

Inovações tecnológicas: aplicação de materiais cerâmicos na indústria automobilística

Marcelo de Jesus R. Nóbrega (CEFET-RJ) engmarcelocefet@terra.com.br

Monika Fritz (CEFET-RJ) documento@openlink.com.br

Cristina Gomes de Souza (CEFET-RJ) cgsouza@cefet-rj.br

Resumo

Apesar de ser empregada desde os anos 1920 na fabricação de velas de ignição e rotores dos motores elétricos de veículos, peças de material cerâmico ainda demandam desenvolvimento tecnológico que as tornem técnica e economicamente utilizáveis na produção em série. Entretanto esforços recentes em válvulas cerâmicas que prometem economia de combustível e redução de emissão de poluentes vêm sendo implementados por grandes empresas do setor automobilístico, abrindo novas perspectivas para utilização desse material. O objetivo do artigo é apresentar a utilização do material cerâmico como substituto de materiais na fabricação de peças dos automóveis e os aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais que interferem nessa substituição de materiais. O trabalho é complementado com a descrição de experiências realizadas pela Mercedes-Benz e Renault mostrando os resultados obtidos.

Palavras-chave: Inovação, Cerâmica, Indústria Automobilística, Substituição de Materiais.

1. Introdução

A sinergia entre desenvolvimento tecnológico, necessidades econômicas e fatores ambientais vem demandando inovações em materiais, processo esse que se intensificou principalmente a partir da década de 80. O processo de inovação e a qualidade fizeram com que a escolha dos materiais utilizados na fabricação dos automóveis pela indústria automobilística fosse fundamental para que ela se mantivesse competitiva, tivesse um bom desempenho e apresentasse produtos de qualidade a seus clientes.

Hoje pode-se dizer que os materiais metálicos representam cerca de 70% de um automóvel em substituição à madeira que era responsável por 85% da carroceria nos anos 20. Os demais 30% são provenientes de materiais como plásticos, vidros, têxteis, tintas e outros. (MEDINA e NAVEIRO, 2000). As inovações em materiais são denominadas de “inovações invisíveis”, ou seja, inovações que o consumidor não percebe ou não valoriza a não ser indiretamente pelo que oferecem (CLARK e FUJIMOTO, 1991 apud MEDINA e NAVEIRO, 2000).

Vários são os fatores que forçam a busca por novos materiais como a necessidade de tornar os veículos mais leves, mais resistentes e menos poluentes promovendo a melhoria do desempenho e a redução do custo do automóvel. Esse processo têm implicado em várias mudanças na indústria automobilística, tanto na parte operacional de sua forma produtiva, quanto na forma de elaboração de projetos de veículos novos levando as indústrias automobilísticas a considerarem no projeto desde a escolha do tipo de material até o tipo de consumidor.

O emprego de materiais cerâmicos para funções mecânicas está bem mais atrasado do que se esperava há alguns anos. Apesar de ser empregada desde os anos 1920 na fabricação de velas de ignição e rotores dos motores elétricos de veículos, peças desse material aguardam ainda desenvolvimentos que as tornem técnica e economicamente utilizáveis na produção em série.

Entretanto esforços recentes no desenvolvimento de válvulas cerâmicas que prometem economia de combustível e redução de emissão de poluentes vêm sendo implementados por grandes empresas do setor, abrindo nova perspectiva para utilização desse material na indústria automobilística.

O objetivo do artigo é apresentar a utilização do material cerâmico como substituto de materiais na fabricação de peças dos automóveis, e os aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais que interferem nessa substituição de materiais. O trabalho é complementado com a descrição de experiências realizadas pela Mercedes-Benz e Renault mostrando os resultados obtidos.

2. O material cerâmico

Cerâmica é qualquer material inorgânico, não-metálico, obtido geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas. O termo cerâmica vem da palavra grega *keramikos*, que significa “material queimado”, indicando que as propriedades destes materiais são obtidas através de um processo de tratamento térmico de alta temperatura denominado queima.

Os materiais cerâmicos são fabricados a partir de matérias-primas classificadas em naturais e sintéticas. As naturais mais utilizadas industrialmente são: argila, caulim, quartzo, feldspato, filito, talco, calcita, dolomita, magnesita, cromita, bauxito, grafita e zirconita. As sintéticas incluem, entre outras, alumina (óxido de alumínio) sob diferentes formas (calcinada, eletrofundida e tabular), carbetos de silício e diversos produtos inorgânicos.

Em função do produto a ser obtido e das propriedades desejadas, as matérias-primas são selecionadas e submetidas a uma série de operações, sendo que, pelo menos em uma delas, ocorre tratamento térmico em temperaturas elevadas. Nesta operação pode ocorrer uma série de alterações nas características das matérias-primas, principalmente nas naturais, como: perda de massa, mudança de composição química, da estrutura cristalina e surgimento de novas fases cristalinas e formação de fase vítrea. As principais etapas do processamento dos materiais cerâmicos incluem, de uma forma geral, a preparação das matérias-primas e da massa, a conformação, o processamento térmico e o acabamento.

2.1. Material cerâmico avançado

O setor cerâmico é amplo e heterogêneo, dividido em subsetores ou segmentos em função de diversos fatores, como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização. A seguinte classificação, em geral, é adotada: cerâmica vermelha; cerâmica ou materiais de revestimento; cerâmica branca; e materiais refratários.

Materiais de alta tecnologia ou avançados são aqueles de maior conteúdo tecnológico agregado, desenvolvidos e/ou em desenvolvimento em nível mundial, onde o avanço do conhecimento básico ainda pode dar contribuições (MCT, 2003).

De acordo com a Industry Commission (1995), os fatores que resultam na adoção de materiais avançados são as melhorias incrementais em:

- dureza-peso;
- resistência à fratura;
- propriedades físicas particulares (por exemplo, condutividade de materiais);
- resistência à corrosão;
- características de processo (por exemplo, fundição).

Segundo Berg (1989), as cerâmicas avançadas são definidas como “materiais que necessitam de matérias-primas de alta pureza com composição química e cristalina rigorosamente controladas e cujos processos de conformação e sinterização são também conduzidos e controlados de forma extensiva”. São cerâmicas com métodos de processamento e fabricação mais sofisticados e mais caros (INDUSTRY COMMISSION, 1995). Estes, dentre outros fatores, têm dificultado a utilização destes materiais pelas indústrias manufatureiras.

Apesar do alto custo das cerâmicas avançadas, a utilização destes materiais pelas indústrias na fabricação de seus produtos traz alguns benefícios significativos como:

- maior longevidade;
- redução de custos de manutenção;
- aumento da produtividade;
- aumento da competitividade.

Os maiores produtores de cerâmicas avançadas são o Japão, os Estados Unidos e a Europa Ocidental. A Tabela 1 mostra as maiores indústrias produtoras de cerâmicas avançadas.

Corporação	Vendas (US\$ bilhões)
Kyocera Corporation, Japão	2,79
Murata Mfg, Japão	2,11
Compagnie de Saint-Gobain, França	1,39
Philips Electronics, Holanda	1,15
Corning Incorporated, EUA	1,12
Sony Corporation, Japão	0,74
NGK Insulators, Japão	0,60
Cooper Industries, EUA	0,56
Noritake Company, Japão	0,37
General Motors Corporation, EUA	0,32

Fonte: US Bureau of Mines, 1994a

Tabela 1 – Vendas mundial de cerâmicas avançadas pelos 10 maiores produtores

As principais demandas de cerâmicas avançadas provêm da indústria automobilística e aeroespacial. Além da preocupação dos consumidores e do governo com as questões ambientais, estas indústrias, em especial a automobilística, têm investido na busca por materiais de alta tecnologia que propiciem um aumento na eficiência do consumo de combustível e diminuam os impactos no meio ambiente.

As principais vantagens desses materiais sobre as ligas metálicas convencionais incluem: capacidade de suportar maiores temperaturas de operação, o que aumenta a eficiência do combustível; excelente resistência contra desgaste e corrosão; menores perdas por atrito; possibilidade de operação sem um sistema de refrigeração; e menor densidade que resulta em diminuição do peso total do motor. Esses motores cerâmicos estão em fase de desenvolvimento, porém alguns componentes como blocos do motor, válvulas e pistões já foram projetados e testados. Esses materiais também estão sendo testados em turbinas, com rotores e câmaras de combustão de cerâmica.

Pelas vantagens apresentadas, será possível, no futuro, utilizar materiais cerâmicos em motores de aviões a jato, principalmente devido a sua baixa densidade, que permite a

produção de pás de turbinas muito mais leves. Os principais materiais cerâmicos que estão sendo estudados são: nitreto de silício (Si_3N_4), carbeto de silício (SiC) e zircônia (ZrO_2).

3. Substituição de materiais automotivos

Os automóveis dos anos 1990 já foram projetados de forma integrada com materiais mais leves e mais recicláveis; e essa parece ser uma tendência irreversível, apesar dos rumos da substituição de materiais terem se mostrado de difícil previsão. Por exemplo, no caso dos plásticos, de 1978 a 1990 houve uma substituição crescente de aço por plásticos o que reduziu o peso médio do automóvel de 1588 kg para 1316 kg. Os plásticos alcançaram quase 8% do peso total do veículo em 1992, mas essa participação estabilizou-se até 1996, embora as previsões em 1990 admitissem dobrar esse valor nos dez anos seguintes.

No processo de seleção de materiais vários fatores influem numa rede complexa de interações que invalida qualquer projeção linear. Há ainda fatores intervenientes que alteram seu peso de acordo com as conjunturas políticas e econômicas internas e externas às empresas, além dos fatores técnicos ligados ao desempenho do material em si.

É marcante também nesta década a reação dos metais, que se fizeram mais presentes, associados à importância da questão ambiental. O avanço dos plásticos devido à pressão por materiais mais recicláveis. O magnésio, o alumínio e mesmo o ferro e aço tiveram suas vitórias nessa luta onde nunca deixaram de ser fortes e mantêm ainda a liderança, apesar da concorrência cada vez mais acirrada. Existem novas ligas e novos processos, como a metalurgia do pó, aprimorando o desempenho desses materiais, alguns renovados, outros totalmente novos. Além disso, a evolução dos materiais caminha, cada vez mais, no sentido da especialização dos materiais para fins automotivos. Isto é, os materiais são desenvolvidos quase que sob medida para o automóvel segundo cada novo projeto.

Essa tendência também é resultado das alianças e parcerias que estão na base da estratégia de inovações globais que a indústria automobilística vem adotando para o século 21. É nesse sentido que as grandes montadoras estão associadas em projetos de pesquisa mundiais juntamente com seus principais fornecedores de materiais. A Ford e a General Motors nos EUA, a Fiat, a Renault e a Volkswagen na Europa, os 35 maiores produtores de aço do mundo, a Alcan e Alcoa em alumínio, a Dow Chemical em polímeros, além dos principais produtores de autopeças do mundo estão todos engajados em programas de pesquisa conjuntos, como o ULASB- *Ultra Light Automobile Steel Body*-. E há projetos específicos envolvendo diversos níveis de parcerias em cada país, como o PNGV nos EUA ou o Next, o primeiro carro híbrido da Renault.

O PNGV - *Partnership for a New Generation of Vehicles* - é uma aliança formada em 1993 entre o governo federal norte-americano e o Conselho de pesquisa automotiva dos Estados Unidos (USCAR - *United States Council for Automotive Research*) que representa as três grandes empresas americanas: Chrysler, Ford e General Motors. Essa parceria também envolve órgãos de governo, laboratórios de pesquisa, universidades e fornecedores de autopeças. O principal objetivo é projetar até 2005 um automóvel que consuma um terço do combustível, e reduza em 1/3 as emissões de CO_2 em relação ao atual modelo “sedan” médio de cada uma das três montadoras (o Concorde da Chrysler, o Taurus da Ford e o Lumina da GM), com o mesmo desempenho, segurança e com maior reciclabilidade de suas partes.

A P&D do projeto busca esse resultado através do emprego de materiais mais leves. A meta é reduzir o peso em 40% fazendo uso de polímeros, alumínio, titânio, magnésio e materiais conjugados de matriz metálica para usos estruturais de carrocerias e chassis.

4. Utilização da cerâmica na indústria automobilística

Logo após a Segunda Grande Guerra, os países centrais passaram a priorizar em seus programas de pesquisa e desenvolvimento a área de materiais, estimulados pela descoberta dos plásticos, de novas ligas metálicas e novos materiais cerâmicos (MCT, 2003). Em virtude de suas propriedades peculiares, o surgimento desses materiais impulsionou o desenvolvimento de diversos segmentos industriais de transformação, a fim de atender a demanda de indústrias como automobilística, aeronáutica, metal-mecânica e eletro-eletrônica.

Dentre as mudanças sofridas por algumas das empresas do setor de autopeças no que concerne a avanços na renovação técnico-organizativa, está o uso de novos materiais, notadamente o plástico mas também materiais cerâmicos, novas ligas mais resistentes, etc (CASTRO,1993). Os plásticos surgiram com força nos anos 1970 nas primeiras tentativas de tornar o carro mais leve por razões ligadas ao consumo de combustível, diante das crises do petróleo de 1973 e 1976. Seguiu-se então uma década de rápidas conquistas, começando pelo interior do veículo e carroceria, primeiro no lugar da madeira e dos metais, passando depois a constituir novos acessórios ligados à introdução da eletrônica, a partir dos anos 1980.

De fato, em 15 anos os plásticos dobraram sua participação no peso total dos veículos mas não mantiveram esse ritmo de crescimento por diversas razões, entre as quais as ligações de interface entre o projeto e a industrialização final do produto. Havia dificuldades técnicas na fabricação da peça, na sua montagem, no tratamento dos materiais e na incorporação da peça ao sistema e à montagem final do veículo em série. Não é só o material que interessa, é necessário pensar ao mesmo tempo em todas as mudanças necessárias em seu entorno. Do tratamento do material, passando pela fabricação da peça até sua entrada na linha de montagem final, que é ainda um espaço de domínio técnico da metalurgia, tudo tem que ser detalhadamente projetado e por vezes isso exige uma série de inovações em paralelo.

Outro grande impulso, para a geração e incorporação de novas tecnologias e novos materiais, foi a eletrônica embarcada, que estendeu os limites dessas transformações lentas mas contínuas, imprimindo-lhes um ritmo mais acelerado e um perfil mais inovador. Os sensores que comandam sistemas de segurança passiva ou ativa como os freios ABS e “airbags”, ou acessórios que geram maior conforto como vidros elétricos, direção hidráulica, ar condicionado, até as mais novas possibilidades de sensoriamento remoto para orientação dos motoristas ou mesmo para a condução dos veículos totalmente “computadorizados”.

Os materiais plásticos se impuseram como materiais mais leves, com resistência reforçada e às vezes com características de condutibilidade elétrica similares aos metais, tanto em funções estruturais como mecânicas. Depois surgiram os aços especiais, as ligas leves de titânio ou magnésio, o alumínio de maior resistência mecânica e os novos processos de sinterização. Na indústria automobilística é cada vez mais extensivo o uso da metalurgia do pó para fabricação de peças mecânicas e partes estruturais (sedes de válvulas, guias de cilindros e sistemas de transmissão), simplificando os trabalhos de montagem pela redução das operações de usinagem nas montadoras. Enfim os metais se tornaram também mais leves e eficientes para as novas funções que vêm sendo incorporadas a cada novo modelo de automóvel.

Já o emprego de cerâmicas para funções mecânicas está bem mais atrasado do que se esperava há alguns anos. Apesar de ser empregada desde os anos 1920 na fabricação de velas de ignição e rotores dos motores elétricos de veículos, elas aguardam ainda desenvolvimentos que as tornem técnica e economicamente utilizáveis na produção em série.

“Nos anos 1970 e 1980 foram feitos grandes esforços no desenvolvimento de turbinas a gás e de motores adiabáticos, operando em temperaturas muito altas e utilizando partes cerâmicas. Os materiais preferidos foram a zircônia parcialmente estabilizada (PSZ), o carbeto de silício (SiC), o nitreto de silício (Si₃N₄), o silicato de lítio e alumínio (LAS) e o silicato de alumínio

e magnésio (MAS), cujas temperaturas de operação variam de 800 (PSZ) a 1500°C (SiC)” (GALEMBECK, 1997).

“A Nissan lançou em 1985 uma linha de turbo compressores cujos rotores eram fabricados com nitrato de silício, feitos com moldes em cera. A vantagem é que, mais leves que os de metal, esses componentes têm uma inércia menor, minimizando o “turbo-lag” (aquela falta de torque que existe até o momento em que o turbo entra em ação” (RAMOS, 2003).

Entretanto, a dificuldade na fabricação de peças de material cerâmico tem sido um obstáculo no sucesso da utilização destes materiais. Segundo GALEMBECK (1997), aproximadamente 30 partes automobilísticas (de um total de 15.000) são feitas de cerâmicas. As aplicações de cerâmicas em áreas pouco críticas do automóvel podem aumentar bastante, pois podem ser produzidas em massa, a baixo custo com propriedades reprodutíveis. Veículos baseados em materiais cerâmicos não deverão estar disponíveis no mercado, em um futuro previsível, mas o uso de componentes cerâmicos deve continuar aumentando lenta e continuamente. As aplicações deverão ser em componentes eletrônicos, sensores químicos, turbocarregadores e catalisadores. Aplicações estruturais, segundo tudo indica, serão introduzidas em um ritmo muito mais lento do que foi imaginado nos anos 1970.

A massificação desse material na indústria automobilística só se deu mesmo com os catalisadores, que hoje em dia são compostos por uma manta cerâmica que, se fosse desenrolada, cobriria um campo de futebol. Atualmente, os catalisadores que depuram os gases de exaustão são o principal caso de real sucesso dos materiais cerâmicos, em automóveis. Entretanto, os catalisadores hoje existentes não satisfazem metas que se pretende atingir nos países centrais, quanto aos teores de poluentes nas emissões automobilísticas. Por essa razão, há também um intenso trabalho de pesquisa em andamento, no que diz respeito ao substrato do catalisador, à sua embalagem, aos materiais ativos e mesmo à possibilidade de se ter sistemas catalíticos externamente aquecidos (GALEMBECK, 1997).

Ao contrário do exposto por GALEMBECK (1997), para muitos fabricantes, segundo RAMOS (2003), a cerâmica é o material cuja aplicação mais vai crescer nos próximos anos dentro da indústria automobilística. E os motores serão os maiores beneficiados. As peças internas feitas desse material vão precisar de menos lubrificação, durar mais e ser mais leves que as similares de ferro e alumínio. Por serem mais resistentes às altas temperaturas que as feitas de metal, são mais estáveis e não se deformam nem dilatam quando em condições críticas de uso. Além disso, o calor dissipa melhor nas peças cerâmicas que nas metálicas, o que é importante em componentes que sofrem atritos severos – como é o caso dos discos de freio.

Na lista de peças de cerâmica que já estão sendo testadas, além destes últimos estão ainda os anéis, válvulas, pistões, camisas (o revestimento interno dos cilindros, quando este pode ser removido), polias e até mesmo componentes grandes, como cabeçotes e blocos de motores.

Componentes cerâmicos apresentam uma combinação atrativa de propriedades vantajosas como baixa densidade, boa temperatura e resistência à corrosão. Portanto, eles tem um alto potencial para aplicação em motores a combustão. Válvulas feita de nitreto de silício são os principais interesses. Uma simples substituição de válvulas metálica é planejada como primeiro passo. As válvulas cerâmicas prometem economia de combustível e redução de emissão de poluentes. Para um maior uso de tais válvulas, sua produção em massa e seu controle de qualidade tem que ser bastante eficientes a fim de assegurar a confiabilidade do produto, o que, em se tratando de material cerâmico, envolve um custo elevado.

Há também um grande esforço sendo feito, na fabricação de compósitos metal-cerâmicos (metal-matrix composites, MMC), usando precursores cerâmicos. Aqui, o principal problema

é a dificuldade de dar forma a cerâmicas (cristalinas) em temperaturas suficientemente baixas para não ocorrer dano ao metal. Outro problema (no caso dos precursores do carbetos de silício) é a formação de carbetos metálicos, durante a formação do compósito.

5. Exemplo de utilização de material cerâmico: caso Mercedes-Benz e Renault

A Mercedes-Benz investiga a viabilidade de materiais cerâmicos de alto desempenho desde 1984. Ela fez testes em 1700 motores equipados com modernas válvulas de nitreto de silício, desenvolvidas pela Bayer e NGK. Qualquer componente do motor que se mova rapidamente necessita de muita energia, e quanto mais pesado, mais energia será necessária. As válvulas de cerâmica, com seu peso reduzido, garantem assim uma eficiente economia. Eles também vêm cooperando com fornecedores continuamente para melhorar as propriedades de seus materiais. Uma válvula de admissão feita de nitreto de silício pesa apenas 26 gramas, enquanto uma válvula equivalente de aço pesa 61 gramas, uma diferença de aproximadamente 56%. Uma válvula de exaustão de cerâmica pesa 25 gramas, e a de aço pesa 57 gramas. Em um motor do Classe C superalimentado de 2,3 litros, a economia em peso oferecida pelas válvulas cerâmicas é de aproximadamente 500 gramas.

Como o motor está movendo um peso menor, significa que está ocorrendo ganho de energia (para o motor acima, constatou-se um ganho em torno de 250 watts). Além disso, diminui-se o atrito nas válvulas, que melhora o consumo de combustível. As válvulas de cerâmica podem garantir menos 3 a 6% no consumo de combustível de um motor de quatro cilindros, uma economia de 0,3 a 0,5 litros de combustível a cada 100 quilômetros.

Quanto à resistência dos cerâmicos no motor, onde são submetidos a cargas elevadas, os testes mostram que são confiáveis. Em um motor de quatro cilindros operando a plena carga as válvulas se abrem e fecham aproximadamente 3000 vezes por minuto, submetidas a temperaturas acima de 800°C e pressões em torno de 80 bar. Dezessete motores da Mercedes equipados com válvulas cerâmicas suportaram 8500 horas de testes em laboratório e mais de 300.000 quilômetros em testes em estrada sem apresentar problemas. O único obstáculo a ser superado pelos projetistas é relacionado ao custo, pois as válvulas de cerâmica podem custar até duas vezes mais que as válvulas metálicas convencionais.

Já a Renault tem opinião diferente. Segundo um especialista em motores, os materiais cerâmicos, não serão utilizados por razões de desenvolvimento técnico insuficiente na montagem da peça ou do veículo, pois são considerados frágeis e exigem muito cuidado na montagem da peça e do veículo. A Renault não emprega cerâmicos, pois a Peugeot já teve problemas com esse material no seu motor V6, 24 válvulas, que é um motor para carros muito caros, de alto luxo e de pequena escala de produção.

6. Conclusões

Os estudos e pesquisas sobre as tendências dos novos materiais automotivos permitem afirmar que hoje não há um candidato único à substituição do aço e que a escolha se faz de forma cada vez mais múltipla entre outros metais, como por exemplo, alumínio, plásticos, cerâmicos ou materiais poliméricos.

Apesar do futuro mostrar a necessidade de inovação representada na produção de materiais alternativos, alguns novos apresentam ainda restrição quanto ao custo e produção industrial como é o caso dos materiais cerâmicos.

Atualmente as previsões apontam para uma maior participação dos materiais cerâmicos nos componentes veiculares, mas ainda há necessidade de maior investimento da indústria automotiva em tecnologias de fabricação, que tornem os materiais cerâmicos mais baratos e

de maior facilidade/agilidade produtiva, principalmente em se tratando de uma indústria em que fatores como o tempo e agilidade de fabricação são vitais para sua sobrevivência.

A cerâmica tem se mostrado eficiente em diversas aplicações na indústria desse setor com a intensificação do seu uso limitada pelo alto custo que envolve sua fabricação.

Finalizando, pode-se dizer que a substituição de materiais na indústria automobilística é uma realidade mas tal processo necessita ainda de maiores investimento em P&D.

Referências

BERG, E.A.T. (1989). *Matéria-prima versus processamento*. In: II ENOMAT – Encontro Estadual sobre Novos Materiais, Rio de Janeiro, RJ, agosto de 1989.

CASTRO, N.A. (1993). *Impactos sociais das mudanças tecnológicas: Organização industrial e mercado de trabalho*. Ciência e Tecnologia no Brasil: Uma Nova Política para um Mundo Global, São Paulo, abril de 1993.

GALEMBECK, F. (1997). *Materiais – Progressos e perspectivas*. Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, março de 1997.

INDUSTRY COMMISSION (1995). *New and advanced materials*. Melbourne: Australian Government Publishing Service, 8 de maio de 1995.

MEDINA, H.V. e NAVEIRO, R. (2000). A gestão integrada do projeto de veículos automotivos: o caso da introdução de novos materiais na Renault. *Produto & Produção*, Vol. IV, n. 3, p. 77-95.

MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (2003). *Relatório Tundisi*. Brasília: MCT, 2001. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/sobre/noticias/2001/tundisi.pdf>> Acessado em: 24 de maio de 2003.

OKUBARO, J. J. (2001). *O automóvel, um condenado?* Editora: SENAC, São Paulo, SP.

RAMOS, A. (2003). *O carro de cerâmica*. Revista Quatro Rodas. Disponível em: <<http://quatorrodas.abril.com.br>> Acessado em: 30 de maio de 2003.