

Materiais Avançados: Novos Produtos e Novos Processos na Indústria Automobilística

Heloisa V. de Medina

Doutoranda em Eng. de Produção na COPPE e Tecnologista do CETEM/CNPq,
Rua 4 Quadra D, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ.
Email: hmedina@cetem.gov.br

Ricardo Manfredi Naveiro

Engenheiro, Professor da COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia de Produção,
CT, Bloco F, sala 109, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ.
Email: ricardo@pep.ufrj.br

Palavras-chave: Materiais Avançados, Inovação Tecnológica, Organização Industrial, P&D e Indústria Automobilística

RESUMO

Esse artigo mostra o desenvolvimento recente dos materiais novos e avançados e seus impactos na organização industrial exigindo flexibilidade em todas as fases: P&D, projeto e produção. Essas mudanças estão gerando produtos novos e melhorados e atendendo também aos requisitos ambientais. Discute-se o conceito de materiais avançados e apresenta-se os desenvolvimentos recentes nesse campo. O desenvolvimento de materiais especiais para o setor automobilístico é também enfatizado como exemplo significativo da revolução dos materiais e seus impactos inovadores na estrutura industrial deste setor vital.

ABSTRACT

This article shows the recent development of new and advanced materials and its impacts on the industrial organization, asking for flexibility from the R&D through the design fase until the production level. These changes are enabling new and better products and also meeting environmental requirements. The concept of advanced material is discussed and the recent progresses on materials field are presented. The development of special materials and its new applications in the automotive industry is also stressed as a significant exemple of the materials revolution and its innovative impacts on the industrial structure of this core sector.

1- Introdução

O que já se convenciou chamar de revolução dos novos materiais é na verdade o resultado do processo de difusão das inovações tecnológicas fruto do desenvolvimento da ciência e da tecnologia dos materiais. Como resultado bem sucedido da ligação entre P&D e produção industrial novos produtos e processos são gerados e passam a exigir o aperfeiçoamento contínuo dos materiais realimentando a demanda por pesquisas.

Recente estudo, realizado por Marco Iansiti (1), sobre organizações de P&D em 12 grandes companhias americanas, aponta que o novo enfoque sistêmico de P&D, que integra num mesmo projeto a pesquisa e a produção industrial, traz sensíveis reduções de tempo e custo na introdução de inovações. Em um dos casos observados -os multichips em indústrias eletrônicas- as firmas que seguiram o processo tradicional: pesquisa básica (ciência dos materiais), pesquisa aplicada (busca de usos), desenvolvimento experimental (protótipo), testes em pequena escala até a introdução do novo material na linha de produção, levaram 6,5 anos, envolvendo 800 pessoas. Já pelo enfoque sistêmico outras firmas obtiveram o mesmo resultado em 4 anos com equipes multidisciplinares de 300 pessoas entre: cientistas, pesquisadores, técnicos e engenheiros, trabalhando juntos.

Um dos mais importantes resultados não mensuráveis desse sistema é a nova forma de aprendizado introduzido nas

organizações envolvidas. A parceria de especialidades torna a própria pesquisa uma forma de aprendizado que transfere conhecimentos durante sua execução por toda a equipe. A difusão de conhecimentos necessários à introdução da nova tecnologia na produção é rápida e direta dispensando mecanismos intermediários.

O novo sistema tem se mostrado especialmente eficiente no campo da engenharia de materiais por dois motivos principais. Primeiro porque os avanços no campo dos materiais são fruto de conhecimentos científicos interdisciplinares e de investigações e testes de desempenho que requerem diferentes especializações. E, segundo, porque as inovações em materiais têm custos elevados, devido ao longo tempo de maturação, ao preço dos insumos e equipamentos, aos testes, padronização até a certificação final, além das mudanças tecnológicas produtivas e organizacionais na fase da produção industrial.

Isso pode ser observado, de maneira exemplar, na reestruturação recente da indústria automobilística mundial. Pode-se dizer que os princípios básicos presentes nos sistemas de organização dominantes neste século como: produção em massa, especialização flexível, produção enxuta, produção em células ou grupos autônomos etc..., todos tem sua origem e expansão nessa indústria. Tanto que, na literatura especializada, os modelos de organização associados a esses princípios tem tomado o nome das grandes montadoras que adotaram procedimentos inovadores a seu tempo: Fordismo, Toyotismo, e Volvismo.

Desse modo, esse setor é o local ideal para a análise da redefinição dos modelos tecnológicos e industriais dentro dos novos padrões ambientais, de desempenho técnico e de produção competitiva a nível internacional. Nele, as novas estratégias de gestão de P&D, projeto e produção aparecem claramente, dentro da filosofia de flexibilidade total e integração máxima. Acrescente-se, a esse cenário, a característica de maior setor industrial consumidor de todos os tipos de materiais, especialmente metálicos, e tem-se um excelente exemplo para observação dos efeitos revolucionários que os progressos em materiais podem proporcionar na estrutura industrial como um todo.

2- Materiais Avançados um Universo em Formação

Na verdade, pode-se dizer que os avanços no campo dos materiais são um universo em formação e, como tal, é muito difícil de ser definido. Assim, a cada estudo, é necessário que se faça uma delimitação conceitual prévia para situar a abrangência com que o tema será tratado. De início, um breve apanhado das terminologias, definições e classificações mais usadas e seus limites é interessante para uma melhor compreensão do assunto.

Na história recente desta revolução, segundo Lastres (2), o termo “novos materiais” foi provavelmente o primeiro a ser adotado mas a designação “materiais avançados” é a mais usada atualmente.

Além destes há também outros termos de uso mais específicos ou restritos tais como: “materiais *high-tech*”, materiais de alta performance, materiais modernos, materiais melhorados, materiais projetados, materiais finos etc.... Como não se trata de uma nomenclatura técnica, esta pluralidade de designações é universalmente aceita. Desse modo, considera-se nesse artigo que os materiais avançados são parte fundamental do universo em formação de todas as inovações radicais, melhoramentos incrementais, novos usos, novos produtos e novos processos de produção que vem surgindo, em ritmo cada vez mais acelerado, nas últimas duas décadas.

Dentre as tentativas acadêmicas de conceituação do termo “materiais avançados” a melhor definição, dentro do escopo deste trabalho, é a destacada por Lastres (op. cit pp69): “*In trying to develop the concept of AMs, most scholars have tended to define them as those to satisfy sophisticated and specific needs in response to the new requirements of market evolution or else as the result of scientific and technological advances.*”

Nesta linha de abordagem é que se inserem as classificações mais generalizadas que agrupam os materiais segundo sua natureza em 4 grandes categorias conhecidas: Polímeros, Cerâmicas, Metais e Compósitos. Estas classificações permitem estudos do tipo que analisam, por um lado, o desenvolvimento científico e tecnológico destes materiais a partir de suas origens e, por outro, suas principais

PRODUÇÃO

funções e aplicações possibilitando sua associação a novos produtos e processos industriais.

Para melhor acompanhamento destas categorias a figura 1 sumariza as principais relações entre as características dos materiais avançados, seus insumos convencionais e suas funções ou propriedades finais.

Outro aspecto a considerar é a inserção dos materiais conhecidos nestes grupamentos associados aos ramos industriais demandantes. A melhor classificação neste caso é a japonesa que fornece inclusive exemplos de materiais considerados avançados nas 4 grandes categorias e seus principais ramos ou produtos industriais consumidores. A figura 2, adaptada de Lastres (2), complementa e amplia o escopo apresentado na figura 1.

É também uma marca dessas mudanças que o caminho entre a pesquisa básica e o produto final está ficando cada vez mais curto ou, pelo menos, está sendo percorrido cada vez mais rapidamente, dada a integração crescente entre P&D e produção industrial.

Um casos mais exemplares, desse processo de reorganização industrial dentro de um novo paradigma de concepções mais flexíveis, tem sido o da indústria automobilística. As grandes mudanças nesse campo foram iniciadas pelo Japão e hoje estão se difundindo de forma acelerada e global.

Além de precursores da reestruturação industrial pode-se dizer que os automóveis se utilizam de materiais das 4 grandes categorias consideradas (polímeros, cerâmicas, metais e compósitos). Sob esse enfoque é que são analisados a seguir os progressos na execução e gestão da P&D industrial e os desenvolvimentos recentes em materiais.

3- Progressos e Desenvolvimentos Recentes em Materiais

Nesta última década, a pesquisa científica e tecnológica, especialmente a P&D, vem assumindo novas formas no sentido de uma concepção sistêmica e integrada. De uma maneira geral, o que mais chama a atenção nesse processo, no campo dos materiais, é a grande variedade de descobertas de propriedades dos novos usos e da variedade de aplicações desenvolvidas. O resultado final é um número muito grande de materiais alternativos aos que vinham sendo tradicionalmente utilizados. Há um abandono do multiuso -um mesmo material para vários produtos- no sentido de uma especialização maior dos materiais -várias opções de material para um mesmo produto-.

Reforçando essa idéia Lastres (2) destaca: *"In addition to the number of alternative materials displaying a variety of functions, the new substances and processes developed during the 80s, compared to earlier materials. The result*

of the of the efforts of materials scientists and engineers over this period has also been illustrated by a number of examples given various indicators of engineering measurement.”

Entre os exemplos mais significativos destacados por Lastres estão:

- o aumento da relação força-densidade dos materiais estruturais que gerou compósitos e polímeros de muito mais eficientes do que os metais tradicionais proporcionou mesmo a esta categoria avanços como o desenvolvimento de aços e ligas especiais de alta performance, usadas tanto na indústria aeronáutica como na automobilística;

- a descoberta das cerâmicas supercondutoras com possibilidades de aplicações que vão desde meios revolucionários de transporte (levitação eletromagnética, baterias para carros elétricos etc..) passando por computadores, microeletrônica, equipamentos médicos, satélites de comunicação até o processamento de minerais;

- o desenvolvimento das fibras ópticas que revolucionou a indústria das telecomunicações e vem permitindo a difusão de um sistema computadorizado de informações que abre amplas perspectivas para a eletrônica embarcada nos automóveis (computadores de bordo podem informar condições físicas e climática do percurso e traçar a melhor rota a seguir);

- o advento das superligas e das cerâmicas que operam a altas temperaturas propiciando a produção de motores e máquinas que são a um só tempo: energeticamente mais eficientes, menos poluentes e de menor custo;

- a busca da otimização das propriedades magnéticas dos metais levou aos novos materiais magnéticos que vão desde os aços martensíticos, ligas Fe-Ni-Al, ímãs permanentes, até as ligas amorfas ferromagnéticas, com amplos usos em dispositivos eletromecânicos - desde automóveis até eletrodomésticos-, na microeletrônica e nos sistemas de telecomunicações.

Tudo isso torna o atual processo de substituição de materiais revolucionário na razão direta da profundidade e amplitude das transformações geradas. Vale dizer, as mudanças qualitativas e quantitativas são fruto de um complexo de inovações científicas, tecnológicas, e organizacionais que afetam todo o sistema econômico industrial. A esse estímulo as firmas respondem com reestruturações, mais ou menos amplas, que vão desde programas de qualidade, treinamento de recursos humanos, até a reengenharia completa de suas organizações, num enfoque estratégico de sobrevivência no novo paradigma.

A seguir apresenta-se alguns casos de materiais avançados em uso na indústria automobilística no Brasil e no mundo para melhor ilustrar a alavancagem que a introdução desses materiais pode

representar na modernização e reestruturação industrial em curso.

4- O Caso da Indústria Automobilística

A indústria automobilística pode ser considerada um exemplo de sucesso do paradigma anterior quer em termos de organização industrial (produção em massa, fordista-taylorista) quer em termos de aplicação de resultados de pesquisas feitas em grandes centros segundo modelos tradicionais de P&D. Como uma indústria de manufatura, que produz um único produto, com pequena variedade de modelos, por sistema de montagem, sua rede de relações no processo produtivo sempre se restringiu aos seus fornecedores diretos, que não são poucos. Do ponto de vista tecnológico strictu-sensus os princípios do veículo a motor são os mesmos desde sua origem. A grande substituição histórica de materiais data de cerca de 70 anos atrás quando nos anos 20 a carroceria de madeira cedeu lugar a de aço. Nas últimas duas décadas, pode-se dizer também que esta indústria vem esgotando suas possibilidades de mudanças estruturais parte a parte e de melhorias incrementais em seus sistemas mecânico e eletro-eletrônico.

Em recente estudo sobre a difusão dos materiais avançados no setor de transportes a OCDE (4) reconhece que a penetração dos materiais avançados na indústria automobilística é evidente e irreversível. Em alguns casos tem-se

chegado até ao redesenho de peças e componentes ou mesmo a sua substituição completa como do carburador pelo sistema de injeção eletrônica.

Por tudo isso, esse ramo industrial vem enfrentando os desafios da reestruturação do modelo de produção anterior, incorporando as inovações tecnológicas em geral e os avanços dos materiais em especial, com um enfoque estratégico de sobrevivência dentro do novo paradigma. A eletrônica embarcada, a redução do peso dos veículos pelo uso de materiais mais leves, a melhoria do desempenho dos motores e de sua economicidade, além das adaptações necessárias para atender às exigências ambientais e de segurança que tem sido crescentes, são motivos que tem levado à substituição dos materiais componentes de todas as partes do automóvel numa competição constante entre as 4 grandes categorias - polímeros, cerâmicas, metais e compósitos-.

Só a questão ambiental já nos fornece uma visão ampla desse processo. Segundo Medina J.M. e Rodrigues T. (5): “Com o objetivo de facilitar a reciclagem, as montadoras de automóveis estão investindo em pesquisas para reduzir o número de diferentes resinas usadas nos veículos. A meta final é que todas as estruturas possam ser feitas de um só tipo de plástico. O polipropileno (PP) está despontando como um possível candidato já que este pode ser reciclado por processos comerciais e apresenta uma grande versatilidade em várias aplicações

automobilísticas. Um dos esforços mais significativos vem sendo realizado pela Nissan que já recicla 100% do aço, alumínio e outras sucatas de metal e quase a totalidade dos resíduos plásticos gerados durante a produção. Também está desenvolvendo tecnologia para remover a tinta das paredes plásticas dos automóveis e permitir a reciclagem de para-choques e outros componentes.” As autoras observam ainda que “as inovações em materiais podem superar substancialmente as projeções realizadas anteriormente sobre substituição de materiais, como ilustra o exemplo comentado a seguir.

A figura 3 mostra três momentos de um mesmo carro da Ford revelando que nem sempre as tendências evoluem de acordo com as projeções realizadas.

Neste exemplo, pode-se notar que em 1978 as substituições previstas estavam visando somente a redução de peso do veículo. Este era, na época, o único aspecto associado à economia de energia. Desde então, outros fatores exerceram influência, os quais seriam difíceis de serem prognosticados na década de 70, como a redução das perdas por fricção e uma maior eficiência térmica dos motores. Apesar do aspecto da redução de peso não ter sido priorizado, houve uma redução maior do que a projetada para 1985. Outro item que superou as projeções foi a redução no tamanho dos automóveis (7% a mais do que o previsto).”

As projeções mais recentes (OECD) apontam que no ano 2000 a participação

de plásticos e seus compósitos no peso dos automóveis estará entre 20 e 30% contra os 8% de 1992. Confirmando esse ritmo a França já registrou em 1994 um percentual de 15% para essa mesma participação (6).

Mas dentro dessa estratégia de redução do peso dos veículos os materiais metálicos não têm aceito passivamente a perda de espaço para os plásticos e vêm reagindo quer seja com o desenvolvimento de ligas mais leves, quer seja com pesquisas integradas do tipo projeto ULSAB -*Ultraligh Steel Auto Body*- uma parceria internacional entre 33 siderúrgicas mundiais e montadoras, lançado em 1994, do qual participam duas empresas brasileiras a CSN e a USIMINAS em resposta ao carro de alumínio da Audi.

Essa experiência, de 13 anos de pesquisas em conjunto Alcoa-Audi, abriu os caminhos para uma concepção integrada de automóveis envolvendo produtores de materiais e montadoras. Nessa parceria todos os agentes trabalharam sincronizadamente para atender especificações técnicas e econômicas, desde o material até a montagem, para que o resultado fosse o mais adequado às exigências do consumidor. Em suma, uma liga de aço foi especialmente desenvolvida e produzida para um veículo especialmente projetado para esse material. Isso exigiu uma excelência técnica desde o projeto dos materiais até a manufaturabilidade do produto final, passando integradamente

PRODUÇÃO

pela caracterização de materiais, projeto do automóvel, processos de produção e sistemas de testes e avaliação.

A Audi foi a primeira a lançar o carro de alumínio seguida de perto pela Mazda e a pela Renault que estão com veículos em teste. Por outro lado a reação do aço que se faz presente no ULSAB prevê a produção de carrocerias de aço até 25% mais leves que as atuais, a um custo 14% menor e com uma performance estrutural 60% melhor. Isso para um modelo básico projetado a partir do estudo de 32 carros de porte médio e de quatro portas. O custo total do projeto é estimado em US\$ 22 milhões e está em fase de construção e teste de protótipo.(7)

Para além dos exemplos de caso, a situação é bastante complexa pois a indústria automobilística manipula uma enorme quantidade e variedade de materiais, constituindo-se, em alguns casos, como a maior consumidora regular de alguns deles ex: aço, plásticos de engenharia, e cerâmicas estruturais. Cada material exige processos de trabalho diferentes, a competição entre eles não é simples e envolve linhas completas de processamento industrial desde os produtores de materiais, passando pelo fabricante de autopeças, até as montadoras. As opções técnicas envolvem processos de produção diversos a cada escolha entre materiais de natureza polimérica, cerâmica ou metálica. Portanto, a pesquisa de novos processos é essencial para a difusão de novos materiais nesta indústria. As atuais

técnicas de processamento, até as mais tradicionais como as do aço, vêm sendo colocadas em xeque. São requeridas adaptações ou desenvolvimento de novas técnicas, como no caso da estampagem atual que não permite a utilização de chapas pré-pintadas. Essa relação entre material e processo chega ao limite máximo de especificidade e complementaridade com os compósitos onde o material pode chegar a ser produzido ao mesmo tempo que a peça ou componente.

Outro impacto importante da introdução de novos materiais nesta indústria é eles têm grande potencial de redução do número de componentes e mesmo de fases de produção das peças representando, ao final, um tempo menor de montagem dos veículos. Sobre esse aspecto a OCDE (4) destaca no estudo já mencionado: *“the integration of production phases consists of making in one single operation what formerly required two or more consecutive operations. The integration of the number of components consists of making a single component out of a complex of components. There are a number of advantages to be derived from both types of integration; reduction of the number of factors to be checked in the different production phases, simplification of the management of work in progress, elimination or reduction by automation of certain transfer times, etc. ... Ford was able to reduce to 5 assemblies only the 400 components that made up the chassis and body of the Taurus model thanks to the use of composites.”*

É preciso ressaltar que essa simplificação e a correspondente redução do tempo de manufatura não se traduzem diretamente no rebaixamento do custo total do veículo pois os investimentos em P&D em novos materiais são vultosos e crescentes, na medida em que materiais mais complexos e sofisticados são exigidos. Portanto, o barateamento das peças, componentes e do produto final continua a depender da escala de produção ou seja do grau de difusão das inovações por toda a indústria. A figura 4, extraída de Monte M. e Adamian R. (8), dá um panorama da difusão destas mudanças nos principais países produtores. Segundo estes autores o uso do alumínio e/ou suas ligas em blocos de motores, radiadores, bielas, pistões, bronzinas e rodas já está consolidado, seguindo a nova linha de concepção de veículos mais leves.

Mas como a competição entre materiais é uma constante nesse setor a adoção de um material não exclui do cenário tecnológico-industrial as pesquisas sobre os demais. Gritti e al (9) destacam que o empenho no desenvolvimento de novos materiais por parte da indústria automobilística tem sido tão significativo que os três gigantes americanos (Ford, Chrysler e GM) se associaram num programa de pesquisa conjunta objetivando obter materiais de maior durabilidade, segurança e resistência e de menor impacto ambiental. Os autores apontam que as rodas, como componentes de segurança, tem sido objeto de atenção especial no sentido da busca de aços de alta resistência para

discos e aros. Nesse caminho o estudo apresenta uma pesquisa no Brasil, que vem sendo feita em conjunto pela Rockwell Fumaglli, USIMINAS e CSN desde 1991, sobre aços de alta resistência para aplicação em rodas. Contudo, destacam os autores, a alta resistência não é o único requisito perseguido pois todos os aspectos da produção das rodas -passa pelas etapas de estampagem, soldagem e proteção anticorrosiva- tem que ser considerado. Uma nova liga tem que atender às características desta indústria ou oferecer alternativas técnicas apropriadas. A conclusão da pesquisa foi que a utilização de aços de alta resistência, para a fabricação de discos, permite uma redução no peso deste componente da ordem de 6 a 8% ... e um ganho de 16% em durabilidade. A maior limitação foi que a alta razão elástica destes aços não permite sua utilização em peças de projetos complexas, onde os requisitos de estampagem são severos.”

Outro caso interessante é o cenário apresentado por Cavalcanti e Milfont (10) para resinas de engenharia no Brasil. Eles definem estas resinas como polímeros com características especiais de performance utilizados pela indústria, sendo a automobilística sua maior consumidora. Até meados da década de 80 os materiais poliméricos de alto desempenho não eram produzidos no País, em função da estagnação dos segmentos consumidores, em especial da indústria automobilística, uma vez que os fornecedores de resinas aqui instalados são subsidiárias das empresas líderes da indústria química

mundial (Rhodia, Ciba-Geygy, Bayer etc). Desse modo, “elas têm acesso às inovações em produto e em processo geradas em suas matrizes, bem como às matérias primas de que necessitam (...) para realizar sua produção no Brasil, em moldes competitivos.” Mas, como o mesmo texto ressalta mais adiante: “é a indústria automobilística que comanda o ritmo da introdução das inovações tecnológicas nos materiais em questão.”

Cabe ainda destacar que, os polímeros, dentre os materiais avançados, são os mais antigos e, talvez por isso, os de uso mais difundido. Dentre todos o campeão desse mercado é o PP que representa mais de 30% das aplicações atuais de polímeros em automóveis.(6) Como mostra o quadro 3, sua utilização em automóveis é bem diversificada comprovando sua acentuada adaptabilidade devido a ampla gama de características que apresentam.

5- Observações Finais

Uma das mais importantes tendências do setor automobilístico propiciadas pelos avanços no campo dos materiais já apontadas nesse trabalho é a mudança de concepção no sentido da projeção integrada de novos modelos.

Pelo lado da Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) a tendência mais marcante no processo de inovação dos materiais é a redução do tempo de difusão das inovações: entre invenção (descoberta científica) e sua utilização comercial, que nos anos 70/80 em torno de 10 a 15 anos,

passando nos anos 90 a se situar entre 7 a 5 anos.

Como a tendência geral é a conjugação dos trabalhos de pesquisa e produção num enfoque sistêmico, a aproximação destas duas vertentes deve reduzir ainda mais este período de maturação das invenções com resultados ainda mais eficientes em termos técnicos e econômicos para tanto para produtores como para consumidores.

Todas as experiências no sentido dessa integração pressupõem um consorciamento entre produtores de materiais e montadoras, que potencializa as excelências dos dois segmentos gerando, contudo, requisitos de mudança organizacional e produtiva para ambos. Mais do que romper barreiras das fases de pesquisa, projeto e produção esse novo esquema coloca profissionais de diversas especialidades trabalhando em conjunto no desenvolvimento de um novo produto, concebido por todos desde o início.

Como resultado minimiza-se tempo, trabalho e recursos financeiros dispendidos a cada projeto, além dos impactos ambientais, e maximiza-se desempenho, segurança, conforto enfim competitividade para o produtor e satisfação do consumidor final. Tudo isso com um ganho adicional de competência técnica geral para os setores envolvidos.

Recebido em: 15/05/97

Recebido após revisão: 05/05/98

Aceito em: 15/06/98

Publicado em: 27/07/98

Bibliografia

1) **Iansisti, M.**, *Real-World R&D: Jumping the Product Generation Gap*, Harvard Business Review, May-June 1993, pp-138-147.

2) **Lastres, M.M.H.**, *Advanced Materials and the Japanese System of Innovation*, Rio de Janeiro, CETEM/CNPq registro N° CT00005693-0, Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy University of Sussex, UK.

3) **Medina, H. e Reis, L.A.**, *Mineriais e Materiais Avançados: Crise Recente e Perspectivas*, Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1995 pp 62 (Série Estudo e Documentos N° 26)

4) **OECD**, *Difusion of Advanced Materials in the Transportation Sector*, Paris, France, restricted drafted: 14 sep. 1992, (DSTI/STP(92)20, Dictorated for Science, Technology and Industry, Committee for Sceintific and Technological Policy)

5) **Medina, J.M. e Rodrigues, T.**, *Produção de Materiais e Meio Ambiente: Um Estudo da Reciclagem*, Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1994 pp 175-185, (Anais da II Jornada Interna de Iniciação Científica do CETEM, versão resumida)

6) **Jobert, P.**, *Les Plastiques roulent pour la reprise*, Paris, France, GUIDE 95 des Plastiques et des Caoutchoucs: Les Utilisateurs pp 25-30.

7) **Metalurgia & Materiais:** “Automóveis: indústria brasileira com tecnologia internacional”, pp 180-187, março 1995 (Matéria de capa).

8) **Monte, B.M.M. e Adamian, R.**, *Panorama do Mercado Mundial de Alumínio: perspectivas e oportunidades para o metal e suas ligas*. METALURGIA & MATERIAIS, julho/95, pp-601-610.

9) **Gritti, J.A., Costa, J.A., Toledo, J.R.A.**, *Tendências do Mercado de Rodas de Aço para a Indústria Automobilística*. METALURGIA & MATERIAIS, abril/95, pp-346-351.

10) **Cavalcanti, T. e Milfontm Jr. W.**, *Resinas de Engenharia*, REVISTA DE QUÍMICA INDUSTRIAL, N° 695, jan-mar/1994, pp-7-10.

11) **Manno, E. B.**, *Polímeros como Materiais de Engenharia*, Brasil, Editora Edgard Blücher Ltda., 1991, pp197.

PRODUÇÃO

Insumos Convencionais	Materiais Avançados	Principais Funções
Materiais orgânicos e similares (polímeros tradicionais)	Polímeros: resistência e condutividade elétrica semelhante aos metais, com mais funções que os tradicionais	Mecânica Térmica Elétrica Ótica Biológica e Química
Materiais inorgânicos: vidro, cerâmica tradicional (dureza, resistência térmica e à corrosão)	Cerâmicas: de pós finos sintéticos para elevar os níveis funcionais (aumentar a dureza e a resistência)	Mecânica Térmica Elétrica Ótica e Magnética Biológica e Química
Materiais metálicos: alumínio, ferro, e não ferrosos (resistência maleabilidade e condutividade elétrica)	Novos Metais: são mais flexíveis (como a borracha) e com memória de forma (supercondutores, ligas amorfas)	Mecânica Térmica Elétrica Magnética
Este grupo utiliza combinações dos demais grupos	Compositos: Funções derivadas da combinação de 2 ou mais materiais: cerâmica-metal, polímero-metal etc...	Mecânica Térmica Elétrica

Fig. 1: MATERIAIS AVANÇADOS PRINCIPAIS INSUMOS E FUNÇÕES

Fonte: Medina H.V et al em "Mineriais e Materiais Avançados: Crise Recente e Perspectivas" Série Estudos e Documentos n.26, 1995, CETEM/CNPq.

Materiais Avançados	Aplicações	Exemplos
Polímeros de alta performance	plásticos de engenharia separação de membranas resinas fotosensíveis	automóveis (partes mecânicas e estruturais); indústria médica; Circuitos Integrados (CIs).
Cerâmicas Fibras	<i>Silicon Nitride Carbide</i> titânio de bário alumina de alta pureza	partes de motores inclu. de automóveis e ossos artificiais; capacitor de cerâmica; revestimento de CIs.
Novos Metais	ligas com memória de forma <i>Hydrogen storage alloy</i> magnetos de terras raras alumínio e aços especiais	juntas para tubulações; automóveis e sistemas de transporte e estocagem de calor; fones de ouvido, autofalantes menores e motores elétricos mais compactos. indústria automobilística
Compositos	materiais reforçados com fibra de carbono	fuselagem de aviões, carroceria de automóveis e material esportivo.

FIG. 2: CLASSIFICAÇÃO JAPONESA DOS MATERIAIS AVANÇADOS

Fonte: Lastres M.M.H, "Advanced Materials and the Japanese System of Innovation", Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy University of Sussex, pp75.

PRODUÇÃO

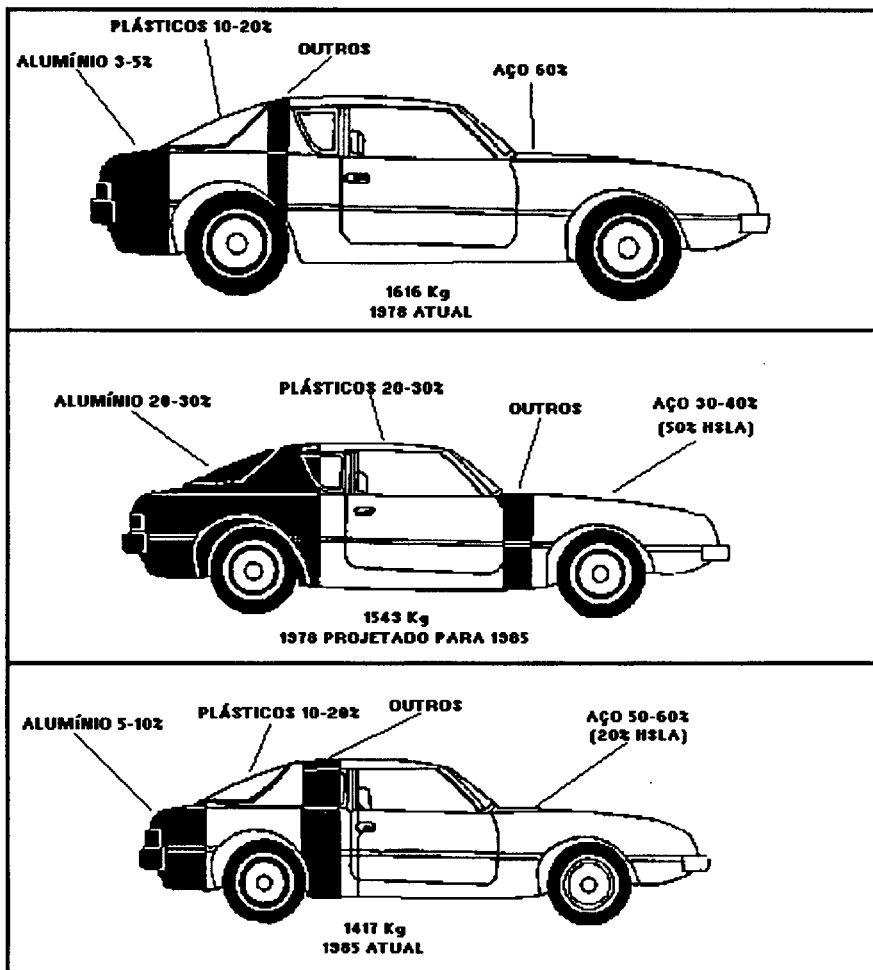


FIG. 3: PARTICIPAÇÃO DOS PLÁSTICOS, ALUMÍNIO E AÇO NO PESO DO AUTOMÓVEL

Materiais	Alemanha		Japão		Estados Unidos	
	1975	1988	1977	1986	1977	1987
Aços	60	50	83,0	76,6	60	56
Ferros fundidos	15	10			15	15
Plásticos	7	13	3,5	7,3	5	7
Alumínio	2	7	2,6	3,9	4	5
Outros	16	20	10,9	12,2	16	16

FIG. 4 : MUDANÇAS (% PESO) NA COMPOSIÇÃO MÉDIA DE MATERIAIS EM AUTOMÓVEIS

PRODUÇÃO

Material	Características	Principais Aplicações
polipropileno (compósitos) PP	resistência ao impacto e a baixas temperaturas	para-choques, painéis internos e de instrumentos, graxetas, mangueiras, isolamento de cabos
Poli (acrilonitrila/butadieno/estireno) - ABS	boa resistência mecânica, térmica e química, boa rigidez e alta durabilidade	painéis, laterais de portas, tetos, escotilhas, aros de faróis, etc. (automóveis, caminhões e ônibus)
Poliétileno/alta densidade PEhd	melhor processabilidade e impermeável à água	reservatório de combustível, de água e lava vidros
Poliamidas (compósitos) PA	flexibilidade, resistência mecânica ao impacto e química à hidrocarbonantes	tampa de radiadores, painéis e componentes estruturais
Poli(tereftalato de butileno) PBT	rigidez, elasticidade, resistência térmica e à corrosão, isolante elétrico	extensão de lamas, engastes de lanternas e freios, limpadores de para-brisa, farol e luz de freio
Polycarbonato blenda (PC/PBT)	as anteriores com mais resistência mecânica	para-choques, calotas, retrovisores, jogos de faróis (carcaça e lentes)
Poliuretano PUR	flexíveis ou rígidas, são leves e proporcionam conforto e segurança	espuma para o assento, apoio de cabeça, painéis e apoio para o braço na porta, painel de bordo, volante, carroceria, calandra
Polimetacrilato de metila PMMA	Transparência	faróis de sinalização e elementos do painel de bordo (substitui o vidro nesses casos)
Policroeto de vinila PVC	melhor isolamento do som e proteção contra corrosão	resinas de proteção da carroceria (chão), portas, cabos, manivelas dos vidros, capota, revestimento do volante, tubos do limpa-vidros, cabos elétricos e filtros de ar.
Poliesters insaturados (compósitos) UP	resistência mecânica e ao fogo, rigidez, estabilidade dimensional.	aros de faróis, carroceria completa: do chão ao capot, partes frontais e calandra.
Poli (óxido de fenileno) PPO	resistência ao impacto, melhor processabilidade e e resistência química.	painéis, engrenagens e mangueiras, sistemas mecânicos em contato com combustível, engrenagens roletes e mancais.

FIG. 5: POLÍMEROS: PRINCIPAIS APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Fonte: elaborado a partir de Cavalcanti e Milford, Jobert P. e Manno E.