



## Design e desenvolvimento de produto

Flexibilidade do Design como resposta à variação de condicionantes tecnológicas durante o projecto

Pretende-se realçar a importância da capacidade de adaptação dos conceitos formais propostos pelo Design, potenciando a competitividade das soluções impostas pelos condicionalismos técnicos (características dos materiais e processos de fabrico), no contexto de projectos de desenvolvimento de produto. Esta característica, implícita nos projectos onde o Design intervém, permite obter soluções mais adequadas às necessidades dos utilizadores, quer do ponto de vista do produto acabado quer do ponto de vista do processo produtivo (melhor relação custo-utilidade). No presente artigo são apresentados diferentes conceitos de design para uma carroçaria em material compósito, do tipo sanduíche, de um autocarro que circulará em serviço de shuttle, no Polo Universitário da Asprela (Porto), no âmbito do projecto europeu CIVITAS.

Texto: Carlos Aguiar, Fernando Gomes Almeida, Carla Rocha e Nuno Couto [DESIGNstudioFEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto]

### Palavras-chave:

Design,  
autocarro urbano,  
materiais compósitos,  
projecto cooperativo.

## 1. INTRODUÇÃO

O principal objectivo a atingir no projecto CIVITAS é a diminuição dos níveis de emissões gasosas poluentes, nas cidades. Este parâmetro está directamente relacionado com os consumos de combustível dos veículos de transporte motorizados, sejam eles particulares ou colectivos, que diariamente circulam nas redes viárias. A redução do consumo de combustível tem sido conseguida através da optimização da eficiência dos motores de combustão interna, mas principalmente através da redução do peso das carroçarias. Neste âmbito, procurou-se desenvolver uma carroçaria leve, recorrendo à utilização de materiais compósitos, associada a tecnologias de construção inovadoras (até agora pouco utilizadas neste segmento de produtos), uma vez que nos veículos com estruturas metálicas (em aço ou liga de alumínio), é difícil reduzir o peso da construção corrente e, sendo o processo de fabrico baseado em soldadura de perfis, torna-se de difícil automação e é considerado poluente.

Ao longo do desenvolvimento do projecto foram sucessivamente equacionadas várias bases mecânicas, abordagens estruturais e

processos de fabrico, para os quais o design foi sempre procurando soluções que permitissem otimizar formalmente cada situação.

Esta metodologia, associada à postura projectual adoptada, mostram claramente como o design deve participar num todo de decisão holística, visando atingir a solução mais adequada e não ser tido como mera abordagem estilística em termos de imagem do produto final.

## 2. ABORDAGENS CONCEPTUAIS DO DESIGN DA CARROÇARIA

O contexto inicial considerou uma base mecânica/chassis de um mini-autocarro Toyota, modelo Coaster. É de salientar que neste trabalho não são tratadas as questões relativas à optimização de consumos pela via da motorização, abordadas por outra equipa de trabalho.

### 2.1. Estrutura modular (ossatura revestida)

Na primeira abordagem colocou-se a hipótese de manter a frente e a traseira originais do Toyota Coaster, limitando a intervenção apenas ao tramo central, por razões de contenção de despesas, facilidade de realização técnica e redução do tempo de execução. Constatados os muito duvidosos resultados estéticos, em termos de capacidade de demonstração do projecto, e também a pouca exequibilidade, considerou-se como hipótese mais interessante a construção de uma nova carroçaria de raiz, pesasse embora a grande limitação orçamental. Aventou-se que uma solução modular seria uma via para diminuir a dimensão dos componentes e, assim, reduzir os custos de ferramentas e moldes inerentes ao seu fabrico.

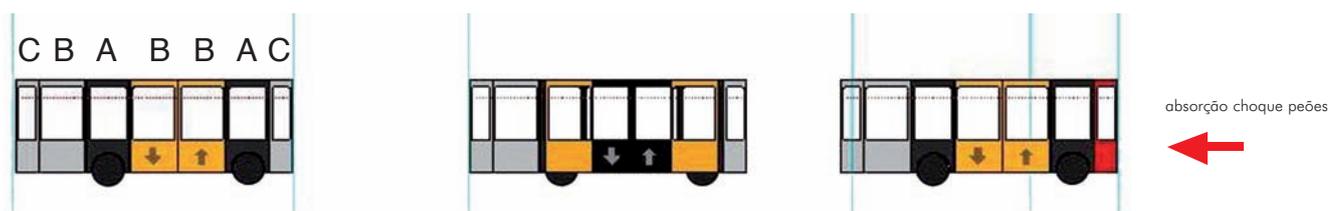


Figura 1 – Conceito da estrutura modular

O projecto desenvolvido considerou três tipos de módulos:

**Tipo A** – módulos de maior resistência (possível utilização de fibra de carbono) constituindo “aros” estruturais ao nível dos rodados, que permitiriam corresponder às exigências dos testes de capotamento (roll-over), garantindo a integridade da célula destinada aos passageiros;

**Tipo B** – módulos “correntes” com possibilidade de abertura e instalação de porta de acesso (colocados lado a lado, permitem maior espaço de acesso);

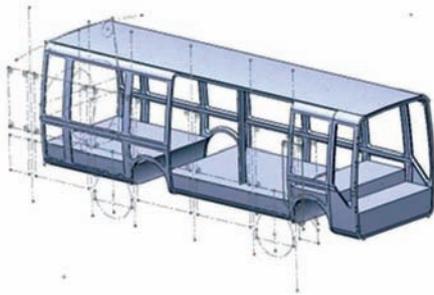
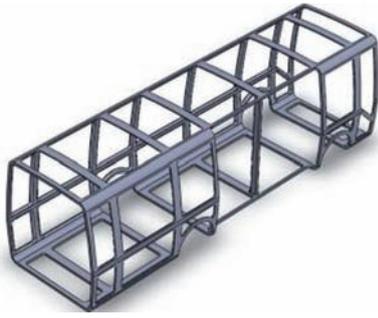


Figura 1 – Estrutura monobloco com painéis apensos em material compósito

**Tipo C** – módulos de fecho (relevada especial pré-atenção às características de deformação e amortecimento no choque com peões – principalmente na aplicação frontal) dotados de vidros planos, por imposição de orçamento e prazo de entrega.

Esta abordagem permitia, genericamente, considerar uma secção abaulada (com uma largura máxima ao nível da cota inferior das aberturas laterais) para maximizar a habitabilidade, e vidros planos nas faces frontal e traseira, de modo a reduzir os custos.

A solução reflecte ainda fortemente, do ponto de vista conceptual formal, a abordagem tradicional de estrutura reticulada metálica recoberta com painéis. Neste caso, a estrutura e os painéis seriam igualmente constituídos por material compósito. Posteriormente, constatou-se que do ponto de vista dos materiais compósitos, seria preferível equacionar a construção numa só peça, uma vez que as dificuldades de execução do molde eram inferiores às decorrentes dos necessários sistemas de fixação das várias partes. No entanto, a abordagem formal manteve-se inalterada, tendo apenas passado a considerar-se uma solução diferenciada para a traseira e a frente, otimizando a visibilidade do condutor. De notar que foi considerada, desde o início, a integração no piso de uma plataforma elevatória para o acesso de utilizadores utilizando cadeira de rodas.



Figura 3 – Estrutura modular em material sanduíche

## 2.2 Estrutura monocoque contínua

O projecto evoluiu com a identificação de um parceiro especializado na utilização industrial de materiais compósitos: a empresa ENP - Estaleiros Navais de Peniche. Com a entrada deste novo parceiro no consórcio, e pelo facto de este dominar a produção de estruturas de considerável dimensão pelo método da infusão a vácuo, evoluiu-se para um conceito baseado numa estrutura verdadeiramente monocoque em que a resistência global decorre, sobretudo, do comportamento unitário de uma “casca” e já não de uma ossatura contraventada de elementos filiformes. Desde essa fase, consideraram-se os painéis como estruturais, reforçando a secção

nos locais fragilizados por força das aberturas necessárias, principalmente para a colocação de “janelas”, com as dimensões impostas pela regulamentação vigente para este tipo de produtos. As portas, que no conceito anterior se encontravam adjacentes, foram separadas para permitirem uma melhor distribuição das aberturas, e no tejadilho as aberturas foram desencontradas. O pavimento foi concebido como uma segunda peça a solidarizar com o corpo da carroçaria através de soldadura. A imagem geral do autocarro manteve-se, uma vez que estava validada pelos responsáveis do projecto. A construção foi orçamentada e concluiu-se que o custo dos moldes era insustentável.

### 2.3. Estrutura reticulada por enrolamento filamentar

A FEUP detém um conhecimento considerável relativamente ao processo de enrolamento filamentar. Essa tecnologia foi sugerida como alternativa a equacionar, para tentar obviar algumas das dificuldades identificadas. Foi procurada uma solução de design que pudesse adaptar-se às características particulares do enrolamento filamentar, mas no qual se torna desinteressante a consideração de grandes aberturas. Desenvolveu-se para isso um pré-estudo de conceito baseado numa estrutura reticulada, que permitiria criar um ambiente interior totalmente aberto em dias mais quentes, através de um sistema de janelas em policarbonato que poderiam recolher totalmente sob o tejadilho. Apesar das potencialidades deste pré-conceito, sobretudo formais e em termos de ambiente interior do veículo, a necessidade de obtenção de resultados num espaço curto de tempo e o seu carácter eminentemente experimental levaram à sua desconsideração para desenvolvimento futuro. A regulamentação em vigor contribuiu também para a desmotivação de avanços sérios baseados neste conceito.

### 2.4. Solução de piso baixo e tracção à frente

A regra actual de abordagem para os veículos deste tipo passa pela consideração de uma motorização de tracção frontal, de forma a permitir a existência de um piso rebaixado e contínuo (inexistência de degrau) que garanta a rápida entrada e saída dos passageiros, diminuindo o tempo de imobilização nas paragens (crítico em termos de operações). Para a eventual concretização deste conceito, equacionou-se transformar um veículo do tipo chassis-cabine, dotando-o de um vazio na retaguarda com o corte das longarinas, para a instalação de um eixo rígido ligando as duas rodas e respectiva suspensão (eixo traseiro independente), sobre o qual ficariam os únicos lugares sentados. A estrutura da carroçaria (monocoque) seria autoportante e na frente substituiria a cabine, totalmente descarnada, sem tejadilho (reduzido na prática à estrutura de suporte do motor e rodado da frente, direcção e área destinada ao lugar do condutor). Para ir ao encontro da tecnologia utilizada pelos Estaleiros Navais de Peniche, as aberturas para as janelas tornar-se-iam mais reduzidas e a largura dos pilares e os raios de curvatura dos cantos das janelas aumentariam, de modo a reduzir as concentrações de tensões e a aproximar o mais possível a estrutura de uma "caixa". De modo a simplificar o processo de construção do molde da carroçaria e a reduzir os custos associados, assumir-se-iam todas

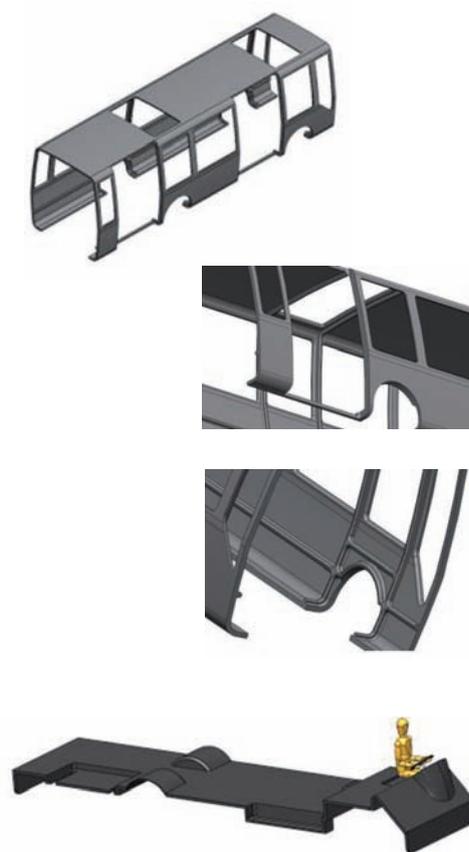


Figura 4 – Carroçaria monocoque, pormenor dos reforços estruturais aplicados e piso do autocarro

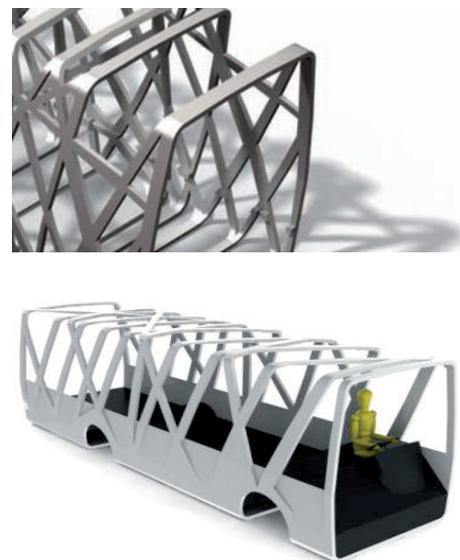


Figura 5 – Estrutura da carroçaria reticulada



Figura 6 – Estrutura da carroçaria do conceito com piso baixo e tracção à frente



Figura 7 – Evolução do conceito da carroçaria final

as superfícies como planas, unidas por concordâncias cilíndricas de raios de curvatura constantes. O vidro da frente manter-se-ia plano, mas os da retaguarda (em policarbonato) passariam a ser encurvados (ainda que numa só direcção, para facilidade de produção).

Apesar de ser o conceito que reunia as características mais adequadas ao tipo de utilização requerida, este foi abandonado por questões de dificuldade previsível de legalização face à legislação portuguesa (proibido cortar longarinas sem o aval técnico do fabricante).

## 2.5. Solução final, de novo sobre o chassis Toyota Coaster

Face às dificuldades de legalização e à ausência de orçamento suficiente para adquirir a base mecânica necessária, o projecto recuou novamente para a utilização do chassis Toyota já existente (apesar de se saber que uma solução de piso elevado implicava a consideração de infra-estruturas dedicadas de paragens sobreelevadas - solução introduzida nos transportes de Curitiba – Brasil, que se mostrou eficiente) (ver figura seguinte). Para esta versão retomou-se a abordagem formal da carroçaria de piso baixo (“caixa”) adaptada agora à nova base mecânica.

Na fase inicial do desenvolvimento deste conceito, foi considerada uma estrutura monocoque (carroçaria e piso numa única peça), mas para facilitar a sua construção e reduzir o tempo de produção e custos associados, esta foi decomposta em duas peças, a construir separadamente, sendo soldadas numa fase posterior. O piso, que integrará as embaladeiras, será fixado aos elementos de apoio do chassis através da integração de insertos metálicos, e servirá de base de encaixe para a carroçaria propriamente dita. Recorrendo ao processo de infusão de resina a vácuo, que implica a construção de moldes em contraplacado, a estrutura da carroçaria e o piso serão produzidos em material compósito com uma composição do tipo sanduiche, constituída por estratificado de resina reforçada com fibra de vidro e com o núcleo em espuma de PVC. De modo a garantir a resistência nos pontos de maiores esforços (identificados por simulação pelo Método dos Elementos Finitos), serão aplicados reforços na estrutura da carroçaria e no piso (ver figuras seguintes).

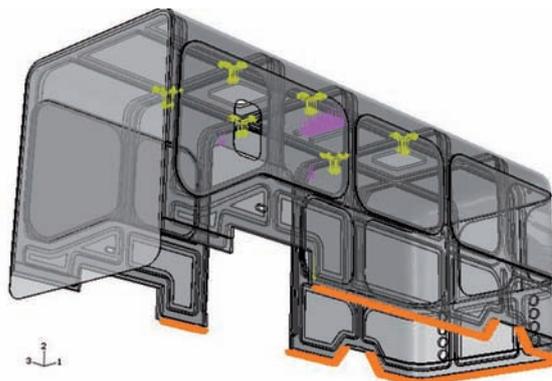
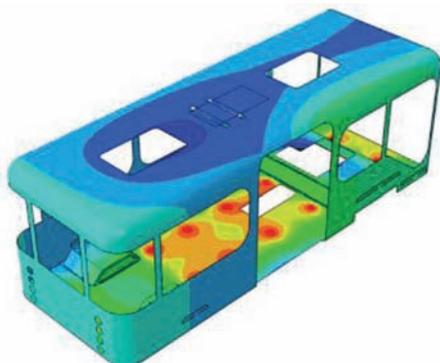


Figura 8 – Análise de elementos finitos da carroçaria

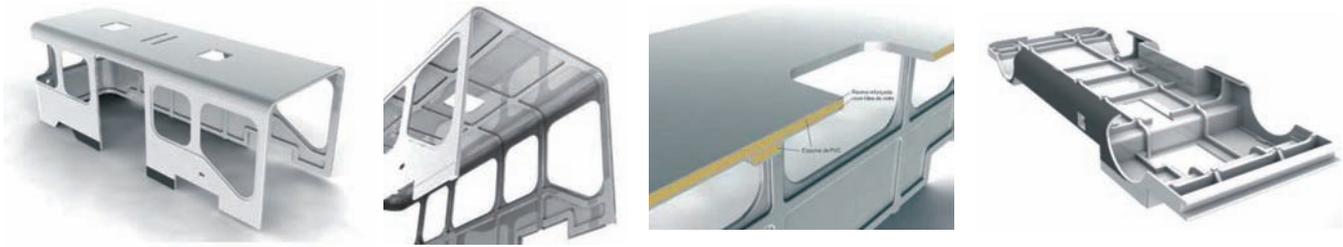


Figura 9 – Estrutura da carroçaria final e composição do material sanduíche

Para permitir a conformidade dimensional com as exigências da legislação em termos de espaço livre entre os bancos, será criada uma forma orgânica nos pilares laterais traseiros. Esta forma, que acompanha o raio de curvatura das janelas, permite também mostrar as potencialidades da tecnologia utilizada para a obtenção de formas mais complexas, que são mais difíceis de concretizar em estruturas metálicas.



Figura 10 – Forma orgânica criada junto dos pilares laterais traseiros



Figura 11 – Conceito final adaptado ao chassis Toyota Coaster

A carroçaria, segundo este design, encontra-se já finalizada, isto é, foram feitas as infusões das duas grandes peças constituintes e foi completado o respectivo processo de colagem. Para concretizar o mini-autocarro falta neste momento efectuar a ligação da carroçaria ao chassis, assim como todo o trabalho de fixação de componentes imprescindíveis ao bom funcionamento do produto, e proceder aos acabamentos finais (ex: pinturas).

### 3

#### 3.1 Execução de moldes

Para execução, por infusão a vácuo, das peças constituintes da carroçaria, este projecto requereu a construção de moldes. Para a escolha do tipo de molde que mais se adequava ao emprego da tecnologia pretendida, dotando o produto requerido das propriedades físicas necessárias ao seu bom desempenho sem comprometer a sustentabilidade orçamental do projecto, muito contribuiu a larga experiência dos ENP no fabrico de peças em compósito. Estabeleceu-se um paralelismo construtivo, fazendo uma extrapolação da construção de uma cabine de um navio de transporte de



Figura 12 – “Catamaran” (Cabine compósita por infusão a vácuo com molde aberto, numa única peça)

passageiros (“catamaran”) para uma carroçaria de um autocarro, sem esquecer as diferentes solicitações que as estruturas têm, em serviço. Discutiu-se ainda as hipóteses de construir a carroçaria como uma única peça (sem piso) ou por painéis (multi-peças).

Por razões relacionadas com as características finais do produto “carroçaria” definiu-se como melhor escolha a construção de uma peça única, sendo esta encaixada numa segunda peça (“piso”) e posteriormente executada a respectiva colagem com adesivo estrutural.

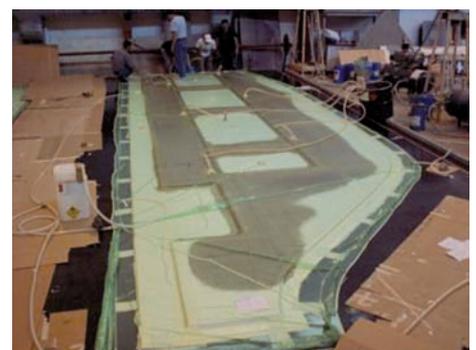


Figura 13 – “Catamaran” (Cabine compósita por infusão a vácuo por painéis, multi-peças)

A opção escolhida permitiu recorrer à construção de moldes do tipo abertos, em madeira compensada, para laminação manual. Desta forma garantiram-se as dimensões críticas projectadas, bem como a rigidez e a manuseabilidade do modelo. Teve-se ainda em conta o facto de se poder recorrer a um processo de consolidação a frio, que utiliza baixas pressões, não exigindo assim materiais robustos, nem pesados, nem tão caros como os metálicos, para resistir às deformações. A fixação de formas externas e internas planas e de raios de curvatura constantes (como anteriormente referido) contribuiu ainda para facilitar o processo de laminação e a desmoldagem das peças. Outro factor tido em conta e que se revelou fundamental para a obtenção de peças com melhores propriedades estruturais (menor concentração de tensões) foi o facto de se ter criado formas que evitam variações bruscas na espessura e na geometria das peças, já que a sua natureza compósita não permite o seu escoamento como os metais, que escoam e absorvem essas tensões como deformação permanente.

Atendendo às dimensões consideráveis das peças, este tipo de moldes permite ainda controlar melhor o processo de infusão, porque possibilita o acesso do laminador a todos os pontos das mesmas, permitindo a detecção/eliminação de fugas e a orientação do fluxo de resina.

Esta escolha teve ainda em conta os menores custos da solução, comparativamente com a eventual execução de molde para extracção da carroçaria em apenas uma peça, formando uma caixa fechada e

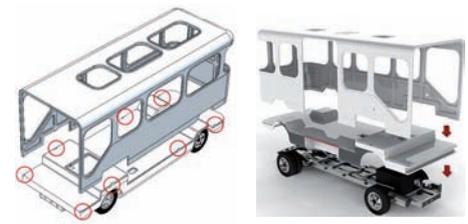


Figura 14 – Montagem da carroçaria (Composta por duas peças com características estruturais)

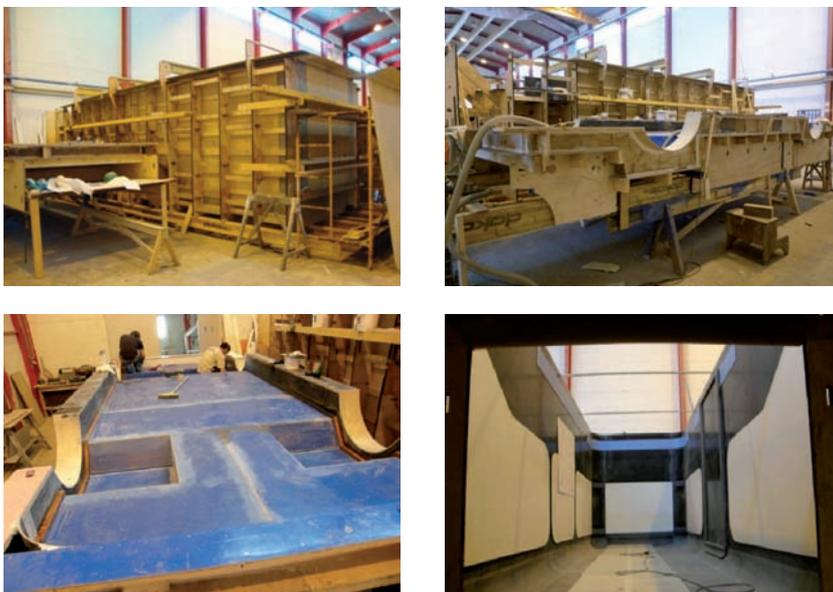


Figura 15 – Moldes em madeira, do tipo aberto (piso e carroçaria)



Figura 16 – Infusão da carroçaria



Figura 17 – Infusão do piso

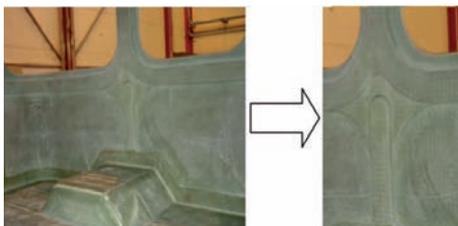


Figura 18 – Forma orgânica fielmente reproduzida após infusão



Figura 19 – Transposição em curvatura, do tejadilho para os painéis laterais e traseiro



Figura 20 – Aspecto dos inserts integrados no núcleo do sanduíche (contraplacado marítimo e metal)

contínua (o que obrigaria a um molde do tipo fechado), por requerer materiais mais baratos, uma vez que implicam menor rigor construtivo (de fácil execução).

### 3.2 Qualidade das peças obtidas

Outro dos objectivos do projecto passa pela demonstração de todo o potencial que esta tecnologia detém na execução de peças de elevada qualidade estrutural, quando comparado com as construções em metal. Peças de superfícies curvas, incluindo formas complexas, de difícil execução em metal, são fáceis de moldar nestes materiais compósitos, com carácter de contorno mais chamativo e atraente, sendo possível obter estruturas de maior rigidez, que dispensam ou minimizam o uso de nervuras.

Por outro lado, é de realçar a possibilidade de integração de inserts de natureza variada no interior das estruturas.

As peças são ainda de boa qualidade, nomeadamente no que diz respeito à rugosidade das superfícies obtidas, não sendo necessários grandes trabalhos de acabamento superficial.



Figura 21 – Aspecto geral da carroçaria após colagem (sem acabamento superficial após desmoldagem)

## 4. CONCLUSÕES

Com este trabalho procurou-se, essencialmente, mostrar a capacidade do Design para dar suporte a um processo cooperativo de desenvolvimento de produto em que as propostas formais, alicerçadas em opções que decorrem da análise cuidada dos diferentes sistemas produtivos que surgem ao longo de um projecto, contribuindo para a criação de soluções economicamente competitivas e passíveis de serem materializadas de forma otimizada.

O Design assume, através desta flexibilidade, um papel fundamental no processo de criação de produtos, na medida em que permite a completa expressão e o desenvolvimento dos contributos das demais áreas científicas envolvidas, como a gestão e a engenharia.