fibras similares, segundo dados da FAO Fibres Statistical Bulletin - Jute, Kenaf, Sisal, Abaca, Coir and Allied Fibres - Statistics, June 2009 - Relatório da FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations - Pagina 34, com a produção de 138,1 mil toneladas neste ano.

As telas confeccionadas em fibra de juta podem ser usadas em carrocerias de veículos fora de produção devido à sua disponibilidade em formas comparáveis com a fibra de vidro no mercado. Estas telas são fornecidas em rolos com medidas máximas de 1m de largura e 50m de comprimento. Em etapa posterior e trabalhos futuros, podem ser analisados os comportamentos utilizando a fibra de juta colorida, com o objetivo de verificar a possibilidade de substituir a pintura convencional hoje utilizada nos veículos. A juta é uma fibra vegetal tradicionalmente usada para se fazer cordas e sacos. Esta fibra é obtida da haste da planta (*Corchorus capsularis*), tendo seu comprimento uma variação de 200 a 1500 mm e sendo composta de 58-63 % de celulose, 21-24 % de hemicelulose, 12-14 % de lignina. Suas propriedades mecânicas, embora baixas quando comparadas aos das fibras industriais, são adequados para aplicações sujeitas a baixas solicitações mecânicas.

Resina vegetal

A resina vegetal é um produto bi-componente obtido através de recurso natural e renovável, derivada do óleo de Mamona (*Ricinus communis*). É Isenta de toxicidade e de solventes tornando-se 100% sólida após o tempo normal de cura. A manipulação e cura ocorrem a temperatura ambiente e atende aos requisitos de biodegradabilidade. É compatível com a sua vida útil (requisitos preconizados na série de Normas ISO 14000).

Quando queimada, não propaga chamas, não libera vapores tóxicos por não conter substâncias voláteis em sua formulação, podendo, assim, ser aplicada em locais fechados, com baixa ventilação. Possui excepcional resistência à corrosão, abrasão, raios UV e substâncias químicas agressivas (ácidos, álcalis e solventes), resistência esta, superior às apresentadas pelos sistemas a base de resinas epóxi mais comuns. Apresenta excelente aderência ao substrato, não apresentando retração volumétrica após a cura. Razoável elasticidade e elevada durabilidade.

Metodologia

Como o objetivo é substituir o compósito laminado em resina poliéster e fibra de vidro, devido aos vários problemas já citados, uma carroceria está em produção utilizando o biocompósito em resina vegetal e fibra de juta. Para a aplicação desse novo material, inicia-se o desenvolvimento de novo veículo conceito utilizado para rally, com base nos metodologias de design e desenvolvimento de produtos. Todas as necessidades e detalhes formais são definidos junto aos usuários, piloto e navegador, em diversos encontros onde iniciaram os desenhos. A cada etapa os desenhos rápidos são escolhidos até chegar a uma forma final. Na seqüência seguem as etapas de trabalho.

Geração de alternativas de desenho da carroceria

A geração de alternativas é uma fase do projeto de design onde são gerados inúmeros desenhos rápidos a fim de não perder o conceito original do projeto. Um desenho final é escolhido com base nas funções que o veículo irá desempenhar, melhor aspecto formal, facilidade de moldagem e extração do molde. A marca Alfa Romeo foi escolhida e seguida a sua linha de design, porém, com uma nova proposta: *off-road*.

Modelagem em escala 1:4

A fase de modelagem em escala 1:4 é necessária para melhor compreender as formas do veículo em três dimensões. Para o modelo produzido a escala 1:5 ficaria muito pequena para reproduzir detalhes. Já a escala 1:2 ficaria financeiramente desnecessária e seria de difícil transporte. O modelo foi construído da seguinte forma:

- Fase 1: modelagem em isopor de alta densidade. Usam-se lixas para lixamento úmido para não provocar erupções no isopor. Inicia-se pela granulação 36 e finaliza-se com a 120. É desnecessário utilizar granulações mais finas. O uso de um copiador de perfil é indicado para manter a simetria.
- Fase 2: Aplicação de resina epóxi para dar rigidez à superfície do isopor e proteger das próximas fases em resina poliéster, que reage com o isopor e danifica-o.
- Fase 3: Aplicação da resina poliéster com véu de fibra de vidro. São aplicadas três camadas, uma de cada cor, para possibilitar o controle de lixamento e saber a profundidade evitando atingir o isopor.
- Fase 4: Aplicação de massa poliéster para diminuir a rugosidade da superfície e acertar os detalhes.
- Fase 5: Prepara-se o modelo para a pintura corrigindo pequenos detalhes de superfície aplicando fundo preparador que servirá de base para a aderência da tinta.
- Fase 6: Após a pintura, são feitos os retoques finais com polimento com massa de polir automotiva. Pode-se analisar o modelo de forma mais clara e tem-se uma projeção de como será o veículo final. É o último momento de tomar as decisões antes de partir para construção do veículo em escala 1:1.

Análise ergonômica

É necessária uma análise ergonômica do interior do veículo e ajustar às dimensões da estrutura a fim de proporcionar maior conforto aos ocupantes. Esta análise pode ser feita em software UNIGRAFICS. O sistema do software considera os mesmos dados ergonômicos e normalização de análise para veículos de normal produção na indústria automobilística.

Construção da estrutura tubular do chassi conforme normas da FIA (Federação Internacional de Automobilismo)

Após as análises da estrutura em software inicia-se a construção física da estrutura tubular. A segurança dos ocupantes (piloto e navegador) é um dos aspectos mais importantes no projeto. A estrutura deve ser capaz de

suportar situações de carga comuns em competições de velocidade *off-road* em que o veículo é submetido a esforços maiores que no uso normal em ruas e estradas. Além disso, o dimensionamento contempla resistência adicional em condições de emergência como capotamento, colisão frontal, lateral e traseira.

Desenho da carroceria em software

O desenho final da carroceria é feito em software e iniciado logo após a definição ergonômica. Houve quatro etapas de modificações para ajustes no chassi tubular, a fim de posicionarem ocupantes e motopropulsor.

Análise fluidodinâmica da carroceria em software CFD

A análise fluidodinâmica computacional CFD – *Computation Fluew Dynamics* – é uma das etapas que a carroceria passa paralelamente ao andamento do projeto. Logo após qualquer alteração na estrutura que provoque alguma alteração na carroceria devem ser analisados novos comportamentos aerodinâmicos para evitar o máximo possível as forças de atrito do ar contra o veículo quando este se desloca em alta velocidade. Nas análises das imagens no computador, as regiões próximas do azul mais intenso são aquelas onde há menor pressão aerodinâmica. As regiões com coloração tendendo ao vermelho são aquelas que sofrem maior pressão. É inviável manter todos os pontos com baixa pressão, o que demandaria grandes alterações de formas e construção de anteparos, conhecidos no inglês como *spoilers*, aumentando peso e inviabilizando o projeto. O objetivo é atingir um ponto razoável de projeto que não prejudique o veículo no seu ambiente de uso e mantenha as formas conceituais.

Fases finais

Ao término das fases anteriores, o modelo em escala real, 1:1, é construído considerando o processo manual modelagem. Este processo é conhecido pelo uso de seções transversais em madeira gerando volumes vazios que posteriormente são preenchidos com espuma de poliuretano. Logo após esta fase lixa-se o modelo, retirando o material em excesso até atingir as bordas das peças de madeira nas seções. Realiza-se o acabamento até chegar a uma superfície polida.

- Confecção dos moldes: Pronto o modelo, são confeccionados sobre ele os moldes em fibra e resina. Todo esse processo depende muito da habilidade do modelador e da sua organização. É um processo longo e cuidadoso. Necessita geralmente de dois ou mais ajudantes.
- Laminação da carroceria: Prontos os moldes eles devem ser devidamente preparados para a laminação. Este processo consiste em aplicar um desmoldante sobre o molde, aplicação de cera para facilitar a desmoldagem, aplicação de resina de acabamento, aplicação da fibra de juta sobre a superfície seguida de novas aplicações de resina vegetal e fibra até formar a espessura desejada. Logo após o processo de secagem as peças podem ser desmol-

dadas, retiradas dos moldes, e passam por um processo de retirada de rebarbas e pequenos ajustes necessários.

- **Montagem:** A carroceria é montada sobre o chassi tubular do veículo através de batentes de Poliuretano. A carroceria se adere a estes batentes utilizando a própria fibra e resina, envolvendo-os na parte interna da carroceria. Os batentes por sua vez são fixados à estrutura tubular do chassi através de parafusos cuja cabeça está envolvida pelo corpo do batente. Este sistema permite um amortecimento das vibrações do chassi que seriam transmitidas à carroceria.

Conclusão

Testes práticos e de laboratório indicaram a possibilidade de uso do biocompósito para substituição dos laminados de fibra de vidro. O novo material não apresenta as características da fibra de vidro tão utilizadas neste tipo de trabalho e já tão difundidas, mas é suficiente para atender grande parte das solicitações e usos como em painéis externos da carroceria. Para o veículo protótipo de *rally*, o uso do biocompósito se torna viável nestas condições ainda pelo fato de todas as forças serem direcionadas à estrutura tubular desta modalidade, deixando para a carroceria apenas a responsabilidade formal do conceito e aerodinâmica.

Há necessidade de incentivo aos produtores de autopeças para a substituição de materiais tão nocivos quanto a fibra de vidro por materiais tecnicamente sustentáveis e de origens renováveis. No estado atual, o que se percebe no mercado são apenas inserções de pouca quantidade de material vegetal em meio aos produtos ainda não renováveis como os plásticos derivados do petróleo, o que mesmo em pequena quantidade, a maioria das empresas tem caracterizado como produtos sustentáveis. Percebe-se que há ainda pouca preocupação com o efeito do produto final no meio ambiente, pois a separação das fases dos compósitos muitas vezes é complexa e de alto custo, exigindo equipamentos arrojados. Com mais otimismo, é visível o crescimento do uso dos materiais de bases vegetais funcionando ainda como um fator de percepção do consumidor final, o que irá ditar a possibilidade de investimentos. O uso do novo biocompósito em veículos protótipos e conceituais já se torna viável devido à pequena quantidade de material empregado quando comparado aos veículos de produção em escala, mas já pode-se perceber que em alguns casos e com algum esforço, uma linha de produção já poderia estar adaptada e processar pequenas partes de um automóvel usando este tipo de material.

Bibliografia

- Bhaja, R. T. (2010). *Sítio na internet dedicado à informações do projeto do veículo*. Acesso em: 10/02/2010. Disponível em: <http://www.bhaja.com.br/>.
- Callister, W. D. (2002). *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. LTC ed.
- Cangemi, J. M.; Santos, A. M.; Neto, S. C. (fev. 2010). A Revolução Verde da Momona. Química. En *Nova na escola*, Vol. 32, Nº 1.
- ECO (2010). *Industria e Comercio de Compósitos LTDA*. Acesso em: 20/03/2010. Disponível em: <http://www.ecocompositos.com.br/normas.htm>.
- Food and Agriculture Organization of The United Nations. (2010). *Estatísticas da produção de fibras de juta e outras no Brasil e outros países*. Acesso em: 27/03/2010. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/FAO/008/j5903m/j5903m00.pdf>.
- Produtos Químicos do Nordeste. (2010). *Bioresinas a base de óleo de mamona*. Acesso em: 11/03/2010. Disponível em: <http://www.proquinox.com.br/nossaempresa.htm>.
- SISALSUL. (2010). *Fibras Naturais. Fibras naturais*. Acesso em 15/03/2010. Disponível em: <http://www.sisalsul.com.br/produtos.php>.
- Whitcomb, J. D. (1988). *Composite Materials, Testing e Design*. ASTM Publication.

Abstract: This article describes the design methodology used for developing the body of a concept vehicle that normally uses fiberglass laminated as basic material. The goal is to replace the fiberglass laminates by a biodegradable material composed by the jute fiber and vegetable resin, from the castor bean, acting as a sustainable alternative because it is a material without risk of manipulation and completely biodegradable. The necessary stages of the process of creating the vehicle and the advantages of the new material are described here.

Key words: Design - Sustainability - Biodegradability - Composite - Automobile vehicle.

Resumo: O artigo descreve a metodologia de design utilizada para desenvolver o conceito de carroceria de veículo que normalmente utiliza fibra de vidro laminado como material básico. O objetivo é substituir esta fibra por um material biodegradável composto por fibra de juta e resina vegetal, proveniente das sementes de rícino, que atua como uma alternativa sustentável, já que é um material sem riscos de manipulação e completamente biodegradável. Se descreverão os passos necessários para criar o veículo e as vantagens do novo material.

Palavras chave: Design - Sustentabilidade - Biodegradabilidade - Compósitos - Veículo automotivo.

(*) **Acir Fortunato Paiva**. Mestre em Design e Seleção de Materiais, REDEMAT - UFOP UEMG CETEC, Brasil. Analista de Formação, Tecnologia Automotiva em FIAT DO BRASIL - ISVOR. **Jairo José Drummond Câmara**. Pós Doutorado, Université de Montreal País. Professor Cat. VII, Mestrado e Doutorado em Eng. de Mat, REDEMAT - UFOP UEMG CETEC, Brasil.