

LITEBUS - MODULAR LIGHTWEIGHT SANDWICH BUS CONCEPT

P.C. Neves^{*1}, A. J. M. Ferreira^{1,2}, A. A. Fernandes²

1 - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (INEGI)

2 – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)

Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal

* *Email: pneves@inegi.up.pt*

RESUMO

Serão apresentados os trabalhos realizados no projecto europeu LiteBus, que tem como objectivo o desenvolvimento de uma tecnologia inovadora para a construção de carroçarias de autocarros utilizando painéis portantes, em sanduíche multimaterial.

INTRODUÇÃO

Actualmente, a opinião pública é bastante sensível aos aspectos ambientais, energéticos e de conservação de materiais em todas as fases da vida dos produtos e coloca a indústria em geral e a indústria dos transportes em particular sob pressão crescente no sentido de reduzir as emissões de dióxido de carbono, CO₂, e poupar energia. Isto reflecte-se na legislação e normalização que regula a protecção ambiental e a segurança. Estima-se que a indústria europeia de transportes gerará 22% das emissões de CO₂ e que a população de veículos cresça 40% até ao ano 2010. Assim, a União Europeia (UE) está a estabelecer metas ambiciosas para 2010, que envolvem a redução das emissões em 30% relativamente aos valores de 1995 [1]. É geralmente aceite pela indústria que reduções desta grandeza só são possíveis com a mudança de tecnologia empregue. Actualmente, as tecnologias multimaterial – compósitos sanduíche e/ou híbridos – vão ganhando destaque na concepção de veículos. Estes materiais oferecem excelentes oportunidades para a melhoria do desempenho do produto em termos de resistência, rigidez e segurança passiva, permitindo simultaneamente reduzir o peso e aumentar o aproveitamento do espaço útil. No entanto, a sua utilização na construção de automóveis e autocarros está ainda atrasada relativamente ao aço.

Os veículos de serviço público (VSP) desempenham um papel muito importante na indústria dos transportes, tanto nos países industrializados como nos países em vias de desenvolvimento e poderão beneficiar bastante da utilização de construções sanduíche multimaterial. Apesar da quota de passageiros transportados em VSP ser relativamente pequena quando comparada com a transportada em automóveis privados (10% no caso dos autocarros urbanos e 5% no caso dos autocarros de longo curso [1]), as restrições impostas para conservação ambiental e energética levarão a um aumento da procura de veículos de serviço público, em especial nos casos de acesso limitado, como centros de cidades. As

viagens em automóvel aumentaram a um ritmo estável de 2%/ano, enquanto as viagens em autocarro urbano aumentaram a 0,9%/ano e em autocarros de longo curso apenas 0,4%/ano. O Livro Branco da UE sobre a política de transporte europeu [2] estabelece para 2010, como principal objectivo, que a utilização de transportes públicos supere a de transportes privados, eliminando na origem a principal causa da poluição: o transporte individual. Este objectivo deverá ser alcançado através do desenvolvimento de transportes de elevada qualidade e segurança.

Serão apresentados os trabalhos realizados no projecto europeu, LiteBus – Modular Lightweight Sandwich Bus Concept, com o número de contrato TST5-CT-2006-031321, que tem como objectivo o desenvolvimento de uma tecnologia inovadora para a construção de carroçarias de autocarros utilizando painéis portantes, em sanduíche multimaterial. Estes painéis têm que satisfazer requisitos rigorosos, tais como: elevados desempenhos estáticos e dinâmicos, elevada rigidez à flexão e à torção, acústica adequada, segurança passiva e activa, danos reduzidos nos peões em caso de acidente, segurança ao fogo, resistência à corrosão, fácil reparação e tempo de montagem reduzido.

OBJECTIVOS

Os principais objectivos globais do programa do LiteBus são:

- Resolver o problema da redução de peso e dos custos de produção dos veículos de transporte terrestre através do desenvolvimento de uma tecnologia baseada na construção modular do autocarro, usando painéis sanduíche multimaterial portantes apenas em compósito, em vez da estrutura em aço ou alumínio revestida a chapas de diferentes materiais (metálicos ou não).
- Melhorar metodologias de concepção que reduzam os tempos de lançamento de produção, reduzindo o número de componentes, promovendo a integração funcional e permitindo o desmantelamento, a fácil reparação e a reciclagem.
- Desenvolver transportes urbanos de elevada qualidade;
- Contribuir para o aumento da utilização do transporte público;
- Contribuir para a melhoria da segurança rodoviária;
- Contribuir para a melhoria da qualidade no sector dos transportes terrestres.

Assim, os principais objectivos técnico-científicos são:

- Reduzir em 10 a 15% a tara do autocarro através de redução em 60% do peso da "carroçaria em branco" (que tipicamente representa 20 a 25% do peso total do autocarro), relativamente aos autocarros em aço actuais. A rigidez da estrutura do autocarro em material compósito deverá ser equivalente à do correspondente em aço. A segurança passiva em situações de capotamento será maior do que em estruturas de alumínio aparafusadas ou em aço.
- Redução do ruído em 20% e propriedades melhoradas de vibração.
- Maior resistência à corrosão com adequada segurança ao fogo.

- Segurança passiva dos passageiros melhorada.
- Redução de danos provocados a peões em caso de acidente.
- Aumento do espaço interior e da capacidade de acomodação de bagagens (10%, no mínimo).
- Aumento das competências de modelação por elementos finitos de estruturas sanduíche, usadas em autocarros.
- Validar ferramentas informáticas aplicáveis à avaliação da segurança passiva no caso específico de estruturas sanduíche.

O CONSÓRCIO

O consórcio é formado pelos seguintes parceiros:

- INEGI	Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial	PT
- CAETANOBUS	CaetanoBus – Fabricação de Carroçarias S.A.	PT
- MAURI	Mauri & C. s.a.s.	IT
- NTET	NTET S.p.A	IT
- CIMNE	Centre International de Mètodes Numèrics en Enginyeria	ES
- UPM	Universidad Politécnica de Madrid	ES
- KTH	Royal Institute of Technology	SW
- SUNSUNDEGUI	Suministros y Servicios Unificados de Carroceria SL	ES
- POLIMI	Politecnico di Milano	IT
- OXFORD	The University of Oxford	UK
- ITALDESIGN	Diseño Industrial ITALDESIGN	ES
- FIBERSENSING	FiberSensing – Sistemas Avanzados de Monitorização, S.A.	PT
- TU CLAUSTHAL	Technical University Clausthal	DE

OS TRABALHOS REALIZADOS

Os trabalhos foram organizados em nove pacotes – workpackages (WP). Cada uma das WP é liderada por um parceiro. A lista de WP é a seguinte:

- **WP1** – Vehicle Concept Generation (Geração do conceito do veículo)
- **WP2** – Sandwich Material Concept Design (Concepção dos conceitos de estrutura sanduíche)
- **WP3** – Joining & Assembly (Ligação e montagem)
- **WP4** – Static and Dynamic Model of Bodies (Modelos estáticos e dinâmicos)
- **WP5** – Crashworthiness (Comportamento ao impacto)
- **WP6** – Durability and Life Time Prediction (Durabilidade e previsão da duração de vida)
- **WP7** – EcoDesign
- **WP8** – Prototype Production (Produção de protótipos)
- **WP9** – Project Management (Gestão do projecto)

Os resultados obtidos até agora são descritos sumariamente nas secções seguintes.

WP1 – Geração do conceito do veículo

Nesta WP foi concluída a geração do conceito do veículo. Os principais objectivos são a identificação de uma lista tão completa quanto possível de atributos dos produtos e das necessidades do utilizador, de forma a gerar um canal de informação de elevada qualidade in nos mercados-alvo, entre os utilizadores finais e as pessoas envolvidas no desenvolvimento de tecnologias e de produtos. A equipa envolvida no WP1 produziu estudos de fiabilidade para a integração funcional e esboços dos interiores e dos exteriores, perspectivas, “renderings” e modelos com superfícies tridimensionais do autocarro. Na figura 1 são mostradas a vista explodida e a vista frontal do conceito a adoptar.

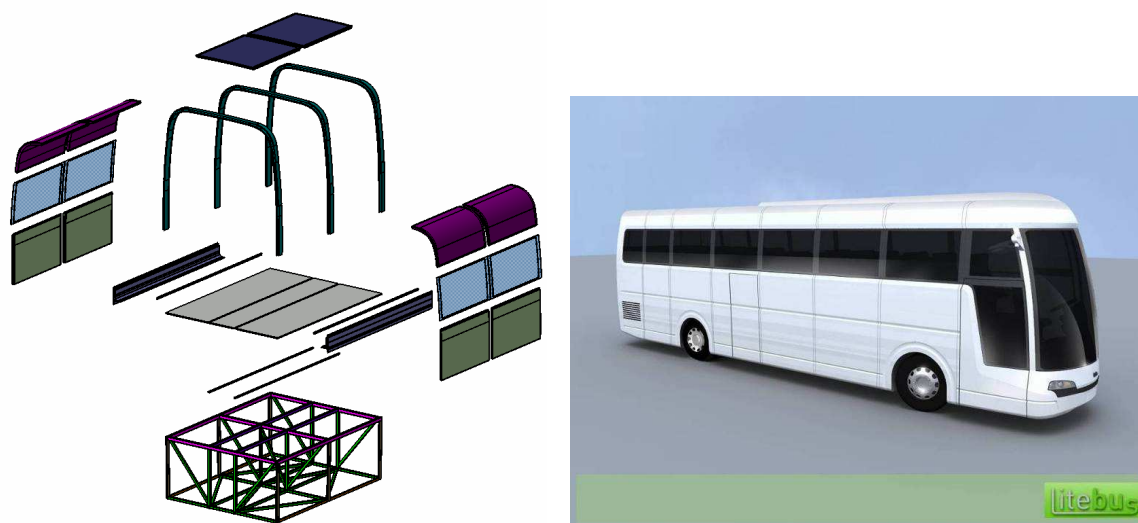


Figura 1- Vista explodida e vista frontal do conceito a adoptar

WP2 – Concepção dos conceitos de estrutura sanduíche

Os objectivos desta WP são o estudo de conceitos de materiais disponíveis no mercado ou produzidos noutros projectos financiados pela União Europeia. Comparar as suas propriedades com os requisitos de rigidez, comportamento ao impacto e de produção aplicáveis em autocarros e comboios. Identificar as vantagens e os inconvenientes. Gerar um novo domínio de conceitos de material sanduíche usando peles em plástico reforçado com fibras e núcleos de espuma com reforços, obtido por pultrusão ou outros processos. Estudo dos possíveis métodos de produção e selecção dos processos aplicáveis a componentes estruturais de grandes dimensões (ex. moldação líquida). Completa caracterização do material incluindo propriedades mecânicas, influência da velocidade de deformação, resistência e comportamento ao fogo e comportamento acústico, que constituirão os principais dados a usar na concepção. Desenvolver modelos constitutivos não lineares do material baseados na teoria da homogeneização. Desenvolver um sistema nervoso para a monitorização da saúde estrutural (dano, deformação, temperatura).

Esta WP resultou a definição completa da solução construtiva que foi usada na simulação numérica (WP4) e que está actualmente a ser materializada em protótipo completo à escala real (WP8).

WP3 – Ligação e montagem

Os principais objectivos:

- Desenvolver e validar uma tecnologia segura para a ligação dos painéis sanduíche, laminados compósitos e metais.
- Desenvolver uma técnica de optimização que permita encontrar a máxima resistência e rigidez de ligação, especialmente no caso de aderentes compósitos.

Foi já concluído o programa informático para o dimensionamento de ligações adesivas. Esse trabalho envolveu o desenvolvimento de ferramentas funcionando em rede e baseadas no modelo de Bigwood e Crocombe aplicado a aderentes compósitos. O modelo é aplicável a uma vasta gama de ligações adesivas, incluindo as que são correntemente usadas na construção de autocarros. A Figura 2 mostra um ecrã do “Joint Designer” cuja interacção com o utilizador é muito simples.

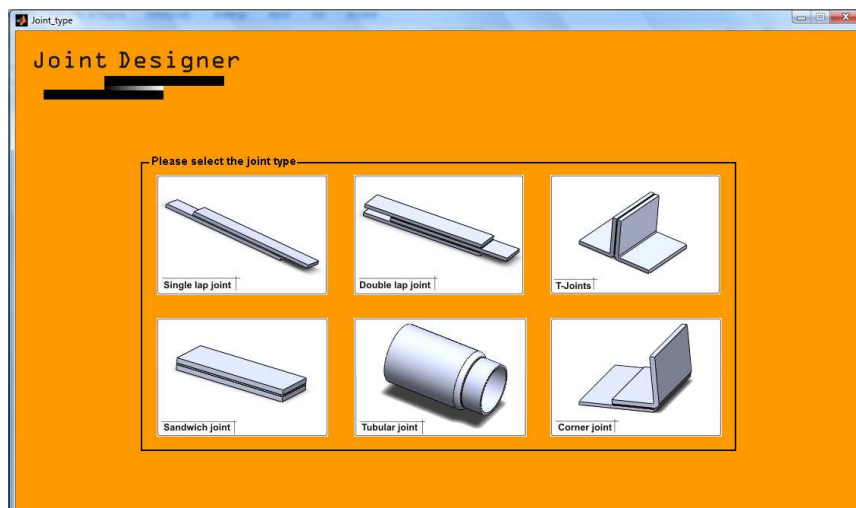


Figure 2 – Um dos ecrãs do “Joint Designer”

WP4 – Modelos estáticos e dinâmicos

Os objectivos deste pacote são o desenvolvimento de novas estruturas de veículos que apresentem pelo menos a mesma rigidez torsional e à flexão que as construções metálicas correntes. Minimização do peso sujeita a várias restrições: limites máximos de deslocamento e tensão (análise estática) ou os seus valores de amplitude e as frequências naturais (análise dinâmica). Trata-se de um trabalho conjunto do CIMNE, do INEGI e da UPM. O conceito aprovado na WP1 apresenta resultados encorajadores, estando neste momento em fase de validação. Os modelos mais avançados permitem considerar o dano nos laminados e o seu efeito na limitação da carga lateral máxima (capotamento). A figura 3 mostra o resultado de uma dessas simulações, antes das soluções que se tornaram necessárias serem introduzidas.

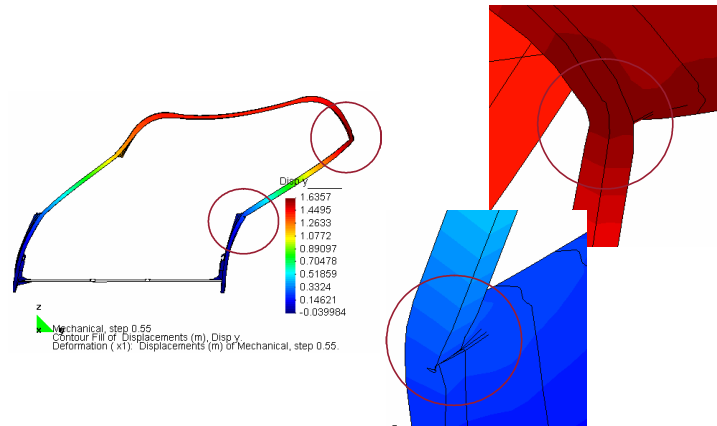


Figura 3 – Resultados de simulação

As análises dinâmicas feitas no INEGI provaram ter sido conseguido um modelo funcional mas bastante pesado. A sua utilização só se justifica para soluções muito próximas da definitiva ou para avaliação preliminar de rigidez inicial. Os resultados são mostrados na Figura 4.

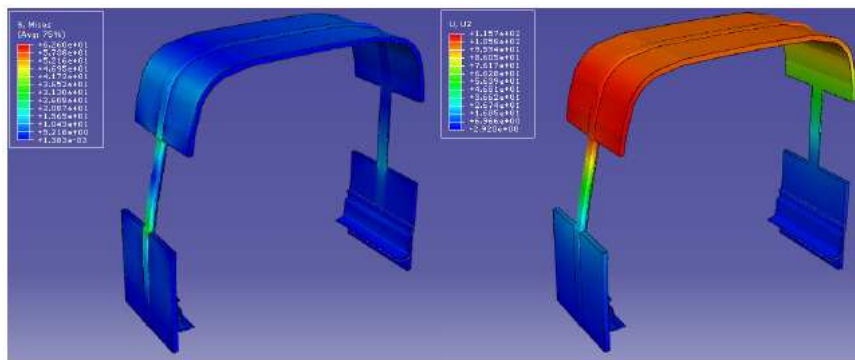


Figure 4 – Simulação dinâmica

WP5 – Comportamento ao impacto

Foram estudadas estruturas produzidas pelos construtores envolvidos no consórcio e recolhida uma informação de base para o dimensionamento da estrutura do LiteBus. Ainda no âmbito desta WP foram realizados ensaios de flexão a amostras do pilar. A montagem do ensaio é mostrada na Figura 5.

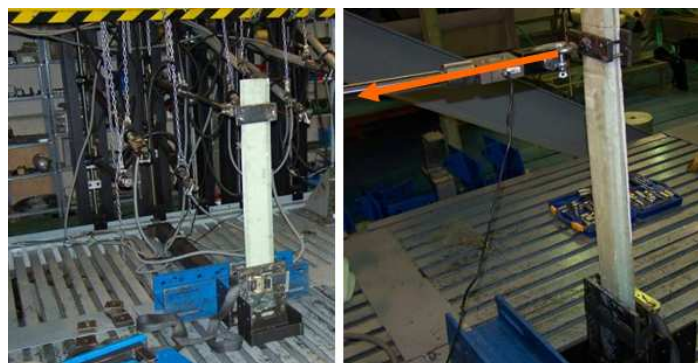


Figure 5 – Montagem do ensaio de flexão

Os resultados foram analisados e considerados na validação dos modelos.

WP6 – Durabilidade e previsão da duração de vida

Esta WP tem como objectivo desenvolver técnicas de previsão da vida para os conceitos de estrutura sanduíche e garantir que o veículo cumpre o comportamento mecânico exigido ao longo de toda a sua vida útil. Na figura 6 é apresentado um exemplo de ensaio, no caso a um perfil pultrudido e à fadiga.

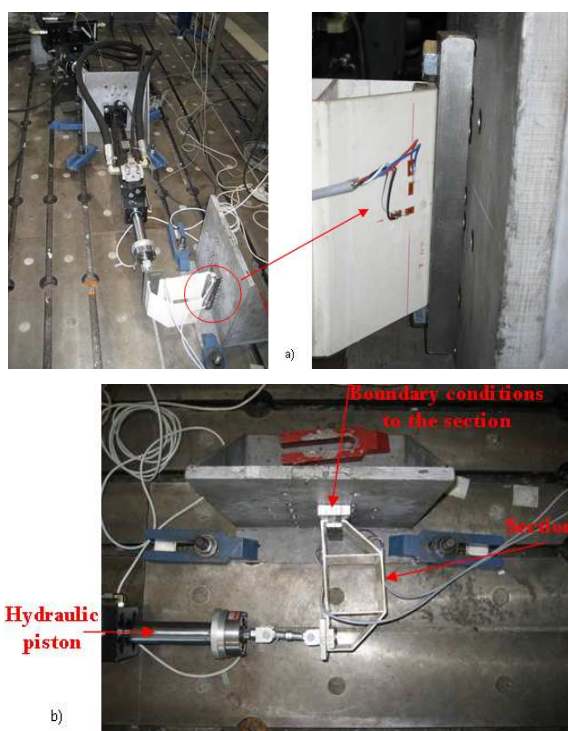


Figura 6: Ensaio à fadiga de um perfil pultrudido. a) colocação de extensómetros
b) condições de amarração e aplicação de carga

Na figura 7 é mostrado o dano resultante no final de um dos ensaios.

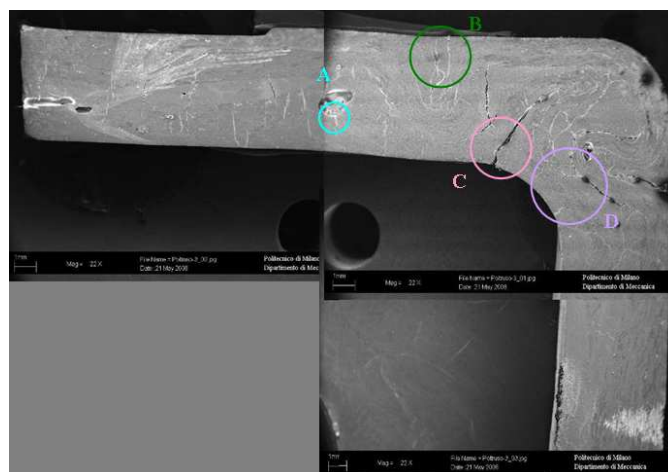


Figura 7 – Conjunto de imagens obtidas com microscopia de varrimento da zona fissurada.

WP7 – EcoDesign

Os objectivos são avaliar o impacto, o custo e a função ambientais ao longo do ciclo de vida da estrutura em material sanduíche e em aço, e fornecer dados ao longo do projecto do veículo em termos de melhoria, desmontagem e reciclagem. O trabalho realizado inclui uma análise de custo do ciclo de vida - Life Cycle Cost Analysis (LCCA) – onde é feita a comparação entre a concepção tradicional de autocarros em aço e o Litebus. A perspectiva do ciclo de vida assume particular importância na comparação de diferentes conceitos de veículos e é adoptada pela Comissão Europeia como um dos aspectos centrais do seu novo conceito de Integrated Product Policy, IPP. No âmbito do Litebus, a perspectiva do ciclo de vida está a ser considerada através do LCCA. O novo conceito de veículo em sanduíche compósito será comparado com os veículos em aço actualmente produzidos pelos parceiros. O objectivo deste estudo é apresentar a eventual diferença de custos ao longo do ciclo de vida para as duas alternativas de materiais para uma secção da estrutura de autocarro. Quando são introduzidos novos conceitos de materiais, muitos aspectos são alterados – processo produtivo, ferramentas, evolução dos custos dos materiais, etc. – e apenas podem ser avaliados numa perspectiva mais lata, ao longo do ciclo de vida. Terão também que ser considerados os ganhos em consumo de combustível ou aumento de carga admissível devidos à redução do peso da estrutura e os menores custos de manutenção devida a uma melhor resistência à corrosão. Assim, foi usada a seguinte estrutura de custos na análise: planeamento e concepção, produção, operação e manutenção, e destino em fim de vida. De realçar que os dois tipos de estruturas são comparáveis tanto em termos de função como de duração de vida útil. Esta WP é feita com especial participação de todos os construtores envolvidos no consórcio.

WP8 – Produção de protótipos

A produção das amostras dos pilares e dos painéis foi feita no INEGI, na TU Clausthal e na KTH. Foram produzidos de acordo com a geometria definida na WP1, os materiais definidos na WP2 e com o empilhamento definido na WP4. A figura 8 mostra duas fases da produção de uma amostra instrumentada do pilar.



Figura 8 – Produção de uma amostra instrumentada do pilar

O resultado final é mostrado na Figura 9. Trata-se de um pilar instrumentado com fibras ópticas.



Figura 9 – Resultado final

Foi concebido e construído uma fieira para pultrusão do perfil de canto – incluindo a completa definição do aço e do tratamento superficial. Do ponto de vista do perfil a ser pultrudido, foi necessário um longo estudo prévio para permitir o fabrico de uma configuração com tão elevada complexidade. A Figura 10 mostra a fieira usada na produção de amostras para serem ensaiadas.



Figura 10 - Fieira de pultrusão

Estão a ser agora produzidos perfis de grande comprimento para serem usados nos protótipos à escala real que serão submetidos a capotamento no INSIA. O molde necessário para a construção dos pilares à escala real já foi concluído (Figura 11).



Figura 11: molde e contra-molde do pilar

WP9 – Gestão do projecto

Os objectivos são garantir que todo o programa é cumprido do acordo com o plano e que atinge todos os objectivos declarados. O INEGI, como Coordenador actuou como

intermediário entre o consórcio e a Comissão. Como comentário geral, podemos afirmar claramente que um total envolvimento e uma participação activa de todos os parceiros no esforço de investigação. O consórcio conseguiu criar uma equipa de investigação altamente motivada, comunicativa e com “esprit de corps”, que contribuiu para o desenrolar normal do projecto.

O INEGI mantém e actualiza a página do LITEBUS na Internet (URL: www.litebus.com). A página consiste numa área pública e outra privada. Na área pública, damos informação sobre os objectivos e as tarefas do projecto, os parceiros e outras notícias. Na área privada, são guardados de forma partilhada entre os parceiros os diversos documentos: relatórios, apresentações, desenhos e minutas das reuniões. Tornou-se assim um instrumento valioso não só na gestão diária do projecto como também como veículo de disseminação. A análise estatística da sua utilização demonstra que o interesse do público aumentou bem como o impacto nas actividades da equipa de investigação.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos até ao momento permitem concluir que se irão atingir os objectivos iniciais fixados de desenvolvimento de um tecnologia de fabrico de estruturas de autocarros com materiais leves, que se antecipa conduzirão a uma redução de 60 % do peso da superestrutura do veiculo em comparação com uma estrutura em aço ao carbono, mantendo as mesmas propriedades de rigidez e resistência ao impacto.

REFERÊNCIAS

1. LITEBUS – Project Contract (FP6-031321) – Annex I – “Description of Work”, 5 de Junho de 2006.
2. Livro Branco - A política Europeia de transportes no horizonte 2010: a hora das opções – COM/2001/0370 final.